

纳米脂质体制备方法及在食品工业中应用研究进展

Research progress of preparation methods and application of nano-liposomes in food industry

王倩 丁保淼

WANG Qian DING Bao-miao

(长江大学生命科学学院, 湖北 荆州 434025)

(School of Life Sciences, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China)

摘要:文章综述了纳米脂质体的种类、结构性质特点、制备方法及其在食品工业中的应用研究进展,分析归纳了目前所存在的一些问题,并展望了纳米脂质体未来的发展趋势。

关键词:纳米脂质体;制备;食品;应用

Abstract: In this review, the types, structural properties, preparation methods and research progress of liposomes in food industry are summarized, and some problems are analyzed and discussed. Moreover, the development trend of nano-liposomes in the future is prospected.

Keywords: nano-liposome; preparation; food; application

脂质体是指由磷脂、胆固醇等作为膜材料包和而形成的一类类似生物膜结构的闭合型囊泡物质,具体结构见图1。在一定条件下,当脂质体分散在水相中时,在疏水相互作用下会使疏水性的基团自发地聚集在一起,同时也会使亲水性的基团相互聚集,待体系稳定后,形成“头碰头,尾对尾”的封闭环状多层结构,从而使整个体系的吉布斯自由能达到最低状态^[1]。

随着科学技术的不断发展,纳米级物质由于具有小尺寸效应和表面效应等优点,越来越受到学者的青睐。纳米脂质体技术是一种利用具有磷脂双分子层生物膜结构的脂质体技术,通过对活性物质进行包埋,以此来提高生物利用度,保持其原有的性能;此外,因尺寸小、表面效应等特点也能增强物质与细胞之间的接触,提高靶向性^[2]。

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31972013)

作者简介:王倩,女,长江大学在读硕士研究生。

通信作者:丁保淼(1980—),男,长江大学教授,博士。

E-mail: bmding@126.com

收稿日期:2020-03-05

文章拟对纳米脂质体的种类、结构性质特点、制备方法及其在食品工业中的应用等方面进行综述,以期开发纳米脂质体制备新方法及更广泛应用提供依据。

1 脂质体的分类及特征

1.1 脂质体的分类

1.1.1 根据脂质体结构和大小分类

(1) 小单层脂质体(SUV):粒径在20~100 nm的均匀囊泡,其粒径小且能够均匀分布。

(2) 大单层脂质体(LUV):粒径在100~1 000 nm的一种双分子层脂质体,包封率相较于多层脂质体而言,其包封率更高。

(3) 多层脂质体(MLV):由多个双分子层组成,粒径

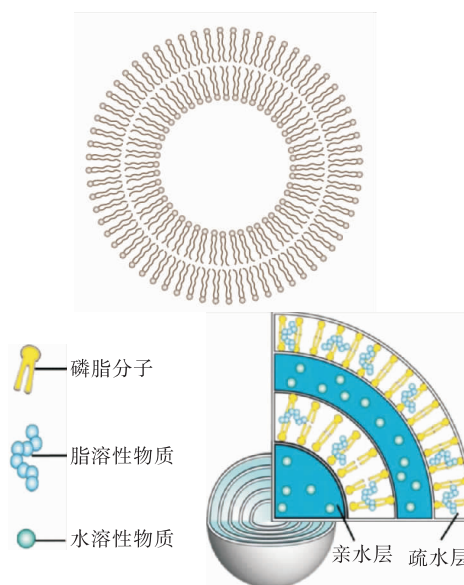


图1 脂质体结构示意图

Figure 1 The structure of liposomes

可达到 1~5 μm ,包封容量相对低^[3]。

(4) 多囊脂质体(MVL):粒径较大,大部分在 5~50 μm ,由较多的非同心囊泡构成,包封容积比较大^[4]。

纳米脂质体一般是指粒径在 10~500 nm 的脂质体,因此结构通常为小单层或者大单层类的脂质体^[5]。

1.1.2 根据脂质体的表面电荷分类^[6]

