

5种植物油乳液的理化性质

王文萱, 卢梦瑶, 蒋 伏, 于文涵, 吕仁哲, 余 旺, 刘睿杰

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:以菜籽油、棕榈液油、橄榄油、稻米油和椰子油5种植物油为油相,以乳清分离蛋白为乳化剂,制备水包油(O/W)型乳液。分析了5种植物油中的生育酚和谷维素含量,测定了5种植物油乳液Zeta-电位和贮藏稳定性,并采用铁离子还原法对5种植物油乳液的抗氧化能力进行了评价。结果表明:5种植物油均不含 β -生育酚和 δ -生育酚,总生育酚含量菜籽油最高,椰子油最低,且仅稻米油中含谷维素,含量为1 542.78 mg/kg;椰子油乳液的Zeta-电位绝对值最高,达到57 mV,28 d后乳液未出现分层现象,乳液粒径变化最小且分布范围窄,贮藏稳定性最好;棕榈液油乳液抗氧化能力最强,其次是菜籽油乳液、橄榄油乳液和稻米油乳液,三者的抗氧化能力无显著性差异,椰子油乳液抗氧化能力最弱。

关键词:植物油;乳液;贮藏稳定性;抗氧化性

中图分类号:TS225.1;TS201.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2021)09-0040-05

Physicochemical properties of five vegetable oil emulsions

WANG Wenxuan, LU Mengyao, JIANG Fu,

YU Wenhan, LÜ Renzhe, YU Wang, LIU Ruijie

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: Five types of oil in water (O/W) emulsions were prepared by using rapeseed oil, palm olein, olive oil, rice bran oil and coconut oil as the oil phase and whey protein isolate as the emulsifier. The contents of tocopherol and oryzanol in five vegetable oils were analyzed. The Zeta-potential and storage stability of five vegetable oil emulsions were measured, and the antioxidant capacity was evaluated by ferric reducing method. The results showed that β -tocopherol and δ -tocopherol were not detected in the five vegetable oils. The total tocopherol content in rapeseed oil was the highest, and that in coconut oil was the lowest. Only rice bran oil contained oryzanol, which was 1 542.78 mg/kg. Among the five vegetable oil emulsions, coconut oil emulsion had the highest absolute value of Zeta-potential, reaching 57 mV. After storage for 28 d, the coconut emulsion was not stratified, the particle size change of the emulsion was the smallest, and the distribution range was narrow, so its storage stability was the best. The palm olein emulsion had the strongest antioxidant capacity, followed by rapeseed oil emulsion, olive oil emulsion and rice bran oil emulsion without obvious difference in the antioxidant capacity of the three, and coconut oil emulsion had the weakest antioxidant capacity.

Key words: vegetable oil; emulsion; storage stability; antioxidant capacity

收稿日期:2020-10-02;修回日期:2021-05-31

基金项目:江南大学教改项目(JG2017043);江南大学大学生创新训练计划项目(2019531X)

作者简介:王文萱(1999),女,在读本科,专业为食品科学与工程(E-mail)1430845139@qq.com。

通信作者:刘睿杰,教授,博士(E-mail)liuruijie163@163.com。

油脂是人体所需的三大营养素之一,是膳食的主要组成部分,在为人提供能量和必需脂肪酸、调节生理功能以及促进脂溶性维生素的吸收等方面发挥着重要作用。油脂中2%的脂溶性伴随物如生育酚、谷维素等,由于在抗氧化、抗炎和延缓衰老等方面的有益作用被广泛应用于食品和医药等领

域^[1-2]。然而,脂溶性伴随物由于水溶性较差,吸收率低,限制了其进一步的开发利用。水包油(O/W)型乳液是递送亲脂性营养物质和低水溶性药物的常用载体,研究表明,通过将高营养价值的油,如稻米油、橄榄油等,制备成乳液,能够有效改善脂质和脂溶性伴随物水溶性差、吸收效率低的缺点,提高其生物利用度^[3]。此外,由于O/W型乳液的粒径较小,大大增加了其比表面积,成为动力学稳定的胶体分散体,克服了油水不溶性和不稳定性^[4]。

