

火麻叶中大麻二酚提取工艺的响应面法 优化及不同部位含量分布

张一宁,于志琪,屈施旭,刘同歌,张玉红*

东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室 黑龙江省林源活性物质生态利用重点实验室,哈尔滨 150040

摘要:本文研究一种超声波辅助提取火麻叶中大麻二酚(cannabidiol,CBD)的方法,同时分析火麻不同部位的CBD含量。首先建立CBD的HPLC检测方法,采用单因素实验确定超声提取功率、提取温度、提取时间、料液比4个因素对火麻叶中CBD提取率的影响;利用Design-expert软件进行Box-Behnken实验设计确定并验证CBD的超声辅助提取的最优工艺条件,并检测火麻不同部位CBD含量。实验表明:采用Agilent HC-C₁₈柱(250 mm×4.6 mm,5 μm),检测波长:220 nm,流速:1.0 mL/min,柱温:28 °C,流动相:甲醇-水=90:10,等度洗脱,在此条件下的分离效果和峰型较好,并且结果准确可靠,稳定性好。以甲醇为提取溶剂,最佳提取工艺条件为:提取功率320 W,提取温度81 °C,提取时间26 min,料液比1:22 g/mL,在此条件下得到CBD含量的平均值为79.53±0.26 mg/g。火麻嫩叶中CBD含量最高,其余依次为老叶、种子和茎,根中含量最低。结果表明,超声波提取是一种高效的大麻二酚提取方法,且作为一种天然产物资源,大麻二酚具有重要的开发利用价值。

关键词:大麻二酚;火麻叶;超声辅助提取;高效液相色谱;响应面

中图分类号:TS201.1

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2024)3-0369-09

DOI:10.16333/j.1001-6880.2024.3.001

Optimization of the extraction process of cannabidiol from hemp leaves by response surface methodology and its content distribution in different parts

ZHANG Yi-ning, YU Zhi-qi, QU Shi-xu, LIU Tong-ge, ZHANG Yu-hong*

Key Laboratory of Forestry Plant Ecology of Ministry of Education, Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Ecological Utilization of Forestry-Based Active Substances, College of Chemistry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: In this paper, an ultrasonic-assisted extraction method of cannabidiol (CBD) from hemp leaves was studied, and the CBD content in different parts of hemp was analyzed. Firstly, an HPLC analysis method for CBD was established. Meanwhile, the single factor experiment was used to analyze the effects of ultrasonic-assisted extraction power, extraction temperature, extraction time and solid-liquid ratio on the extraction yield of CBD from hemp leaf. Moreover, the Box-Behnken experimental design was performed by using Design-expert software to determine and verify the optimal ultrasonic-assisted extraction conditions of CBD, and detect the CBD content in different parts of hemp. The experimental results showed that the Agilent HC-C₁₈ column (250 mm×4.6 mm,5 μm), detection wavelength of 220 nm, flow rate of 1.0 mL/min, column temperature of 28 °C, and mobile phase of 90% methanol with isocratic elution were adopted. Under these conditions, the separation effect and peak type were good, and the results were accurate, reliable and stable. The optimum extraction conditions were as follows: extraction power 320 W, extraction temperature 81 °C, extraction time 26 min, and solid-to-liquid ratio 1:22 g/mL. Under these conditions, the average content of CBD was 79.53±0.26 mg/g. Among the kenaf, the CBD content in the tender leaves was the highest, followed by the whole leaf, old leaf, seed and stem, and the CBD content in the root was the lowest. In conclusion, the results showed that the ultrasonic-assisted extraction was an efficient method for the extraction of CBD, and as a natural product resource, CBD has important development and utilization value.

Key words:cannabidiol; hemp leaves; ultrasonic extraction technology; HPLC; response surface

火麻(*Cannabis sativa* L.)又名汉麻、线麻等,是桑科(Moraceae)大麻属(*Cannabis*)一年生草本植物。火麻中的主要活性成分是大麻素,目前从大麻属植物中分离得到的天然大麻素有110余种,其中四氢大麻酚(tetrahydrocannabinol, THC)、大麻二酚(cannabidiol, CBD)(结构见图1)是大麻中2种主要的大麻素活性成分^[1]。研究表明CBD具有抗氧化活性^[2]、镇静^[3]、抗抑郁^[4]、抗癌^[5]、治疗肥胖^[6]、抗炎特性^[7]以及舒张血管等潜在作用^[8],并且无致幻及成瘾的作用,已是临床治疗乳腺癌、癫痫的新型药物^[9]。目前,在全球很多国家和地区,大麻二酚已经陆续被批准作为药用以及食品中使用^[10, 11]。

