

溶剂对大麻二酚广谱油溶解性和抗聚并稳定性的影响

Effect of solvent on solubility and anti coalescence stability of CBD broad spectrum oil

马永强¹ 唐可欣¹ 王鑫¹ 罗钰¹ 彭禹²

MA Yong-qiang¹ TANG Ke-xin¹ WANG Xin¹ LUO Yu¹ PENG Yu²

(1. 哈尔滨商业大学, 黑龙江 哈尔滨 150028; 2. 哈尔滨汉博科技开发有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150028)

(1. Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150028, China;

2. Harbin Hanbo Technology Development Limited Company, Harbin, Heilongjiang 150028, China)

摘要:目的: 克服大麻二酚(CBD)广谱油疏水性和因油脂聚并导致稳定性差的缺点。方法: 将 CBD 广谱油溶解于 5 种溶剂中, 通过溶液外观初步判定溶剂的溶解性, 选择溶解性较好的 2 种溶剂。采用紫外分光光度法测定 313~363 K 下广谱油在 2 种溶剂中的溶解度, 进而得到溶解度最高的 1 种溶剂。在此溶剂中, 测定 313~353 K 下 CBD 广谱油的摩尔溶解度, 以此关联 Apelblat 模型。观察不同浓度的 CBD 广谱油和加入不同体积分数的吐温分散剂后溶液的油滴个数。结果: 溶解性较好的 2 种溶剂为辛酸甘油酯(CCT)和 1,2-丙二醇, 相同温度下, 溶解度最高的溶剂为 CCT。在 CBD-CCT 下, Apelblat 模型相关系数(R^2) 在 0.98 以上, 相对偏差(RD) 小于 2.78%, 均方根误差(RSMD) 为 4.1×10^{-3} , 摩尔溶解度和温度之间符合 Apelblat 模型。CBD-CCT 质量浓度为 170 mg/mL、在其中加入体积分数为 10% 的吐温 80 分散剂时, 体系抗聚并稳定性最好。结论: CCT 是溶解 CBD 广谱油的良好溶剂, 且 CBD-CCT 能够很好地处于稳定状态。

关键词: CBD 广谱油; 溶解度; Apelblat 模型; 抗聚并稳定性

Abstract: Objective: This study contributed to overcoming the disadvantages of hydrophobicity of CBD broad-spectrum oil and poor stability caused by oil coalescence. Methods: CBD broad-spectrum oil was dissolved in five kinds of solvents, and two kinds of solvents with better solubility were obtained by the appearance of the solution. The solubility of broad-spectrum oil in

two solvents was determined by UV spectrophotometry at 313~363 K, and the solvent with the highest solubility was obtained. In this solvent, the solubility of CBD broad-spectrum oil was determined at 313~353 K to correlate the Apelblat model. The number of oil drops of CBD broad-spectrum oil with different concentrations and tween dispersant with different volume fractions were observed. Results: The two solvents with good solubility were caprylic capric triglyceride (CCT) and 1,2-propanediol. At the same temperature, the solvent with the highest solubility was CCT. Under CBD-CCT, the correlation coefficient (R^2) of Apelblat model is more than 0.98, the relative deviation (RD) is less than 2.78%, and the root mean square error (RSMD) is 4.1×10^{-3} . The relationship between molar solubility and temperature is in accordance with Apelblat model. When the mass concentration of CBD-CCT was 170 mg/mL, with and Tween 80 dispersant with 10% volume fraction added, the highest anti coalescence and stability of the system was found. Conclusion: CBD-CCT can be in a stable state and has positive significance in the preparation and storage of CBD food and health products.

