

## 陕西茵陈黄酮提取及抗氧化性能研究

史娟<sup>1</sup>, 张泽浩<sup>2</sup>, 李江<sup>1</sup>, 葛红光<sup>1</sup>

(1. 陕西理工大学 化学与环境科学学院, 陕西省催化重点实验室, 陕西 汉中 723000; 2. 陕西中医药大学, 陕西 咸阳 712046)

**摘要:**以陕西茵陈为原料, 采用超声波预处理-乙醇回流法提取茵陈黄酮, 以乙醇体积分数、回流时间、回流温度和料液比为因素, 茵陈黄酮得率为考察指标, 确定茵陈黄酮的最佳提取工艺。研究了茵陈黄酮抗脂质过氧化能力和 DPPH 自由基清除能力, 及温度、光照、pH、金属离子对茵陈黄酮抗氧化性能的影响。结果表明: 茵陈黄酮最佳提取条件为乙醇体积分数 50%、回流时间 50 min、回流温度 90 °C、料液比 1:25, 在此条件下茵陈黄酮得率为 2.35%。温度和 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 对茵陈黄酮抗氧化能力影响不大; Cd<sup>3+</sup>、Cr<sup>3+</sup>、Al<sup>3+</sup> 以及 pH、光照对茵陈黄酮抗氧化能力影响显著。此外, 茵陈黄酮对菜籽油具有一定的抗氧化能力, 分别与 V<sub>c</sub> 和柠檬酸协同作用时其抗氧化能力增强。

**关键词:**茵陈; 黄酮; 提取; 抗氧化; 稳定性

中图分类号: S567; TQ917

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2018)09-0030-06

### Extraction and antioxidant activity of flavonoids from *Capillary artemisia* in Shaanxi

SHI Juan<sup>1</sup>, ZHANG Zehao<sup>2</sup>, LI Jiang<sup>1</sup>, GE Hongguang<sup>1</sup>

(1. Shaanxi Key Laboratory of Catalysis, School of Chemical and Environmental Sciences, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, Shaanxi, China;  
2. Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712046, Shaanxi, China)

**Abstract:** Taking *Capillary artemisia* in Shaanxi as raw material, with ethanol volume fraction, reflux time, reflux temperature and solid-liquid ratio as factors, and flavonoids yield as index, the extraction of flavonoids from *Capillary artemisia* was studied by ultrasonic pretreatment-ethanol reflux method. The antioxidant activity of *Capillary artemisia* flavonoids was determined by studying the anti-lipid peroxidation ability and scavenging DPPH free radical ability. The results showed that the optimal extraction conditions of flavonoids from *Capillary artemisia* were obtained as follows: ethanol volume fraction 50%, reflux time 50 min, reflux temperature 90 °C and solid-liquid ratio 1:25. Under these conditions, flavonoids yield was 2.35%. Temperature, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Cu<sup>2+</sup> had little effect on the antioxidant ability of *Capillary artemisia* flavonoids. Light illumination, pH, Cd<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup> and Al<sup>3+</sup> had significant effect on the antioxidant ability of *Capillary artemisia* flavonoids. In addition, *Capillary artemisia* flavonoids had certain antioxidant capacity on rapeseed oil, and vitamin C and citric acid exhibited a synergistic antioxidation effect.

**Key words:** *Capillary artemisia*; flavonoids; extraction; antioxidation; stability

茵陈, 又名白蒿, 为菊科植物滨蒿 (*Artemisia sco-*

*paria* Waldst. et Kit.) 或茵陈蒿 (*Artemisia capillaries* Thunb) 的干燥地上部分, 在我国陕西、山西、安徽、浙江、江苏等省均有生长<sup>[1]</sup>。在我国传统中医临床上, 茵陈主要用于治疗黄疸性肝胆疾病<sup>[2]</sup>; 现代药理研究表明, 茵陈还具有镇痛消炎<sup>[3-4]</sup>、抗病原微生物<sup>[5-6]</sup>、抗肿瘤及调节血糖血脂<sup>[7-8]</sup>作用。目前, 茵陈有效成分研究多集中在香豆素及绿原酸的提纯开