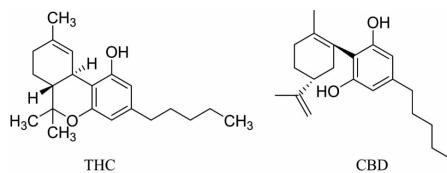


图1 四氢大麻酚和大麻二酚分子结构图

Fig. 1 Molecular structure of THC and CBD

天然的CBD是左旋结构,而化学合成的CBD则通常是左旋和右旋结构两种异构体的1:1混合物,由于二者的性质非常接近,分离十分困难。化学合成步骤繁琐,不能有效生产特定结构的生物活性化合物,且成本较高^[12],所以从天然植物中提取仍是获得大麻二酚的最经济来源。

目前,从火麻中提取大麻二酚主要还是以浸提和热回流为主^[13],对于CBD的检测方法仍存在耗时长,效率低等问题;而且提取效率低,稳定性差,含量低等难题也亟待攻克。本文选用超声辅助提取方法的重复性较好,此方法较索氏提取的方法更加简单,便于操作。随着火麻种植合法化规模的不断扩大,对CBD的研究也不断深入,人们对CBD有效性和安全性的理解大大增加,CBD也将更好地造福人类。

本文以火麻叶为研究对象,建立了简单、快速、准确的HPLC检测方法,此方法大麻二酚出峰时间快,效果好,流动相配比简单;利用超声辅助提取方法获得天然大麻二酚,探讨不同因素对提取含量的影响,运用响应面法优化超声辅助提取CBD的条件,从而提高了大麻二酚的得率,具有很高的应用价值。并研究了大庆火麻各部位中CBD的含量,为火麻提取CBD和大麻的综合利用提供理论依据,促进

火麻产业的发展。

1 材料和方法

1.1 材料

实验用火麻干燥叶子,2020年10月,采自东北林业大学种植基地,经植物分类学郑宝江教授鉴定为火麻。该火麻THC含量<0.3%,符合国家使用规定。将采集的火麻叶在60℃下烘干、粉碎,过40目筛后存放于东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室。

1.2 方法

1.2.1 HPLC检测方法建立

1.2.1.1 标准溶液母液的配制

精密称取的CBD标品8.0 μg,甲醇为溶剂,配制成标准溶液母液浓度80 μg/mL。

1.2.1.2 高效液相色谱条件

色谱柱:Agilent HC-C₁₈柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm);检测波长:220 nm;流速:1.0 mL/min;柱温:28 ℃;流动相:甲醇-水(90:10);进样量:10 μL;洗脱方式:等度洗脱。

1.2.1.3 标准曲线的绘制

取母液配制成浓度为0.8、1.6、4.0、8.0、40.0 μg/mL的标准品溶液,经0.45 μm微孔滤膜过滤,按“1.3.1.2”条件,进行HPLC检测,以峰面积Y为纵坐标,CBD浓度C为横坐标绘制标准曲线,呈线性关系。标准曲线的回归方程为 $Y = 51.969C + 19.396$,相关系数 $R^2 = 0.999\ 6$, R^2 接近于1,表明该标准曲线在CBD浓度在10~80 μg/mL浓度范围内的线性关系良好。

1.2.2 方法学考察

1.2.2.1 精密度试验

分别精密吸取上述标准溶液母液0.2、0.5、1.0 mL,依次用甲醇定容成10 mL,配制成浓度分别为1.6、4.0和8.0 μg/mL三个浓度的大麻二酚标准溶液,分别重复测定其峰面积值5次,记录大麻二酚的峰面积。

1.2.2.2 稳定性试验

按照上述“1.3.2.1”中方法制备溶液,分别在0、2、4、8、10、12、24 h,进样10 μL测定,记录大麻二酚的峰面积,计算得到大麻二酚峰面积的RSD。

1.2.2.3 重复试验

取10份火麻叶各1.0 g,按照两种不同的提取条件,分别平行操作制备5组样品,第一组在超声提取功率320 W,提取温度30 ℃,料液比1:15(g/mL)