Keywords: CBD broad-spectrum oil; solubility; Apelblat model; anti coalescence stability

大麻二酚(CBD), 几乎不溶于水, 具有保护神经、抗痉挛、抗焦虑等多种生物活性功能^[1-3], 食用含有 CBD 的食品能够给人带来愉悦感^[4]。CBD 广谱油是一种将全谱油 CBD 中的致幻成分四氢大麻酚(THC) 经过特别工艺去除后的油状物质, 常温下为固态。CBD 广谱油的成分主要为 CBD, 占 CBD 广谱油含量的 56%; 其次为大麻萜酚(CBG) 和大麻环萜酚(CBC), 分别占 CBD 广谱油含量的 24% 和 20%。

中国对于 CBD 研究偏向于其功效^[5]、提取^[6] 和检

作者简介: 马永强, 男, 哈尔滨商业大学教授, 硕士。

通信作者: 王鑫(1984—), 女, 哈尔滨商业大学高级工程师, 博士。

E-mail: wangxinfood@163.com

收稿日期: 2021-07-19

测^[7]方面,而在如何克服 CBD 疏水性从而拓宽其应用范围方面的研究有所欠缺,对 CBD 溶解性方面的研究尚未见报道。国外在增强 CBD 溶解性方面的研究偏向于药用治疗领域,通过创建自乳化药物递送系统、制备改进的晶体制剂和其他固态递送制剂等潜在途径以提高 CBD 的溶解性和生物利用率^[8],但在筛选合适的食品级溶剂来提高 CBD 溶解度方面的研究鲜有报道。Nathan 等^[9]通过对 CBD 环糊精制剂进行冷冻干燥、喷雾干燥处理和对 CBD 介孔二氧化硅制剂进行亚临界 CO₂ 浸渍处理后,显著增加了 CBD 的水溶性。Helene 等^[10]以超临界二氧化碳为溶剂,在 315,326,334 K 的温度下测定了 CBD 的溶解度,溶解度数据使用 Peng-Robinson 状态方程结合 Van der Waals 方程进行关联,计算结果与试验数据之间的偏差范围为 0.81%~6.35%。

由于 CBD 广谱油的疏水性,无法将其直接加入到食品中,因此选择合适的溶剂将其溶解并使溶液处于稳定状态尤为重要。研究拟选用常应用于食品中的表面活性剂辛癸酸甘油酯(CCT)、大豆磷脂、蔗糖酯、甘油及 1,2-丙二醇作为溶剂,利用其具有固定的亲水亲油基团且在溶液表面能定向排列的特点来溶解 CBD 广谱油,通过对广谱油在不同溶剂中溶解性的研究,筛选出溶解度最高的溶剂。在此广谱油-溶剂体系中,利用 Apelblat 模型对试验数据进行关联,并进行抗聚并稳定性质的研究,以克服 CBD 广谱油疏水性和因油脂聚并导致稳定性差的缺点,以期为 CBD 在食品中的应用研究如 CBD 口服液的制备、CBD 保健品的开发和 CBD 微胶囊的制备提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

CBD 广谱油:武汉中昌国标物科技有限公司;

辛癸酸甘油酯(纯度≥98%)、甘油(纯度≥97%)、1,2-丙二醇(纯度≥97%):上海麦克林生化科技有限公司;

大豆磷脂(纯度≥97%)、蔗糖酯(纯度≥97%)、吐温 20(纯度 90%)、吐温 40(纯度 90%)、吐温 80(纯度 90%)、辣椒红素(纯度 60%):浙江一诺生物科技有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

紫外/可见分光光度计:721S-50 型,上海元析仪器有限公司;

数控超声波清洗器:KQ-250DE 型,昆山市超声仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:HWS-26 型,济南启科仪器设备有限公司;

旋转流变仪:Haake Rheo Stress 6000 型,美国

Thermo Fisher Scientific 公司;

磁力搅拌器:HJ-8A 型,武汉科尔仪器有限公司;

激光粒度测定仪:Zetasizer NanoZS90 型,英国 Malvern 公司。

1.2 方法

1.2.1 溶剂初步筛选 分别取 10 mL 辛癸酸甘油酯、大豆磷脂、蔗糖酯、1,2-丙二醇、甘油加入 1 g CBD 广谱油,在 60 °C、超声功率 80 W 下辅助溶解 1 min,通过观察溶液的外观初步判定所选用溶剂的溶解性。