- (1) 带正电荷的脂质体叫做正电荷脂质体。
- (2) 带荷负电的脂质体叫做负电荷脂质体。
- (3) 不带电荷的脂质体叫做中性脂质体。

1.1.3 根据脂质体的性能分类

- (1) 一般脂质体。
- (2) 特殊脂质体(如免疫脂质体、热敏脂质体等)。

1.2 脂质体的特征

脂质体由于具有独特的结构特征,使其在一些研究领域有了较好的应用,具体结构特性见表 1。

2 纳米脂质体的制备方法

近年来,纳米脂质体的制备方法逐渐成熟并不断更新,学者们对于各种方法的选择主要是根据壁材以及工艺流程来进行的,目前主要采用的制备方法有以下几种。

2.1 薄膜分散法

薄膜分散法又叫干膜分散法,是最基本和应用最广泛的一种方法^[14]。将磷脂等膜材料和脂溶性物质溶解到一定量的有机溶剂(如氯仿)中,进行旋转蒸发,以除去有机溶剂,在瓶壁内侧形成一层薄膜,最后加入水相介质(如 PBS)进行洗膜操作,经水化后,所得到的悬浊液即是纳米脂质体。李思敏等^[15]采用薄膜分散法制备了柠檬苦素脂质体,并对体外的抗肿瘤活性进行了相关的考察。文艳霞等^[16]采用薄膜分散法制备了大豆磷脂脂质体,通过对溶剂种类、旋蒸温度、时间等进行研究,得出最佳工艺条件。朱雨晴等^[17]用叶酸和壳聚糖作为原料对利用薄膜分散法制备的姜黄素纳米脂质体进行修饰,修饰后的姜黄素纳米脂

质体不仅稳定性更好,而且细胞摄取量也更高。

综上可知薄膜分散法一般是适用于脂溶性物质的包埋,该方法是目前所用方法中最简单的一种,为了使得到的纳米脂质体粒径更小,一般结合超声、高压均质等方法使用,对于部分纳米脂质体选择适合的复合物进行修饰,可在一定程度上提高其性能特点。但是薄膜分散法的重复性不是很好,对于大批量的生产不建议使用此法。

2.2 逆向蒸发法

逆向蒸发法又叫反向蒸发法,最早是由 Szoka 等^[18]发现并提出的。将磷脂等膜材料溶解到一定量的有机溶剂(如乙醚)中,芯材溶解至水相中,将两相混合,进行超声、旋蒸处理,除去有机溶剂,待凝胶快塌陷时,加入水相介质(如 PBS),所得到的悬浊液即纳米脂质体。王诗琪等^[19]采用逆向蒸发法制备了莲藕多酚—多糖复合脂质体,通过单因素和正交试验确定了最佳工艺条件,该条件下多酚包封率为 72.36%、多糖包封率为 15.66%,并对冻干后的液态复合脂质体在不同温度下贮藏稳定性进行了探究,发现低温更利于脂质体的贮藏。谭裕君等^[20]采用逆向蒸发法制备了胆酸—黄芩苷脂质体,在单因素试验的基础上,以胆酸的使用量等作为影响因素,对工艺进行优化,并对体外释放度进行测定,所得到的脂质体呈黄色球形态,稳定性较好,6 h 的体外释放率为 57.83%,符合双相动力学模型的要求。黎鹏等^[21]采用逆向蒸发法制备了芹菜素脂质体,并优化了制备工艺条件,最佳条件下脂质体包封率为 50.01%,经不同温度贮藏试验发现在室温下贮藏效果最佳,贮藏 36 h 后仍能保持稳定。

综上可知,逆向蒸发法是脂质体制备技术的一个极大突破,一般适用于水溶性物质的包埋,其制备的脂质体具有较高的内水相特性,包封率、包封容积较高,而且被包封的物质也比较均匀,稳定性较好。但是用该法制备的脂质体易受到离子强度的影响,在一定条件下,当离子

