

文章编号: 1673-1689(2010)04-0508-06

# 甘氨酸螯合铁纳米脂质体对铁强化牛奶氧化稳定性和感官质量的影响

丁保淼<sup>2</sup>, 张晓鸣<sup>\* 1,2</sup>, 夏书芹<sup>2</sup>

(1. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

**摘要:** 研究了以甘氨酸螯合铁纳米脂质体作为铁强化剂对牛奶氧化稳定性和感官质量的影响。通过反相蒸发法以蛋黄卵磷脂为主要壁材制备出了具有良好球形结构和均匀粒径分布的甘氨酸螯合铁纳米脂质体, 将其加入牛奶中进行铁强化。分别用硫代巴比妥酸法、色差分析、粘度测定和浊度测定对牛奶铁强化前后及其贮藏期间的氧化稳定性和感官质量进行评价。结果表明: 与以硫酸亚铁和甘氨酸螯合铁作为铁强化剂相比, 以甘氨酸螯合铁纳米脂质体为铁强化剂的强化奶的脂质氧化程度更低, 组织状态更稳定。

**关键词:** 缺铁性贫血; 甘氨酸螯合铁纳米脂质体; 强化奶; 稳定性

中图分类号: TS 252.59

文献标识码: A

## Effect of Ferrous Glycinate Nanoliposomes on Chemical Oxidation and Sensory Quality of Fortified Milk

DING Bao-miao<sup>2</sup>, ZHANG Xiao-ming<sup>\* 1,2</sup>, XIA Shu-qin<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** This manuscript investigated the chemical oxidation and sensory quality of fortified milk with ferrous glycinate nanoliposomes. Ferrous glycinate nanoliposome was prepared with wall material mainly composed of egg lecithin by reverse phase evaporation method. Nanoliposomes were spherical particles with a homogenous distribution. Ferrous glycinate nanoliposome, as well as ferrous sulfate and ferrous glycinate were used to fortify milk. Chemical oxidation and sensory quality of unfortified and fortified milks was measured using thiobarbituric acid test, color difference analysis, viscosity analysis and turbidity determination. Results demonstrated that the lipid oxidation extent of ferrous glycinate nanoliposome fortified milk was slighter and the fortified milk was the most stable one.

**Key words:** iron-deficiency anemia, ferrous glycinate nanoliposomes, fortified milk, stability

收稿日期: 2009-07-16

基金项目: 国家 863 计划重点项目(2007AA100403); 江苏省科技支撑计划资助项目(BE2008326)。

作者简介: 丁保淼(1980-), 男, 山东曹县人, 食品科学专业博士研究生. Email: bmding\_1980@126.com。

\* 通信作者: 张晓鸣(1965-), 男, 江苏无锡人, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主要从事食品化学, 风味化学方面的研究. Email: xmzhang@jiangnan.edu.cn

铁是血液不可缺少的重要组分,许多生命活动都需要铁的参与。人体所需要的铁主要来源于食物。据报道,目前世界上有20%人口的患有缺铁症状<sup>[1]</sup>,我国缺铁性贫血同样高达15%~20%,全国约有2亿人患有缺铁性贫血和铁营养不良症,其中妇女和青少年儿童最为严重。对食物进行铁强化被认为是最为有效地预防和治疗缺铁性贫血和铁营养不良的方法<sup>[2]</sup>。

与常用的铁强化剂如硫酸亚铁相比,甘氨酸螯合铁有更有效的生物利用率、更好的稳定性、更高的安全性等<sup>[3]</sup>。但它对胃液的强酸环境过于敏感,易于在此环境下发生解离<sup>[4]</sup>。脂质体技术<sup>[5]</sup>是一种特殊的微胶囊技术,可将敏感成分保护起来,使其免受外界环境,如酸碱性、温度、氧气、光线等因素的影响,已经在医药、食品、化妆品等领域展开了广泛地研究<sup>[6-8]</sup>。

虽然牛乳被公认为是一种比较理想的完全食品,但其铁含量较低,仅为0.01~0.1 mg/dL,因此在牛乳中强化铁,不仅能提高产品的档次,也是拓展市场的一个重要内容,更是改变我国人民缺铁性贫血的一种经济方便、直接有效的理想途径<sup>[9]</sup>。

