

谷维素对纳米乳液理化稳定性的影响

Effect of oryzanol on the physicochemical stability of nanoemulsions

杨贵妃^{1,2} 刘 昕^{1,2} 黎重阳^{1,2} 钟金锋^{1,2} 覃小丽^{1,2}

YANG Gui-fei^{1,2} LIU Xin^{1,2} LI Chong-yang^{1,2} ZHONG Jin-feng^{1,2} QIN Xiao-li^{1,2}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学食品科学与工程国家级实验教学示范中心, 重庆 400715)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Food Science and Technology Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

摘要:研究了不同质量浓度谷维素(0%, 1%, 2%)及储藏温度(4, 25, 37 °C)对纳米乳液理化稳定性的影响及其规律。结果表明:在不同储藏温度下,谷维素浓度对纳米乳液的物理稳定性没有显著影响。在4, 25 °C下,纳米乳液的化学稳定性与谷维素浓度不存在显著相关性。在37 °C下,纳米乳液的过氧化值和茴香胺值与谷维素浓度呈负相关。根据动力学分析,一级动力学模型能更好反映纳米乳液中油脂氧化的变化趋势。

关键词:谷维素; 纳米乳液; 稳定性; 动力学

Abstract: The effects of oryzanol levels (0%, 1% and 2%) and storage temperature (4, 25 and 37 °C) on the physicochemical stability of the nanoemulsions were investigated. The results showed that oryzanol level had no significant effect on the physical stability of the nanoemulsions stored at different temperatures. There was no correlation between the oryzanol level and the chemical stability of the nanoemulsions stored at 4 and 25 °C. The peroxide and anisidine values of the nanoemulsion that stored at 37 °C were negatively correlated with the oryzanol levels. According to kinetics analysis, the first-order kinetic model could better reflect the change trend of lipid oxidation in the nanoemulsions.

Keywords: oryzanol; nanoemulsion; stability; kinetics

谷维素是一类脂溶性维生素,主要以环木菠萝醇类阿魏酸酯和甾醇类阿魏酸酯组成^[1]。其在米糠油中含量最高,约为2%~3%。谷维素具有降低胆固醇、降血糖血脂、抗氧化等作用,被广泛用于医药、食品、化妆品等领域。目前,谷维

素的研究主要集中在谷维素的提取与纯化^[2-3]、功能性食品开发^[4-5]、抗氧化性、药理作用^[6-7]和作为凝胶因子制备凝胶油^[8]等方面。

谷维素作为天然的食品抗氧化剂可延缓食品氧化变质而备受关注。Sunil等^[9]将不同含量谷维素(0%~3%)的葵花籽油于37 °C下储藏5周,结果显示油脂的化学稳定性与谷维素浓度呈正相关。沈鸿等^[10]在油茶籽油中添加0.1%和0.5%的谷维素,于(62±1) °C的烘箱中加速氧化14 d,结果显示含谷维素的油茶籽油在加速氧化第4天的过氧化值增长速率比对照组(不添加谷维素的油茶籽油)慢,第14天后对照组的过氧化值分别是含0.5%和0.1%谷维素油茶籽油的2.0, 1.6倍。可见,谷维素在油脂的稳定性方面有着积极的作用,但其对其他食品体系(如:乳液)中油脂的稳定性影响有待进一步研究。

水包油乳液可作为脂溶性功能成分的载体而在食品领域备受关注。然而,乳液体系中的脂质易发生氧化,从而降低食品乳液的品质。目前,用于提高乳液化学稳定性的抗氧化剂主要有抗坏血酸、茶多酚等。丁俭等^[11]研究发现乳液中添加15 mmol/L的抗坏血酸时,乳液具有更好的氧化稳定性。孙静静等^[12]研究发现在水相中添加0.1 g/mL的茶多酚对乳液的氧化抑制率达92.42%。Vorarat等^[13]制备了米糠油加谷维素的乳液和米糠油乳液,通过2,2-二苯基-1-苦基肼基自由基清除法和铁还原抗氧化电位法测定来评估2种乳液的氧化稳定性,结果显示米糠油加谷维素的乳液比米糠油乳液具有更高的Trolox当量抗氧化能力值,最高高达1.9倍,说明添加谷维素有助于提高乳液的氧化稳定性。然而,不同谷维素浓度在不同储藏温度下对纳米乳液理化稳定性的影响尚未清楚。因此,本试验拟研究谷维素质量浓度分别为0%, 1%, 2%的纳米乳液在不同储藏温度(4, 25, 37 °C)下的理化稳定性及其变化规律,为谷维素在食品领域的应用提供一定借鉴。