1.2.2 CBD 广谱油溶解度测定 紫外分光光度法^[11]。

(1) 溶液的制备:取 1.2.1 中初步判定溶解性较好的溶剂 10 mL 置于小烧杯中备用,精密称取 1.5 g CBD 广谱油加入其中,在 60 °C、超声功率 80 W 下辅助溶解 1 min,得到 CBD 广谱油样品溶液,备用。

(2) 最大吸收波长的确定及标曲绘制:根据文献^[12]的方法并修改,精密移取 2 mL CBD 广谱油样品溶液于 5 mL 容量瓶,用溶剂定容,在 60 °C、功率为 80 W 下超声辅助溶解 1 min,200~1 000 nm 范围内进行扫描,确定最大吸收波长。配置质量浓度为 50, 100, 150, 200, 250 mg/mL 的 CBD 广谱油样品溶液。在 60 °C、功率为 80 W 下超声辅助溶解 1 min,于最大吸收波长处测定吸光度,以溶液质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线。

(3) 溶解度测定:根据文献^[13]修改如下:取 10 mL 溶剂于小烧杯中,将烧杯置于恒温水浴锅内,在设置的温度(313, 323, 333, 343, 353, 363 K)下分批加入少量(≤0.02 g)CBD 广谱油,并同时磁力搅拌,直至某批次加入固体搅拌 2 h 后仍未完全溶解,超声 3 h 直至样品不再溶解,静置,则认为溶液达到饱和。测定最大吸收波长处吸光度,将其代入标准曲线得出溶解度。

1.2.3 CBD 广谱油相对分子质量测定 按式(1)估算 CBD 广谱油的相对分子质量^[14]。

$$M = M_a P_a + M_b P_b + M_c P_c, \quad (1)$$

式中:

M_a ——CBD 的相对分子质量;

P_a ——对应 CBD 的相对含量,%;

M_b ——CBG 的相对分子质量;

P_b ——对应 CBG 的相对含量,%;

M_c ——CBC 的相对分子质量;

P_c ——对应 CBC 的相对含量,%。

1.2.4 CBD 广谱油摩尔溶解度测定 按式(2)计算 CBD 广谱油在 CCT 中的摩尔溶解度。

$$X_{RA} = (m_1/M_1)/(m_1/M_1 + m_2/M_2), \quad (2)$$

式中:

X_{RA} ——CBD 广谱油在 CCT 中的摩尔溶解度, mol/kg;

m_1 ——饱和溶液中溶质的质量, g;

m_2 ——饱和溶液中溶剂的质量, g;

M_1 ——饱和溶液中溶质的相对分子质量(M_1 等于 CBD、CBG 和 CBC 的相对分子质量之和);

M_2 ——饱和溶液中溶剂的相对分子质量。

1.2.5 溶解度数学模型 Apelblat 溶解度方程建立在理想溶液平衡方程的基础之上, 由 Clausius-Clapeyron 方程推导出来的简化方程[式(3)], 应用于溶解度的数据关联^[15-16]。利用相对偏差(RD)[式(4)]、平均相对偏差(ARD)[式(5)]及均方差(RSMD)[式(6)]来评估模型计算值与试验值之间的偏差。

$$\ln X_{RA} = A + B/T + C \ln T, \quad (3)$$

式中:

A, B, C ——经验常数;

X_{RA} ——摩尔溶解度, mol/kg;

T ——温度, K。

$$R_D = \frac{|X_{i,MOD} - X_{i,EXP}|}{X_{i,EXP}}, \quad (4)$$

$$A_{RD} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_{i,MOD} - X_{i,EXP}}{X_{i,EXP}} \right|, \quad (5)$$

$$R_{SMD} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{i,MOD} - X_{i,EXP})^2}{n}}, \quad (6)$$

式中:

$X_{i,MOD}$ ——模型计算值;

