

油茶籽油基复合油凝胶的制备工艺研究

方怡婷¹, 吴雪辉^{1,2}

(1. 华南农业大学 食品学院, 广州 510642; 2. 广东省油茶工程技术研究中心, 广州 510642)

摘要:以油茶籽油为基料油,通过添加单甘酯与蜂蜡制备复合油凝胶,探讨复合凝胶剂添加量、单甘酯与蜂蜡质量比、加热温度以及加热时间对油茶籽油基复合油凝胶持油性的影响。在单因素试验的基础上,采用 Box - Behnken 试验设计方法优化试验条件,并对复合油凝胶体系的性质进行分析。结果表明,油茶籽油基复合油凝胶的最优制备工艺条件为:复合凝胶剂添加量 9.9%,单甘酯与蜂蜡质量比 4:6,加热温度 71 ℃,加热时间 47 min。在最优工艺条件下,复合油凝胶持油性为 98.70%,体系中存在 α 、 β 、 β' 3 种晶型,并且与单一凝胶剂油凝胶相比,油茶籽油基复合油凝胶具有较好的持油性和适中的硬度。

关键词:油茶籽油;油凝胶;持油性;单甘酯

中图分类号:TS221;TS201.7 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2020)10-0068-06

Preparation of compound oil - tea camellia seed oil oleogel

FANG Yiting¹, WU Xuehui^{1,2}

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Guangdong Province Engineering Technology Research Center of Camellia Oleifera, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The oil - tea camellia seed oil was used as the raw material oil, the compound oleogel was prepared by adding monoglyceride and beeswax. The effects of dosage of compound gel agent, mass ratio of monoglyceride to beeswax, heating temperature and heating time on the oil holding capacity of compound oil - tea camellia seed oil oleogel were investigated. Based on the single factor experiment, the Box - Behnken experimental design methodology was used to optimize the test conditions, and the property of compound oleogel system was analyzed. The results showed that the optimal preparation conditions of compound oleogel were obtained as follows: dosage of compound gel agent 9.9%, mass ratio of monoglyceride to beeswax 4:6, heating temperature 71 ℃, heating time 47 min. Under the optimal process conditions, the oil holding capacity of the compound oleogel reached 98.70%, and three crystal forms of α , β and β' were in the oleogel system. Compared with the single oleogel, the compound oil - tea camellia seed oil oleogel had better oil holding capacity and moderate hardness.

Key words: oil - tea camellia seed oil; oleogel; oil holding capacity; monoglyceride

油凝胶是在一定的加工条件下向液态植物油中添加一些凝胶剂,使植物油通过凝胶因子之间的超分子网络交联变成的固态油脂^[1]。与氢化或酯交

换生产的固态油脂相比,油凝胶不仅具有半固态油脂的黏弹性,而且反式脂肪酸和饱和脂肪酸含量低,在食品、医药、日化品等领域被广泛应用^[2-3]。目前,制备油凝胶的凝胶剂主要有生物蜡、乙基纤维素、脂肪酸和脂肪醇、植物化学成分(谷甾醇和谷维素)、单甘酯等^[4]。其中,单甘酯和蜂蜡是性价比较高的凝胶剂^[5]。但有研究发现,纯单甘酯制备的油凝胶结合油的能力不强,而单一蜂蜡制备的油凝胶也存在硬度过大、触变性差等问题^[6]。如何将不同特性的凝胶剂复配制备油凝胶成为了众多

收稿日期:2019-12-18;修回日期:2020-04-27

基金项目:广东省林业科技创新项目(2017KJCX005)

作者简介:方怡婷(1996),女,在读硕士,研究方向为粮油食品加工(E-mail)985210471@qq.com。

通信作者:吴雪辉,教授,博士(E-mail)xuehu@scau.edu.cn。

学者研究的方向。

油茶籽油不饱和脂肪酸含量高达90%,且富含茶多酚、 V_E 、 β -胡萝卜素、角鲨烯等生物活性成分^[7-8]。目前,国内对油茶籽油的研究大多在加工技术^[9]、营养分析^[10]等方面,关于油茶籽油基油凝胶的报道较少。

本文拟采用单甘酯和蜂蜡复配制备油茶籽油基油凝胶,研究复合凝胶剂添加量、单甘酯与蜂蜡质量比、加热温度以及加热时间对油茶籽油基复合油凝胶持油性的影响,以期找到制备油茶籽油基复合油凝胶的最优条件,为油茶籽油基油凝胶产品的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