基金项目:国家自然科学基金(编号:31601430);中央高校基本科研业务费专项(编号:XDJK2017B040);重庆市博士后科研项目特别资助(编号:Xm2017046);国家级大学生创新创业训练计划(编号:201810635060)

作者简介:杨贵妃,女,西南大学在读本科生。

通信作者:覃小丽(1984—),女,西南大学副教授,博士。

E-mail: qinxl@swu.edu.cn

收稿日期:2018-08-25

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大豆卵磷脂:高纯度,合肥博美生物科技有限责任公司;
辛烯基琥珀酸酯淀粉:上海天活贸易有限公司;
中链甘油三酯:上海一基实业有限公司;
谷维素:98%,大连美仑生物技术有限公司;
大豆油:中粮福临门食品营销有限公司;
超纯水:YSL-RO-T10L/H 超纯水系统(Ashland 公司)

制备。

1.2 仪器与设备

集热式恒温加热磁力搅拌器:DF-101S 型,巩义市予华仪器有限责任公司;

高速均质机:T18 ULTRA-TURRAX 型,德国 IKA 公司;

激光粒径仪:Zetasizer NS90 型,英国 Malvern 公司;

紫外可见分光光度计:T6 型,北京普析通用仪器有限责任公司。

1.3 试验方法

1.3.1 纳米乳液的制备 准确称取 63.00 g 超纯水和 1.47 g 辛烯基琥珀酸酯淀粉于烧杯,在 30 ℃ 水浴中搅拌 1 h (433 r/min),得到水相。准确称取 1.47 g 大豆油、0.63 g 中链甘油三酯、3.43 g 磷脂以及不同质量的谷维素于烧杯中,在 50 ℃ 水浴中搅拌 1 h (100 r/min),获取含有不同质量浓度(0%,1%,2%)谷维素的油相。将油相置于 30 ℃ 水浴中搅拌(100 r/min),并将水相于 3 min 内滴加于油相中,滴加完后计时搅拌 30 min,接着进行均质(20 000 r/min,8 min)。得到含不同质量浓度(0%,1%,2%)谷维素的纳米乳液。

1.3.2 谷维素浓度及储藏温度对纳米乳液的物理和化学稳定性的影响 将含有不同质量浓度(0%,1%,2%)谷维素的纳米乳液分别在 4,25,37 ℃ 下储藏 45 d,并定期取样,研究谷维素浓度对不同储藏温度下纳米乳液的物理稳定性[包括平均粒径、多分散系数(polydispersity index, PDI)和外观]和化学稳定性(包括过氧化值和茴香胺值)的影响。

1.3.3 谷维素对纳米乳液化学稳定性影响的动力学模型

研究^[14-15]表明油脂氧化遵循零级动力学反应,然而在油脂中添加抗氧化剂后,在含有油脂的体系中,油脂的氧化反应符合零级反应和一级反应。因此可以利用动力学反应建立纳米乳液中油脂氧化时产生的过氧化物浓度和氧化时间之间的关系模型,反应式可用式(1)表示。

$$r = \frac{dC}{dt} = kC^n, \quad (1)$$

式中:

r ——化学反应速率,mmol/(L·d);

C ——反应 t 时刻的过氧化物浓度,mmol/L;

n ——反应级数;

k ——化学反应速率常数,其单位由反应级数 n 确定;

t ——氧化时间,d。

根据现有的报道^[14-16],对纳米乳液中油脂的氧化进行

零级和一级动力学分析,其动力学方程分别为:

$$\text{零级反应: } C = C_0 + k_0 t, \quad (2)$$

$$\text{一级反应: } \ln C = \ln C_0 + k_1 t, \quad (3)$$

式中:

C_0 —— $t=0$ 时的过氧化物浓度,mmol/L;

k_0 ——零级反应速率常数,mmol/(L·d);

k_1 ——一级反应速率常数,d⁻¹。

1.4 评价指标检测方法

1.4.1 纳米乳液的粒径和 PDI 测定 用超纯水分别对各取样时间点(1,10,17,27,40,45 d)的纳米乳液稀释 1 000 倍。然后,使用激光粒径仪测定稀释后纳米乳液的粒径和 PDI。

1.4.2 纳米乳液的过氧化值测定 采用过氧化值评价纳米乳液中油脂的初级氧化产物(主要为氢过氧化物),具体方法参照 Zhong 等^[17]方法进行。根据余辉等^[18]的方法建立 Fe³⁺ 标准曲线,以吸光值对相应的 Fe³⁺ 含量(μg/mL)绘制标准曲线为 $y = 0.241 1x + 0.016$, $R^2 = 0.999 5$ 。基于 Fe³⁺ 的标准曲线,根据式(4)可计算纳米乳液的过氧化值。

$$PV = \frac{(A - b) \times 1.8 \times 9.09}{a \times V \times 2 \times 56 \times 0.6}, \quad (4)$$