收稿日期: 2017-11-27; 修回日期: 2018-05-19

基金项目: 国家自然科学基金 (21373132); 陕西省教育厅 2017 年科学研究项目 (17JS026)

作者简介: 史娟 (1978), 女, 副教授, 博士, 研究方向为天然产物化学和有机合成 (E-mail) 446269824@qq.com。

发<sup>[2,9-10]</sup>,对茵陈黄酮抗氧化性能的研究较少<sup>[11-13]</sup>,特别是关于抗氧化稳定性的研究尚未见到文献报道。陕西茵陈因其香豆素、黄酮、绿原酸及K、Fe等微量元素含量较高,具有很好的营养及药用价值<sup>[8]</sup>。秦巴山区是陕西省油菜生产的最佳适生区,配合陕南油脂产业规模大、产量高的发展要求,开发具有抗氧化活性强、与机体亲和力强和安全性高、性能稳定等优点的黄酮天然抗氧化剂,对陕南食用油脂质量防控具有重要意义。本文利用超声波预处理-乙醇回流法探索茵陈黄酮的提取工艺,研究茵陈黄酮抗脂质过氧化能力和清除DPPH自由基能力,并进一步探讨茵陈黄酮抗氧化稳定性,为茵陈的深入开发利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

茵陈,汉中市药材批发市场(洗净、沥干、烘干并研细,过筛后密封备用);“定军春”牌菜籽油,陕西春光油脂有限公司;淀粉指示剂;芦丁对照品,中国药品生物制品检定所;DPPH(1,1-二苯基-2-苦肟基),美国Sigma-Aldrich公司;无水乙醇、氯仿、冰醋酸、浓盐酸、亚硝酸钠、硝酸铝、硫代硫酸钠、氢氧化钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、氯化钠、氯化钾、氯化钙、氯化铜、氯化铬、氯化镉、氯化铝、碘化钾、重铬酸钾等均为分析纯。

#### 1.1.2 仪器与设备

SB3200DT超声波清洗机,宁波斯芝生物科技股份有限公司;RE-52AA型旋转蒸发仪,上海亚荣生化仪器厂;722-G型紫外可见分光光度计,上海精密仪器科学有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 茵陈黄酮提取及含量的测定

采用亚硝酸钠-硝酸铝络合分光光度法测定黄酮含量<sup>[14-15]</sup>。以芦丁为标准品,得到标准曲线方程为: $A = 17.519 C - 0.011$  ( $R^2 = 0.9993$ ),式中: $C$ 为芦丁质量浓度,mg/mL; $A$ 为吸光度。

称取适量茵陈粉末,加入提取溶液,320 W超声预处理30 min后,加热回流,抽滤、浓缩后定容至100 mL容量瓶中。在510 nm处测定提取液的吸光度。按下式计算茵陈黄酮的得率。

$$\text{茵陈黄酮得率} = \frac{C \times V \times n}{m} \times 100\%$$

式中: $C$ 为经芦丁标准曲线方程计算得到的茵

陈黄酮质量浓度,mg/mL; $V$ 为提取体积,mL; $n$ 为稀释倍数; $m$ 为茵陈质量,mg。

#### 1.2.2 DPPH自由基清除率的测定

参照文献[16]方法测定茵陈黄酮清除DPPH自由基的能力。以茵陈黄酮质量浓度为横坐标,以清除率为纵坐标作图,得到茵陈黄酮质量浓度与DPPH自由基清除率的相互关系。

#### 1.2.3 茵陈黄酮抗氧化稳定性研究

参照文献[16]方法,在517 nm波长下,通过测定茵陈黄酮在不同温度、光照、pH及金属离子等条件下吸光度的变化,考察其对DPPH自由基清除率的变化,对茵陈黄酮抗氧化稳定性进行研究。