压榨油茶籽油,江西青龙高科油脂有限公司;单甘酯,佳力士添加剂海安有限公司;蜂蜡、三氯甲烷、冰乙酸、乙醚、95%乙醇等,均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

BSA223S型分析天平, Jb300-SH型数显恒速强力电动搅拌机, DK-8型电热恒温水浴锅, HWS-80智能恒温恒湿箱, H1650型高速离心机, TAQ 2000 DSC 差示热量扫描仪, EZ-SX质构仪, D8 Rigaku 9000 X-射线衍射仪。

1.2 试验方法

1.2.1 油茶籽油基复合油凝胶的制备

向10g压榨油茶籽油中添加一定量不同比例的单甘酯和蜂蜡混合物,在一定温度下以100 r/min的速度搅拌一定时间后,在20℃下放置24 h,得到油茶籽油基复合油凝胶。

1.2.2 持油性的测定

参照Pieve等^[11]的方法,并稍作修改。称量离心管质量(a),称取1g左右的油茶籽油基复合油凝胶样品置于离心管中,称取质量(b),以9000 r/min的速度离心15 min,取出离心管,在滤纸上倒置5 min以使析出的油完全沥出,称取总质量(c)。持油性(H)根据下式计算。

$$H = \frac{c-a}{b-a} \times 100\% \quad (1)$$

1.2.3 理化性质测定

油茶籽油和油茶籽油基复合油凝胶的水分、酸价、过氧化值的测定分别参照GB 5009.236—2016、GB 5009.229—2016和GB 5009.227—2016进行。

1.2.4 硬度的测定

采用质构仪进行油茶籽油基复合油凝胶硬度测定。测定参数:探头P5,测前速率1 mm/s,测试中

速率3 mm/s,测后速率3 mm/s,探头感受到0.01 N力后下压5.00 mm,取下压过程峰值为硬度值。

1.2.5 热力学分析

采用差示热量扫描仪进行分析。称取8 mg油茶籽油基复合油凝胶样品于铝盒中,并密封铝盒。程序设定:初始温度20℃,以20℃/min的速率升温至80℃,并保持10 min以消除结晶记忆,然后以5℃/min的速率降至20℃,并保持10 min使其充分结晶,再以5℃/min的速率升温至80℃。氮气流速为100 mL/min。

1.2.6 晶型分析

采用X-射线衍射法对油茶籽油基复合油凝胶晶型进行分析。测试条件:常温,Cu靶,工作电压40 kV,电流40 mA,狭缝宽度1.0 mm,接受狭缝0.1 mm, 2θ 扫描范围 $5^\circ \sim 50^\circ$,扫描速度 $5(^\circ)/\text{min}$ 。

1.2.7 数据处理

数据采用3次重复试验的“平均值 \pm 标准偏差”表示。利用Origin 9.0软件制图,晶型分析用JADE软件。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 复合凝胶剂添加量对油茶籽油基复合油凝胶持油性的影响

称取10g压榨油茶籽油,分别加入6%、7%、8%、9%、10%、11%(以油茶籽油质量计)的单甘酯与蜂蜡混合物,单甘酯与蜂蜡质量比为4:6,在80℃下搅拌50 min,然后在20℃下放置24 h形成油茶籽油基复合油凝胶,按1.2.2计算持油性。结果如图1所示。

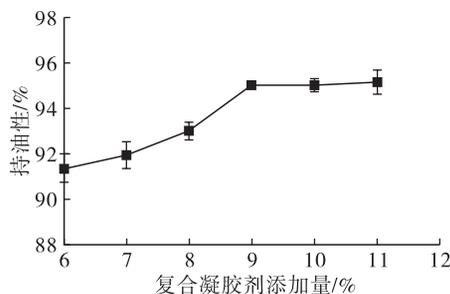


图1 复合凝胶剂添加量对油茶籽油基复合油凝胶持油性的影响

由图1可知,随着复合凝胶剂添加量的增加,油茶籽油基复合油凝胶的持油性逐渐增加。这是因为复合凝胶剂添加量增加,增大了油凝胶的三维网络结构紧密度,油结合能力增强。当复合凝胶剂添加量达到9%时,持油性为95.03%,再增加复合凝胶剂的添加量,持油性基本不变,可能是因为复合凝胶剂的结晶达到相对饱和。因此,从成本考虑选择复合凝胶剂添加量为9%。