$X_{i,EXP}$ ——试验值。

1.2.6 CBD-CCT 抗聚并稳定性 分别配置质量浓度为 130, 140, 150, 160, 170, 180 mg/mL 的 CBD-CCT 样品溶液, 准确称取少量的辣椒红素于样品溶液中, 保证辣椒红素的质量分数为 2.0%, 待辣椒红素溶解后, 于室温下用移液管分别吸取 5 mL 的 CBD-CCT 样品溶液, 注入 100 mL 超纯水中, 观察 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 min 时水面油滴的聚并情况, 采用肉眼计数法记录不同时间下直径 ≤ 5.5 mm 的游离油滴数量^[17]。向抗聚并稳定性

最好的样品溶液中分别加入体积分数为 5% 的不同分散剂(吐温 20、吐温 40、吐温 80), 探究相同浓度下不同分散剂对 CBD 广谱油聚并的影响; 选出最优分散剂, 添加体积分数 1%, 2%, 5%, 10%, 15% 的最优分散剂, 探究相同分散剂在不同体积分数下对 CBD 广谱油聚并的影响。

1.2.7 数据处理 利用 Origin 2018 进行绘图及 Apelblat 模型试验数据的拟合。

2 结果与分析

2.1 溶剂初步筛选结果

通过观察溶解 CBD 广谱油后溶液的外观, 初步判定溶解性较好的溶剂为辛酸甘油酯和 1,2-丙二醇, 如表 1 所示。

2.2 最大吸收波长及标曲

结果表明, CBD-CCT 和 CBD-1,2-丙二醇这两种溶液体系的最大吸收波长均为 210 ~ 232 nm, 取中间值 220 nm 作为最大吸收波长。

由图 1 可知, CBD 广谱油—CCT 及 CBD 广谱油—1,2-丙二醇溶液的回归方程分别为 $y_1 = 0.0009x_1 + 0.7432$, $R_1^2 = 0.9951$; $y_2 = 0.0007x_2 + 0.6597$, $R_2^2 = 0.9977$ 。2 种溶剂中, CBD 广谱油在 50 ~ 250 mg/mL 范围内均有良好的线性关系。

2.3 温度对溶剂溶解度的影响

由表 2 可知, 随着温度升高, CBD 广谱油在 2 种溶剂中的溶解度逐渐增大, 353 K 时达最大, 温度高于 353 K 后, 溶解度不再增加。在 353 K 时, CBD 广谱油在 CCT 中的溶解度较 313 K 时的增大了近 1.66 倍, 且在相同温度下, CBD 广谱油在 CCT 中的溶解度高于 1,2-丙二醇中的, 因此, 选择 CCT 作为最终溶剂进行后续试验。

2.4 CBD 广谱油相对分子质量和摩尔溶解度

根据式(1)求得 CBD 广谱油的相对分子质量为 314.77。

不同温度下, CBD 广谱油在 CCT 中的摩尔溶解度 X_{RA} 数据结果见表 3。

表 1 CBD 广谱油溶于不同溶剂的初步筛选

Table 1 Preliminary screening of CBD broad spectrum oil soluble in different solvents

溶剂	形态及性质	与广谱油混合后溶液外观
辛酸甘油酯	无色无味透明液体, 可作溶剂, 与各类溶剂、油脂、添加剂、维生素等物质有很好的相溶性	淡黄色透明液体, 流动性好, 无特殊气味
1,2-丙二醇	无色黏稠液体, 可将防腐剂、色素、抗氧化剂等难溶于水的食品添加剂溶解于其中	淡棕色透明液体, 流动性好, 无特殊气味
大豆磷脂	黄棕色黏稠液体, 具有良好的溶油性	深黄色黏稠状液体, 流动性差
蔗糖酯	淡黄色黏稠液体, 具有良好的溶油性	淡黄色絮状液体, 流动性差, 溶解性较差
甘油	无色味黏稠液体, 可用作溶剂、润滑剂和甜味剂	溶液分层, 不相溶

