

猕猴桃籽油微乳液的制备及货架期预测

Preparation of kiwi fruit seed oil micro-emulsion and its shelf life prediction

蔡程晨¹ 朱式业² 熊武国³ 李加兴^{1,2} 易倩¹ 魏梓璐¹

CAI Cheng-chen¹ ZHU Shi-ye² XIONG Wu-guo³ LI Jia-xing^{1,2} YI Qian¹ WEI Zi-lu¹

(1. 吉首大学化学化工学院, 湖南 吉首 416000; 2. 吉首大学林产化工工程湖南省重点实验室,

湖南 张家界 427000; 3. 湖南省澧县中医医院, 湖南 澧县 415500)

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Jishou University, Jishou, Hunan 416000, China;

2. Key Laboratory of Hunan Forest Products and Chemical Industry Engineering, Jishou University, Zhangjiajie,

Hunan 427000, China; 3. Hunan Lixian Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lixian, Hunan 415500, China)

摘要:以猕猴桃籽油为原料,采用拟三元相图法制备微乳液并研究其稳定性,以推测货架期。在固定表面活性剂为 1,2 丙二醇、制备温度为 30 ℃ 的条件下,分别讨论猕猴桃籽油与肉豆蔻酸异丙酯(IPM)、混合表面活性剂吐温 80 与司盘 80 及表面活性剂与助表面活性剂(Km 值)的比值对形成微乳液面积区大小的影响,通过计算并比较拟三元相图微乳液区面积大小确定各因素的配比;并以过氧化值为稳定性评价指标,采用 Schaal 烘箱加速氧化法探讨贮藏温度对猕猴桃籽油微乳液氧化稳定性的影响,根据 Arrhenius 经验公式推导出货架期模型,对猕猴桃籽油微乳液货架期进行科学预测。结果表明,制备具有最大含水量的猕猴桃籽油微乳液的工艺组合为:猕猴桃籽油与 IPM 质量比 1:1、吐温 80 与司盘 80 质量比 2:1、表面活性剂与助表面活性剂质量比 3:1,该条件下油相占体系的 24.3%、增水量为 19.29%,微乳液的类型为油包水型,并具有良好的离心稳定性;猕猴桃籽油氧化一级反应回归方程为 $c = 0.0417e^{0.0011t}$,氧化反应动力学模型为 $k = 652.3e^{-\frac{32763.8}{RT}}$,该模型预测猕猴桃籽油微乳液在 25 ℃ 货架期为 1 491.53 h。

关键词:猕猴桃籽油微乳液;拟三元相图法;货架期;油包水;离心稳定性

基金项目:2018 年国家级大学生创新训练项目(编号:201810531018);2018 年湖南省科技厅重点研发计划项目(编号:2018NK2045);2017 吉首大学食品科学与工程专业综合改革创新项目(编号:JDSKCX-2017-02)

作者简介:蔡程晨,女,吉首大学在读本科生。

通信作者:李加兴(1969—),男,吉首大学教授,博士。

E-mail:jslijiaxing@163.com

收稿日期:2018-12-30

Abstract: Taking kiwi fruit seed oil as raw material, the quasi three element phase diagram method was used to prepare the micro-emulsion and its stability was analyzed to predict its shelf life. For the purpose, the quasi-ternary phase diagram of kiwi fruit seed oil micro-emulsion in the presence of surfactant is 1,2-propylene glycol, preparation temperatures was 30 ℃ and different proportion of kiwi fruit seed oil to IPM, Tween 80 to Span 80 and Km value was constructed by calculating and comparing the size of the micro-emulsion area. Taking peroxide values(POV) as stability evaluation index, the antioxidant stability effects of kiwi fruit seed oil micro-emulsion were analyzed by Schaal experiment under different storage temperature. The shelf life model was derived from Arrhenius empirical formula and the shelf life of kiwi fruit seed oil was predicted scientifically. The results showed that the preparation of kiwi fruit seed oil micro-emulsion were obtained as follows: kiwi fruit seed oil to IPM 1:1(w:w), HLB value was 9.75 and Km value was 3:1, the oil phase accounts for 24.3% and water phase was 19.29%(w:w), which was a water in oil, with good centrifugal stability. The first regression equation of kiwi fruit seed oil micro-emulsion was $c = 0.0417e^{0.0011t}$ and model $k = 652.3e^{-\frac{32763.8}{RT}}$. The shelf life of kiwi fruit seed oil micro-emulsion was predicted to be 1 491.53 h at 25 ℃.