2.1.2 单甘酯与蜂蜡质量比对油茶籽油基复合油凝胶持油性的影响

称取 10 g 压榨油茶籽油,加入 9% 的单甘酯与蜂蜡混合物,其中单甘酯与蜂蜡质量比分别为 8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8,在 80℃ 下搅拌 50 min,然后在 20℃ 下放置 24 h 形成油茶籽油基复合油凝胶,按 1.2.2 计算持油性。结果如图 2 所示。

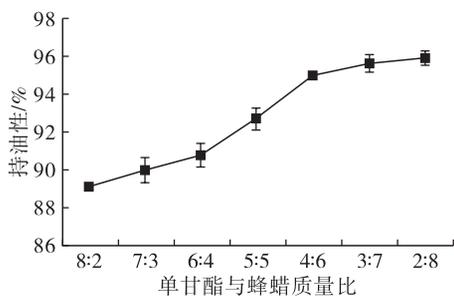


图 2 单甘酯与蜂蜡质量比对油茶籽油基复合油凝胶持油性的影响

从图 2 可以看出,随着单甘酯与蜂蜡质量比的降低,油茶籽油基复合油凝胶的持油性逐渐增加,即大量蜂蜡的存在会提高油凝胶的稳定性,说明蜂蜡较单甘酯有着更突出的油脂固化能力。这与司昀灵等^[6]的研究结果一致。当单甘酯与蜂蜡质量比在 4:6~2:8 之间时,油茶籽油基复合油凝胶的持油性较高并且变化不大。综合考虑,选择单甘酯与蜂蜡质量比为 4:6。

2.1.3 加热温度对油茶籽油基复合油凝胶持油性的影响

称取 10 g 压榨油茶籽油,按单甘酯与蜂蜡质量比 4:6 加入 9% 的复合凝胶剂,分别在 70、75、80、85、90℃ 下搅拌 50 min,然后在 20℃ 下放置 24 h 形成油茶籽油基复合油凝胶,按 1.2.2 计算持油性。结果如图 3 所示。

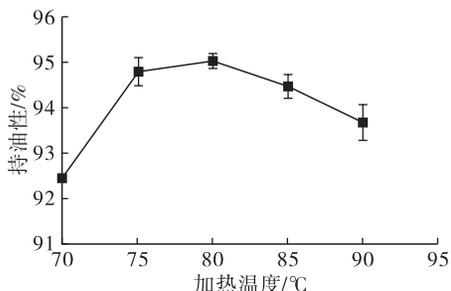


图 3 加热温度对油茶籽油基复合油凝胶持油性的影响

从图 3 可以看出,随着加热温度的升高,油茶籽油基复合油凝胶的持油性先升高后下降。当加热温度从 70℃ 升高到 75℃ 时,油茶籽油基复合油凝胶的持油性明显上升;加热温度从 75℃ 升高到 80℃ 时,油茶籽油基复合油凝胶持油性略微上升;加热温

度从 80℃ 升高到 90℃ 时,油茶籽油基复合油凝胶的持油性明显下降。高温有助于单甘酯和蜂蜡在油相中的溶解,提高油凝胶的持油性,但加热温度高于 80℃ 持油性下降的原因尚不清楚,有待进一步试验考察。考虑到加热温度过高会引起油脂氧化,因此选择加热温度为 75℃。

2.1.4 加热时间对油茶籽油基复合油凝胶持油性的影响

称取 10 g 压榨油茶籽油,按单甘酯与蜂蜡质量比 4:6 加入 9% 的复合凝胶剂,在 80℃ 下分别搅拌 20、30、40、50、60、70 min,然后在 20℃ 下放置 24 h 形成油茶籽油基复合油凝胶,按 1.2.2 计算持油性。结果如图 4 所示。

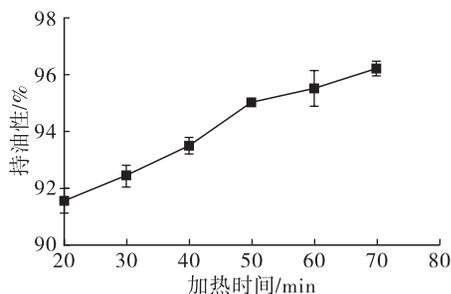


图 4 加热时间对油茶籽油基复合油凝胶持油性的影响

由图 4 可知,随着加热时间的延长,油茶籽油基复合油凝胶的持油性持续上升。加热时间从 20 min 延长至 50 min 时,油茶籽油基复合油凝胶的持油性从 91.57% 提高到 95.03%,这可能是因为加热时间的延长使凝胶剂溶解更充分,凝胶分子能形成更加均匀、致密的网络结构。加热时间从 50 min 延长至 70 min 时,油茶籽油基复合油凝胶持油性从 95.03% 提高到 96.22%,变化不大,但长时间加热可能会导致油茶籽油发生氧化。综合考虑,选择加热时间为 50 min。