乳液是热力学不稳定体系,在贮藏过程中会出现聚结、奥氏熟化、絮凝、相转化等失稳现象^[5]。不同乳液的物理特性和抗氧化性受油相组成的影响,Lakum等^[6]研究认为植物油脂肪酸的碳链长度和饱和度会影响乳液的粒径、稳定性等性质,刘颖等^[7]发现植物油的抗氧化活性与不饱和脂肪酸含量有一定关系,且脂质伴随物对乳液的理化性质也有重要影响^[8]。因此,探究不同油相对乳液物理特性和抗氧化特性的影响具有重要意义。

基于此,本文以脂肪酸组成差异较大的5种植物油菜籽油、棕榈液油、橄榄油、稻米油和椰子油作为油相,以乳清分离蛋白为乳化剂,制备O/W型乳液,并对乳液的物理特性和抗氧化特性进行研究,以期为开发具有良好物理特性和抗氧化特性的植物油乳液产品提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

特级初榨橄榄油、初榨椰子油、精炼棕榈液油、一级精炼稻米油和二级精炼菜籽油,均为市售产品;乳清分离蛋白,美国 Hilmar 公司;己烷、异丙醇、95%无水乙醇、乙酸钠、冰醋酸、浓盐酸、六水合氯化铁、七水合硫酸亚铁、2,4,6-三(2-吡啶基)三嗪均为分析纯,太仓沪试试剂有限公司; α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚标准品和谷维素标准品,上海 Sigma-Aldrich 有限公司。

Ultra-Turrax T25 高速分散机,德国 IKA 仪器设备有限公司;高压均质机,德国 GEA 集团;LC-20AT 高效液相色谱仪,日本 Shimadzu 公司;多角度粒度与高灵敏度 Zeta-电位分析仪,美国 Brookhaven 仪器公司;EL204 电子分析天平,上海 Mettler-Toledo 仪器有限公司;Multiskan GO 全波长酶标仪,美国 Thermo 公司;pH 计,美国 Ohaus 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 植物油微量成分测定

参考 Gao 等^[9]的方法,采用高效液相色谱法(HPLC)测定生育酚含量,测定条件:柱温 30℃,流

动相为己烷-异丙醇(体积比 98.5:1.5),流速 1.0 mL/min,检测波长 295 nm。根据 Liu 等^[10]的方法,采用 HPLC 测定谷维素含量,测定条件:柱温 40℃,流动相为乙醇,流速 0.8 mL/min,检测波长 324 nm。

1.2.2 植物油乳液制备

参照 Lu 等^[11]的方法,以乳清分离蛋白为乳化剂,配制质量分数为 1%的乳化剂溶液,室温下搅拌过夜 10~12 h,使其充分水化,得到水相。将植物油和水相按照 1:10 的质量比混合,用高速分散机在 19 000 r/min 下均质 2 min,每 30 s 间隔 1 次,共 4 次,制成初级粗乳液;再使用高压均质机在 65 MPa 下均质 1 次(保证二级压力与总压力比为 1:10),制得植物油乳液。

1.2.3 植物油乳液物理性质测定

1.2.3.1 Zeta-电位

使用多角度粒度与高灵敏度 Zeta-电位分析仪测定 5 种植物油乳液的 Zeta-电位。为减小多重光散射对测定准确性的影响,所有乳液样品在分析前用超纯水稀释 100 倍。

1.2.3.2 贮藏稳定性

将 5 种植物油乳液于 4℃ 下放置 4 周,定期取样测定多分散指数(PDI)和平均粒径,平行测定 3 次,同时观察是否分层和分层程度。多分散指数(PDI)和平均粒径的测定根据毕爽等^[12]的方法,采用多角度粒度与高灵敏度 Zeta-电位分析仪测定,测定前用超纯水将乳液稀释 100 倍(测定时水相折射率为 1.330)。

1.2.4 植物油乳液抗氧化能力测定(铁离子还原法)

参考张志艳等^[13]的方法,并稍做修改。

FRAP 工作液的制备:用 0.1 mol/L 乙酸钠溶液和 0.1 mol/L 乙酸溶液配制 pH 为 3.6 的乙酸盐缓冲液,将乙酸盐缓冲液、10 mmol/L TPTZ 溶液(由 40 mmol/L 盐酸溶液定容)和 20 mmol/L 氯化铁溶液(由蒸馏水定容)按照 10:1:1 的体积比混合得到 FRAP 工作液。