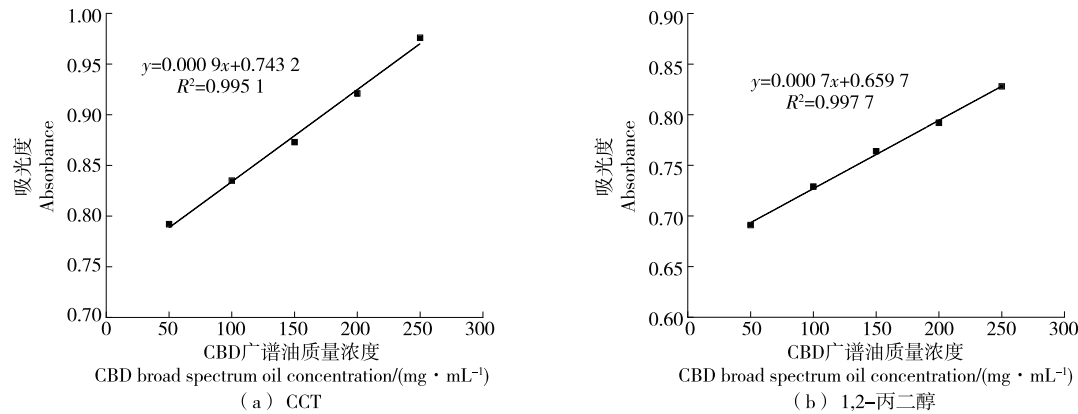


图 1 CBD 广谱油在 2 种溶剂中的标准曲线
Figure 1 Standard curve of CBD broad spectrum oil in two solvents

表 2 不同温度下 CBD 广谱油在 2 种溶剂中的溶解度
Table 2 Solubility of CBD broad spectrum oil in two solvents at different temperatures

温度/K	溶剂溶解度/(mg · mL ⁻¹)	
	辛酸甘油酯	1,2-丙二醇
313	153±0.03	137±0.03
323	169±0.02	152±0.02
333	192±0.04	178±0.04
343	223±0.03	197±0.03
353	254±0.02	214±0.02
363	250±0.02	211±0.02

结果表明,在 313~353 K 范围内,CBD 广谱油的摩尔溶解度具有很高的温度敏感性,即随着温度的升高,CBD 广谱油在 CCT 中的摩尔溶解度逐渐增大。

2.5 Apelblat 模型关联数据

温度为 313~353 K 时,CBD 广谱油在 CCT 中摩尔溶解度的试验值、模型计算值及试验值与模型计算值之间的偏差结果见表 4。

结果表明,该模型能够很好地关联不同温度下 CBD 广谱油在辛酸甘油酯中的摩尔溶解度数据,且 R^2 在 0.98 以上, RD 小于 2.78%, RSMD 为 4.1×10^{-3} ,证明 Apelblat 模型与 CBD 广谱油在 CCT 中的溶解特性有较

表 3 不同温度下 CBD 广谱油在 CCT 中的摩尔溶解度
Table 3 Molar solubility of CBD broad spectrum oil in CCT at different temperatures

温度/K	$X_{RA}/(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$
313	0.197 6
323	0.215 7
333	0.249 2
343	0.258 3
353	0.271 8

表 4 CBD 广谱油在 CCT 中溶解度的试验值与模型值对比

Table 4 Comparison of experimental and model solubility of CBD broad spectrum oil in CCT

温度/K	试验值($\times 10^{-3}$)	模型值($\times 10^{-3}$)	RD/%
313	1.976	1.926	2.53
323	2.157	2.097	2.78
333	2.492	2.465	1.08
343	2.583	2.617	1.32
353	2.718	2.732	0.52
ARD/%		1.65	
RSMD		4.1×10^{-3}	

好的相关性^[18],后续可根据模型直接得出不同温度下 CBD 广谱油在 CCT 中的溶解度数据。

2.6 CBD 广谱油-CCT 抗聚并稳定性研究

2.6.1 CBD-CCT 质量浓度对油脂抗聚并的影响 由图 2 可知,当 CBD-CCT 质量浓度为 170~180 mg/mL

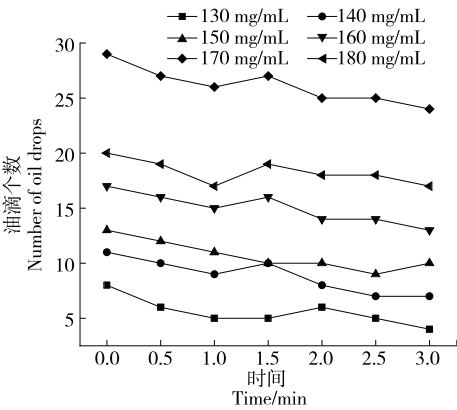


图 2 CBD-CCT 质量浓度对水中油滴个数的影响
Figure 2 Effect of mass concentration of CBD-CCT on the number of oil droplets in water