Keywords: kiwi fruit seed oil micro-emulsion; quasi-ternary phase diagram method; shelf life; water in oil; centrifugal stability

猕猴桃籽油中富含多不饱和脂肪酸、脂类、黄酮类及其他生物活性物质,其中亚麻酸、亚油酸等不饱和脂肪酸占 75% 以上,特别是 α -亚麻酸含量高达 64.1%^[1-3]。研究^[4-7]表明, α -亚麻酸具有降血脂、降胆固醇、提高并保护脑神经膜机能、防止皮肤干燥、提高免疫力、抗过敏反应、

延缓衰老和促进脂肪代谢、肝细胞再生等作用。但也正因猕猴桃籽油富含多不饱和脂肪酸,而易于氧化变质,影响其营养价值与感官质量。

微乳液通常由表面活性剂、助表面活性剂、油和水在适当比例下自发形成的外观为透明或半透明体系,粒径为 10 ~ 100 nm,具有超低界面张力(通常约为 10^{-2} mN/m)及热力学稳定等特性^[8]。根据各组分比例、温度和压力等环境条件,微乳液可形成油包水型、双连续型和水包油型的结构^[9-11]。由于植物油脂微乳液具有热稳定性,且胶束粒子细小,易被皮肤吸收,具有功效明显、长期使用无副作用等优点^[12],所以被广泛应用。

因猕猴桃籽油作为一种富含多烯酸的功能性油脂,易于氧化,阻碍其在食品与日化品领域中的应用。将猕猴桃籽油微乳液制备成微乳液既可增强其氧化稳定性,还能增溶难溶成分。但目前有关猕猴桃籽油微乳液的研究甚少,本课题组前期^[13]曾对猕猴桃籽油微乳液氧化稳定性及体外抗氧化活性进行研究。本试验拟以猕猴桃籽油为原料,采用低能量乳化法制备微乳液,通过拟三元相图法优化微乳液配方,并对其抗氧化稳定性进行研究,以进一步扩展猕猴桃籽油的应用范围。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

猕猴桃籽油:采用超临界萃取工艺提取,湖南优镡农业开发有限公司;

失水山梨醇单油酸酯聚氧乙烯醚(吐温 80)、失水山梨醇单油酸酯(司盘 80)、肉豆蔻酸异丙酯(IPM):食品级;

硫代硫酸钠、无水乙醚、无水乙醇、碘化钾、可溶性淀粉、氢氧化钾、1-2-丙二醇、三氯甲烷、冰醋酸:分析纯。

1.2 仪器与设备

电子天平:FA2104 型,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:GZX-9146 MBE 型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;

水浴锅:HH-S 型,郑州长城科工贸有限公司;

电动离心机:800 型,常州市金环环宇科学仪器厂;

冰箱:BCD-215TS 型,青岛海尔股份有限公司;

pH 计:PHS-3C 型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

集热式恒温加热磁力搅拌器:DF-101S 型,郑州长城工贸有限公司。

1.3 方法

1.3.1 猕猴桃籽油微乳液的制备方法 采用 Shah 法^[14-15]制备微乳,首先将猕猴桃籽油与 IPM 按照一定质量比(1:1,2:1,3:1)配制成混合油相,再按照一定比

例加入表面活性剂、助表面活性剂,然后用胶头滴管逐滴加入蒸馏水,同时在一定温度下搅拌,直至溶液由浑浊变为澄清(形成微乳液),即可制备得到猕猴桃籽油微乳液。

1.3.2 拟三元相图法制备微乳液 表面活性剂与混合油相分别按照 9:1,8:2,7:3,6:4,5:5,4:6,3:7,2:8,1:9 的质量比进行微乳液的制备,分别计算出临界点各相所占质量百分比,以混合油相、混合表面活性剂相、水相作为拟三元相图的 3 个顶点,标出临界点各组分质量百分比,将临界点连线即可得到这一体系的拟三元相图,利用 Origin 8.5 软件绘制三元相图,用 AutoCAD 2007 软件分析比较其微乳区的面积大小,面积越大,表明该微乳液的配比越适宜^[16]。