本实验以甘氨酸螯合铁为芯材,蛋黄卵磷脂为主要壁材,采用反相蒸发法制备出甘氨酸螯合铁纳米脂质体;研究以甘氨酸螯合铁纳米脂质体为强化铁源强化牛奶时对奶体系的氧化稳定性和感官性质的影响,并与硫酸亚铁和甘氨酸螯合铁进行比较,旨在为预防和治疗缺铁性贫血开发新型铁强化剂,并为其实际应用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

蛋黄卵磷脂:华东师范大学化工厂生产,生物级;胆固醇、硫酸亚铁,均为分析纯;吐温80:化学纯;国药集团生产。甘氨酸螯合铁根据文献<sup>[10]</sup>制备。光明鲜牛奶(全脂巴氏杀菌乳):光明乳业股份有限公司生产,脂肪质量分数 $\geq 3.2\%$ ,蛋白质质量分数 $\geq 3.0\%$ ,非脂乳固体质量分数 $\geq 8.1\%$ ,非强化奶。其他化学试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器设备

RE-52 旋转蒸发器:上海亚荣生化仪器厂生产;VCX400 细胞破碎超声仪:Sonics & Material Inc. 生产;HITACHI H-600 型透射电子显微镜:日本日立株式会社生产;Nano-ZS90 型粒径电位测定仪:英国 Malvern 仪器有限公司产品;UV-1600 分光光度计:上海美谱达仪器有限公司生产;WSG-S

测色色差计:上海精密科学仪器有限公司产品。

### 1.3 甘氨酸螯合铁纳米脂质体的制备及表征

采用反相蒸发法<sup>[11]</sup>制备纳米脂质体。称取一定量的蛋黄卵磷脂和胆固醇溶于无水乙醚,得有机相。称取一定量的甘氨酸螯合铁溶解于去离子水中,得水相。将有机相和水相混合,并在冰水浴中超声,直到得到均一的w/o型乳状液。把w/o型乳状液移入圆底烧瓶中,于40℃水浴中进行减压旋转蒸发。约5~10 min,在烧瓶内壁上形成了凝胶状物,继续旋转蒸发,凝胶状物塌陷,形成水混悬液的脂质体体系。然后加入适量的吐温80PBS缓冲液,继续旋转蒸发30 min,充分水合除去残留的乙醚。再用氮气将残余乙醚吹除。最后对得到的脂质体混悬液于冰浴中进行超声,以降低脂质体的粒径,得到的即为纳米脂质体。将最终产品置于4℃冰箱中保存。

### 1.4 甘氨酸螯合铁纳米脂质体的形态表征和粒径分布

将1滴纳米脂质体悬浮液分散在铜网上,2~3 min后,用滤纸吸去多余的样品;用体积分数2%的磷钨酸水溶液对样品进行染色。用透射电子显微镜(TEM)于75 kV电压下观察负染得纳米脂质体样品。

根据动态激光光散射技术,于25℃下用粒径测定仪测定纳米脂质体的粒径。纳米脂质体的磷脂浓度用0.05 mol/L pH 7.0的PBS缓冲液稀释至体积分数0.1%。

### 1.5 铁强化牛奶

**1.5.1 铁强化牛奶的制备** 根据我国《食品营养强化剂使用卫生标准》(GB14880-94)添加铁强化剂的量。取800 mL光明鲜牛奶(非强化奶)煮沸1 min,均分为4份,每份200 mL,自然冷却至室温;按20 mg/kg的铁元素添加量,在1号样中加入相当于4 mg铁的甘氨酸螯合铁纳米脂质体悬浮液,2号样中加入相当于4 mg铁的甘氨酸螯合铁,3号样中加入相当于4 mg铁的硫酸亚铁,4号样为空白。并加入0.03%的脱氢乙酸钠作为防腐剂。充分搅拌、混合均匀。将每份样品再均分为5份,每份40 mL。杀菌,密封。置于4℃冰箱冷藏,定期对强化奶进行分析。