时,油滴的数量随 CBD-CCT 质量浓度的减少而增多。当 CBD-CCT 质量浓度为 170 mg/mL 时,油滴数量达到最大。当 CBD-CCT 质量浓度 <170 mg/mL 时,油滴数量随 CBD-CCT 质量浓度减少而减少。综上,CBD-CCT 质量浓度为 170 mg/mL 时,油滴抗聚并稳定性更好,体系溶解性呈最稳定的状态。

2.6.2 分散剂对油脂抗聚并的影响 由图 3 可知,加入分散剂的 CBD-CCT 较未加入分散剂的油滴数量均有所增加,说明分散剂有助于增强油滴间的抗聚并稳定性,可能是非离子表面活性剂吐温的加入降低了油—水间的表面张力,界面的能量减少使油滴能更稳定地存在于体系中^[19-20]。相比吐温 20 和吐温 40,加入吐温 80 后 CBD-CCT 在水中的油滴数量最多,体系呈更加稳定的状态。因此,选择吐温 80 作为最佳分散剂。

2.6.3 吐温 80 体积分数对油脂抗聚并的影响 由图 4 可知,当吐温 80 体积分数 $<10\%$ 时,随吐温 80 体积分数的增加,油滴数量增加,油滴的抗聚并稳定性增强。当吐

温 80 体积分数 $>10\%$ 时,随吐温 80 体积分数的增加,油滴数量减少,油滴的抗聚并稳定性反而减弱,可能是因为体系中胶束数量逐渐达到极限,胶束间互相靠近到一定程度时,各自界面上的扩散电层发生重叠,胶束间的静电斥力增加,加速油滴聚并^[21-22]。综上,吐温 80 体积分数为 10% 时, CBD-CCT 体系抗聚并效果最好,溶液相对稳定。

3 结论

通过溶剂极性、溶解 CBD 广谱油后溶液的外观得到溶解性较好的 2 种溶剂——辛酸酸甘油酯(CCT)和 1,2-丙二醇,相同温度下,溶解度最高的溶剂为 CCT。在 CBD-CCT 下,摩尔溶解度和温度之间符合 Apelblat 模型,模型的相关系数(R^2)在 0.98 以上,相对偏差(RD)小于 2.78%,均方根误差(RSMD)为 4.1×10^{-3} 。CBD-CCT 质量浓度为 170 mg/mL 并在其中加入体积分数为 10% 的吐温 80 分散剂时,抗聚并稳定性最好,说明 CBD 在 CCT 中溶解度高且能够很好地处于稳定状态。在已有的 CBD 功效、提取及检测方面研究的基础上筛选合适的溶剂溶解 CBD 广谱油,虽拓宽了 CBD 应用范围,但研究未将 CBD-CCT 应用于食品中,在实践性方面有所欠缺,食品加工过程中添加剂的加入可能会对 CBD 在 CCT 中的溶解度产生影响,需进一步研究。