式中:

PV——纳米乳液的过氧化值,mmol/L;

A ——510 nm 处的吸光值, $A = A_{\text{样品}} - A_{\text{空白}}$;

a, b ——Fe³⁺ 标准曲线的斜率和截距;

V ——纳米乳液体积,mL;

56——Fe³⁺ 的摩尔质量,g/mol;

2——Fe³⁺ 和氢过氧化物的摩尔比;

9.09——样品反应的体积,mL;

1.8——含提取物的有机溶剂相总体积,mL;

0.6——测定所用的含提取物的有机溶剂相体积,mL。

1.4.3 纳米乳液的茴香胺值测定 采用茴香胺值评价纳米乳液中油脂的次级氧化产物,具体操作参照 ISO 6885—2006,根据式(5)计算纳米乳液的茴香胺值。

$$AV = \frac{100 \times Q \times V}{m} \times 1.2 \times (A_1 - A_2 - A_0), \quad (5)$$

式中:

AV——纳米乳液的茴香胺值;

V ——异辛烷萃取纳米乳液后的体积,mL;

m ——纳米乳液中油的质量,g;

Q ——测定溶液中样品浓度,0.01 g/mL;

A_1 ——反应溶液吸光度;

A_2 ——空白溶液吸光度;

A_0 ——未反应溶液吸光度;

1.2——用 1 mL 茴香胺试剂或冰醋酸溶液稀释测试溶液的校正因子。

1.5 数据处理

每组试验至少重复 2 次,每个样品的各指标至少平行测定 3 次,结果以平均值±标准偏差表示。采用 Microsoft Excel 2010、SPSS 18.0 和 Origin 8.0 等软件对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同储藏温度下谷维素浓度对纳米乳液物理稳定性的影响

如图 1 所示,所有纳米乳液的平均粒径均随着储藏时间的延长而呈现逐步增长的趋势。在 4 °C 下储藏 45 d 后,谷维素质量浓度为 0%,1%,2% 的纳米乳液平均粒径的增长率为 7%,6%,6%,但差异不显著[图 1(a)],这说明在该温度下谷维素浓度对纳米乳液的物理稳定性没有显著影响。在较高储藏温度(25,37 °C)下,纳米乳液的平均粒径在储藏前期(<10 d)呈快速增加,10 d 后趋于缓慢增加的趋势[图 1(b)、(c)]。在所考察的储藏期(45 d)内,纳米乳液的平均粒径在较高储藏温度(25,37 °C)下的增长率(10%~19%)高于 4 °C (6%~7%)下的。含不同谷维素浓度的纳米乳液在较高温

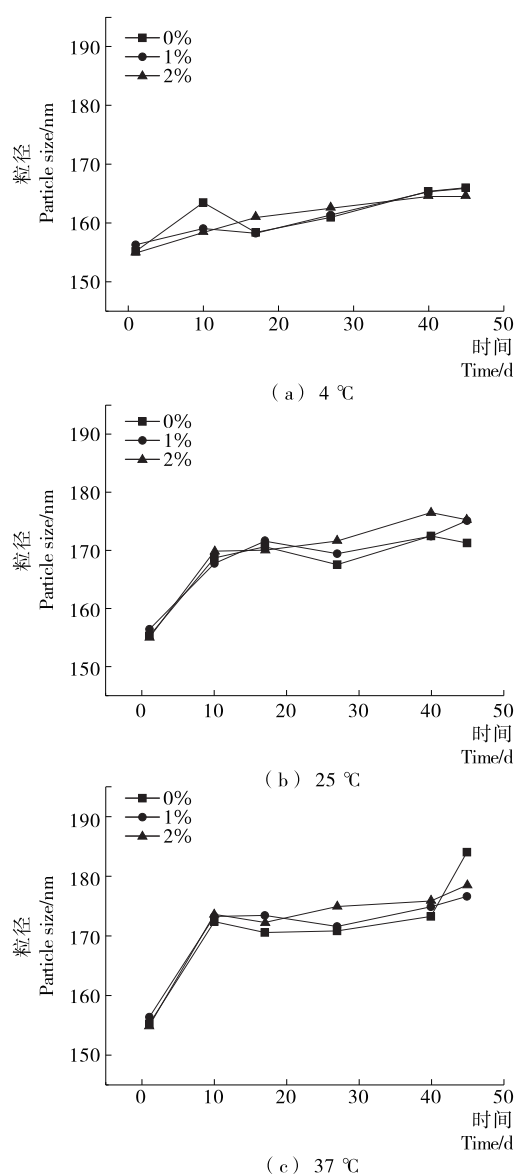


图 1 不同温度下不同谷维素浓度的纳米乳液粒径变化图
Figure 1 Changes in particle size of nanoemulsions with different oryzanol concentrations at different temperatures