**1.5.2 牛奶中铁含量的测定** 取10 mL牛奶于瓷坩埚,在电炉上干燥、挥发、碳化后,移入马弗炉,于550℃灰化5 h。将得到的样品灰分于25 mL容量瓶中定容。用邻啡罗啉比色法<sup>[12]</sup>测定铁含量。

**1.5.3 牛奶中脂质成分氧化的测定** 采用硫代巴

比妥酸(TBA)法<sup>[13]</sup>测定牛奶中脂质过氧化产物丙二醛(MDA)含量,以评估牛奶中脂质成分的氧化程度。取三氯乙酸(TCA)37.5g、TBA 0.925g、浓HCl 5.25g溶于去离子水,于80℃水浴不断搅拌使其充分溶解,冷却后用去离子水定容至250 mL,得TBA-TCA-HCl溶液,过滤备用。

取3 mL牛奶于10 mL刻度试管,加入6 mL TBA-TCA-HCl溶液,混合均匀,然后将样品试管置于沸水浴,加热30 min后,用冰浴迅速冷却之,再用TBA-TCA-HCl溶液将样品定容至10 mL,漩涡振荡,混合均匀。于2 500 r/min离心5 min,过滤,以TBA-TCA-HCl溶液为空白,于532 nm处测定吸光值 $A_{532\text{ nm}}$ ,并由下式计算MDA值。

$$\text{MDA}/(\mu\text{g}/\text{mL}) = A_{532\text{ nm}} \times 4.15$$

其中,4.15为每毫升含丙二醛量的换算系数。

**1.5.4 牛奶色泽的测定** 用WSG-S测色色差计对牛奶的色泽进行测定,选用指标 $L$ 、 $a$ 、 $b$ 和 $\Delta L$ 、 $\Delta a$ 、 $\Delta b$ 、 $\Delta E$ 进行评价。其中, $L$ 为样品亮度,该值越大,样品越亮; $a$ 为样品有红绿色偏向程度,正值越大,偏向红色程度越大,负值越大,偏向绿色的程度越大; $b$ 为样品黄蓝色偏向程度,正值越大,偏向黄色程度越大,负值越大,偏向蓝色的程度越大; $\Delta L$ 为样品与参比样之间的亮度差,正值为样品更亮,负值为样品更暗; $\Delta a$ 为样品与参比样之间的红绿色差; $\Delta b$ 为样品与参比样之间的黄蓝色差; $\Delta E$ 为样品与参比样之间的总色差,其计算公式为

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

**1.5.5 牛奶体系粘度的测定** 取一定体积牛奶移入乌氏粘度计,并将粘度计置于30℃水浴中,预热15 min,测定牛奶的粘度。以去离子水做空白。

**1.5.6 牛奶体系浊度稳定性的测定** 取一定体积牛奶于离心管,以2 500 r/min离心15 min,取上清液1 mL,稀释20倍至20 mL,于600 nm波长下测定离心后所得牛奶上清液的吸光度 $A_a$ ,并同时测定离心前的吸光度 $A_b$ ,其比值即为牛奶的稳定系数 $R$ ,即 $R = A_a/A_b$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 甘氨酸螯合铁纳米脂质体的形态和粒径分布

制备出的甘氨酸螯合铁纳米脂质体具有浅黄色的外观。甘氨酸螯合铁纳米脂质体的TEM图显示,甘氨酸螯合铁纳米脂质体呈球形微粒,具有均匀的粒径分布和光滑的表面(见图1)。粒径测定结果显示,甘氨酸螯合铁纳米脂质体的平均粒径为84.61 nm,多分散指数为0.159(见图2)。