标准曲线的绘制:配制浓度分别为 0.2、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0、3.0 mmol/L 和 4.0 mmol/L 的 FeSO₄溶液,取 180 μ L FRAP 工作液与 5 μ L FeSO₄溶液混合均匀,37℃ 孵育 1 h,通过酶标仪测定其在 592 nm 处的吸光度,以 FeSO₄溶液浓度(x)为横坐标,吸光度(y)为纵坐标,绘制标准曲线,得到标准曲线回归方程为 $y = 0.6092x - 0.3203$ 。

样品的测定:步骤同标准曲线的绘制,以样品替代 FeSO₄溶液,空白组和对照组分别用蒸馏水替换样品和 FRAP 工作液,相同条件下测定吸光度。根

据标准曲线计算样品的抗氧化能力,样品抗氧化能力用 FeSO_4 标准溶液的浓度来表示。

1.2.5 统计学分析

每个样品至少做 3 次平行,实验结果以“平均

值 \pm 标准差”表示,采用 SPSS 20.0 软件对数据进行单因素方差分析(ANOVA 法)。

2 结果与讨论

2.1 植物油的微量成分(见表 1)

表 1 5 种植物油微量成分的含量

微量成分	菜籽油	橄榄油	棕榈液油	稻米油	椰子油
谷维素	-	-	-	1 542.78 \pm 25.78	-
生育酚					
α -生育酚	16.12 \pm 0.72 ^d	41.82 \pm 1.90 ^b	33.60 \pm 1.37 ^c	59.80 \pm 1.65 ^a	2.97 \pm 0.03 ^e
β -生育酚	-	-	-	-	-
γ -生育酚	54.93 \pm 0.83 ^a	15.46 \pm 0.62 ^c	24.62 \pm 0.37 ^b	-	-
δ -生育酚	-	-	-	-	-
合计	71.05 \pm 0.10 ^a	57.28 \pm 1.29 ^b	58.22 \pm 1.73 ^b	59.80 \pm 1.65 ^b	2.97 \pm 0.03 ^c

注:同行不同字母表示具有显著性差异($p < 0.05$)。下同

由表 1 可知,5 种植物油均未检出 β -生育酚和 δ -生育酚,稻米油和椰子油中仅含有 α -生育酚,且椰子油中的总生育酚含量仅为 2.97 mg/kg,远低于其他 4 种植物油,橄榄油、棕榈液油和稻米油中总生育酚含量相近。另外,仅在稻米油中检出谷维素,含量为 1 542.78 mg/kg。

2.2 植物油乳液物理性质

2.2.1 Zeta - 电位

Zeta - 电位可反映油滴表面电荷量的多少,从而决定油滴间排斥力的大小,其大小与乳液的物理稳定性成正相关,一般来说,乳液越稳定,Zeta - 电位的绝对值越大^[14-15]。5 种植物油乳液的 Zeta - 电位见表 2。

表 2 5 种植物油乳液的 Zeta - 电位

菜籽油	棕榈液油	橄榄油	稻米油	椰子油
-41.61 \pm 1.22 ^a	-55.33 \pm 0.17 ^{bc}	-51.93 \pm 2.22 ^b	-39.57 \pm 3.10 ^a	-57.04 \pm 1.33 ^c

由表 2 可知,5 种植物油乳液 Zeta - 电位的绝对值均超过了 30 mV,说明这 5 种植物油在水相中分散的油滴具有较强的静电排斥作用,乳液体系均较为稳定^[16]。椰子油乳液、橄榄油乳液、棕榈液油乳液的 Zeta - 电位都在 -50 mV 以下,且椰子油乳液的 Zeta - 电位绝对值最高,其物理稳定性最好;而菜籽油乳液与稻米油乳液的 Zeta - 电位较接近,约为 -40 mV。另外,5 种植物油乳液的 Zeta - 电位均为负值,这是因为乳液的 pH 为 7.0 左右,高于蛋白

质的等电点,因此乳液带负电^[17]。

2.2.2 贮藏稳定性

PDI 可以表示分散体系中粒径分布情况,PDI 越小则乳液粒径分布范围越小,体系越稳定^[18]。乳液贮藏期间粒径的变化也可反映乳液的稳定性,一般而言粒径变化越小,乳液越稳定。5 种植物油乳液的 PDI 及粒径随贮藏时间的变化分别见表 3 和图 1。