下储藏 45 d 时的平均粒径没有显著差异($P > 0.05$) [图 1(b)、(c)]。以 1% 谷维素的纳米乳液为例,由图 2 可知,不同储藏温度下的纳米乳液呈相似的单峰分布,说明所研究的纳米乳液是均一体系。4 °C 下储藏 45 d 纳米乳液的粒径分布和鲜样的基本重合,说明 4 °C 下纳米乳液最稳定。随着储藏温度的升高,粒径分布呈变窄且峰值向右移动趋势。通过峰强度变化分析发现,4 °C 下储藏的纳米乳液中,47.7% 的粒径分布于 50.7~164.0 nm,39.9% 的粒径分布于 164~396 nm; 37 °C 下,36.2% 的粒径分布于 78.8~164.0 nm,60.4% 的粒径分布于 164~396 nm,由此可见较大粒径液滴比例增大,因而纳米乳液的平均粒径增大,这与图 1 中粒径测定结果一致。这可能是乳液液滴在较高温度下运动较快而发生奥氏熟化或碰撞聚合的几率较大,因而使纳米乳液的平均粒径增加^[19]。0%,1%,2% 谷维素的纳米乳液在不同温度下储藏过程中 PDI 变化情况一致,所有纳米乳液的 PDI 值集中在 0.20~0.25,纳米乳液的粒径分散比较均匀。不同温度下储藏的 PDI 曲线比较平缓,45 d 后各温度下的 PDI 值之间无显著差异($P > 0.05$) (图 3)。综合上述可知,含不同浓度谷维素的纳米乳液在不同储藏温度下的物理稳定性没有显著变化,低温(4 °C)对纳米乳液的物理稳定性影响最小,纳米乳液在储藏过程中始终保持均匀分散。

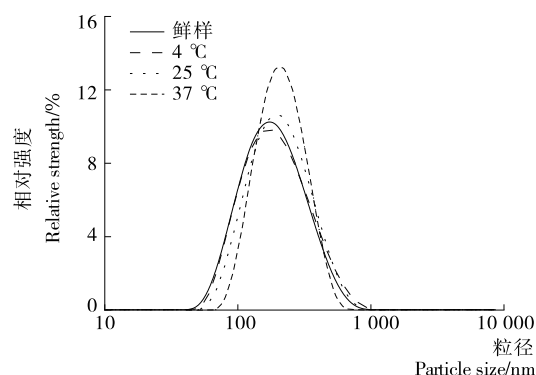


图 2 1% 谷维素的纳米乳液储藏 45 d 后的粒径分布图
Figure 2 The particle size distribution of nanoemulsions with 1% oryzanol stored at different temperatures for 45 days

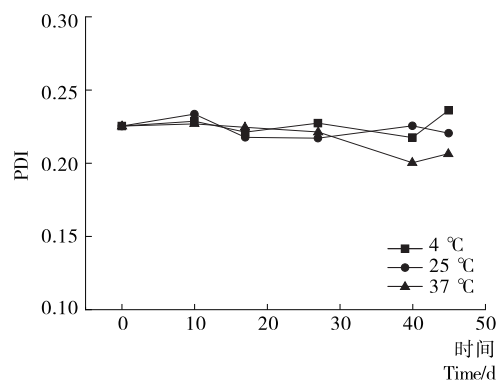


图 3 1% 谷维素的纳米乳液在不同温度下储藏的 PDI 变化图
Figure 3 Changes in PDI of nanoemulsions with 1% oryzanol stored at different temperatures

2.2 不同储藏温度下谷维素浓度对纳米乳液化学稳定性的影响

研究^[20-21]表明谷维素作为植物源性的天然抗氧化剂,能够作为电子供体拦截具有强氧化能力的自由基而终止链式反应,从而抑制油脂过氧化。由图4可知,纳米乳液的过氧化值随着储藏时间的延长呈增加的趋势。然而,不同谷维素浓度对各储藏温度下纳米乳液过氧化值的影响存在差异。例如,0%,1%,2%谷维素纳米乳液在37℃储藏第45天时的过氧化值分别是4℃下相对应谷维素浓度纳米乳的66.6,55.9,32.8倍,而0%,1%,2%谷维素纳米乳液在25℃储藏第45天时的过氧化值分别是4℃下相对应谷维素浓度纳米乳液的5.8,5.4,5.6倍。说明纳米乳液在低温(4℃)下的氧