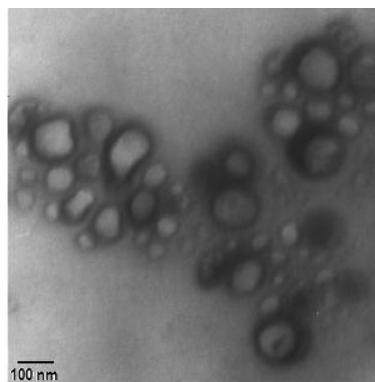


图1 甘氨酸螯合铁纳米脂质体的TEM图

Fig. 1 TEM micrographs of ferrous glycinate nonliposomes

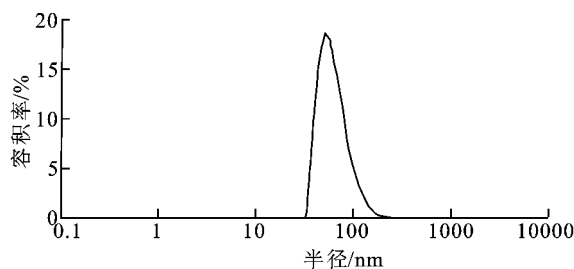
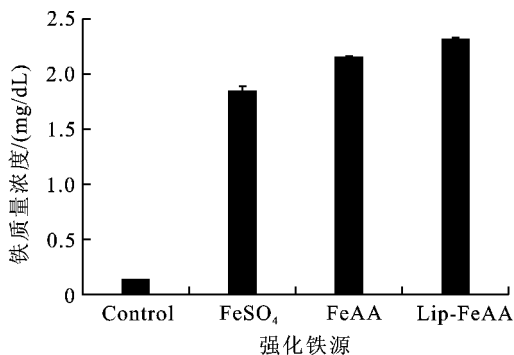


图2 甘氨酸螯合铁纳米脂质体的粒径分布

Fig. 2 Sizes distribution of ferrous glycinate nanoliposomes

### 2.2 牛奶强化前后的总铁含量

实测牛奶强化前后的铁含量如图3所示。测定出的强化奶中的铁含量与计算加入的铁量略有出入,这可能是牛奶强化前后强化铁源回收率的差异造成的。



注:Control为空白牛奶,即未强化奶;FeSO<sub>4</sub>为硫酸亚铁强化奶;FeAA为甘氨酸螯合铁强化奶;Lip-FeAA为甘氨酸螯合铁纳米脂质体强化奶,以下同。

图3 铁强化前后牛奶中的总铁含量

Fig. 3 Amount of total iron in milk before and after iron fortification

### 2.3 贮藏期间的牛奶中脂质成分的氧化

通常采用TBA法评价脂质的氧化程度。不饱和脂肪酸氧化分解,产生的衍生物如丙二醛与TBA反应显色后,于532 nm波长下测定吸光度。吸光

值越小,则脂肪氧化产物越少;吸光值越大,则脂肪氧化产物越多。这种方法相对较为简单,且一般与感官分析的结果有很好的相关性,因而是广为使用的评价脂质氧化程度的指标之一。