表 3 5 种植物油乳液 PDI 随贮藏时间的变化

植物油乳液	不同贮藏时间的 PDI				
	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d
菜籽油	0.23 \pm 0.01 ^{ab}	0.25 \pm 0.06 ^{ab}	0.16 \pm 0.07 ^{bc}	0.10 \pm 0.03 ^c	0.30 \pm 0.01 ^a
棕榈液油	0.20 \pm 0.02 ^{cd}	0.40 \pm 0.03 ^a	0.25 \pm 0.10 ^{bc}	0.09 \pm 0.02 ^d	0.35 \pm 0.10 ^{ab}
橄榄油	0.18 \pm 0.00 ^{bc}	0.28 \pm 0.01 ^b	0.42 \pm 0.06 ^a	0.11 \pm 0.03 ^c	0.10 \pm 0.05 ^c
稻米油	0.12 \pm 0.01 ^b	0.08 \pm 0.04 ^b	0.09 \pm 0.01 ^b	0.24 \pm 0.09 ^b	0.47 \pm 0.20 ^a
椰子油	0.13 \pm 0.00 ^b	0.12 \pm 0.01 ^b	0.10 \pm 0.02 ^b	0.10 \pm 0.01 ^b	0.19 \pm 0.05 ^a

由表 3 可知:稻米油乳液的 PDI 总体呈逐渐增大趋势,可能是随着贮藏时间的延长,乳液液滴聚集导致的^[5];菜籽油乳液、棕榈液油乳液、橄榄油乳液和椰子油乳液的 PDI 呈波动变化趋势,可能是由于

贮藏过程中体系不稳定造成的。其中椰子油乳液的 PDI 值均低于 0.2,表明其在贮藏期间颗粒高度均匀,分布范围窄。

由图 1 可知,贮藏时间在 0 ~ 21 d 内,乳液粒径

变化不明显,而贮藏 28 d 时乳液粒径迅速增大,这是乳液中小液滴逐渐凝结为大液滴导致粒径增加所致,结合 PDI 的检测结果可知,乳液发生了聚结和絮凝等现象。其中椰子油乳液平均粒径变化最小(273~304 nm),说明椰子油乳液贮藏稳定性优于其他 4 种植物油乳液,推测可能是由于椰子油中 α -生育酚含量较低,乳液粒径能够保持较良好的形态^[19]。

另外,5 种植物油乳液在 4℃ 贮藏 28 d,均未观察到分层现象,说明 5 种植物油乳液稳定性较好。结合乳液 PDI 及粒径变化可知,椰子油乳液更为稳定,贮藏稳定性较好。

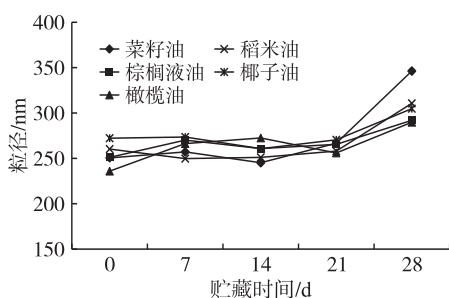
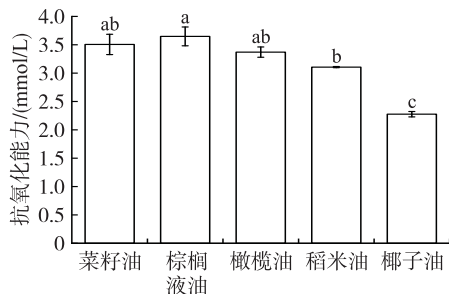


图 1 5 种植物油乳液粒径随贮藏时间的变化

2.3 植物油乳液抗氧化能力(见图 2)



注:图中不同字母表示有显著性差异($p < 0.05$)。

图 2 5 种植物油乳液的抗氧化能力

由图 2 可知,5 种植物油乳液中,棕榈液油乳液的抗氧化能力最强,其次是菜籽油乳液、橄榄油乳液、稻米油乳液,三者的抗氧化能力无显著性差异,椰子油乳液抗氧化能力最弱,5 种植物油乳液抗氧化能力均在 2.0~4.0 mmol/L 之间。

结合表 1,椰子油乳液抗氧化能力最低的原因可能是由于椰子油含有的生育酚含量最低,且多酚、角鲨烯、 β -胡萝卜素等具有抗氧化能力的微量成分的含量也远低于其他 4 种植物油^[20]。稻米油生育酚含量和其特有的谷维素含量较高,而橄榄油中的酚类物质和生育酚等伴随物总含量较高^[20-21],可能是稻米油乳液和橄榄油乳液抗氧化能力优于椰子油乳液的原因。尽管棕榈液油的总生育酚含量不是 5 种植物油中最高的,但其乳液的抗氧化能力最高,