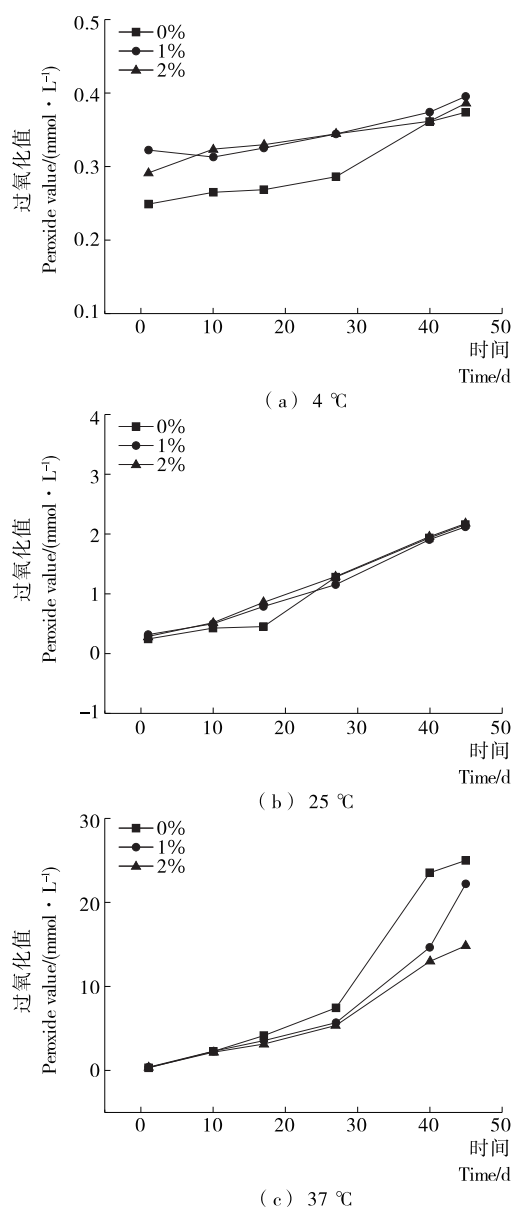


图4 不同温度下不同谷维素浓度对纳米乳液过氧化值的影响

Figure 4 Effect of different oryzanol concentrations on peroxide value of nanoemulsions at different temperatures

化程度较低,这与低温抑制纳米乳液的氧化反应有关。此外,不同谷维素浓度的纳米乳液分别在4,25℃下储藏45 d后的过氧化值没有显著差异($P>0.05$),这提示了在较低温度(4,25℃)条件下添加谷维素能减缓纳米乳液的氧化程度,但纳米乳液的化学稳定性与所考察谷维素浓度不存在显著相关性[图4(a)、(b)]。然而,由图4(c)可知,在37℃下储藏27 d后,纳米乳液的过氧化值呈现急剧升高的趋势,且所考察的谷维素浓度与纳米乳液(>27 d)的过氧化值有着明显的负相关性。在第45天时,2%,1%谷维素浓度的纳米乳液过氧化值分别是0%谷维素纳米乳液的0.6,0.9倍[图4(c)]。说明在37℃储藏后期(>27 d),谷维素浓度越高就越能够有效降低纳米乳液中油脂的氧化程度。这可能是在37℃下纳米乳液中油脂发生氧化程度比低温(4,25℃)要高得多,因此乳液中含有更多的烷基自由基,它与基态分子氧形成链式反应加速油脂氧化。谷维素中的阿魏酸基团上的酚羟基和结构中双键形成的共轭体系能够在一定程度上阻断自由基的链式传输^[22];随着谷维素浓度的增大,谷维素阻断链式反应效果可能越明显,因此延缓纳米乳液的氧化就越明显。

根据纳米乳液储藏过程中过氧化值随时间的变化规律,对其进行动力学分析,以评价纳米乳液在储藏过程中的变化情况。按照零级动力学模型[式(2)]和一级动力学模型[式(3)]拟合过氧化值的变化,结果如表1所示。由表1可知,一级动力学模型中过氧化值与氧化时间之间的线性回归系数 R^2 基本大于零级动力学模型中的,其中零级动力学模型在37℃下出现过拟合情况;说明一级动力学模型能够更好地反映过氧化值与储藏时间的线性关系。因此,通过一级动力学模型拟合后得到的化学反应速率常数 k_1 来分析纳米乳液的变化情况。由表1可知,随着储藏温度的升高,化学反应速率常数 k_1 不断增大,说明纳米乳液的氧化程度不断增大。向纳米乳液中添加谷维素,在4℃下,化学反应速率常数 k_1 从0.009 4 d⁻¹降到0.004 9 d⁻¹;在25℃下,化学反应速率常数 k_1 从0.050 5 d⁻¹降到0.042 4 d⁻¹,说明在较低温度(4,25℃)下添加谷维素可以延缓纳米乳液的氧化速度,有助于提高纳米乳液的氧化稳定性。在37℃下,随着谷维素浓度的增大,化学反应速率常数 k_1 从0.094 6 d⁻¹降到0.078 8 d⁻¹,2%谷维素浓度纳米乳液的化学反应速率常数 k_1 是未添加谷维素纳米乳液的0.8倍。由此可见,在较低温度(4,25℃)下,往纳米乳液中添加谷维素后,化学反应速率常数 k_1 减小,说明谷维素可以使纳米乳液的氧化速度减慢;在37℃下,谷维素浓度越高, k_1 越小,纳米乳液的氧化速度越慢,这与图4的分析结果一致。