#### 1.2.4 茵陈黄酮对食用油稳定性的影响

##### 1.2.4.1 不同添加量的茵陈黄酮对食用油稳定性的影响

通过参照文献[17-18]方法,将菜籽油及添加了一定量茵陈黄酮的菜籽油,避光保存于65℃烘箱中,每隔2 d取样测定过氧化值,并评定茵陈黄酮对菜籽油稳定性的影响。

##### 1.2.4.2 茵陈黄酮与增效剂协同作用对食用油稳定性的影响

在油脂抗氧化实验结果的基础上,将茵陈黄酮与V<sub>C</sub>或柠檬酸(质量比1:1)组成复配抗氧化剂,将复配物按油样质量的0.08%加入菜籽油中,混合均匀,以未添加复配抗氧化剂油样做空白,并与单独添加茵陈黄酮、V<sub>C</sub>、柠檬酸的进行比较。按1.2.4.1实验条件,分别测定各油样过氧化值,分析茵陈黄酮分别与V<sub>C</sub>、柠檬酸复配在油脂抗氧化方面的协同性能。

#### 1.2.5 数据处理

实验数据均重复测量3次,取平均值,数据分析采用Origin 8.5软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 茵陈黄酮提取的单因素实验

#### 2.1.1 最佳乙醇体积分数的选择

称取一定质量的茵陈粉末5份,按照料液比1:20,分别加入体积分数为40%、50%、60%、70%、80%的乙醇溶液,预处理后,60℃下回流80 min,研究乙醇体积分数对黄酮得率的影响,结果见图1。

由图1可知,随着乙醇体积分数增大,茵陈黄酮得率逐渐增加。这是因为黄酮类化合物在乙醇中溶解性较好,乙醇体积分数越大,溶解于其中的茵陈黄酮化合物就越多。在乙醇体积分数为50%时,黄酮得率达到最大。继续增加乙醇体积分数,易导致茵

陈中其他脂溶性物质杂质同时溶出,干扰实验测定。故最佳乙醇体积分数为 50%。

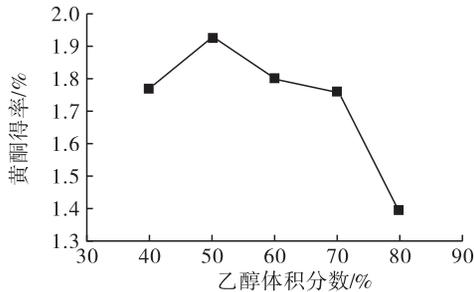


图 1 乙醇体积分数对黄酮得率的影响

### 2.1.2 最佳回流时间的选择

取一定质量的茵陈粉末 5 份,按照料液比 1:20 加入体积分数 50% 乙醇溶液,预处理后,60℃ 下分别回流 50、80、110、140、170 min,考察回流时间对黄酮得率的影响,结果见图 2。

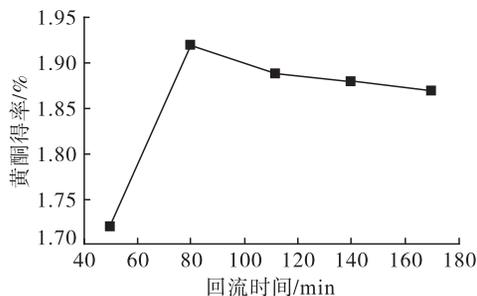


图 2 回流时间对黄酮得率的影响

由图 2 可知,在一定范围内,随回流时间的延长,茵陈黄酮得率逐渐增加,回流时间为 80 min 时达到最大值。这是因为回流时间过短,黄酮类化合物溶解不完全,延长回流时间利于黄酮类化合物的溶解;但较长时间的加热易造成溶剂乙醇的挥发,从而影响黄酮类化合物提取。故最佳回流时间为 80 min。

### 2.1.3 最佳回流温度的选择

取一定质量的茵陈粉末 5 份,按照料液比 1:20 加入体积分数 50% 的乙醇溶液,预处理后,分别于 50、60、70、80、90℃ 下回流 80 min,考察回流温度对黄酮得率的影响,结果见图 3。