1.3.3 混合油相中猕猴桃籽油与 IPM 比例筛选试验

以吐温 80:司盘 80=1:1(质量比)为表面活性剂,按 K_m 值 3:1 加入助表面活性剂 1,2-丙二醇,控制混合油相中的猕猴桃籽油与 IPM 的质量比为 1:1,2:1,3:1,逐滴加入蒸馏水,在 30 °C 下搅拌以制备微乳液,比较拟三元相图微乳区的面积大小,以筛选较适宜的猕猴桃籽油与 IPM 比例。

1.3.4 混合表面活性剂中吐温 80 与司盘 80 比例的筛选试验 以猕猴桃籽油:IPM=1:1(质量比)为混合油相,控制吐温 80:司盘 80 质量比例为 1:1,2:1,4:1,按 K_m 值 3:1 加入助表面活性剂 1,2-丙二醇,在 30 °C 下搅拌以制备微乳液,比较拟三元相图微乳区的面积大小,以筛选较适宜的混合表面活性剂中吐温 80 与司盘 80 的质量比例。

1.3.5 表面活性剂与助表面活性剂质量比(K_m 值)的筛选试验 控制 K_m 值分别为 2:1,3:1,4:1,在 30 °C 下搅拌以制备微乳液,比较拟三元相图微乳区面积大小,以筛选较适宜的 K_m 值。

1.3.6 微乳液类型鉴别 采用染色法^[17]。

1.4 微乳液稳定性分析

1.4.1 离心稳定性 微乳液应为澄清透明或半透明的液体,呈现出均相的稳定体系,即使离心也不易发生凝聚或相分离现象。采用 3 000 r/min 对微乳液离心 10 min,观察微乳液能否保持澄清透明或半透明状态^[18]。

1.4.2 贮藏温度对猕猴桃籽油微乳液抗氧化稳定性的影响 猕猴桃籽油微乳液分别置于 25,45,65 °C 的热风干燥箱中贮存,取样测定猕猴桃籽油微乳液过氧化值随贮藏时间的变化,以探讨温度对猕猴桃籽油微乳液抗氧化稳定性的影响。

1.4.3 猕猴桃籽油微乳液货架期预测模型的建立 Arrhenius 方程可以反映食品腐败变质的速率与环境温度之间的函数关系^[19],方程如下:

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (1)$$

式中:

k_0 ——方程指前因子;

E_a ——活化能,kJ/mol;

R ——气体常数,8.314 J/(mol · K);

T ——热力学温度,K。

对式(1)两边取对数可得:

$$\ln k = (-\frac{E_a}{RT}) + \ln k_0. \tag{2}$$

由式(2)可知,lnk 与热力学温度的倒数(1/T)呈线性关系,斜率为 $-E_a/R$,ln k_0 为常数项。求得不同温度下的反应速率常数后,用lnk 对绝对温度的倒数 1/T 作图,就可求得表观活化能 E_a 、指前因子 k_0 ,再采用式(1)、(2)即可推导出猕猴桃籽油微乳液的氧化动力学模型。

为反映猕猴桃籽油微乳液样品的氧化速率与环境温度的关系,根据猕猴桃籽油微乳液在不同贮藏温度(25, 45, 65 ℃)下过氧化值随贮藏时间的变化,采用猕猴桃籽油微乳液的氧化动力学模型求得不同温度下的氧化反应速率常数,再根据式(3)即可计算出猕猴桃籽油微乳液的货架期。

$$A = A_0 e^{(kt)}, \tag{3}$$

式中:

A ——过氧化值,g/100 g;