2.2 响应面优化试验

在单因素试验基础上,以复合凝胶剂添加量(A)、单甘酯与蜂蜡质量比(B)、加热温度(C)、加热时间(D)为考察因素,持油性为指标,采用 Box - Behnken 中心组合和响应面分析法设计四因素三水平试验方案,优化复合油凝胶的制备工艺。响应面试验因素水平见表 1,响应面试验设计及结果见表 2,方差分析见表 3。

表 1 响应面试验因素水平

水平	A/%	B	C/°C	D/min
-1	8	5:5	70	40
0	9	4:6	75	50
1	10	3:7	80	60

表2 响应面试验设计及结果

试验号	A	B	C	D	持油性/%
1	-1	0	-1	0	89.79
2	0	1	1	0	88.34
3	1	-1	0	0	96.14
4	0	0	0	0	95.95
5	0	0	0	0	96.95
6	0	-1	0	-1	92.00
7	0	0	0	0	96.62
8	-1	0	0	-1	90.14
9	0	0	0	0	95.85
10	0	0	-1	1	96.13
11	1	0	0	1	95.21
12	1	1	0	0	96.82
13	-1	1	0	0	93.47
14	0	0	0	0	95.66
15	0	1	0	-1	93.47
16	1	0	1	0	91.83
17	0	-1	1	0	92.87
18	0	0	-1	-1	91.63
19	-1	-1	0	0	90.94
20	0	-1	-1	0	92.15
21	1	0	0	-1	96.81
22	-1	0	0	1	92.89
23	0	0	1	-1	92.82
24	0	1	-1	0	97.13
25	1	0	-1	0	97.91
26	-1	0	1	0	92.59
27	0	0	1	1	88.89
28	0	1	0	1	92.38
29	0	-1	0	1	91.99

由表3可知,回归模型极显著($P < 0.0001$),失拟项($P = 0.2424 > 0.05$)不显著。 R^2 为0.9623,说明模型可以解释96.23%试验所得油茶籽油基复合油凝胶持油性的变化,且 R^2_{Adj} 为0.9246,与 R^2 相近,说明模型拟合度高,可以用来分析和预测油茶籽油基复合油凝胶制备条件。通过对模型的拟合分析,预测出最优的制备条件为:复合凝胶剂添加量9.959%,单甘酯与蜂蜡质量比4.22:5.78,加热温度71.369℃,加热时间47.022 min。在最优制备条件下,油茶籽油基复合油凝胶持油性的预测值为99.06%。根据实际操作性,将最优制备条件调整为复合凝胶剂添加量9.9%、单甘酯与蜂蜡质量比4:6、加热温度71℃、加热时间47 min,重复3次试验,油茶籽油基复合油凝胶的平均持油性为98.70%,与预测值相差0.36个百分点。

表3 方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	196.47	14	14.03	25.54	<0.0001	**
A	51.67	1	51.67	94.02	<0.0001	**
B	2.54	1	2.54	4.62	0.0496	*
C	25.23	1	25.23	45.91	<0.0001	**
D	0.03	1	0.03	0.06	0.8127	
AB	0.86	1	0.86	1.56	0.2326	
AC	19.71	1	19.71	35.87	<0.0001	**
AD	4.73	1	4.73	8.61	0.0109	*
BC	22.61	1	22.61	41.14	<0.0001	**
BD	0.29	1	0.29	0.53	0.4784	
CD	17.77	1	17.77	32.33	<0.0001	**
A ²	2.60	1	2.60	4.73	0.0473	*
B ²	14.36	1	14.36	26.13	0.0002	**
C ²	31.12	1	31.12	56.64	<0.0001	**
D ²	23.55	1	23.55	42.86	<0.0001	**
残差	7.69	14	0.55			
失拟项	6.48	10	0.65	2.13	0.2424	
纯误差	1.22	4	0.30			
总离差	204.16	28				