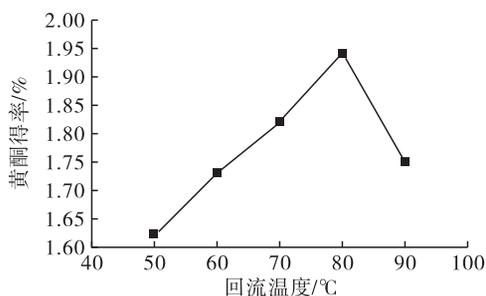


图 3 回流温度对黄酮得率的影响

由图 3 可知,随回流温度的升高,茵陈黄酮得率

增加。回流温度升高,分子热运动加快,溶质与溶剂能够充分接触,有利于黄酮类化合物从细胞转移到溶剂中。但温度过高(超过 80℃),可能导致活性结构被破坏,且杂质的溶出量也会相应增多。故最佳回流温度为 80℃。

### 2.1.4 最佳料液比的选择

取一定质量的茵陈粉末 5 份,分别按料液比 1:15、1:20、1:25、1:30、1:35 加入体积分数 50% 乙醇溶液,预处理后,80℃ 下回流 80 min,研究料液比对黄酮得率的影响,结果见图 4。

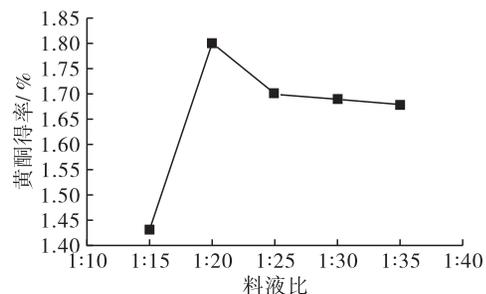


图 4 料液比对黄酮得率的影响

由图 4 可知,随着料液比的增大,茵陈黄酮的得率逐渐增大,这是因为在大溶剂量存在的情况下,黄酮类化合物更易溶解在溶剂中。料液比 1:20 时茵陈黄酮得率最大;继续增加料液比,茵陈黄酮得率呈下降趋势。在保证提取效率的同时,应减少溶剂的用量,可降低提取成本,便于操作。故最佳料液比为 1:20。

### 2.2 茵陈黄酮提取的正交实验

在单因素实验基础上,以乙醇体积分数、回流时间、回流温度和料液比为因素,设计  $L_9(3^4)$  正交实验确定超声波预处理-乙醇回流法提取茵陈黄酮的最佳工艺条件,正交实验因素水平见表 1,正交实验设计及结果见表 2。

表 1 正交实验因素水平

水平	A 乙醇体积分分数/%	B 回流时间/min	C 回流温度/℃	D 料液比
1	40	50	70	1:15
2	50	80	80	1:20
3	60	110	90	1:25

由表 2 可知,各因素对茵陈黄酮得率影响的大小次序是  $D > A > C > B$ ,即料液比的影响最大,其次是乙醇体积分数和回流温度,回流时间的影响最小。茵陈黄酮的最佳提取工艺是  $A_2B_1C_3D_3$ ,即乙醇体积分数 50%,回流时间 50 min,回流温度 90℃,料液比 1:25。为了进一步考察上述最佳提取工艺的稳定性,按最佳工艺条件进行 3 次平行实验,茵陈黄酮平均

得率为2.35%。

表2 正交实验设计及结果

实验号	A	B	C	D	得率/%
1	1	1	1	1	1.56
2	1	2	2	2	1.58
3	1	3	3	3	1.97
4	2	1	2	3	2.16
5	2	2	3	1	1.77
6	2	3	1	2	1.73
7	3	1	3	2	1.77
8	3	2	1	3	1.88
9	3	3	2	1	1.63
$k_1$	1.70	1.83	1.72	1.65	
$k_2$	1.89	1.74	1.79	1.69	
$k_3$	1.76	1.78	1.84	2.00	
R	0.19	0.09	0.12	0.35	