在贮藏4周的时间内,铁强化对牛奶中脂质氧化的影响见图4。

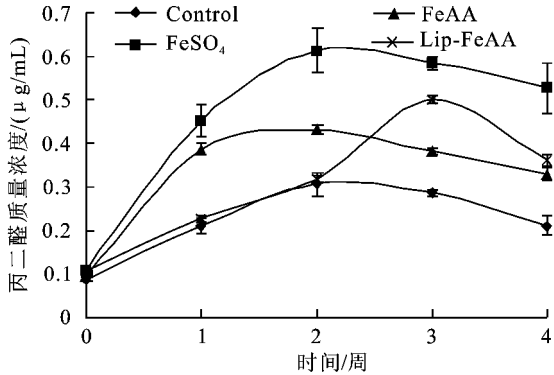


图4 铁强化对牛奶中脂质成分氧化的影响

Fig. 4 Effect of iron sources on lipid oxidation in fortified milk

由图4可见,在样品贮藏期间,随着贮藏时间的延长,4个样品中丙二醛含量是先上升后下降的。这是因为,随着贮藏时间的延长,样品中脂质成分氧化程度增加,导致了脂质氧化产物丙二醛含量的上升;而贮藏后期样品中丙二醛含量的有所下降,这可能是因为脂质氧化产物丙二醛与牛奶中具有反应活性的氨基相互作用生成了1-氨基-3-氨基丙烯,而降低了丙二醛含量<sup>[14]</sup>。在贮藏期间,空白牛奶中的脂质成分最为稳定,氧化程度最低;与空白牛奶相比,3种铁强化奶中的脂质成分氧化程度较大,这可能是因为铁强化剂的金属离子会加速脂质的氧化<sup>[15]</sup>。在3种强化奶中,虽然硫酸亚铁强化奶中的铁元素含量最低(见图3),但FeSO<sub>4</sub>强化奶中脂质氧化最为严重,甘氨酸螯合铁强化奶次之,甘氨酸螯合铁纳米脂质体强化奶最低。这可能是因为FeSO<sub>4</sub>为无机盐,在强化奶中以Fe<sup>2+</sup>形式存在,而Fe<sup>2+</sup>会催化氧化奶中脂质成分;而甘氨酸螯合铁以螯合的形式存在,这大大地限制了铁离子对奶中脂质成分的催化氧化作用<sup>[3]</sup>;在甘氨酸螯合铁纳米脂质强化奶中,由于甘氨酸螯合铁被封装在脂质体的内水相中,卵磷脂双分子层将甘氨酸螯合铁和奶中的脂质成分隔开,避免了它们的相互接触<sup>[8]</sup>,因此抑制了铁源对奶中脂质成分的催化氧化。

#### 2.4 牛奶色泽的变化

色泽是牛奶的一个重要物理参数。用色差计测定铁强化前后牛奶的色泽见图5。

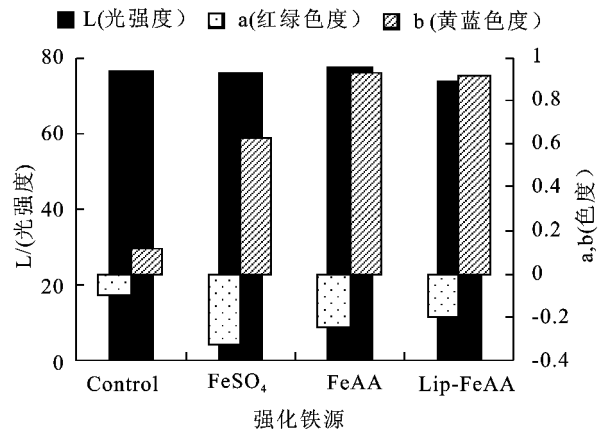
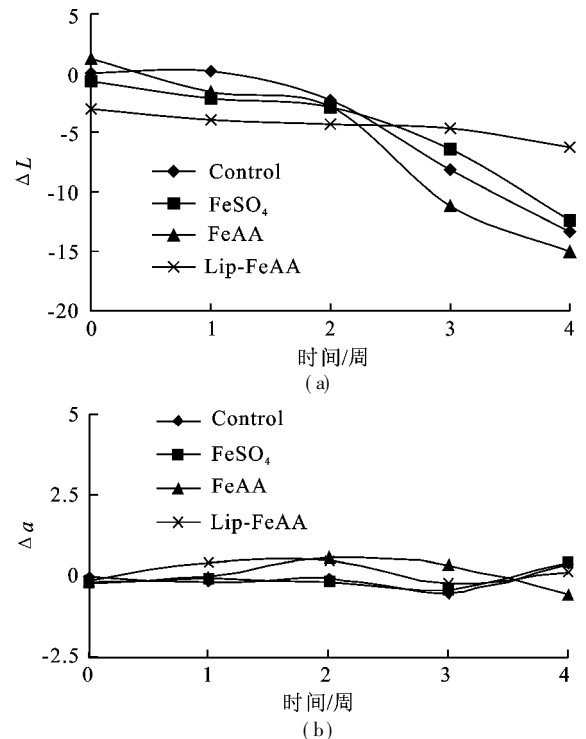