注:**差异极显著($P < 0.01$),*差异显著($P < 0.05$)。

2.3 油茶籽油基复合油凝胶的性质

2.3.1 理化指标

原料油(油茶籽油)及最优条件下制备的油茶籽油基复合油凝胶的理化指标见表4。

表4 原料油与油茶籽油基复合油凝胶的理化指标

项目	原料油	油茶籽油基复合油凝胶
水分/%	0.12	0.02
酸价(KOH)/(mg/g)	0.22	0.23
过氧化值/(g/100g)	0.07	0.09

由表4可知,原料油在形成油凝胶过程中,因为加热导致水分含量减少,但是油茶籽油基复合油凝胶的酸价和过氧化值基本没有变化,说明此加工条件对油茶籽油的理化性质基本没有影响。

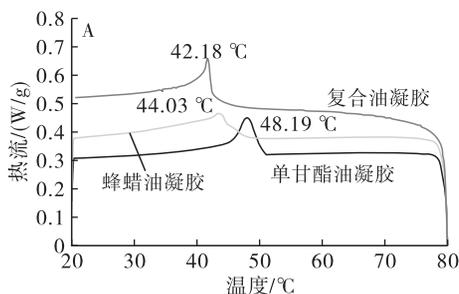
2.3.2 油茶籽油基复合油凝胶与单一油凝胶的相关性质比较

单一油凝胶的制备条件为:凝胶剂添加量9.9%,加热温度71℃,加热时间47 min。最优条件下制备的油茶籽油基复合油凝胶与单一油凝胶的持油性和硬度比较见表5。

表5 油茶籽油基复合油凝胶与单一油凝胶的持油性和硬度比较

项目	复合油凝胶	单甘酯油凝胶	蜂蜡油凝胶
持油性/%	98.70	87.76	99.60
硬度/N	0.57	0.46	1.14

由表5可以看出,油茶籽油基复合油凝胶的持油性优于单甘酯油凝胶,与蜂蜡油凝胶的接近,硬度介于两种单一油凝胶之间。而试验过程中发现蜂蜡油凝胶硬度过大,延展性不好。因此,与单一油凝胶



相比,复合油凝胶的持油性和硬度得到了改善。

油凝胶的结晶熔化行为是油凝胶重要的性质之一,与油凝胶的宏观表现有关。图5为油茶籽油基单一油凝胶和复合油凝胶的DSC曲线。

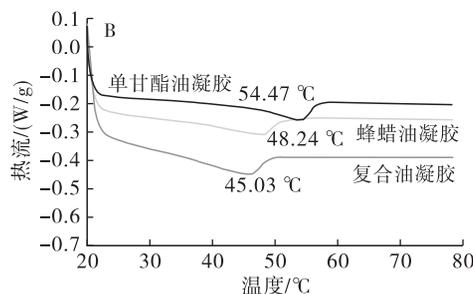


图5 油茶籽油基油凝胶的结晶曲线(A)和熔化曲线(B)

由图5可看出,3种油茶籽油基油凝胶的结晶曲线和熔化曲线的形状相似,均只有1个结晶峰和1个熔化峰。由图5A可看出,在降温过程中,单甘酯油凝胶的放热峰出峰温度为48.19 °C,蜂蜡油凝胶的放热峰出峰温度为44.03 °C,复合油凝胶的放热峰出峰温度为42.18 °C。由图5B可看出,在升温熔化过程中存在吸热峰,单甘酯油凝胶的熔化温度

为54.47 °C,蜂蜡油凝胶的熔化温度为48.24 °C,复合油凝胶的熔化温度为45.03 °C。复合油凝胶的结晶点和熔点都低于单一油凝胶,因而复合油凝胶更易于加工处理。