### 2.3 茵陈黄酮清除 DPPH 自由基能力(见图5)

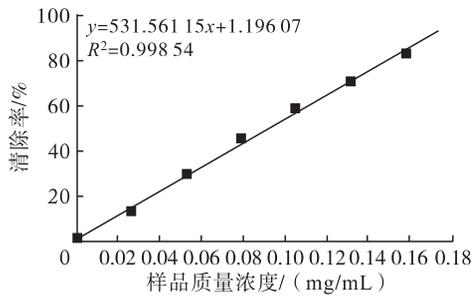


图5 样品质量浓度对 DPPH 自由基清除率的影响

由图5可知,在一定范围内,茵陈黄酮清除 DPPH 自由基能力与样品质量浓度具有线性关系,拟合方程为: $y=531.56115x+1.19607$ ,  $R^2=0.99854$ 。式中: $y$ 为清除率,%; $x$ 为样品质量浓度,mg/mL。在样品质量浓度为0.16 mg/mL时,DPPH 自由基清除率超过80%。

### 2.4 茵陈黄酮抗氧化稳定性

#### 2.4.1 温度对抗氧化稳定性的影响(见图6)

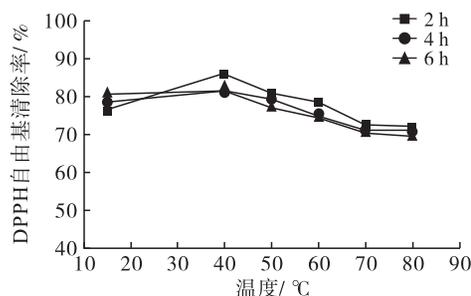


图6 温度对抗氧化稳定性的影响

由图6可知,40~80℃范围内,茵陈黄酮对 DPPH 自由基的清除作用随着温度的升高缓慢下降;下降幅度同时还受热处理时间的影响,但总体浮动较小。与未进行加热处理的茵陈黄酮相比,茵陈黄

酮在高温下抗氧化能力未见明显衰减,仍表现出较强的抗氧化性,故温度茵陈黄酮对抗氧化能力影响不显著。

#### 2.4.2 光照对抗氧化稳定性的影响(见图7)

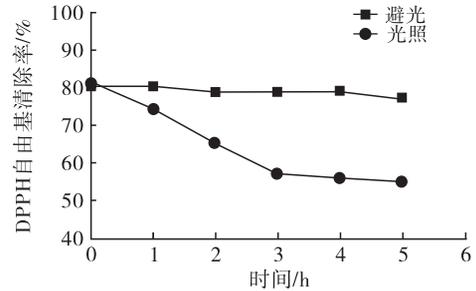


图7 光照对抗氧化稳定性的影响

由图7可知,随着光照时间延长,DPPH 自由基清除率不断降低;在光照时间延长至3 h时,DPPH 自由基清除率降到57%,此后趋于平缓,清除率共下降了24个百分点;而未光照的对照组,清除率仅下降了3个百分点。说明茵陈黄酮对 DPPH 自由基的清除作用在光照条件下不稳定,应避免在光照条件下贮存或运输。

#### 2.4.3 pH 对抗氧化稳定性的影响(见图8)

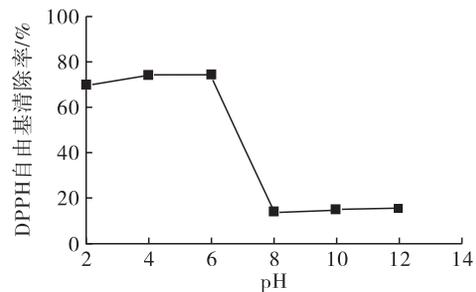


图8 pH 对抗氧化稳定性的影响

由图8可知,酸性条件下茵陈黄酮对 DPPH 自由基的清除作用较为稳定,在 pH 2~6 的范围内,DPPH 自由基清除率几乎没有变化。但当 pH 达到中性时,清除率开始迅速下降,在 pH 8 时,清除率下降至最低点13.92%。这一实验结果与黄酮类化合物结构的酚羟基在碱性环境下易被破坏有关,也是导致茵陈黄酮抗氧化活性降低的主要原因。