表 1 脂质体的结构性性质特点

Table 1 Properties of liposomes

特征	释义描述
双亲性	双亲性脂质体是一种微胶囊闭合的结构,可以运载亲水和疏水性物质,在水相囊泡中对亲水性物质进行包埋,在磷脂双分子层中对疏水性物质进行包埋 ^[7]
靶向性	靶向性是指一些活性物质被脂质体进行包埋后,处于靶向位置的浓度提高,活性物质的效果得到了显著增强 ^[8]
缓释性	被包埋的活性物质在脂质体内可以缓慢地释放出来,从而可以在一定时间范围内保证活性物质的浓度 ^[9]
无毒性	脂质体的结构与生物膜结构相类似,基本都是由磷脂、胆固醇等物质组成,因此其安全性较高,无毒害作用 ^[10]
保护性	一些活性物质有易氧化、不稳定等特点,这时采取包埋技术,与外部环境进行隔离,即可让脂质体对所包埋的活性物质起到一定的保护作用 ^[11]
可控性	脂质体作为一种运载系统,可通过在制备脂质体过程中对脂质体粒径大小、所带电荷等进行控制,从而提高药物对定向区域的选择,把控药物的分布情况 ^[12]
稳定性	活性物质被脂质体包埋后,可对包埋物起到保护作用,从而提高包埋物中功能成分的稳定性 ^[13]

强度增高时,包封率会下降^[22]。

2.3 有机溶剂注入法

有机溶剂注入法一般分为乙醇注入法和乙醚注入法两种,二者的原理和操作流程基本相似。将磷脂等膜材料以及芯材物质溶解到乙醇或乙醚中,用磁力搅拌器使其充分溶解,然后注入到水相中,旋蒸除去有机溶剂即可得到纳米脂质体。这两种方法不同之处在于,乙醇可与水以任意比例进行混溶,但是乙醚和水不能混溶,通常在 60 °C 下将乙醚加入到水相中,以除掉乙醚,从而形成脂质体^[23]。焦岩等^[24]采用乙醇注入法制备了玉米黄色素纳米脂质体,通过单因素及正交试验得出了最佳制备工艺,所得到纳米脂质体的包封率为 89.82%,平均粒径为 70.89 nm,此方法提高了玉米黄色素的稳定性和生物活性。郑景霞等^[10]采用乙醇注入法制备了 β -胡萝卜素-薏苡仁油复合脂质体,在单因素试验基础上,对工艺条件进行了优化,并对样品形态及稳定性进行了研究,得到的脂质体包封率为 81.22%,形态分布比较均匀,而且复合脂质体的稳定性较单一脂质体好。郝静梅等^[25]采用乙醇注入法制备了柠檬烯纳米脂质体,在单因素基础上,以胆固醇添加量等作为影响因素,优化了制备工艺,所得纳米脂质体的包封率为 $(67.44 \pm 0.58)\%$,而且重复性较好。有机溶剂注入法对于脂溶和水溶性物质均适用,所制备的脂质体颗粒粒径小,分散比较均匀,但是会残留部分有机溶剂,存在使活性物质发生变性的隐患,但与其他方法,例如动态高压微射流等进行结合,可以弥补不足之处。

除上述几种常用的制备方法外,还有冻融法^[26]、复乳法^[27]、冷冻干燥法^[28]等,目前,也有了一些新开发的制备方法,有超临界流体逆相蒸发法^[29]、薄膜分散—动态高压微射流法^[30]、动态高压微射流—乙醇注入法^[31]等,一般新开发的制备方法不仅包封率高、稳定性好,而且操作也相对比较简单,适合规模化的生产,未来对于脂质体的制备方法将会更加先进,更加环保,被包埋物的选择范围也会变得更加广泛,传统工艺不足之处将会慢慢得到完善,在传统工艺的基础上进行探索,开发新方法,还有待进一步深入研究。

3 纳米脂质体在食品工业中的应用

纳米脂质体的开发及应用在近几年取得了巨大的进步,作为运载营养物质的一种运载系统,所形成的食品级纳米脂质体具有良好的稳定性、安全性和生物利用度高等优点,因此越来越被大家所关注。目前,纳米脂质体在食品工业中的应用主要有以下几个方面。