A_0 ——样品初始过氧化值,g/100 g;

k ——氧化反应速率常数;

t ——储藏时间即货架期,h。

1.5 分析检测方法

1.5.1 过氧化值测定 按 GB 5009.227—2016 执行。

1.5.2 酸价测定 按 GB 5009.229—2016 执行。

2 结果与分析

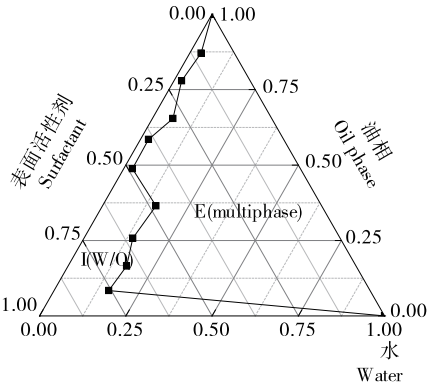
2.1 制备猕猴桃籽油微乳液的影响因素

2.1.1 猕猴桃籽油与 IPM 质量比对形成猕猴桃籽油微乳液的影响 不同质量比猕猴桃籽油与 IPM 对形成猕猴桃籽油微乳液的影响如图 1 和表 1 所示。

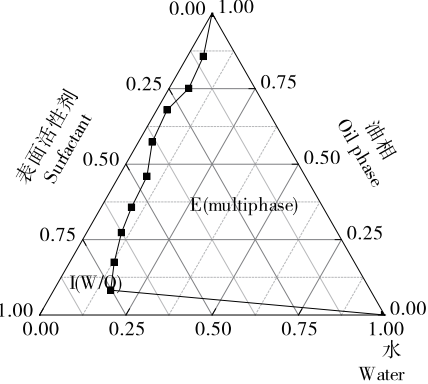
试验^[20]表明,在猕猴桃籽油微乳液中加入 IPM,微乳区能稳定存在。可能是油相分子链长越长而越难以插入表面活性剂中形成混合膜。根据图 1 和表 1 得知,随着

表 1 猕猴桃籽油与 IPM 比例对微乳区面积的影响
Table 1 Different ratio of kiwi fruit seed oil to IPM on forming region of micro-emulsion

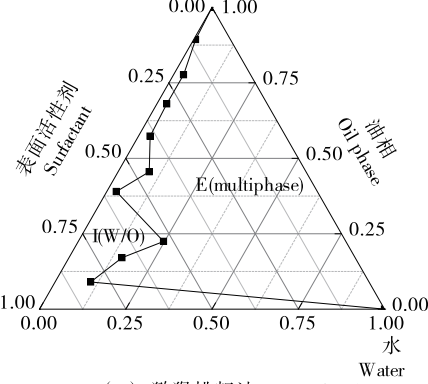
猕猴桃籽油与 IPM 质量比	面积/%
1 : 1	15.68
2 : 1	14.44
3 : 1	14.06



(a) 猕猴桃籽油: IPM=1:1



(b) 猕猴桃籽油: IPM=2:1



(c) 猕猴桃籽油: IPM=3:1

E. 多相区 I. 单相区

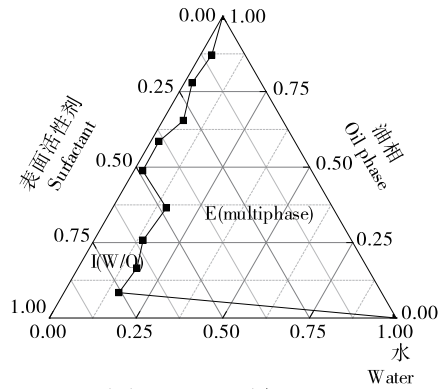
图 1 不同比例猕猴桃籽油与 IPM 的三元相图
Figure 1 Ternary phase diagram of different ratios of kiwi fruit seed oil and IPM

猕猴桃籽油含量的增加,微乳区面积不断减小,可能是 IPM 的加入能在一定程度上增强非离子表面活性剂形成微乳的能力。

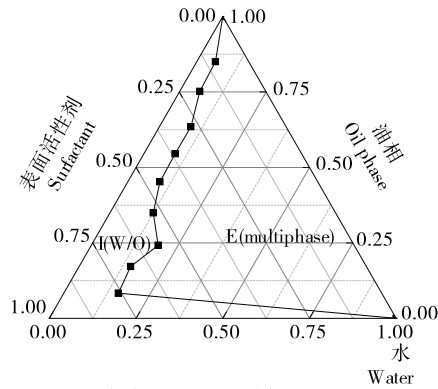
2.1.2 吐温 80 与司盘 80 质量比对形成猕猴桃籽油微乳液的影响 表面活性剂吐温 80 与司盘 80 不同比例混合对形成猕猴桃籽油微乳液的影响如图 2 和表 2 所示。