推测原因可能是棕榈液油饱和脂肪酸含量较高^[22-23]。此外,虽然菜籽油中生育酚含量显著高于其他 4 种植物油,但其不饱和脂肪酸含量也很高,因此其乳液的抗氧化能力并非 5 种植物油乳液中最高。

3 结论

本文对 5 种不同油相(菜籽油、棕榈液油、橄榄油、稻米油、椰子油)组成的植物油乳液的理化性质进行了研究。结果表明,椰子油乳液的 Zeta-电位绝对值最高,粒径变化最小且分布范围窄,贮藏稳定性最好,但由于其脂质伴随物含量较低,因此并未表现出较高的抗氧化能力。稻米油、橄榄油、棕榈液油和菜籽油富含生育酚等脂质伴随物,且稻米油含特有的谷维素,因此这 4 种植物油制备的乳液抗氧化能力较好。

参考文献:

- [1] 李勤劳,张恩户,刘敏,等. 抗氧化剂抗衰老的应用现状及存在问题[J]. 陕西中医学院学报, 2003, 26(6): 68-70.
- [2] 刘瑞菊,褚建波,陈启云. 谷维素的研究进展[J]. 河南科技大学学报(医学版), 2015, 33(3): 237-240.
- [3] FREDERIC C. Impact of gastrointestinal lipolysis on oral lipid-based formulations and bioavailability of lipophilic drugs[J]. Biochimie, 2016, 125: 297-305.
- [4] 李季楠,吴艳,胡浩,等. 食品纳米乳液的研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 217-225.
- [5] 童柯锋. 纳米乳液的研究进展及其在化妆品中的应用[J]. 日用化学品科学, 2019, 42(8): 48-56.
- [6] LAKUM R, SONWAI S. Production of *trans*-free margarine fat by enzymatic interesterification of soy bean oil, palm stearin and coconut stearin blend[J]. Int J Food Sci Technol, 2018, 53(12): 2761-2769.
- [7] 刘颖,刘晓谦,梁曜华,等. 11 种植物油的脂肪酸组成与抗氧化活性比较[J]. 中国油脂, 2020, 45(10): 52-56, 61.
- [8] 程晨,黄凤洪,黄庆德,等. 脂质伴随物对多不饱和脂肪酸乳液稳定性的影响研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(5): 816-824.
- [9] GAO P, JIN J, LIU R J, et al. Chemical compositions of walnut (*Juglans regia* L.) oils from different cultivated regions in China[J]. J Am Oil Chem Soc, 2018, 95(7): 825-834.
- [10] LIU R J, LIU R R, SHI L K, et al. Effect of refining process on physicochemical parameters, chemical compositions and in vitro antioxidant activities of rice bran oil[J]. Lebensm-Wiss Technol, 2019, 109: 26-32.

(下转第 50 页)