3.1 作为保护性载体

3.1.1 纳米脂质体包埋脂类 脂类物质中含有许多不饱和脂肪酸,化学性质很不稳定,在热、光等条件下易被氧化或结构会受到破坏,选择一种物质对其进行保护即可避免此现象的发生,纳米脂质体恰好满足这一需求,而且

还可以保留不饱和脂肪酸的风味、营养等物质。何娜^[32]将鲢鱼鱼油多不饱和脂肪酸制备成了纳米脂质体,有效地保留了鱼油的抗氧化性能,还掩盖了不良气味。Nieto 等^[33]采用薄膜分散法制备了一类用来包埋迷迭和百里香叶蒸馏提取精油的纳米脂质体,该脂质体对于食品的保护可以起到一定的作用。Lioli 等^[34]采用薄膜分散法制备了百里香油纳米脂质体,以此来提高百里香油的稳定性。

3.1.2 纳米脂质体包埋抗氧化剂 利用纳米脂质体等运载技术对抗氧化剂进行包埋处理是目前食品工业生产中研究得最深入、应用最广泛的一个方向。采用这种方法可以有效地保护抗氧化剂不受到外界环境的影响,提高抗氧化剂的生物利用率,从而达到延长食品货架期的目的。卞春等^[35]采用超声薄膜法制备了叶黄素—花青素纳米脂质体,通过前期的乳化作用、对工艺的优化以及体外的抗氧化试验,提高了脂质体的抗氧化活性。Vanaja 等^[36]采用薄膜水化法制备了白藜芦醇脂质体,结果表明白藜芦醇脂质体的抗氧化性比只有白藜芦醇单独存在时更强。Zou 等^[31]利用动态高压微射流—乙醇注入法制备了茶多酚纳米脂质体,该纳米脂质体与茶多酚一样都具有抗氧化性,但其在碱性条件下的稳定性要比茶多酚高。

3.1.3 纳米脂质体包埋蛋白质和酶 蛋白质和酶特别容易受到外界环境的影响,对于酶而言更是如此,对环境要求极高,必须在特定的条件下才能发挥其作用,因此选用纳米脂质体包埋技术可以使其更好地发挥作用。对酶进行包埋可以形成微型的酶反应器,这种技术一般用于干酪生产中,Nongonierma 等^[37]采用微射流法制备了乳酸菌无细胞提取物脂质体,结果表明该脂质体不受干酪的水分活度以及微生物的影响,而且可以加速干酪的成熟,以及降低提取物中乳清含量的损失。Maherani 等^[38]制备了天然的二肽抗氧化剂纳米脂质体,很好地解决了关于食品保鲜方面的问题,例如微生物引起的变质,自然氧化导致腐败等。

3.1.4 纳米脂质体包埋维生素和矿物质 矿物质和维生素易受到外界环境的影响进而发生变质,使得营养元素流失。目前解决此弊端的方法就是对其进行包埋处理,由于纳米脂质体具有双亲性等特性,因此得到了广泛的应用。姚晓雪等^[7]为了掩盖维生素 B₂ 的不良气味,并提高其稳定性,优化了维生素 B₂ 脂质体的制备工艺后,优化条件下其包封率为 94.67%,维生素 B₂ 形态稳定且均匀。李虎^[39]采用逆向蒸发法结合超声法制备了苏氨酸铁纳米脂质体,所得到的脂质体外观分布比较均匀,稳定性好,包封率高达 77.3%,采用此种方法使补铁的方式得到了更广泛的延伸,是一种理想的补铁剂。

3.2 应用实例

3.2.1 巧克力 在黑巧克力的工业化生产过程中,为了

在极端条件下保持花青素的含量,Mine等^[40]采用壳聚糖包覆纳米脂质体系统封装黑桑椹提取物,与游离花色素苷提取物相比,壳聚糖包覆纳米脂质体中花色素苷的损失较少。此外,纳米脂质体表面的阴离子以及壳聚糖修饰作用明显提高了花青素和强化巧克力的体外生物可接受性。