单一的表面活性剂往往很难满足由多组分体系的微乳化要求^[21],但是若复配表面活性剂中司盘 80 含量较高,易发生静电相斥作用,不利于表面活性剂分子在界面

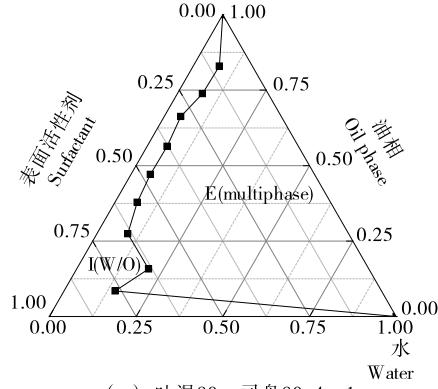
的紧密排列。根据图 2 和表 2 可知,微乳区面积在吐温 80 和司盘 80 质量比为 2 : 1 时面积较大,该比例下形成



(a) 吐温 80 : 司盘 80=1 : 1



(b) 吐温 80 : 司盘 80=2 : 1



(c) 吐温 80 : 司盘 80=4 : 1

E. 多相区 I. 单相区

图 2 不同比例吐温 80 与司盘 80 的三元相图

Figure 2 Ternary phase diagrams of different ratios of Tween 80 : Span 80

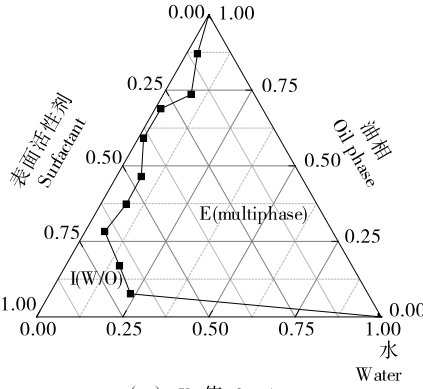
表 2 吐温 80 与司盘 80 质量比对微乳区面积的影响
Table 2 Different ratio of Tween80 to Span80 on forming region of micro-emulsion

吐温 80 与司盘 80 质量比	面积/%
1 : 1	15.68
2 : 1	19.34
4 : 1	16.24

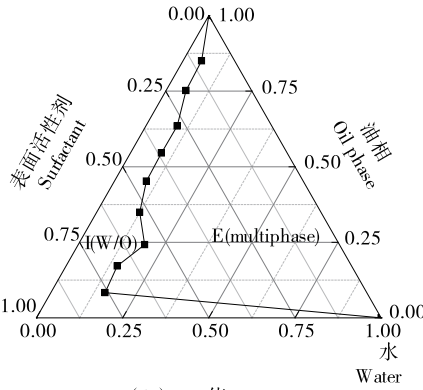
的混合膜与油相和水相都有强的亲和力^[22]。若继续增加吐温 80 可能会使司盘 80 在界面排列所受空间阻力变大而导致微乳区面积减小。

2.1.3 K_m 值对形成猕猴桃籽油微乳液的影响 K_m 值对形成猕猴桃籽油微乳液影响的如图 3 和表 3 所示。

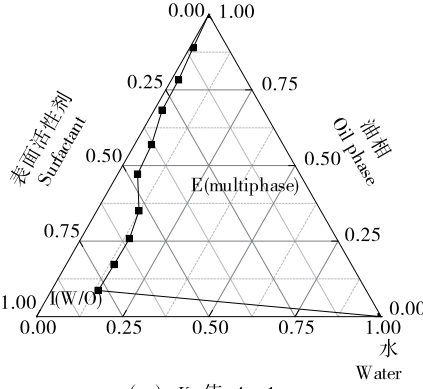
根据图 3 和表 3 得知,微乳区面积随着 K_m 值得变化呈先上升后减小。其中,在 K_m 值为 3 : 1 时,微乳区面积最大,可能与在微乳液制备中加入一定浓度的助表面活性剂(1,2-丙二醇)后,能使界面张力进一步降低有关。此时,界面扩展生成完好的液滴,体系可形成较大面