的条件下提取 25 min 得到第一份提取液;第二组在超声提取功率 320 W, 提取温度 30 °C, 料液比 1:20 的条件下提取 30 min 得到第二份提取液。分别进样 10 μL, 依次测定峰面积值。

1.2.2.4 加样回收率试验

精确量取 6 份已知浓度(7.086 μg/mL)的大麻二酚提取液 10 mL 分成 3 组, 分别加入浓度为 4.0 μg/mL 的标准品溶液 1.0、2.0 和 3.0 mL, 测定其峰面积值, 分别计算出加样回收率。

1.2.3 样品制备

取火麻干燥叶子粉末 1.0 g, 按照料液比加入不同量的提取溶剂, 设置不同的超声条件提取。将提取液冷却至室温后进行过滤, 将过滤后的提取液进行真空旋蒸回收旋蒸提取溶剂, 再用甲醇溶剂定容至 1.0 mL, 12 000 r/min 离心 20 min, 吸取上清液, 过 0.45 μm 微孔滤膜, 所得滤液按上述液相条件进行大麻二酚 HPLC 含量测定。

表 1 实验因素与水平
Table 1 Experimental factors and levels

水平 Level	因素 Factor			
	A 提取功率 Power (W)	B 提取温度 Temperature (°C)	C 提取时间 Time (min)	D 料液比 Material-liquid ratio (g/mL)
-1	300	70	20	1:15
0	320	80	25	1:20
1	340	90	30	1:25

1.2.6 数据处理

每组实验重复 3 次。使用 Microsoft Excel 软件整理数据整理, 利用 SPSS 18.0 软件分析数据, 采用 One-way ANOVA 方法进行方差分析, 用 Microsoft Excel 及 Origin 2021 绘图。

2 结果与分析

2.1 大麻二酚 HPLC 检测方法

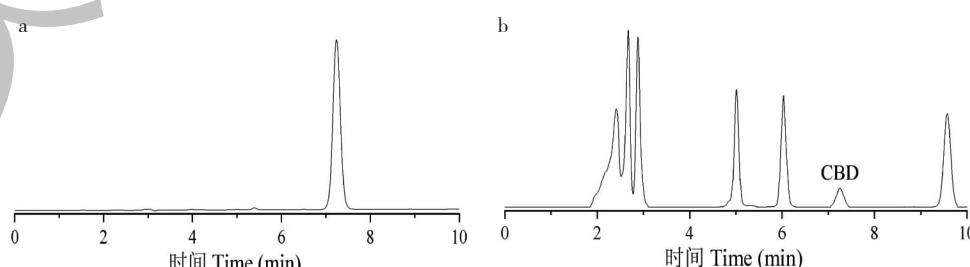


图 2 大麻二酚标准品(a)和样品(b)色谱图
Fig. 2 Chromatograms of CBD standard (a) and sample (b)

1.2.4 单因素试验

准确称取火麻叶 1.0 g, 采取控制单一变量法, 设置梯度提取时间为 10、15、20、25 和 30 min; 提取温度为 50、60、70、80 和 90 °C; 料液比为 1:5、1:10、1:15、1:20 和 1:25 (g/mL); 提取功率 280、300、320、340 和 360 W。以提取时间 25 min, 提取温度 80 °C, 料液比为 1:20 g/mL, 提取功率 320 W 为基本条件, CBD 含量作为指标, 研究单因素条件对 CBD 提取的影响。

1.2.5 响应面优化试验

在上述实验的基础上, 为进一步研究因素之间的相互作用, 选取提取功率(A)、提取温度(B)、提取时间(C)、和提取料液比(D)作为实验因素, 以火麻叶中 CBD 的含量作为响应值(Y)。根据 Box-Behnken Design 实验设计, 生成 4 因素 3 水平的响应面实验设计, 共有 29 组实验。实验因素与水平见表 1。

2.1.1 大麻二酚色谱图

按“1.3.1”中方法, 将 CBD 标准品和样品进行 HPLC 检测, 得到色谱图见图 2。如图, 大麻二酚出峰时间较快, 7~8 min 时间内出峰, 简单高效, 分离效果优, 目标峰两边没有其他峰干扰, 而且峰型较好, 可以方便快捷地检测火麻中大麻二酚含量。