图5 铁强化前后牛奶的色泽变化

Fig. 5 Change of color and luster of milk before and after iron fortification

由图5可见,对空白牛奶和不同铁源的强化奶,其亮度并没有明显变化。这可能是由于加入的铁强化剂量较少,并不足以改变奶体系的亮度。a、b值显示,铁强化后,奶体系的绿色和黄色有所增加。硫酸亚铁强化奶的绿色趋势有所增加,这可能是因为硫酸亚铁为无机二价铁盐,其本身具有绿色,因而增加了奶体系的绿色。甘氨酸螯合铁强化奶和甘氨酸螯合铁纳米脂质体强化奶的黄色趋势有所增加,可能是由于甘氨酸螯合铁自身的颜色和甘氨酸螯合铁纳米脂质体的壁材蛋黄卵磷脂本身具有淡黄色所致。从数据看,3种铁强化剂对奶体系红绿色度和黄蓝色度的绝对程度改变并不大。

贮藏期间空白奶和强化奶的色泽随时间的变化情况见图6。



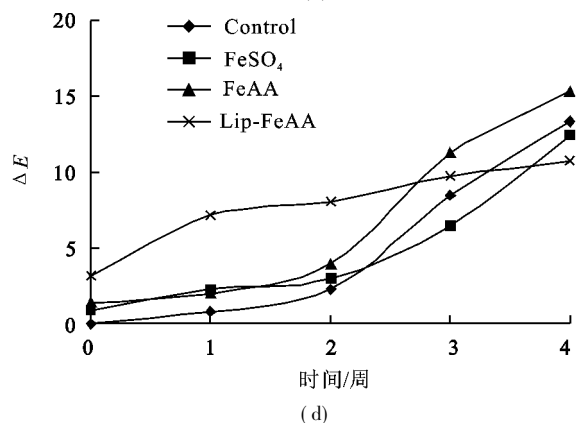
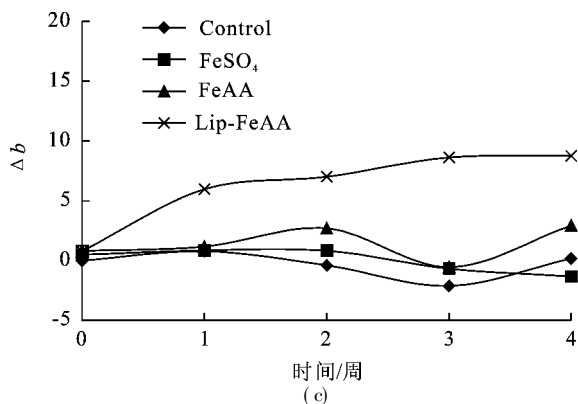


图6 在贮藏期间空白奶和强化奶色泽的变化:(a)为光强度的变化;(b)为红绿色度  $a$  值的变化;(c)为黄蓝色度  $b$  值的变化;(d)为总色差  $\Delta E$  的变化

Fig. 6 Change of color and luster of unfortified and fortified milk in storage period: (a) visual lightness; (b) redness-to-greenness; (c) yellowness-to-blueness; (d) total color difference

由图6可见,空白奶和强化奶的亮度均随贮藏时间的增加而下降。这可能是因为奶体系中由聚集、絮凝以及一些成分的变化引起的。与硫酸亚铁和甘氨酸螯合铁相比,虽然甘氨酸螯合铁纳米脂质体强化后对奶的总色差改变最大,但在贮藏期间,甘氨酸螯合铁纳米脂质体强化奶的色泽很稳定,变化很小。而硫酸亚铁和甘氨酸螯合铁强化后对奶的总色差改变较小,但随着贮藏时间的增加,色泽变化很大,在贮藏结束时,色泽的改变明显大于甘氨酸螯合铁纳米脂质体强化奶的总色差。这可能是因为甘氨酸螯合铁纳米脂质更为稳定,与奶体系中的其他组分作用更小,因而维护了奶的色泽。

## 2.5 牛奶粘度的变化

粘度是牛奶的一个重要物理性质。在乳状液体系中,体系的粘度对其稳定性有重要的意义,粘度高可以限制乳状液粒子在重力作用下的下沉,易于体系的稳定性<sup>[16]</sup>。在贮藏期间,空白奶和强化奶粘度的变化如图7所示。