茴香胺值是用来表示初级氧化产物分解得到二级产物(主要是羰基化合物)含量的,是衡量油脂氧化的重要指标之一。因为4,25℃下纳米乳液的过氧化值较低,氢过氧化物分解缓慢,所测的茴香胺值非常低,所以本研究将对37℃储藏后期(>17 d)纳米乳液的茴香胺值进行分析,结果如图5所示。含不同谷维素浓度的纳米乳液茴香胺值的变化规律与过氧化值变化规律一致[图4(c)、5]。在储藏第27天,纳

表 1 纳米乳液过氧化值变化动力学模型的系数[†]

Table 1 Kinetic model parameters for peroxide values changes of nanoemulsions

储藏温 度/℃	谷维素添 加量/%	零级反应模型			一级反应模型		
		$k_0/(mmol \cdot L^{-1} \cdot d^{-1})$	$C_0/(mmol \cdot L^{-1})$	R^2	k_1/d^{-1}	$C_0/(mmol \cdot L^{-1})$	R^2
4	0	0.002 9	0.233 7	0.905 9	0.009 4	0.238 9	0.925 2
	1	0.001 7	0.305 6	0.871 5	0.004 9	0.307 4	0.876 4
	2	0.001 8	0.297 4	0.957 9	0.005 4	0.298 5	0.954 3
25	0	0.046 2	0.015 1	0.946 1	0.050 5	0.248 2	0.961 7
	1	0.041 9	0.162 0	0.975 4	0.042 4	0.344 2	0.988 7
	2	0.043 7	0.171 4	0.989 3	0.044 2	0.339 9	0.969 7
37	0	—	—	—	0.094 6	0.515 7	0.922 0
	1	—	—	—	0.083 6	0.586 5	0.932 5
	2	—	—	—	0.078 8	0.567 6	0.909 9

[†] “—”表示过拟合情况。

米乳液的茴香胺值约为 3.14,不同谷维素浓度的纳米乳液茴香胺值之间不存在显著差异($P>0.05$),茴香胺值在储藏后期(>40 d)急剧增大。因为随着过氧化值的不断增加,氧化过程中产生的二级产物越多,茴香胺值因而也不断增加。在第 45 天时,含 2%,1%谷维素的纳米乳液的茴香胺值分别是 0%谷维素的纳米乳液的 0.55,0.64 倍。这提示了当油脂氧化反应产生一定浓度氧化产物时,谷维素浓度越高其越能够有效降低纳米乳液的氧化程度。

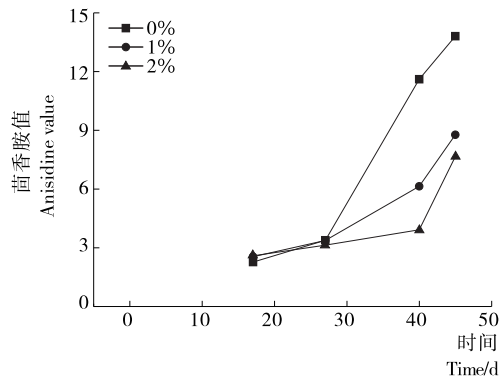


图 5 37 °C 时谷维素浓度对纳米乳液茴香胺值的影响

Figure 5 Effect of different oryzanol concentrations on the anisidine value of nanoemulsions stored at 37 °C

3 结论

本试验考察了谷维素浓度(0%,1%,2%)及储藏温度(4,25,37 °C)对纳米乳液理化稳定性的影响及其规律。发现在不同储藏温度下,谷维素浓度对纳米乳液的物理稳定性没有显著影响;4 °C 下纳米乳液的平均粒径增长率(6%~7%)小于其他储藏温度(25,37 °C)下的(10%~19%)。在较低温度(4,25 °C)下,纳米乳液的氧化程度较低,纳米乳液的化学稳定性与谷维素浓度没有表现出显著相关性。在 37 °C 下,纳米乳液的氧化程度较高,纳米乳液的过氧化值和茴香胺值与谷维素浓度呈负相关;尤其在储藏后期(>27 d),谷维素浓度越高,纳米乳液中油脂的氧化程度越低。根据动力

学分析发现,一级动力学模型可以更好地反映纳米乳液的氧化情况。有关谷维素对纳米乳液理化稳定性影响的机理有待进一步研究。

参考文献

[1] SLAVIN J L, LAMPE J W. Health benefits of rice bran in human nutrition [J]. Cereal Foods World (USA), 1992, 37 (10): 761.