2.1.2 方法学考察

2.1.2.1 精密度考察

计算得到大麻二酚峰面积的 RSD 分别为 1.3%、1.2% 和 0.47%，表明该方法精密度良好。

2.1.2.2 稳定性考察

计算得到大麻二酚峰面积的 RSD 分别为 1.64%、0.62% 和 0.52%，表明标准品溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.1.2.3 重复性考察

计算得到其 RSD 分别为 2.47% 和 3.58% ($n = 5$)，表明该方法的重复性较好。

2.1.2.4 加样回收实验

分别计算出加样回收率，其平均值为 97.49%，RSD 为 0.45%，表明方法准确度可靠。

2.2 单因素实验

2.2.1 提取时间

提取时间直接影响到植物中有效成分的提取效率，提取时间过短，植物中的有效成分不能提取完全且造成原料浪费；提取时间过长，会导致提取物有效成分发生降解或结构上的破坏，还会造成时间和能量的浪费。如图 3 所示，本研究通过对火麻叶中大麻二酚含量随提取时间变化研究，结果表明：提取时间从 15~25 min，随着提取时间的延长，大麻二酚的提取含量快速升高；当提取 25 min 以后，随提取时间的增加，大麻二酚的含量虽有稍量增加，但增加的量很少，经方差分析，差异不显著 ($P > 0.05$)。随超声时间的延长，对细胞壁的破坏就越大，大麻二酚的溶出就越多，一定时间后，溶液体系会达到平衡。超声时间越长，超声的热效应开始发挥作用，但这种热效应有限。因此，选择 25 min 作为最佳超声提取时间。

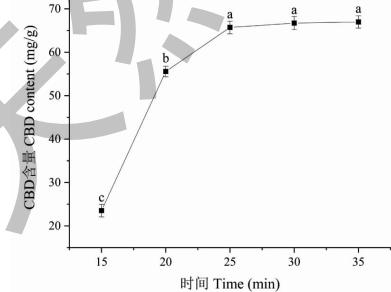


图 3 不同时间下大麻二酚的含量

Fig. 3 Content of CBD at different times

2.2.2 提取温度

如图 4 所示，随着提取温度的升高大麻二酚的

含量先上升后下降；当温度为 80 °C 时，大麻二酚含量达到最大值，并且与其它温度下的大麻二酚的含量呈现显著性差异 ($P < 0.05$)。这是由于酚类物质具有热敏感性，温度升高能够提升酚类物质的溶解性和扩散速度，但也会导致酚类物质加速分解与氧化，80 °C 可能是大麻二酚上述关系的一个平衡温度，提取温度在 80 °C 之前，前者占主导作用，而超过 80 °C，后者占优势。故选择 80 °C 作为最佳单因素提取温度。

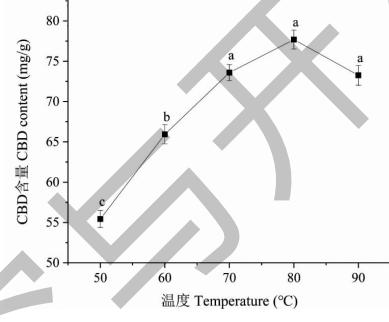


图 4 不同提取温度下大麻二酚的含量

Fig. 4 Content of CBD at different extraction temperatures

2.2.3 料液比

为提高提取率和节省提取溶剂，研究了料液比对大麻二酚提取含量的影响，结果如图 5 所示，大麻二酚的提取含量随料液比的增加而增大。当料液比在 1:20 (g/mL) 以后时，大麻二酚的提取量虽有少量增加，但方差分析显示差异不显著 ($P > 0.05$)。考虑到溶剂损耗、浓缩时间等后续工艺成本等问题，确定料液比为 1:20 (g/mL) 为最佳提取料液比。

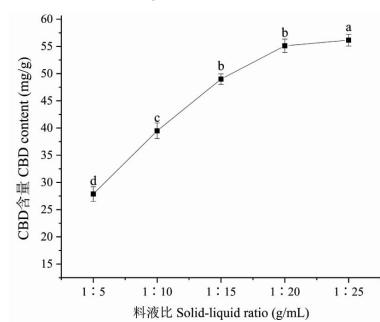


图 5 不同料液比下大麻二酚的含量

Fig. 5 Content of CBD under different solid-liquid ratios

2.2.4 提取功率

结果如图 6 所示，随着提取功率的增大，提取得到的大麻二酚的含量也增大，当功率为 320 W 时，大麻二酚的含量最大。此后，随着提取功率的增加，大麻二酚的含量降低。可能是低超声功率产生的空