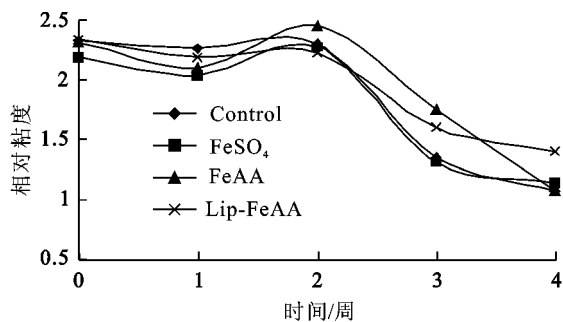


图7 在贮藏期间空白奶和强化奶粘度的变化

Fig. 7 Change of viscosity of unfortified and fortified milk in storage period

由图7可见,空白牛奶和强化牛奶的粘度差别不大。在贮藏前期,牛奶粘度是稳定的;在贮藏后期,牛奶的粘度明显下降,这可能是由于牛奶内部组织结构的变化引起的,如乳凝块和乳清的分层,导致了粘度的变小<sup>[17]</sup>。

## 2.6 牛奶体系的浊度稳定性

通常用牛奶离心前后上清液吸光度的比值  $R$  (即稳定系数)来评价牛奶体系的稳定性。在贮藏期间,空白奶和强化奶的稳定系数  $R$  见表1。

表1 空白奶和强化奶的稳定系数  $R$  在贮藏期间的变化  
Tab. 1 Change of stability coefficient  $R$  of unfortified and fortified milk in storage period

时间(周)	Control	FeSO <sub>4</sub>	FeAA	Lip-FeAA
0	0.9825	0.9801	0.9812	0.9834
1	0.9818	0.9822	0.9807	0.9826
2	0.8743	0.9057	0.9466	0.9773
3	0.6762	0.8465	0.9114	0.9695
4	0.5827	0.5010	0.8880	0.9508

从表1可以看出,在贮藏前期,4个样品均是稳定的;从第3周开始,空白奶、硫酸亚铁强化奶和甘氨酸螯合铁强化奶开始失稳。贮藏期间,样品总的稳定顺序是Lip-FeAA强化奶>FeAA强化奶>空白>FeSO<sub>4</sub>强化奶。

## 3 结语

以蛋黄卵磷脂为主要壁材通过反向蒸发法制备出了具有球形形态和粒径分布均匀的甘氨酸螯合铁纳米脂质体。以甘氨酸螯合铁纳米脂质体为强化铁源强化牛奶的贮藏结果表明,与硫酸亚铁和甘氨酸螯合铁相比,由于甘氨酸螯合铁被封装在了脂质体的内水相中,卵磷脂双分子层隔开了甘氨酸螯合铁与奶中其他组分的直接接触,因而降低了它对奶中的脂质成分的催化氧化作用,增加了强化奶