#### 2.4.4 金属离子对抗氧化稳定性的影响(见图9)

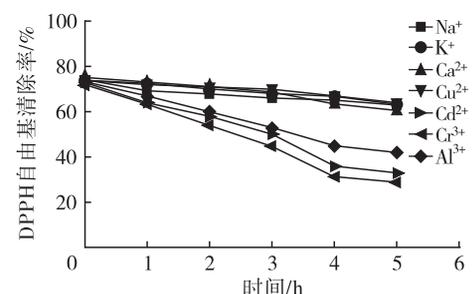


图9 金属离子对抗氧化稳定性的影响

由图 9 可知,在设定的质量浓度范围内, $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  对茵陈黄酮清除 DPPH 自由基的活性影响较小;而  $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  的影响较大,且随着时间延长,抗氧化活性不断下降。这是因为黄酮化合物结构所包含的酚羟基或羰基,易与金属离子发生络合反应,黄酮结构受到破坏,导致性质发生改变,抗氧化活性随之降低。

## 2.5 茵陈黄酮对食用油稳定性的影响

### 2.5.1 不同添加量茵陈黄酮对食用油稳定性的影响(见图 10)

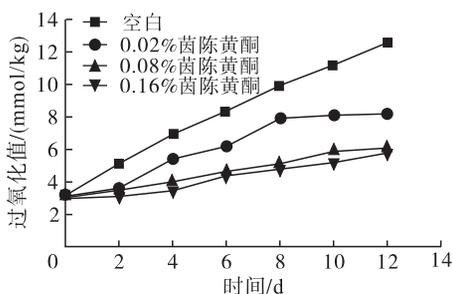


图 10 不同添加量茵陈黄酮对食用油稳定性的影响

由图 10 可知,与空白食用油相比,添加茵陈黄酮后,食用油的抗氧化能力有较为明显的改善;而且随着茵陈黄酮添加量的增大,抗氧化能力逐渐增强。这主要是因为黄酮类化合物所具有的多酚结构易被氧化为酚基自由基,阻止了自动氧化链反应的传递,从而抑制进一步被氧化<sup>[19]</sup>。

### 2.5.2 茵陈黄酮与增效剂协同作用对食用油稳定性的影响(见图 11)

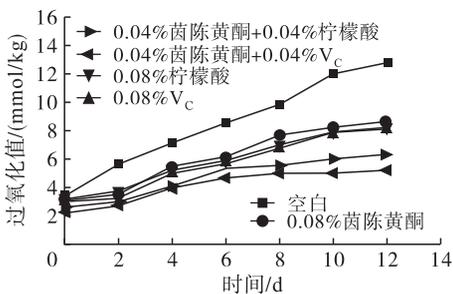


图 11 茵陈黄酮与增效剂协同作用对食用油稳定性的影响

由图 11 可知,添加  $\text{V}_c$ 、柠檬酸复配后,茵陈黄酮的抗氧化活性增高,表明  $\text{V}_c$  和柠檬酸对茵陈黄酮延缓菜籽油氧化具有一定协同增效作用,且  $\text{V}_c$  增效作用较柠檬酸更强。这主要是因为  $\text{V}_c$ 、柠檬酸可与油样中的金属离子发生络合作用,从而抑制了油脂氧化。

## 3 结论

采用超声波预处理-乙醇回流法对茵陈黄酮进行了提取研究,得到最佳提取工艺为乙醇体积分数 50%、回流时间 50 min、回流温度 90℃、料液比 1:25,该条件下茵陈黄酮得率为 2.35%。

通过抗脂质过氧化研究和 DPPH 自由基清除能力研究,证明茵陈黄酮有较好的抗氧化能力。温度和  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  对茵陈黄酮清除 DPPH 自由基的能力影响不大;而金属离子  $\text{Cd}^{3+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  以及 pH、光照对其抗氧化能力影响较大。因此,在对茵陈黄酮的制备和使用过程中,应避免强碱或强光,在避光条件下保存,同时要注意避免和金属离子  $\text{Cd}^{3+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  接触。茵陈黄酮可显著改善菜籽油的抗氧化能力, $\text{V}_c$  和柠檬酸对茵陈黄酮抗氧化具有一定协同增效作用,且  $\text{V}_c$  增效作用较柠檬酸更强。以上研究证实茵陈可作为潜在的天然抗氧化剂资源,进一步研究其提取物有效抗氧化成分,并研究作用机理等后续工作,有望进行深开发并应用于保健品、食品和药品等领域。