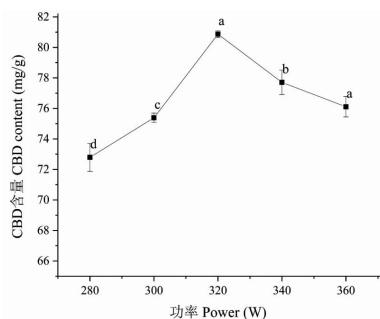


图 6 不同提取功率下大麻二酚含量

Fig. 6 CBD content under different extraction power

化效应不足以破坏大麻叶的植物细胞的细胞壁,随着提取功率的增大,大麻叶细胞的细胞壁被破坏得也越大。但功率过大可能会导致大麻二酚的降解,导致含量降低。因此选择 320 W 作为最佳超声功率。

2.3 响应面优化试验结果分析

2.3.1 模型建立

火麻叶中大麻二酚的提取时间、提取温度、料液比和提取功率 4 个主要影响因素进行优化,以大麻二酚含量为指标,结果见表 2 所示。

表 2 响应面实验结果

Table 2 Response surface experimental results

编号 No.	A 提取功率 Power (W)	B 提取温度 Temperature (°C)	C 提取时间 Time (min)	D 料液比 Material-liquid ratio (g/mL)	CBD 含量 CBD content (mg/g)
1	320	70	25	15	23.25 ± 0.07
2	340	80	25	15	67.44 ± 0.12
3	320	70	25	25	31.95 ± 0.09
4	320	80	25	20	77.49 ± 0.07
5	320	90	30	20	40.73 ± 0.08
6	320	80	25	20	73.59 ± 0.11
7	300	80	25	25	59.14 ± 0.06
8	320	90	20	20	23.66 ± 0.13
9	300	90	25	20	57.43 ± 0.09
10	320	80	20	25	52.63 ± 0.08
11	320	70	20	20	21.36 ± 0.10
12	340	80	20	20	47.63 ± 0.07
13	320	80	20	15	33.62 ± 0.09
14	320	80	30	15	36.25 ± 0.12
15	320	80	25	20	75.34 ± 0.10
16	340	90	25	20	41.45 ± 0.06
17	340	80	25	25	64.9 ± 0.13
18	300	80	30	20	63.77 ± 0.07
19	320	90	25	15	29.63 ± 0.08
20	320	80	25	20	70.45 ± 0.05
21	340	80	30	20	56.16 ± 0.10
22	320	80	30	25	67.71 ± 0.12
23	340	70	25	20	43.67 ± 0.06
24	320	80	25	20	68.89 ± 0.14
25	300	70	25	20	27.83 ± 0.08
26	320	90	25	25	36.02 ± 0.17
27	300	80	25	15	36.18 ± 0.04
28	320	70	30	20	23.58 ± 0.06
29	320	70	25	15	24.962 ± 0.11

利用 Design-expert V11 软件对表 2 中的数据进行分析,以火麻叶子中大麻二酚含量(Y)为响应值,对表 2 中的数据进行多项回归拟合,得到以响应值为目标函数的二次多元回归方程: $Y = 72.35 + 2.15A + 4.94B + 5.62C + 7.39D - 9.41AB - 0.86AC - 7.16AD + 4.57BC - 0.58BD + 3.11CD - 3.96A^2 - 28.49B^2 - 14.83C^2 - 12.73D^2$ 。

回归模型各项的方差分析见表 3。可知,模型 $F = 10.84, P < 0.0001$, 建立的模型显著性良好;失拟项 $F = 5.78, P = 0.0527 > 0.05$, 失拟项不显著,

表明所选用的二次多项模型的拟合程度良好。模型 $R^2 = 0.9155$, 表明该回归方程有较好的相关性, $R_{Adj}^2 = 0.8310$, 表明该回归模型可以解释 83.10% 实验数据的变异性。模型实际值与预测值拟合较好,表明该回归方程对试验的拟合性较好,可用于预测和分析火麻中 CBD 的含量。该实验的 CV 值是 0.13% 较低,表明它具有很好的可靠性和较高可信度,使用此模型进行分析响应值的变化,能较好地反映真实的试验值。