(a) K_m 值=2 : 1



(b) K_m 值=3 : 1



(c) K_m 值=4 : 1

E. 多相区 I. 单相区

图 3 不同 K_m 值的三元相图

Figure 3 Ternary phase diagrams of different K_m value

表 3 K_m 值对微乳区面积的影响

Table 3 Different ratio of K_m values on forming of micro-emulsion

K_m 值	面积/%
2 : 1	14.48
3 : 1	19.34
4 : 1	13.69

积的微乳区^[23]。随着表面活性剂含量继续增加,使得微乳区面积减小,可能是因为助表面活性剂相对含量减少,导致其在油水界面的密度下降,难以维持较低的油/水界面张力^[24]。

2.1.4 猕猴桃籽油微乳液的类型判定 亚甲基蓝浮于微乳液面,不扩散也不渗透;而苏丹红Ⅳ不仅融于液滴,并且扩散、渗透于液滴中。说明苏丹红Ⅳ大于亚甲基蓝的扩散速率,即形成油包水型微乳液。

2.2 猕猴桃籽油微乳液的稳定性分析

2.2.1 离心稳定性 未出现油水分离,仍保持着澄清透明,说明该体系具有良好的离心稳定性。

2.2.2 贮藏温度对猕猴桃籽油微乳液氧化稳定性的影响

猕猴桃籽油微乳液在不同贮藏温度下过氧化值随贮藏时间的变化结果见图 4。

表 4 猕猴桃籽油微乳液在不同温度下基于过氧化值的回归方程

Table 4 Regression equation of POV changes of kiwi fruit seed oil under different temperature

温度/℃	零级反应回归方程	零级反应回归系数	一级反应回归方程	一级反应回归系数
25	$c = 0.000\ 1t + 0.040\ 9$	0.974\ 7	$c = 0.041\ 7e^{0.001\ 1t}$	0.988\ 1
45	$c = 0.000\ 3t + 0.033\ 5$	0.928\ 3	$c = 0.041\ 6e^{0.003\ 2t}$	0.992\ 2
65	$c = 0.000\ 7t + 0.022\ 0$	0.963\ 0	$c = 0.047\ 2e^{0.005\ 2t}$	0.988\ 4

由表 4 可知,在同等温度下,零级反应速率方程的回归系数小于一级反应,拟合度低,说明猕猴桃籽油微乳液氧化反应属于一级反应。从方程看出,过氧化值速率随温度上升而加快,说明温度对油脂的氧化有加速作用。

由表 4 可得,不同温度下的 k 值,用 $\ln k$ 对绝对温度的倒数 $1/T$ 作图,可得到一条斜率为 $-E_a/R$ 的直线,求得 E_a 和 k_0 ,如图 5 所示。

因 $\ln k$ 与热力学温度的倒数($1/T$)呈线性关系,斜率为 $-E_a/R$, $\ln k_0$ 为常数项。由图 5 可知, $E_a/R = 3\ 940.8$, $\ln k_0 = 6.480\ 5$, $R^2 = 0.969$,说明 $\ln k$ 与 $1/T$ 的相关性较好。在此基础上建立猕猴桃籽油微乳液储藏过程中氧化反应速率常数 k 与储藏温度(T)之间的 Arrhenius 方程为:

$$k = 652.3e^{-\frac{32\ 763.8}{RT}} \quad (4)$$

2.2.4 货架期动力学模型预测 将 GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》中过氧化值的限值(0.25 g/100 g)

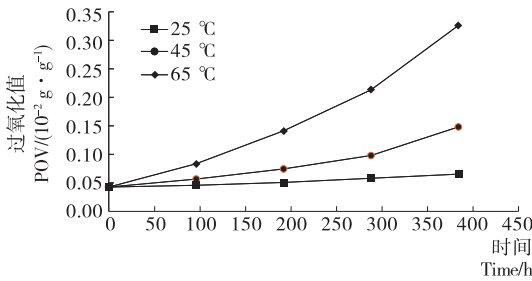


图 4 猕猴桃籽油微乳液过氧化值随贮藏时间的变化
Figure 4 Changes in POV of kiwi fruit seed oil micro-emulsion with storage time