## 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
- [2] 王喜军,李廷利,孙晖. 茵陈蒿汤及其血中移行成分 6,7-二甲氧基香豆素的肝保护作用[J]. 中国药理学通报, 2004, 20(2): 239-240.
- [3] HABIB M, WAHEED I. Evaluation of antinociceptive, anti-inflammatory and antipyretic activities of *Artemisia scoparia* hydromethanolic extract[J]. J Ethnopharm, 2013, 145: 18-24.
- [4] CHA J D, MOON S E, KIM H Y, et al. The essential oil isolated from *Artemisia capillaris* prevents LPS-induced production of NO and PGE(2) by inhibiting MAPK-mediated pathways in RAW264.7 macrophages[J]. Immunol Invest, 2009, 38(6): 483-497.
- [5] RAKESH K J. Antimicrobial activity of volatile oil of *Artemisia capillaris* growing wild in uttrakhand himalaya[J]. J Pharmacog Phytochemist, 2013, 1(6): 122-126.
- [6] 陈丽凤,陈婷,房志家,等. 四种药用植物提取物抑菌保鲜活性的研究[J]. 食品科技, 2012, 37(8): 259-263.
- [7] FENG G, WANG X, YOU C, et al. Antiproliferative potential of *Artemisia capillaris* polysaccharide against human nasopharyngeal carcinoma cells[J]. Carbohydr Polym, 2013, 92(2): 1040-1045.
- [8] 沈飞海,葛文涛,潘竞镛,等. 茵陈蒿提取物对胰岛素抵抗大鼠调脂降压作用及其机制研究[J]. 中成药, 2008, 30(1): 1573-1576.
- [9] 王如意,欧桥英,周伟明. 十批茵陈中药材的质量分析研究[J]. 黑龙江医药, 2015, 28(4): 737-739.
- [10] 王韵,赵亮,柴逸峰,等. RP-HPLC 法同时测定茵陈蒿汤中 14 个成分[J]. 药物分析杂志, 2017(3): 393-401.

(下转第 39 页)

形式、SU<sub>2</sub>转换为β'形式,裹挟周围液态油至凝固。

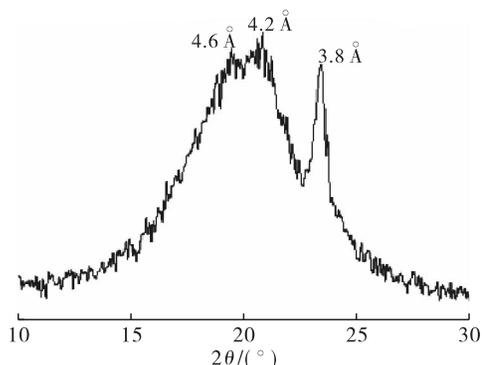


图3 晶型衍射图

### 3 结论

研究表明,花生油产生凝固的原因主要受其特有脂肪酸(Ad、G)及其他长链脂肪酸所形成的甘油三酯影响,花生油放置温度低于7℃,以SU<sub>2</sub>、S<sub>2</sub>U型甘油三酯为主导,形成β、β'晶体裹挟周围液态油,分散在花生油中独特的长链高熔点甘油三酯开始相互作用,通过范德华力随着温度降低,形成细小的晶体,并结合导致系统的固定化。自然储存过程中由于温度波动(如秋季放置到冬季或者冬季放置到春季数月)一些高熔点的甘油三酯析出沉降导致沉淀的产生。本研究有助于进一步理解花生油在中低温环境下出现凝固现象的原因,为解决花生油在市场中可能存在的自然沉淀及凝固现象提供研究基础。

#### 参考文献:

- [1] 周垂钦,祝清俊,段友臣,等. 我国花生油产业发展现状与前景[J]. 中国油脂,2009,34(10):5-8.
- [2] SHAMIM A, NAUMAN K, IFTIKHAR A, et al. Physico-chemical characteristics, functional properties, and nutritional benefits of peanut oil: a review[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2014,54(12):1562-1575.
- [3] HUI Y H. Bailey's industrial oil and fat products: vol. 1, edible oil and fat products[M]//GUNSTONE F D. Gener-

al applications. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.