2.3.3 油凝胶晶型

3种油凝胶体系的XRD谱图如图6所示。

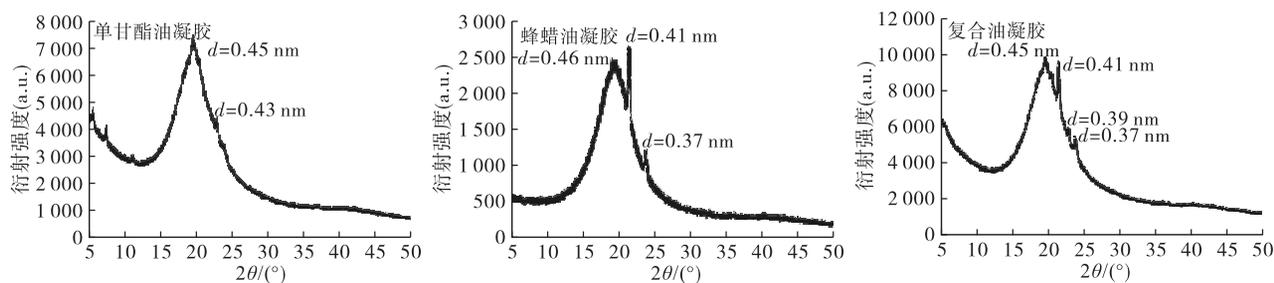


图6 3种油茶籽油基油凝胶的XRD谱图

一般而言,在油脂晶体的X射线衍射图中, α 型晶体短间距在0.41 nm左右, β' 型的在0.42 nm和0.38 nm,而 β 型晶体的短间距在0.46 nm附近^[12]。对于油凝胶而言, β' 型是理想的晶体类型,因为其颗粒小,倾向于形成能够固定液态油脂的细小网状结构,同时赋予产品柔软的质地; β 型晶体颗粒较大,但可以赋予凝胶一定的硬度^[13]。从图6可以看出:蜂蜡油凝胶和复合油凝胶在0.38 nm附近出现衍射峰,说明蜂蜡油凝胶和复合油凝胶体系都存在 β' 晶型,而单甘酯油凝胶虽然在0.43 nm处出现衍射峰但强度较弱,所以单甘酯油凝胶的持油性最弱,与表5的结果相符;蜂蜡油凝胶在0.46 nm处有强衍射峰,所以蜂蜡油凝胶的硬度最大;蜂蜡油凝胶和复合油凝胶在0.41 nm处出现强衍射峰,说明在蜂蜡油凝胶和复合油凝胶体系中存在 α 型晶体,而单甘酯油凝胶并没有此种晶体。Higaki等^[14]指出, α 晶型的存在以及 α 晶型向 β 、 β' 晶型的转变也是油凝胶

形成的必要条件。因此,综合来看,相较于单甘酯油凝胶和蜂蜡油凝胶,复合油凝胶具有适中的持油性和硬度,与表5结果一致。

3 结论

以压榨油茶籽油为基料油,添加单甘酯与蜂蜡制备复合油凝胶。通过单因素试验与响应面试验得到油茶籽油基复合油凝胶的最优制备条件为复合凝胶剂添加量9.9%、单甘酯与蜂蜡质量比4:6、加热温度71 °C、加热时间47 min,在此条件下制备的油茶籽油基复合油凝胶的持油性为98.70%。油茶籽油基复合油凝胶体系存在 α 、 β 、 β' 3种晶型,与单甘酯油凝胶和蜂蜡油凝胶相比,具有较低的熔点和结晶点,易于加工处理。

参考文献:

- [1] HUGHES N E, MARANGONI A G, WRIGHT A J, et al. Potential food applications of edible oil organogels [J]. Trends Food Sci Technol, 2009, 20(10): 470-480.

(下转第105页)