[2] NARAYAN A V, BARHATE R S, RAGHAVARAO K. Extraction and purification of oryzanol from rice bran oil and rice bran oil soapstock[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2006, 83(8): 663-670.

[3] 王荣, 林亲录, 蒋鹏, 等. 米糠油谷维素提取方法研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(12): 361-364, 370.

[4] 边金勇, 许喜林. 功能性食品添加剂——谷维素[J]. 粮油加工与食品机械, 2005(8): 55-57.

[5] 张云霞, 刘敦华. 谷维素在功能性食品中的开发应用[J]. 粮油加工, 2008(5): 106-109.

[6] SON M J, RICO C W, NAM S H, et al. Influence of oryzanol and ferulic acid on the lipid metabolism and antioxidative status in high fat-fed mice[J]. Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, 2010, 46(2): 150-156.

[7] 吴素萍. 谷维素的生理功能及提取方法的研究现状[J]. 食品工业科技, 2009, 30(8): 365-368.

[8] BOT A, DEN ADEL R, REGKOS C, et al. Structuring in β -sitosterol+ γ -oryzanol-based emulsion gels during various stages of a temperature cycle[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(4): 639-646.

[9] SUNIL L, SRINIVAS P, KUMAR P K P, et al. Oryzanol as natural antioxidant for improving sunflower oil stability[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(6): 3 291-3 299.

[10] 沈鸿. 米糠油皂脚中谷维素的提取纯化及其抗氧化性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016: 41-48.

[11] 丁俭, 齐宝坤, 毛惠婷, 等. 抗坏血酸对大豆蛋白乳液抗氧化稳定性的研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(7): 67-73.

(下转第 54 页)