表 3 回归方程的方差分析

Table 3 Analysis of variance of regression equation

来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	<i>F</i> 值 <i>F</i> -value	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	显著性 Significance
模型 Model	8 254.23	14	589.59	10.84	< 0.0001	显著
<i>A</i>	55.47	1	55.47	1.02	0.3297	-
<i>B</i>	271.98	1	271.98	5	0.0422	-
<i>C</i>	318.25	1	318.25	5.85	0.0298	-
<i>D</i>	655.35	1	655.35	12.05	0.0037	-
<i>AB</i>	354.38	1	354.38	6.51	0.0230	-
<i>AC</i>	2.98	1	2.98	0.055	0.8185	-
<i>AD</i>	204.78	1	204.78	3.76	0.0728	-
<i>BC</i>	53.16	1	53.16	0.98	0.3397	-
<i>BD</i>	1.33	1	1.33	0.025	0.8778	-
<i>CD</i>	38.75	1	38.75	0.71	0.4129	-
<i>A</i> ²	103.05	1	103.05	1.89	0.1904	-
<i>B</i> ²	4 920.5	1	4 920.5	90.45	< 0.0001	-
<i>C</i> ²	1 295.17	1	1 295.17	23.81	0.0002	-
<i>D</i> ²	1 062.68	1	1 062.68	19.53	0.0006	-
残差 Residual	761.64	14	54.4	-	-	-
失拟项 Lack of fit	712.37	10	71.24	5.78	0.0527	不显著
误差 Error	49.26	4	12.32	-	-	-
总和 Cor total	9 015.87	28	-	-	-	-

2.3.2 各因素与交互因素作用分析

各因素的 *F* 值可以反映出对响应指标的显著程度, *F* 值越大, *P* 值越小, 意味着对响应指标的影响越大, 系数更显著。从表 3 的方差分析结果可以看出, 几个因素对火麻叶中的大麻二酚提取含量的影响程度顺序: 料液比(*D*)> 提取时间(*C*)> 提取温度(*B*)> 提取功率(*A*); 以提取功率与提取温度 *AB* 的交互作用对响应值影响显著($P < 0.05$), 其它几组交互作用对结果影响不显著($P > 0.05$)。

根据上述回归方程, 利用响应面法获得了提取

因素与 CBD 含量之间关系的三维曲面图。从图 7 中可以看出提取功率、提取温度、提取时间和料液比及其相互作用对 CBD 提取含量的影响。等高线轮廓的形态也可以反映出各因素之间交互作用对响应值影响的强弱情况, 等高线的形状为椭圆表示这 2 个因素之间的交互作用对响应值影响强烈, 圆形则代表各因素之间的交互作用不显著。如图 7 所示, 在交互作用对 CBD 提取含量的影响中, *BD* 对 CBD 含量影响最小, *AC* 与其相似, 其次是 *CD* 和 *BC*, 提取功率 \times 提取温度 *AB*、*AD* 对 CBD 的提取含量影响