- sesame leaf [J]. *Ann Microbiol*, 2014, 64 (3): 1333 - 1346.
- [23] 刘江辉,刘金盾,刘利娥,等. 芝麻叶多酚的纯化及对蛋白质非酶糖基化的抑制作用[J]. *食品工业科技*, 2014,35(12):118-122.
- [24] FUJI Y, UCHIDA A, FUKAHORI K, et al. Chemical characterization and biological activity in young sesame leaves (*Sesamum indicum* L.) and changes in iridoid and polyphenol content at different growth stages [J]. *PLoS One*, 2018, 13(3): 103 - 108.
- [25] 张蓉,刘利娥,杨卫红. 芝麻叶多酚对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用研究[J]. *医药论坛杂志*, 2014, 35(1): 69 - 72.
- [26] NGUYEN T D, NGUYEN H D, LE N T. New flavonoid and pentacyclic triterpene from *Sesamum indicum* leaves [J]. *Nat Prod Res*, 2016, 30(3): 311 - 315.
- [27] 董月灵,王德法. 鲜芝麻叶治疗慢性咽炎 192 例[J]. *中国民间疗法*, 2003(11):45.
- [28] 盛芳,原晓红. 鲜芝麻叶治疗急慢性咽炎[J]. *山东中医杂志*, 2003(4):241.
- [29] KONAN A B, DATTE J Y, YAPO P A. Nitric oxide pathway - mediated relaxant effect of aqueous sesame leaves extract (*Sesamum radiatum* Schum. & Thonn.) in the guinea - pig isolated aorta smooth muscle [J]. *Bmc Complem Altern M*, 2008, 8: 342 - 347.
- [30] YUAN H, CHUNG S, MA Q, et al. Combination of deep sea water and *Sesamum indicum* leaf extract prevents high - fat diet - induced obesity through AMPK activation in visceral adipose tissue [J]. *Exp Ther Med*, 2016, 11 (1): 338 - 344.
- [31] 李和平,魏建春,马永生,等. 芝麻叶软包装罐头的研制[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(8): 3156 - 3160.
- [32] 臧晋,于海彦,全飞飞,等. 一种低盐芝麻叶酱的制备方法:CN 108497454 A[P]. 2018 - 09 - 07.
- [33] 赵峰. 一种油炸风味即食芝麻叶的加工方法:CN 110013015 A[P]. 2019 - 07 - 16.
- [34] 段冉. 一种芝麻叶茶的制备方法:CN 108041231 A [P]. 2018 - 05 - 18.
- [35] 郑新艳,胡坡,姚汝贤,等. 一种干芝麻叶提取物护肤面膜及其制备方法:CN 109528585 A[P]. 2019 - 03 - 29.
- [36] 张振宾. 一种洗发水:CN 106309256 A[P]. 2017 - 01 - 11.
- [37] 刘利娥,刘金盾,韩秀丽,等. 芝麻叶对亚甲基蓝吸附的动力学与热力学研究[J]. *化学工程*, 2011, 39(6): 40 - 43.
- [38] LIU L E, LIU J, LI H, et al. Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies of lead (II) biosorption on leaf [J]. *Bioresources*, 2012, 7(3): 3555 - 3572.
- [39] LIU L E, YU F, LIU D J, et al. Removal of auramine O from aqueous solution using sesame leaf: adsorption isotherm and kinetic studies [J]. *Asian Chem*, 2013, 25 (4): 1991 - 1998.
-
- (上接第 72 页)
- [2] JANG A, BAE W S, HWANG H S, et al. Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods [J]. *Food Chem*, 2015, 187: 525 - 529.
- [3] HALIME P, DEMIRCI M, TOKER O S, et al. Oleogels, a promising structured oil for decreasing saturated fatty acid concentrations: production and food - based applications [J]. *CRC Crit Rev Food Technol*, 2018, 58(8): 1330 - 1341.
- [4] 王晓晨. 高熔点甘油二酯和单甘酯在大豆油基有机凝胶油中的特性研究[D]. 广州:暨南大学, 2017.
- [5] 殷俊俊. 谷维素与甾醇结合交联固化植物油的规律研究 [D]. 郑州:河南工业大学, 2015.
- [6] 司昀灵,胡招龙,邹立强. 单甘酯与蜂蜡复配制备五步蛇油基凝胶油的研究 [J]. *中国油脂*, 2019, 44(7): 147 - 152.
- [7] 李志钢,马力,陈永忠,等. 我国油茶籽的综合利用现状概述[J]. *绿色科技*, 2018(6):191 - 194.
- [8] 胡伟,李湘洲,穆园园. 响应面法优化超声乳化制备油茶籽油纳米乳液及其稳定性研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42 (9):14 - 19.
- [9] 熊道陵,吕琪,张辉,等. 油茶籽综合开发应用研究进展 [J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(3): 17 - 21.
- [10] 王雁灿,杨灿,唐小武,等. 油茶籽的营养价值及其应用现状[J]. *畜牧与饲料科学*, 2017, 38(6): 29 - 32.
- [11] PIEVE S D, CALLIGARIS S, CO E, et al. Shear nanostructuring of monoglyceride organogels [J]. *Food Biophys*, 2010, 5(3): 211 - 217.
- [12] 毕艳兰. 油脂化学[M]. 北京:化学工业出版社, 2005: 42 - 49.
- [13] 刘国琴,南阳,刘新旗. 单甘酯添加量对油脂凝胶物理性质与晶体结构的影响[J]. *华南理工大学学报*, 2016, 44(11):1 - 6.
- [14] HIGAKI K, SASAKURA Y, KOYANO T, et al. Physical analyses of gel - like behavior of binary mixtures of high and low - melting fats [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2003, 80 (3): 263 - 270.