3.2.2 丁香油 丁香油对金黄色葡萄球菌具有一定的抗菌活性,但其化学稳定性差。Cui等^[41]用纳米脂质体对丁香油进行包埋,然后将其加入到豆腐中。结果显示,24 h后金黄色葡萄球菌的数量减少了99.87%,表明纳米脂质体包裹的丁香油对金黄色葡萄球菌有明显的抑制作用,并能延长豆腐的货架期。

3.2.3 果汁 Marsanasco等^[42]制备了负载维生素C和生育酚的多层膜,并将其添加到橙汁中。发现即使在橙汁进行巴氏杀菌后,多层膜仍显示出可靠的热结构稳定性和不耐热的维生素C的保护作用,与Liu等^[43]的观点一致,贮藏90 d期间,添加维生素C纳米脂质体后,柑橘汁中的脂质过氧化和微生物数量明显减少。结果表明纳米脂质体运载系统有助于维生素C持续释放,从而有效地提高营养价值和延长橙汁保质期。

3.3 其他

纳米脂质体作为一种运载系统,从医药行业发展到食品领域,重心一直是如何通过改进技术更好地对物质进行包埋。近些年来,除了对纳米脂质体的制备方法、芯材的选取等进行优化外,实行靶向释放,将特定活性物质进行传递并加以利用也在逐渐发展,其中摄入纳米脂质体后在体内的消化状况与稳定机制起到了关键性作用。Rashidinejad等^[44]制备了茶多酚和儿茶素纳米脂质体,结果显示大豆卵磷脂纳米脂质体不仅可以添加到食品中,而且可以对不同种类的抗氧化剂进行包埋,有效控制被包埋物在体内以及体外胃肠道消化过程中的定向释放。

4 展望

纳米脂质体为保护和有效控制敏感物质的释放、延缓食物腐败等提供了一种有效的技术手段;与传统方法相比,新开发的一些纳米脂质体制备方法解决了有机物残留和低包封率等问题,但是,至今为止,纳米脂质体在食品领域中的应用仍然面临一些比较大的挑战,以后的研究可以从以下几个方面来进行:①开发新型纳米脂质体壁材,提高稳定性、安全性以及低成本的特性;②开发新的制备方法,提高纳米脂质体的包封率以及稳定性,同时可以开发对不同目标化合物进行保护的纳米脂质体制剂;③纳米脂质体与其他物质之间的相互作用、起到的影响效果等都可进一步进行研究;④可对食品级纳米脂质体在人体内的消化进行研究,为纳米脂质体的靶向和控制释放提供一定的参考价值。