较大,这也与表3中回归方程的方差分析所得到的结果是一致的。二项式 B^2 、 C^2 和 D^2 的P值均<

0.01,说明它们对火麻叶中CBD的提取的含量有着显著的影响。 A^2 的P值>0.05,表明影响不显著。

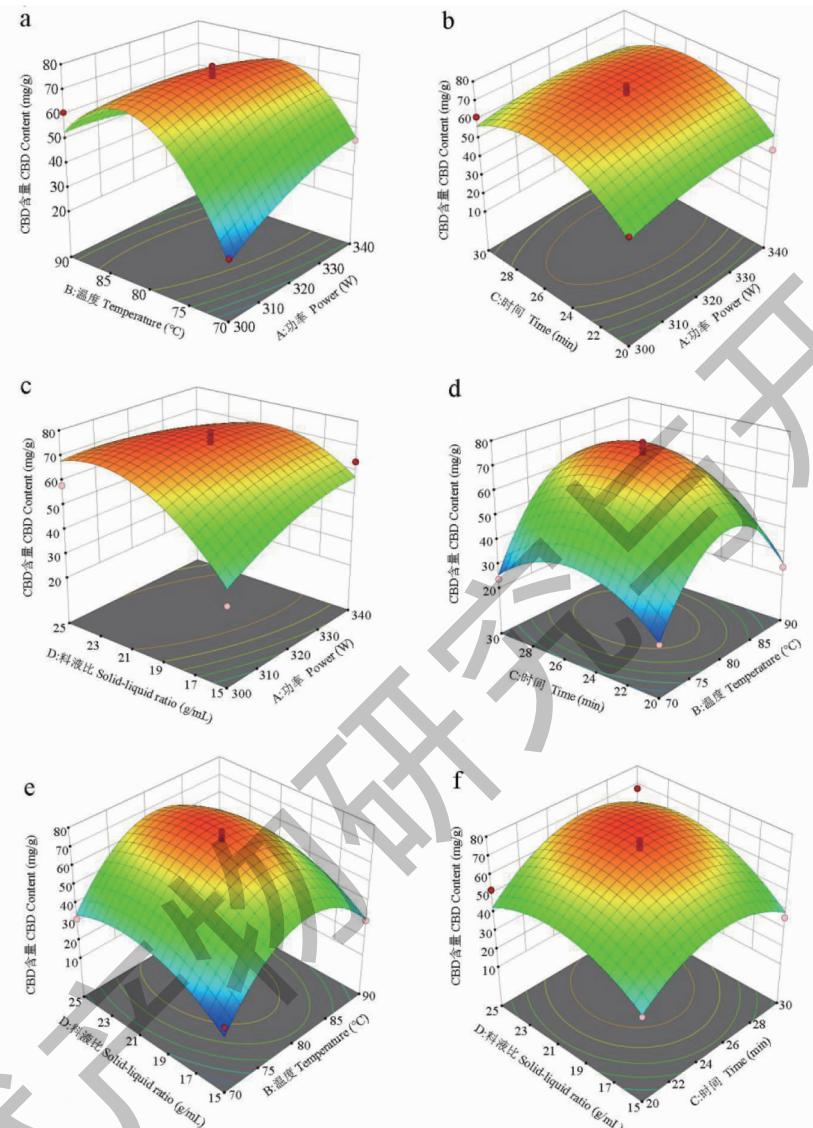


图7 各因素交互作用的响应面图
Fig. 7 Response surface diagram of interaction of each factor

2.3.3 最佳工艺验证

利用Design-expert V 11软件对实验条件进行优化,通过数据分析得到超声提取火麻叶中大麻二酚的最优的提取条件为:提取功率307.72 W,提取温度81.54 °C,提取时间26.33 min,料液比1:22.03 (g/mL),在此条件下,大麻二酚的提取量为74.63 ± 0.72 mg/g。考虑到实验操作的实际性,将提取条件校正为:提取功率320 W,温度81 °C,时间26 min,料液比1:22 (g/mL)。平行实验三次,得到大麻二酚含量的平均值为79.53 ± 0.26 mg/g (CV为

2.58%),结果与理论值方差分析,差异不显著($P < 0.05$),表明回归方程可以较好地预测实验结果以及模型的可靠性。

2.4 火麻不同部位大麻二酚含量检测

利用所获得的最优提取条件,对来自黑龙江大庆火麻栽培品种的根、茎、嫩叶(植株最顶端往下2~4片叶片)、老叶(植株中部以下叶片)、种子等不同部位中的大麻二酚含量进行检测,结果如表4所示,幼嫩叶片中的大麻二酚含量最高为87.32 ± 0.24 mg/g,其余部位大麻二酚含量以老叶、种子、茎

表 4 不同部位大麻二酚含量($\bar{x} \pm s, n=3$)Table 4 Content of CBD in different part($\bar{x} \pm s, n=3$)

火麻植株不同部位 Different parts of hemp	大麻二酚含量 CBD content (mg/g)
幼嫩叶子 Young leaves	87.32 ± 0.24
成熟叶子 Mature leaves	36.67 ± 0.15
茎 Stems	4.67 ± 0.30
根 Roots	0.61 ± 0.16
种子 Seeds	22.84 ± 0.23

和根依次降低。

3 讨论与结论

本研究以火麻叶为实验材料,采用 Agilent HC-C₁₈柱,建立了一种简单、快速从火麻叶中大麻二酚的HPLC检测方法,该方法灵敏度高、简便易行,结果准确可靠。与 Chen 等^[14]建立的液相方法大麻二酚在9 min后出峰相比,此液相方法的出峰时间更快在7~8 min,分离效果优、峰型理想;与 Xie 等^[15]建立液相方法的加样回收率为91.2%~97.6%(RSD为3.0%)相比,本研究建立的液相方法平均加样回收率为97.49%(RSD为0.45%),此方法稳定性好、重复性更好,可以高效地检测火麻中大麻二酚含量,适用于大麻二酚的定量分析,同时也为评价火麻的质量提供了可靠保证。