- [4] O'BRIEN R D. Fats and oils: formulating and processing for applications[M]. New York: Crc Press, 1998.
- [5] 李红艳,邓泽元,李静,等. 不同脂肪酸组成的植物油氧化稳定性的研究[J]. 食品工业科技,2010,31(1):173-182.
- [6] 巫森鑫,邬国英,韩瑛,等. 6种食用植物油及其生物柴油中脂肪酸成分的比较研究[J]. 中国油脂,2003,28(12):65-67.
- [7] ZHANG T, LOU F, TAO G, et al. Composition and structure of single cell oil produced by schizochytrium limacinum, SR31 [J]. J Am Oil Chem Soc, 2016, 93(10):1-10.
- [8] CARRÍN M E, CARELLI A A. Peanut oil: compositional data[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2010,112(7):697-707.
- [9] 管方方,何卓琼,方燕,等. GC-MS分析食用油中甘油三酯的研究进展[J]. 中国油脂,2014,39(5):76-80.
- [10] MARANGONI A G, ACEVEDO N, MALEKY F, et al. Structure and functionality of edible fats[J]. Soft Matt, 2012,8(5):1275-1300.
- [11] HUI Y H. Bailey's industrial oil and fat products: vol. 3 [M]// YOUNG T. Peanut oil. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 1996:377-392.
- [12] RIBEIRO A P B, BASSO R C, GRIMALDI R, et al. Influence of chemical interesterification on thermal behavior, microstructure, polymorphism and crystallization properties of canola oil and fully hydrogenated cottonseed oil blends. [J]. Food Res Int, 2009,42(8):1153-1162.
- [13] MENG Z, YANG L J, GENG W X, et al. Kinetic study on the isothermal and nonisothermal crystallization of mono-glyceride organogels[J]. Sci World J, 2014(2):1-7.
- [14] SATO K. Crystallization behaviour of fats and lipids — a review[J]. Chem Eng Sci, 2001, 56(7):2255-2265.

(上接第34页)

- [11] 齐善厚. 茵陈黄酮的抗氧化及镇痛作用研究[J]. 现代食品科技, 2003, 13(19): 501-504.
- [12] 廖莉,张婧萱,唐贞荣,等. 茵陈中总黄酮的提取及对羟自由基的清除作用[J]. 科技创新导报, 2008(9): 202,205.
- [13] 李娟,马占强. 茵陈黄酮类化合物体外抗氧化性研究[J]. 农产品加工, 2009(8): 74-75.
- [14] FU B Q, LI H, WANG K R, et al. Isolation and identification of flavonoids in licorice and a study of their inhibitory effects on tyrosinase [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(19): 7408-7414.

- [15] 高愿军,王晶晶,周婧琦,等. 秋葵中总黄酮提取工艺探讨[J]. 食品科技, 2016, 41(3): 213-217.
- [16] 史娟,李江,葛红光. 秦巴杜仲雄花总黄酮的提取及抗氧化稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16): 252-256.
- [17] 霍文兰,刘步明,曹艳萍. 陕北红枣总黄酮提取及其抗氧化性研究[J]. 食品科技, 2006, 31(10): 45-47.
- [18] 文良娟,王维,王斌,等. 芒果叶中黄酮和多酚含量及抗氧化性研究[J]. 食品工业, 2013(1): 144-147.
- [19] 许海棠,赵彦芝,张金彦,等. 响应面法提取瓶尔小草总黄酮及其抗氧化活性[J]. 食品科技, 2017, 42(2): 215-220.