参考文献

- [1] 丁保森. 甘氨酸螯合铁及其纳米脂质体研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010: 6-7.
- [2] 徐坚琪, 马洁清, 吴晓芳, 等. 纳米脂质体在食品工业中的研究和制备[J]. 安徽科技, 2016(5): 31-32.
- [3] 郝静梅. 柠檬烯脂质体的制备及其性质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018: 9-10.
- [4] 孙庆雪, 邵伟, 黄桂华. 脂质体制备方法的选择[J]. 中成药, 2010, 32(8): 1 397-1 401.
- [5] 赵文琦, 郭宇, 于莲. 槲皮素纳米脂质体的制备及理化性质研究[J]. 广东化工, 2017, 44(20): 13-14.
- [6] 刘玉兰. 肉桂醛脂质体的制备及理化性质研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019: 5-6.
- [7] 姚晓雪, 徐凯, 胡冰, 等. V_{B_2} 脂质体的制备、表征及其稳定性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(7): 45-50.
- [8] 王一涵, 徐迎波, 宁敏, 等. β -紫罗兰酮温敏脂质体的制备工艺及配方优化[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(10): 1 022-1 028.
- [9] 蒲传奇, 王海姑, 姜春伟, 等. 百里香酚脂质体的制备及其性能的研究[J]. 中国食品添加剂, 2017(7): 141-145.
- [10] 郑景霞, 白春清, 熊华. β -胡萝卜素-薏苡仁油复合脂质体的制备及氧化稳定性研究[J]. 中国食品学报, 2019, 19(12): 104-112.
- [11] 周晓晓. 铁皮石斛脂质体乳液护肤品研制[D]. 广州: 广东药科大学, 2018: 2-3.
- [12] 扈瑞瑞. 烟草绿原酸纳米脂质体的制备工艺及其特性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017: 2-3.
- [13] 黄茜, 王淑慧, 崔婧, 等. DHA藻油脂质体制备及性质的研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(7): 84-89.
- [14] PATIL Y P, JADHAV S. Novel methods for liposome preparation[J]. Chem Phys Lipids, 2014, 177: 8-18.
- [15] 李思敏, 吴文瀚, 高丽娜, 等. 柠檬苦素脂质体的制备和制剂学评价[J]. 中草药, 2019, 50(24): 5 957-5 962.
- [16] 文艳霞, 侯祖洋. 大豆磷脂脂质体制备的工艺研究[J]. 广州化工, 2019, 47(18): 71-72, 126.
- [17] 朱雨晴, 刘伟, 陈兴, 等. 叶酸-壳聚糖修饰姜黄素纳米脂质体的制备及其性质[J]. 食品科学, 2018, 30(24): 7-13.
- [18] SZOKA F, PAPAHDJOPOULOS D, PAPAHDJOPOULOS J. Procedure for preparation of liposomes with large internal aqueous space and high capture by reverse-phase evaporation[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1978, 75(9): 4 194-4 198.
- [19] 王诗琪, 钟照恬, 易阳, 等. 莲藕多酚-多糖复合脂质体的制备及稳定性评价[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 154-160.
- [20] 谭裕君, 李楠, 向燕, 等. 胆酸-黄芩苷脂质体的制备[J]. 中成药, 2019, 41(3): 495-500.
- [21] 黎鹏, 屠洁, 张凡, 等. 芹菜素脂质体的制备工艺研究[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2019, 33(2): 96-102.
- [22] 侯丽芬, 谷克仁, 吴永辉. 不同制剂脂质体制备方法的研究