参考文献

- [1] 孔剑梅, 沈琰. 工业大麻花叶提取大麻二酚工艺技术综述[J]. 云南化工, 2019, 46(8): 1-4.
KONG Jian-mei, SHEN Yan. Review on extraction technology of cannabidiol from industrial hemp leaves[J]. Yunnan Chemical Industry, 2019, 46(8): 1-4.
- [2] BURSTEIN S. Cannabidiol(CBD) and its analogs: A review of their effects on inflammation[J]. Bioorg Med Chem, 2015, 23(7): 1 377-1 385.
- [3] BRIDGEMAN M B, ABAZIA D T. Medicinal cannabis: History, pharmacology, and implications for the acute care setting[J]. A Peer-reviewed Journal for Formulary Management, 2017, 42(3): 180-188.
- [4] 吴军, 于海波. 大麻二酚在神经精神疾病中的作用与分子机制研究进展[J]. 药学报, 2020, 55(12): 2 800-2 810.
WU Jun, YU Hai-bo. Research progress on the role and molecular mechanism of cannabidiol in neuropsychiatric diseases [J]. Acta Pharma Sinica, 2020, 55(12): 2 800-2 810.
- [5] 王语聪, 谢智鑫, 杨文敏, 等. 汉麻叶中大麻二酚的分离纯化及其抗抑郁功能[J]. 精细化工, 2021, 38(4): 795-800, 805.
WANG Yu-cong, XIE Zhi-xin, YANG Wen-Min, et al. Separation and purification of cannabinoid from hemp leaves and its antidepressant function[J]. Fine Chemical Industry, 2021, 38(4): 795-

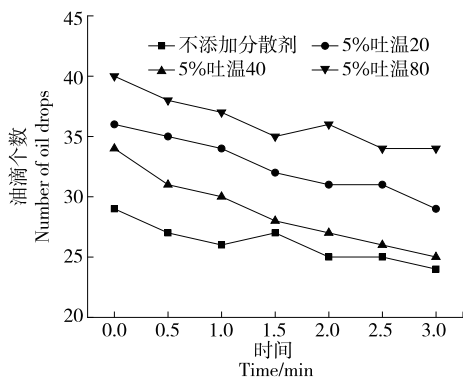


图 3 分散剂对 CBD-CCT 在水中油滴个数的影响

Figure 3 Effect of different dispersants on the number of oil drops of CBD-CCT in water

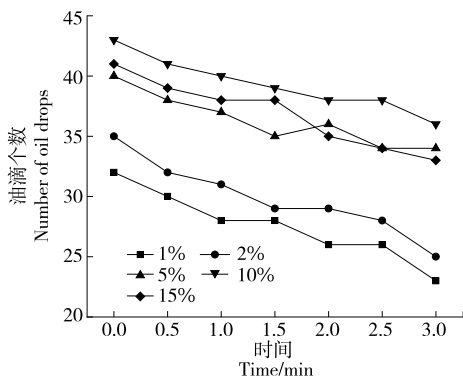


图 4 吐温 80 体积分数对 CBD-CCT 在水中油滴个数的影响

Figure 4 Influence of Tween 80 with different volume fraction on the number of oil droplets of CBD-CCT in water