由图 4 可知,随着贮藏时间的延长而过氧化值逐渐升高,且温度越高过氧化值增幅越大。说明温度对猕猴桃籽油微乳液氧化稳定性的影响较大,而且温度越高对其货架期越不利。中国对油脂货架期的预测大多选用过氧化值达到国标上限值作为依据^[25]。

2.2.3 猕猴桃籽油微乳液贮藏过程中品质变化的动力学模型 为了探究猕猴桃籽油微乳液与温度之间的关系,根据化学反应动力学原理^[26],分别用零级反应动力学方程 $c = c_0 - kt$ 和一级反应动力学方程 $c = c_0 \cdot e^{-kt}$ 对猕猴桃籽油微乳液在不同温度下的过氧化值进行拟合,结果如表 4 所示。

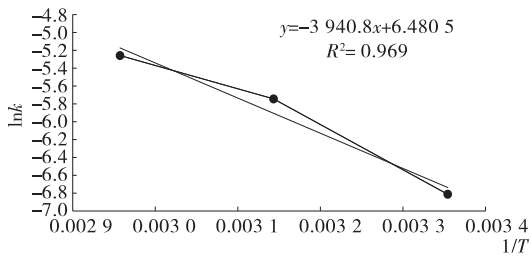


图 5 猕猴桃籽油微乳液贮藏温度及其对应的反应速率的回归分析
Figure 5 Regression analysis of temperature and reaction rate of kiwi fruit seed oil micro-emulsion

作为货架期终点,采用猕猴桃籽油微乳液氧化动力学模型求出 25 °C 下猕猴桃籽油微乳液的氧化反应速率常数,并代入式(3)得到不同温度下猕猴桃籽油微乳液的货架期的理论值,见表 5。

表 5 不同贮藏温度下猕猴桃籽油微乳液的货架期

Table 5 Calculated shelf-life of kiwi fruit seed oil micro-emulsion at different temperature

温度/℃	货架期预测值/h
25	1 491.53
45	649.80
65	312.33

3 结论

本试验在固定表面活性剂为 1,2-丙二醇、制备温度为 30 ℃ 的条件下,采用拟三元相图法,得到制备猕猴桃籽油微乳液的最佳条件为:猕猴桃籽油微乳液与 IPM 质量比 1:1、吐温 80 与司盘 80 质量比 2:1、表面活性剂与助表面活性剂质量比 3:1,此时油相占总微乳体系的 24.3%、增水量为 19.29%,微乳液的类型为油包水型,并具有良好的离心稳定性。并得知温度是影响猕猴桃籽油微乳液氧化稳定性和货架期的主要因素,且氧化反应属于一级反应回归方程,为 $c = 0.0417e^{0.0011t}$,猕猴桃籽油氧化反应动力学模型为 $k = 652.3e^{-\frac{32763.8}{RT}}$;由此预测模型预测在 25 ℃ 下的猕猴桃籽油微乳液货架期为 1 491.53 h。本试验解决了猕猴桃籽油在食品与化妆品应用领域的技术瓶颈,进一步扩大了其营养范围。

本研究的不足之处在于选择的比例较少,无样品实际保存期与预测模型的数据比较。为了解决上述问题,应选择尽量多的比例进行筛选,测定样品实际保存值并与预测模型的数据进行比较。