- product using supercritical CO₂/alcohol mixtures [J]. LWT – Food Sci Technol, 2015, 60(2):990 – 998.
- [34] MINIADIS – MEIMAROGLOU S, KORA L, SINANOGLUOV J. Isolation and identification of phospholipid molecular species in wild marine shrimp *Penaeus kerathurus* muscle and cephalothorax[J]. Chem Phys Lipids, 2008, 152(2): 104 – 112.
- [35] TAKEUNGWONGTRAKUL S, BENJAKUL S, KITTIKUN A H. Lipids from cephalothorax and hepatopancreas of Pacific white shrimp(*Litopenaeus vannamei*): compositions and deterioration as affected by iced storage [J]. Food Chem, 2012, 134(4): 2066 – 2074.
- [36] 王琦, 薛长湖, 徐杰, 等. HPLC – ELSD 法测定几种水产品卵及生殖腺中磷脂的组成[J]. 分析仪器, 2012(5): 18 – 22.
- [37] 朱瑶, 陈慧民, 卢航, 等. 刺参性腺中 6 种磷脂含量的 HPLC – ELSD 分析[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(4): 422 – 425.
- [38] 刘艳青, 李兆杰, 李国云, 等. 雌、雄皱纹盘鲍内脏脂肪酸及磷脂组成的比较分析[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 184 – 186.
- [39] 周新, 刘中原, 张建润, 等. 液相色谱 – 质谱法分析皱纹盘鲍性腺中的磷脂[C]//中国食品科学技术学会第十三届年会论文集. 北京: 中国食品科学技术学会, 2016: 292 – 293.
- [40] LI X B, LI C Y, ZHU Y Q, et al. Lipid fingerprinting of different material sources by UPLC – Q – exactive orbitrap/MS approach and their zebrafish – based activities comparison[J]. J Agric Food Chem, 2020, 68: 2007 – 2015.
- [41] LI X B, HE Q, HOU H, et al. Targeted lipidomics profiling of marine phospholipids from different resources by UPLC – Q – exactive orbitrap/MS approach [J]. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci, 2018, 1096:107 – 112.
- [42] SUGINO H, ISHIKAWA M, NITODA T, et al. Antioxidative activity of egg yolk phospholipids [J]. J Agric Food Chem, 1997(45): 551 – 554.
- [43] DU L, YANG Y H, WANG Y M, et al. Antitumour activity of EPA – enriched phospholipids liposomes against S180 ascitic tumour – bearing mice[J]. J Funct Foods, 2015, 19: 970 – 982.
- [44] YANG Y H, WANG J F, LONG T T, et al. Role of docosahexaenoic acid – phosphatidylcholine liposomes in inhibiting tumor growth[J]. Chin Pharmacol Bull, 2011, 27(2): 178 – 182.
- [45] 周苗苗, 孙树红, 宋姗姗, 等. 鲑鱼卵磷脂对东莨菪碱痴呆小鼠学习记忆功能的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 20 – 25.
-
- (上接第 43 页)
- [11] LU M Y, ZHANG T, JIANG Z R, et al. Physical properties and cellular antioxidant activity of vegetable oil emulsions with different chain lengths and saturation of triglycerides[J/OL]. LWT – Food Sci Technol, 2020, 121:108948 [2020 – 10 – 02]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108948>.
- [12] 毕爽, 马文君, 孙红波, 等. 高压均质对天然和热变性大豆蛋白 – 磷脂水包油型乳状液功能性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 74 – 79.
- [13] 张志艳, 金俊, 刘睿杰, 等. 化学精炼对稻米油谷维素和总酚含量及清除自由基能力的影响[J]. 中国油脂, 2018, 43(10): 8 – 11.
- [14] RICAURTE L, PEREA – FLORES M D J, MARTINEZ A, et al. Production of high – oleic palm oil nanoemulsions by high – shear homogenization (microfluidization) [J]. Innov Food Sci Emerg, 2016, 35:75 – 85.
- [15] 王金梅, 夏宁, 杨娟, 等. 天然和热处理大豆蛋白稳定乳液的性质研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(9): 16 – 20.
- [16] 卢锦丽. 食品级纯胶 O/W 乳液稳定性及流变特性研究[D]. 杭州:浙江工商大学, 2013.
- [17] 刘宁, 崔俊杰, 金昱辰, 等. 不同植物油水包油型乳状液物理特性及氧化稳定性研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(3):44 – 48.
- [18] PRIMOZIC M, DUCHEK A, NICKERSON M, et al. Effect of lentil proteins isolate concentration on the formation stability and rheological behavior of oil in water nanoemulsions[J]. Food Chem, 2017, 237:65 – 74.
- [19] HATANAKA J, HINA C, HIDEYUKI S, et al. Physicochemical and pharmacological characterization of α – tocopherol – loaded nano – emulsion system[J]. Int J Pharm, 2010, 396(1/2):188 – 193.
- [20] 李文, 王伟, 关荣发, 等. 橄榄油中角鲨烯组分功能特性及其研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(6): 218 – 224.
- [21] 黄健花, 宋志华, 刘慧敏, 等. 植物油的不同组分 DPPH 自由基清除能力及其与微量有益成分含量的相关性[J]. 中国油脂, 2017, 42(2): 67 – 70, 92.
- [22] 王洁, 邹惠玲, 夏攀登, 等. 植物油脂氧化及其氧化稳定性研究进展[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(4): 207 – 210.
- [23] WARAHO T, CARDENIA V, RODRIGUEZ – ESTRADA M T, et al. Prooxidant mechanisms of free fatty acids in stripped soybean oil – in – water emulsions [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(15): 7112 – 7117.