在贮藏期间的氧化稳定性和维护了强化奶的感官质量。因此,甘氨酸螯合铁纳米脂质体可能是一种在预防和治疗缺铁症状方面有应用潜力的铁强化剂。

## 参考文献(References):

- [ 1 ] Deegan H, Bates H M, McCargar L J. Assessment of iron status in adolescents: Dietary, biochemical and lifestyle determinants[J]. **Journal of Adolescent Health**, 2005, 37: 75. e15- 75. e21.
- [ 2 ] Hurrell R F. Fortification: Overcoming technical and practical barriers[J]. **Journal of Nutrition**, 2002, 132: 806S- 812S.
- [ 3 ] Olivares M, Pizarro F, Pineda O, et al. Milk inhibits and ascorbic acid favors ferrous bis-glycine chelate bioavailability in humans[J]. **Journal of Nutrition**, 1997, 127: 1407- 1411.
- [ 4 ] DING Bao-miao, XIA Shu-qin, HAYAT K, et al. Preparation and pH stability of ferrous glycinate liposomes[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2009, 57: 2938- 2944.
- [ 5 ] 梁治齐. 微胶囊技术及其应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [ 6 ] 夏书芹, 许时婴. 硫酸亚铁脂质体的研制[J]. 无锡轻工大学学报, 2004, 23(4): 74- 77.  
XIA Shu-qin, XU Shi-ying. Preparation of ferrous sulfate liposomes[J]. **Journal of Wuxi University of Light Industry**, 2004, 23(4): 74- 77. (in Chinese)
- [ 7 ] 林影, 叶茂, 韩双燕, 等. 免疫检测技术的研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(4): 117- 120.  
LIN Ying, YE Mao, HAN Shuang-yan, et al. The progress on the research of immunoassay[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2007, 26(4): 117- 120. (in Chinese)
- [ 8 ] Mozafari M R, Khosravi-Darani K, Borazan G G, et al. Encapsulation of food ingredients using nanoliposome technology [J]. **International Journal of Food Properties**, 2008, 11: 833- 844.
- [ 9 ] 罗爱平, 赵贤焜, 朱秋劲. 乳酸亚铁微胶囊化及其对液态奶感官性状影响研究[J]. 食品科学, 2006, 27(7): 180- 184.  
LUO Ai-ping, ZHAO Xian-kun, ZHU Qiu-jin. Study on technology of micro-capsulation of ferrous lactate and its influence on sensory characteristics of milk [J]. **Food Science**, 2006, 27(7): 180- 184. (in Chinese)
- [ 10 ] 林萍, 宋常英, 张晓鸣. 甘氨酸螯合铁的合成工艺[J]. 无锡轻工大学学报, 2004, 23(2): 53- 57.  
LIN Ping, SONG Chang-ying, ZHANG Xiao-ming. The synthesis conditions of ferrous glycinate[J]. **Journal of Wuxi University of Light Industry**, 2004, 23(2): 53- 57. (in Chinese)
- [ 11 ] 范明辉, 许时婴. 红景天苷纳米脂质体的制备及其若干工艺参数的优化[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 189- 193.  
FAN Ming-hui, XU Shi-ying. Preparation of salidroside nano-liposomes and study on optimization of technical conditions [J]. **Food Science**, 2007, 28(11): 189- 193. (in Chinese)
- [ 12 ] Lee K, Clydesdale F M. Quantitative determination of the elemental, ferrous, ferric, soluble, and complexed iron in foods[J]. **Journal of Food Science**, 1979, 44: 549- 554.
- [ 13 ] 涂勇刚, 孙亚真, 田颖刚, 等. 泰和乌骨鸡黑色素的体外抗氧化作用[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(2): 145- 149.  
TU Yong-gang, SUN Ya-zhen, TIAN Ying-gang, et al. The antioxidant activity of melanin from taihe black-bone silky fowl in vitro[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2009, 28(2): 145- 149. (in Chinese)
- [ 14 ] 赵谋明, 孙为正, 吴艳涛, 等. 广式腊肠脂质降解与氧化的控制研究[J]. 食品发酵与工业, 2007, 33(8): 10- 13.  
ZHAO Mou-ming, SUN Wei-zheng, WU Yan-tao, et al. Study on the control of lipolysis and oxidation in Chinese cantonese sausage [J]. **Food and fermentation industries**, 2007, 33(8): 10- 13. (in Chinese)
- [ 15 ] 石红旗, 刘发义. 共轭亚油酸氧化稳定性及其影响因素的研究[J]. 中国油脂, 2001, 26(2): 39- 40.  
SHI Hong-qi, LIU Fa-yi. Study on the oxidative stability of conjugated linoleic acid and its effect factors [J]. **Chinese Lipids**, 2001, 26(2): 39- 40. (in Chinese)
- [ 16 ] 杨海红, 麻建国, 许时婴. 卡拉胶及糖、盐存在时对勾兑牛奶酒稳定性的影响[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(1): 28- 32.  
YANG Hai-hong, MA Jian-guo, XU Shi-ying. Effect of carrageenan and sucrose, salt on the stability of the allocated skim milk-alcohol drink[J]. **Journal of Wuxi University of Light Industry**, 2003, 22(1): 28- 32. (in Chinese)
- [ 17 ] 夏全, 缪爱龙, 章燕, 等. 牛奶变质过程的观察[J]. 江苏卫生保健, 2007, 9(3): 22- 23.  
XIA Qun, MIU Ai-long, ZHANG Yan, et al. Study on deterioration of milk [J]. **Jiangsu Health Care**, 2007, 9(3): 22- 23. (in Chinese)

(责任编辑: 杨萌)