参考文献

[1] 朱建华,钟瑞敏,陈崇贵.海藻酸铝固定化酵母猕猴桃果酒发酵工艺及酒体澄清研究[J].酿酒,2006(4):75-77.
 [2] 熊铁一,罗禹.猕猴桃籽油的提取、成分和增强免疫功能的研究[J].中国医药指南,2014,12(20):96-98.
 [3] 徐姗姗,刘文颖,陆路,等.猕猴桃籽油微胶囊的制备及稳定性研究[J].食品与发酵工业,2018,44(9):136-141.
 [4] DOMÍNGUEZ-AVILA J A, ALVAREZ-PARRILLA E, LÓPEZ-DÍAZ J A, et al. The pecan nut (*Carya illinoensis*) and its oil and polyphenolic fractions differentially modulate lipid metabolism and the antioxidant enzyme activities in rats fed high-fat diets[J]. Food Chemistry, 2015, 168: 529-537.
 [5] MCCUE P, SHETTY K. Health benefits of soy isoflavonoids and strategies for enhancement: a review[J]. Crit Rev Food Sci, 2004, 44(5): 361-367.
 [6] 李先辉,张洁,李超,等.植物 α -亚麻酸的生物活性与功效[J].卫生职业教育,2016,34(18):144-146.
 [7] 韩丽丽,侯占群,文剑,等.富含 α -亚麻酸的功能性油脂及其微胶囊化研究进展[J].食品研究与开发,2015,36(21):185-189.

[8] 郭荣.微乳液的特性与应用[J].江苏化工,1989(4):14-17.
 [9] WANG Jian-lei, WANG Zheng-wu, LIU Feng, et al. Preparation and in vitro release test of insulin loaded W/O microemulsion[J]. Journal of Dispersion Science and Technology, 2008, 29(5): 756-762.
 [10] REN Xia-zhong, SVIRSKIS D, ALANY R G, et al. In-situ phase transition from microemulsion to liquid crystal with the potential of prolonged parenteral drug delivery[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2012, 431(1/2): 130-137.
 [11] 邓伶俐,余立意,买尔哈巴·塔西帕拉提,等.纳米乳液与微乳液的研究进展[J].中国食品学报,2013,13(8):173-180.
 [12] 朱式业,李加兴,关智谋,等.植物油脂微乳制备与应用研究进展[J].中国油脂,2018,43(10):58-64.
 [13] 蔡程晨,朱式业,熊武国,等.猕猴桃籽油微乳液氧化稳定性及体外抗氧化活性研究[J].农产品加工,2019(1):13-17.
 [14] PATEL N, SCHMID U, LAWRENCE M J. Phospholipidbased microemulsions suitable for use in foods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(20): 7 817-7 824.
 [15] SEBASTIÃO M J, CABRAL J M S, AIRES-BARROS M R. Synthesis of fatty acid esters by a recombinant cutinase in reversed micelles[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1993, 42(3): 326-332.
 [16] 罗建洪,李军,窦智慧,等.微乳液拟三元相图体系制备研究[J].化学工程师,2017,31(2):15-17.
 [17] 徐文婷.非离子表面活性剂形成微乳的规律性研究[D].无锡:江南大学,2009:23-24.
 [18] 杨豆,张卫波.O/W型微乳液的制备及稳定性的研究[J].中国洗涤用品工业,2018(2):47-52.
 [19] LABUZA T P, SCHMIDL M K. Accelerated shelf-life testing of foods[J]. Food Technology, 1985, 39(9): 57.
 [20] 易海斌.柚子籽油微乳的制备及质量评价[D].南昌:南昌大学,2012:6-7.
 [21] 王李节,周艺峰,聂王焰.微乳形成与应用研究进展[J].安徽化工,2007(1):16-19.
 [22] 黄文轩.第18讲:表面活性剂的特性及应用:乳化剂和破乳化剂[J].石油商技,2018,36(4):80-94.
 [23] 滕弘霓,陈宗淇.醇对非离子表面活性剂所形成微乳液的影响[J].吉林化工学院学报,1996(4):8-12.
 [24] 郭静,蒋建国,韦林洪,等.橄榄油微乳体系的相行为及影响因素研究[J/OL].食品工业科技.(2018-11-22)[2018-12-05].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20181121.1044.003.html.
 [25] 易志,吴雪辉,沈冰,等.温度及光照对亚麻籽油贮藏稳定性影响研究[J].粮食与油脂,2016,29(6):17-21.
 [26] 朱由珍,吉宏武,刘书成,等.真空油炸脆胚包装条件的选择及货架期预测[J].广东海洋大学学报,2018,38(4):35-42.