- 800, 805.
- [6] 高哲, 张志军, 李晓君, 等. 大麻叶中大麻二酚的热回流法提取工艺研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(3): 107-111.
GAO Zhe, ZHANG Zhi-jun, LI Xiao-jun, et al. Study on the extraction process of cannabiniol from hemp leaves by thermal reflux[J]. China Oil, 2019, 44(3): 107-111.
- [7] 周莹, 陈念念, 韩丽, 等. UPLC-MS/MS 同时测定四种食品基质中痕量四氢大麻酚、大麻二酚和大麻酚[J]. 现代食品科技, 2019, 35(12): 315-321, 301.
ZHOU Ying, CHEN Nian-nian, HAN Li, et al. Simultaneous determination of trace tetrahydrocannabinol, cannabidiol and cannabiniol in four food matrices by UPLC-MS/MS[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(12): 315-321, 301.
- [8] MILLAR S A, MAGUIRE R F, YATES A S, et al. Towards better delivery of cannabidiol (CBD)[J]. Pharmaceuticals, 2020, 13(9): 2 020.
- [9] NATHAN K, OLIVIER J, YOURI G, et al. Cannabidiol aqueous solubility enhancement: Comparison of three amorphous formulations strategies using different type of polymers[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2020, 589: 119812.
- [10] HELENE P B, MAAIKE C K, MAAIKE J E, et al. Solubility of non-psychoactive cannabinoids in supercritical carbon dioxide and comparison with psychoactive cannabinoids[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2010, 55(2): 603-608.
- [11] 郭惠, 杨若澜, 李卫涛, 等. 紫外分光光度法测定吴茱萸碱及吴茱萸次碱的溶解度及油水分配系数[J]. 化学与生物工程, 2019, 36(11): 64-67.
GUO Hui, YANG Ruo-lan, LI Wei-tao, et al. Determination of solubility and oil-water partition coefficient of evodiamine and rutaecarpine by UV spectrophotometry [J]. Chemistry and Bioengineering, 2019, 36(11): 64-67.
- [12] LALIT K, SUHAS B S, GIRISH K P, et al. Determination of saturated solubility of naproxen using UV visible spectrophotometer[J]. Research Journal of Pharmacy and Technology, 2015, 8(7): 825-828.
- [13] 袁飞, 何琳, 丁沐淦, 等. 静态法与动态法测定药物水中溶解度的探讨[J]. 广东药学院学报, 2010, 26(5): 462-465.
YUAN Fei, HE Lin, DING Mu-gan, et al. Determination of solubility of drugs in water by static method and dynamic method[J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2010, 26(5): 462-465.
- [14] 李鹏娟, 李颖, 汪勇, 等. 水溶性抗氧化剂迷迭香酸在大豆油中溶解特性研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(5): 36-41.
LI Peng-juan, LI Ying, WANG Yong, et al. Study on the solubility of rosmarinic acid in soybean oil[J]. Chinese Journal of Oils and Fats, 2020, 45(5): 36-41.
- [15] JIE Li, ZHANG Xin-wei, LIU Quan-jie, et al. Measurement and correlation of solubility of 1,3,5-trioxane in binary solvents from (288.15 to 328.15) K[J]. Journal of Molecular Liquids, 2017, 234: 469-480.
- [16] ZHANG Xiang-yang, QIAN Gang, WANG Rui, et al. Correlation of solubility and calculation of thermodynamic properties of guanidine nitrate in different solvents[J]. Fluid Phase Equilibria, 2015, 388: 59-65.
- [17] 姚晓雪, 姚晓琳, 徐凯, 等. 辛酸甘油酯和橄榄油的极性调控研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 8-12.
YAO Xiao-xue, YAO Xiao-lin, XU Kai, et al. Study on polarity regulation of octadecanoic acid glyceride and olive oil[J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(17): 8-12.
- [18] 陈丽芳, 张勤勤, 林田, 等. 硼酸在氯化钙溶液中溶解度的测定与关联[J]. 无机盐工业, 2019, 51(5): 70-73.
CHEN Li-fang, ZHANG Qin-qin, LIN Tian, et al. Determination and correlation of solubility of boric acid in calcium chloride solution[J]. Inorganic Salt Industry, 2019, 51(5): 70-73.
- [19] LESLIE Y, OMAR K, MATAR E S, et al. Film drainage between two surfactant-coated drops colliding at constant approach velocity[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2003, 257(1): 93-107.
- [20] SUBRAMANIE A P, VPADHI A, RIDZUAN N, et al. Experimental study on the effect of wax inhibitor and nanoparticles on rheology of Malaysian crude oil[J]. Journal of King Saud University-Engineering Sciences, 2020, 32(8): 479-483.
- [21] 刘方, 陈强, 张冬翔. 水包油乳液的流变特性和黏度实验研究[J]. 工程热物理论, 2020, 41(12): 2 908-2 913.
LIU Fang, CHEN Qiang, ZHANG Dong-xiang. Experimental study on rheological properties and viscosity of oil in water emulsion[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2020, 41(12): 2 908-2 913.
- [22] 任智, 陈志荣, 吕德伟. 非离子表面活性剂乳液体系抗聚并稳定性的实验与分析[J]. 化工学报, 2002(3): 257-262.
REN Zhi, CHEN Zhi-rong, LU De-wei. Experiment and analysis of anti aggregation stability of nonionic surfactant emulsion system[J]. Acta Chemical Engineering, 2002(3): 257-262.