- mass spectrometry, infrared spectroscopy and nuclear magnetic resonance spectroscopy[J]. J. Pharm. Biomed. Ana., 2011, 54(3): 491-496.
- [7] LEE E S, KIM J W, LEE J H, et al. Identification of a new tadalafil analogue found in a dietary supplement[J]. Food Addit Contam, 2013, 30(4): 621-627.
- [8] REBIERE H, GUINOT P, CIVADE C, et al. Detection of hazardous weight-loss substances in adult slimming formulations using ultra-high-pressure liquid chromatography with diode-array detection[J]. Food Addit Contam, 2012, 29(2): 161-173.
- [9] TANG M H Y, CHEN S P L, NG S W, et al. Case series on a diversity of illicit weight-reducing agents: from the well known to the unexpected[J]. British Journal of Clinical Pharmacology, 2011, 71(2): 250-253.
- [10] 马微, 马丽卿, 付丽, 等. 减肥类保健食品中添加违禁药物的研究现状[J]. 中国卫生检验杂志, 2009(12): 3 023-3 026.
- [11] 朱峰, 阮丽, 马永建, 等. 超高效液相色谱-串联质谱联用法同时检测降糖类和减肥类保健品中 20 种非法添加的化学降糖药物[J]. 中国药事, 2014, 32(1): 13-20.
- [12] 李杰, 许卓妮, 于瑞祥, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定减肥类保健品中的西布曲明[J]. 理化检验: 化学分册, 2015, 51(7): 995-998.
- [13] 董宇, 孔璋, 钟大放. 液相色谱-质谱联用法检测中药降糖制剂中非法掺入的苯乙双胍和格列本脲[J]. 沈阳药科大学学报, 2005, 22(1): 19-22.
- [14] 刘吉金, 肖丽和, 关潇滢, 等. GC-MS 检测镇静安神类中成药及保健食品中添加化学成分的方法研究[J]. 药物分析杂志, 2011, 31(2): 376-379.
- [15] 肖丽和, 关潇滢, 刘吉金, 等. 镇静安神类中成药及保健食品中非法添加艾司唑仑的 GC-MS/MS 检测方法研究[J]. 中国当代医药, 2013, 20(13): 53-54.
- [16] 陈安珍, 杨钊, 王尊文. UPLC-MS/MS 法检测镇静安神类中药制剂及保健品中添加的化学药品[J]. 中国药事, 2010, 16(4): 46-49.
- [17] ZOU Peng, SHARON Sze-yin Oh, HOU Pei-ling, et al. Simultaneous determination of synthetic phosphodiesterase-5 inhibitors found in a dietary supplement and pre-mixed bulk powders for dietary supplements using high-performance liquid chromatography with diode array detection and liquid chromatography-electrode[J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1 104(1): 113-122.
- [18] 殷飞, 王雪芹, 李洁. HPLC 法测定硫酸罗通定注射液的含量及有关物质[J]. 中国药事, 2010, 24(2): 161-163.
- [19] 闫克里, 朱秀卿, 赵丽, 等. 高效液相色谱法测定豹骨活络丸中药材青风藤中青藤碱的含量[J]. 中国药物与临床, 2007(6): 462-463.
- [20] 赵建芬, 杨海贵, 李静仪. HPLC-UV 法检测芦荟、枸杞叶和桑叶中的褪黑素[J]. 食品工业, 2015, 36(2): 266-270.
- [21] 李琳, 郭瑞芳, 陆直. 高效液相色谱法测定扎来普隆片剂含量[J]. 中国新药杂志, 2005(5): 84-86.
- [22] 冯碧敏, 邓代全, 张昊. 高效液相色谱法测定盐酸文拉法辛缓释片的主药含量[J]. 中国医院用药评价与分析, 2012, 12(5): 440-442.
- [23] 李海洋, 王利, 白吉玲, 等. 一种用于飞行时间质谱的激光光电电子枪[J]. 仪器仪表学报, 1999, 20(2): 176-179.
- [24] CEN Xie, ZHONG Da-fang, YU Kate, et al. Recent advances in metabolite identification and quantitative bioanalysis by LC-Q-TOF MS[J]. Bioanalysis, 2012, 4(8): 937.
- [25] 田兰, 张继春, 陈睿, 等. 超高效液相色谱检测镇静安神类中药制剂及保健品中非法添加的 9 种化学药品[J]. 中国药业, 2013, 22(6): 66-68.
- [26] 葛文超, 汤慧, 张萍, 等. 高效液相色谱法同时测定镇静安神类中成药及保健食品中非法添加 5 种西药成分[J]. 安徽医药, 2010, 14(9): 1 018-1 020.
- [27] 曲建国, 徐秋阳. HPLC 法测定镇静催眠类中成药中非法添加化学药物成分[J]. 中国药师, 2010, 13(12): 1 694-1 696.
- (上接第 18 页)
- [12] 孙静静, 刘建华, 王仲妮, 等. 抗氧化剂茶多酚反相微乳液的制备[J]. 食品科学, 2014, 35(13): 8-14.
- [13] VORARAT S, MANAGIT C, IAMTHANAKUL L, et al. Examination of antioxidant activity and development of rice bran oil and gamma-oryzanol microemulsion[J]. Journal of Health Research, 2010, 24(2): 67-72.
- [14] COLAKOGLU A S. Oxidation kinetics of soybean oil in the presence of monoolein, stearic acid and iron [J]. Food Chemistry, 2007, 101(2): 724-728.
- [15] 刘建平, 张玉军, 刘彩丽. 辣椒籽中甲醇提取物的抗氧化动力学研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2011, 32(5): 25-28.
- [16] LABUUZA T P, SHAPER O M, KAMMAN J. Prediction of nutrient losses[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 1978, 2(2): 91-99.
- [17] ZHONG Jin-feng, LIU Xiong, WANG Yong-hua, et al. γ -oryzanol nanoemulsions produced by a low-energy emulsification method: an evaluation of process parameters and physicochemical stability[J]. Food & Function, 2017, 8(6): 2 202-2 211.
- [18] 余辉, 陈洁. 可见分光光度法测定乳状液过氧化值的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 401-404.
- [19] SABERI A H, FANG Y, MCCLEMENTS D J. Effect of glycerol on formation, stability, and properties of vitamin-E enriched nanoemulsions produced using spontaneous emulsification[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2013, 411: 105-113.
- [20] 向思亨, 朱利娟, 赵静, 等. 米糠油中 γ -谷维素的抗氧化作用及机理研究进展[J]. 中兽医医药杂志, 2016(3): 22-25.
- [21] JULIANO C, COSSU M, ALAMANNI M C, et al. Antioxidant activity of gamma-oryzanol: mechanism of action and its effect on oxidative stability of pharmaceutical oils[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2005, 299(1/2): 146-154.
- [22] GONG Yuan-sheng, YAO Hui-yuan. The relationship between the antioxidative function of γ -oryzanol and its molecular structure[J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 2002, 21(5): 439-442, 451.