- 进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(5): 118-124.
- [23] 彭盛峰. pH 驱动法制备姜黄素食品运载体及其生物利用率[D]. 南昌: 南昌大学, 2019: 6-7.
- [24] 焦岩, 常影, 王燕, 等. 玉米黄色素纳米脂质体制备工艺研究[J]. 食品科技, 2015, 40(5): 284-288.
- [25] 郝静梅, 孙志高, 盛冉, 等. 柠檬烯纳米脂质体的制备及其性质测定[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(4): 173-178.
- [26] 关桦楠, 韩博林, 璩阿敏, 等. 葡萄糖氧化酶脂质体的制备与表征[J]. 食品科学, 2016, 37(13): 120-124.
- [27] 丁蕾, 张易, 张莉雪, 等. 长效利拉鲁肽多囊脂质体的制备及质量评价[J]. 沈阳药科大学学报, 2019, 36(7): 549-553.
- [28] 刘昊, 焦连庆, 于敏, 等. 注射用大黄素脂质体的制备及质量评价[J]. 吉林农业大学学报, 2019, 41(1): 42-47.
- [29] KATSUTO O, TAKESHI S. Preparation of liposomes using an improved supercritical reverse phase evaporation method[J]. Langmuir, 2006, 22: 2 543-2 550.
- [30] 郑会娟, 刘成梅, 刘伟, 等. 中链脂肪酸脂质体的制备及其性质测定[J]. 食品科学, 2010, 31(22): 170-175.
- [31] ZOU Li-qiang, LIU Wei, LIU Wei-lin, et al. Characterization and bioavailability of tea polyphenol nanoliposome prepared by combining an ethanol injection method with dynamic high-pressure microfluidization[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(4): 934-941.
- [32] 何娜. 鲑鱼鱼油多不饱和脂肪酸纳米脂质体的制备及其性质研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016: 42-43.
- [33] NIETO G, HUVAERE K, SKIBSTED L H. Antioxidant activity of rosemary and thyme by-products and synergism with added antioxidant in a liposome system[J]. European Food Research and Technology, 2011, 233(1): 11-18.
- [34] LIOLIOS CC, GORTZI O, LALAS S, et al. Liposomal incorporation of carvacrol and thymol isolated from the essential oil of *Origanum dictamnus* L. and in vitro antimicrobial activity[J]. Food Chemistry, 2009, 112(1): 77-83.
- [35] 卞春, 金文, 王振宇, 等. 叶黄素-花青素脂质体的制备及其体外抗氧化活性研究[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(7): 60-64.
- [36] VANAJA K, WAHL M A, BUKARICA L, et al. Liposomes as carriers of the lipid soluble antioxidant resveratrol: Evaluation of amelioration of oxidative stress by additional antioxidant vitamin[J]. Life Sciences, 2013, 93(24): 917-923.
- [37] NONGONIERMA A B, ABRLOVA M, KILCAWLEY K N. Encapsulation of a lactic acid bacteria cell-free extract in liposomes and use in cheddar cheese ripening[J]. Foods, 2013, 2(1): 100-119.
- [38] MAHERANI B, ARAB-TEHRANY E, KHEIROLOMOOM A, et al. Influence of lipid composition on physicochemical properties of nanoliposomes encapsulating natural dipeptide antioxidant L-carnosine[J]. Food Chemistry, 2012, 134(2): 632-640.
- [39] 李虎. 苏氨酸铁及其纳米脂质体的制备和应用研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2019: 16-17.
- [40] MINE G O, AYSE K, SEYMA D, et al. Fortification of dark chocolate with spray dried black mulberry (*Morus nigra*) waste extract encapsulated in chitosan-coated liposomes and bioaccessibility studies[J]. Food Chemistry, 2016, 201: 205-212.
- [41] CUI Hai-ying, ZHAO Cheng-ting, LIN lin, The specific antibacterial activity of liposome-encapsulated Clove oil and its application in tofu[J]. Food Control, 2015, 56: 128-134.
- [42] MARSANASCO M, PIOTRKOWSKI B, CALABRO V, et al. Bioactive constituents in liposomes incorporated in orange juice as new functional food: Thermal stability, rheological and organoleptic properties[J]. Journal of Food Science and Technology-mysore, 2015, 52(12): 7 828-7 838.
- [43] LIU Wei-lin, TIAN Meng-meng, KONG You-yu, et al. Multilayered vitamin C nanoliposomes by self-assembly of alginate and chitosan: Long-term stability and feasibility application in mandarin juice[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 75: 608-615.
- [44] RASHIDINEJAD A, BIRCH E J, SUN-WATERHOUSE D, et al. Delivery of green tea catechin and epigallocatechin gallate in liposomes incorporated into low-fat hard cheese[J]. Food Chemistry, 2014, 156(1): 176-183.
-
- (上接第 205 页)
- [34] SANCHEZ M C, RIBEIRO-VIDAL H, BARTOLOME B, et al. New evidences of antibacterial effects of cranberry against periodontal pathogens[J]. Foods, 2020, 9(2): 246.
- [35] 邢军华, 文蔚, 尹明. 细菌性食物中毒的微生物学检验分析[J]. 中西医结合心血管病电子杂志, 2020, 8(27): 95-103.
- [36] LAY A T Y, BARBUT S, ROSS K, et al. The effect of cranberry pomace ethanol extract on the growth of meat starter cultures. *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* serovar Enteritidis and *Listeria monocytogenes* [J]. LWT- Food Science and Technology, 2019, 115: 108452.
- [37] LACOMBE A, WU V Chi-hua. The potential of berries to serve as selective inhibitors of pathogens and promoters of beneficial microorganisms[J]. Food Quality and Safety, 2017, 1(1): 3-12.
- [38] POLEWSKI M A, KRUEGER C G, REED J D, et al. Ability of cranberryproanthocyanidins in combination with a probiotic formulation to inhibit in vitro invasion of gut epithelial cells by extra-intestinal pathogenic *E. coli* [J]. Journal of Functional Foods, 2016, 25: 123-134.