在单因素的基础上,基于 Box-Behnken Design响应面法得到了从火麻叶中超声辅助提取大麻二酚的最佳工艺条件:以甲醇为提取溶剂,料液比为1:22(g/mL),提取功率为320 W,提取温度为81 °C,提取时间为26 min,在此条件下,大麻二酚含量为79.53 ± 0.26 mg/g。与 Yan 等^[16]的研究相比,对于超声提取的条件,包括提取功率、提取料液比和提取温度进行进一步的具体研究,对超声辅助提取火麻中的大麻二酚条件进行明确和补充。与 Hao 等^[17]研究用热回流技术提取大麻二酚的提取3次2 h/次相比较,在提取得到相同量的大麻二酚条件下,本研究中的方法,所需的时间更短,对溶剂的耗费量也更少;与 Gao 等^[18]的研究相比,提取的时间更短,在最佳工艺的条件下,大麻二酚的提取量也更多。本试验所得最佳提取工艺条件在一定程度上缩短提取时间,避免长时间提取对活性成分的影响,提高了大麻二酚的提取量和提取效率。

采用本研究所建立的高效液相方法测定了黑龙江大庆火麻栽培品种各部位的大麻二酚含量为嫩叶

中最高,其次依次为整株叶片、老叶、种子和茎,根中的大麻二酚含量最低。研究结果可为火麻中大麻二酚提取和火麻高附加值产品进一步开发利用提供数据。

参考文献

- 1 Odieka AE, Obuzor GU, Oyedele OO, et al. The medicinal natural products of *Cannabis sativa* Linn: a review [J]. Molecules, 2022, 27: 168-169.
- 2 Kopustinskiene DM, Masteikova R, Lazauskas R, et al. *Cannabis sativa* L. bioactive compounds and their protective role in oxidative stress and inflammation [J]. Antioxidants, 2022, 11: 66-70.
- 3 Thapa D, Cairns EA, Szczesniak AM, et al. The cannabinoids Δ⁸THC, CBD, and HU-308 act via distinct receptors to reduce corneal pain and inflammation [J]. Cannabis Cannabinoid, 2018, 3: 11-20.
- 4 Garcia MS, Navarrete F, Gasparian A, et al. Cannabidiol: a potential new alternative for the treatment of anxiety, depression, and psychotic disorders [J]. Biomolecules, 2020, 10: 157-165.
- 5 Heider CG, Itenberg SA, Rao J, et al. Mechanisms of cannabidiol (CBD) in cancer treatment: a review [J]. Biology, 2022, 11: 8-17.
- 6 Bielawiec P, Harasim SE, Chabowski A. Phytocannabinoids: useful drugs for the treatment of obesity? Special focus on cannabidiol [J]. Front in Endocrinol, 2020, 11: 11-14.
- 7 Burstein S. Cannabidiol and its analogs: a review of their effects on inflammation [J]. Bioorg Med Chem, 2015, 23: 1377-1385.
- 8 Davies C, Bhattacharyya S. Cannabidiol as a potential treatment for psychosis [J]. Ther Adv Psychopharmacol, 2019, 9: 11-16.
- 9 Friedman D, French JA, Maccarrone M. Safety, efficacy, and mechanisms of action of cannabinoids in neurological disorders [J]. Lancet Neurol, 2019, 18: 504-512.
- 10 Boggs DL, Nguyen JD, Morgenson D, et al. Clinical and pre-clinical evidence for functional interactions of cannabidiol and Δ⁹-tetrahydrocannabinol [J]. Neuropsychopharmacology, 2018, 43: 142-154.
- 11 Iftikhar A, Zafar U, Ahmed W, et al. Applications of *Cannabis sativa* L. in food and its therapeutic potential: from a prohibited drug to a nutritional supplement [J]. Molecules, 2021, 26: 76-99.
- 12 Yu XJ, Liu CY, Yang LR, et al. Research progress of cannabidiol in industrial hemp [J]. Chin Tradit Pat Med (中成药), 2021, 43: 1275-1279.

(下转第 399 页)