

蔓越莓中的植物化合物及其抑菌机理研究进展

Progress on phytochemicals and antimicrobial mechanism of cranberry

刘小涵¹王远亮²LIU Xiao-han¹ WANG Yuan-liang²

(1. 广东稳邦生物科技有限公司, 广东 肇庆 526060; 2. 湖南农业大学食品科技学院, 湖南 长沙 410125)

(1. Guangdong Wenbang Biological Technology Co., Ltd., Zhaoqing, Guangdong 526060, China;

2. College of Food Science and Technology of Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410125, China)

摘要:文章总结了近年来国内外有关蔓越莓中植物化合物的组成与功效的研究成果,阐述了其对尿路致病性大肠杆菌、幽门螺杆菌、口腔细菌、食源性致病菌的抑制作用及机制。

关键词:蔓越莓;植物化合物;原花青素;抑菌机理

Abstract: This review summarizes recent studies on the composition and efficacy of phytochemicals contained in cranberry and describes their antimicrobial effects on uropathogenic *Escherichia coli*, *Helicobacter pylori*, oral bacteria, and most food-borne pathogens and the mechanism.

Keywords: cranberry; phytochemicals; proanthocyanidins; mechanism of antimicrobial effects

蔓越莓(*Vaccinium macrocarpon*), 又称蔓越橘, 是杜鹃花科越橘属植物。其生长在北半球温带至寒带酸性的沼泽地和沙地土壤中, 目前主要在美国东部和东北部以及加拿大大部分地区种植^[1]。蔓越莓为长 2~5 cm 的卵圆形浆果, 红皮下的果肉由白色到深红色, 口感重酸微甜^[2]。蔓越莓是营养物质、纤维素、有机酸和多酚的宝贵资源, 具有维持人体消化健康和抗氧化等多种功能, 因而深受消费者青睐。

蔓越莓中可以提取出大量具有生物活性的植物化合物, 已经证实其对人体健康有多种功效。这些提取物具有的抗氧化性质使其具有抗肿瘤、预防心血管疾病、延缓衰老等功能^[3]。研究还发现蔓越莓的生物活性成分具有抗菌能力。蔓越莓可以通过阻止细菌对泌尿系统的感染, 能有效预防尿道感染(UTI)^[4], 且市面上已经能找到一些主要成分为蔓越莓提取物的用来预防尿道感染的保

健产品。由幽门螺杆菌引起的消化性溃疡相关问题严重影响了人体胃部的健康, 而蔓越莓的提取物被验证可以抑制幽门螺杆菌^[5]。研究人员^[6]还发现蔓越莓提取物能抑制变形链球菌产生酸、附着和生物膜形成, 在减少口腔疾病(包括龋齿和牙周炎)方面的潜在益处。此外, 国外有研究^[7]表明蔓越莓的生物活性物质对食源性致病菌具有抑制作用, 包括大肠杆菌 O157:H7、单增李斯特菌在内的数种革兰氏阴性菌和革兰氏阳性菌。说明蔓越莓产物具有作为天然抗菌物质以及能提高人体健康的功能性食品的潜力。文章拟就近年来国内外有关蔓越莓的植物化合物成分及其抑菌作用机制研究进展进行综述, 为蔓越莓产业纵深发展提供参考依据。

1 蔓越莓中的植物化合物

植物化学物质是指植物中天然存在的化学化合物, 被定义为由植物产生的非营养性、天然存在、具有生物活性和化学来源的化合物^[8]。根据化学结构和特征, 植物化学物质可被分为 6 类, 包括碳水化合物、脂质、萜类、酚酸、生物碱和其他含氮代谢产物^[9]。蔓越莓由于其高含量的天然营养素和植物化学物质而被称为“超级水果”。与大多数水果一样, 蔓越莓具有高水分、低热量、高纤维、多维生素以及多矿物质的营养特性^[3]。除此之外, 蔓越莓还富含许多生物活性化合物, 包括多酚类物质、有机酸、萜烯和复杂的碳水化合物^[10]。

蔓越莓含有的有机酸和多酚化合物是使其拥有抗菌功能从而对人体健康有益的主要成分。蔓越莓汁中的主要非挥发性有机酸有奎尼酸、柠檬酸、苹果酸和草酸, 它们使蔓越莓在众多水果中有着极低的 pH, 约 2.5^[11-12]。水果中的有机酸大多数具有羧基(—COOH), 这是其呈酸性的原因。除了提供酸度外, 水果的味道、颜色和香气都与有机酸有关, 而它带来的低 pH 值, 也是可以抑制大部分致病菌的生长。在试验性尿路感染的小鼠模型中, 蔓越莓汁中的有机酸被发现可以通过联合使用来降低膀

作者简介:刘小涵, 女, 广东稳邦生物科技有限公司科研助理, 硕士。

通信作者:王远亮(1977—), 男, 湖南农业大学教授, 博士。

E-mail: 408083310@qq.com

收稿日期:2020-10-15

胱中的细菌水平从而实现预防尿道感染^[13]。

蔓越莓中大量被发现并研究其生物活性价值的一类植物化合物为多酚类物质,它是赋予蔓越莓抗氧化、抗菌、抗黏附以及抗炎等功能的主要物质,基本结构为带有羟基(—OH)的芳香环。蔓越莓被发现是多酚类化合物独特而丰富的来源,其总酚含量在美国饮食中通常食用的 20 种水果中最高^[14],所含的主要多酚物质有花青素、单宁(鞣花单宁和原花青素)、大量的类黄酮(黄酮醇和黄烷-3-醇)^[15]。

因具有很强的抗氧化活性,花青素可能是蔓越莓中化学成分中被研究报道最多的一种。而花青素同时也是蔓越莓呈现红色的主要原因,更有研究发现它是让蔓越莓具有抗菌活性的主要物质之一^[16]。

整个蔓越莓中的黄酮醇大部分是槲皮素、杨梅素和山奈酚的糖基化形式,而高含量的黄酮醇或黄烷-3-醇也是原花青素聚合物的单体^[15]。原花青素是蔓越莓中的主要多酚类化合物,约占酚类总含量的 63%~71%^[17],而且蔓越莓中的原花青素被大量研究发现具有抗氧化、抗微生物、抗粘连和抗炎作用。如图 1^[18]所示,通常聚合成原花青素的黄烷-3-醇单体间的连接方式为 B 型,即通过在“上位”单体与“下位”单体之间仅通过一个 C—C 键连接在一起;但已知还有另一种连接方式(A 型)发生在缩合单宁中,即黄烷-3-醇“上位”单体与“下位”单体之间除了一个 C—C 键外还具有额外的醚键。与 B 型原花青素相比,A 型原花青素在自然界中非常少见,而蔓越莓比起其他水果独特地含有丰富的 A 型原花青素,且 UPLC-IM-HRMS 的结果表示 A 型原花青素主导了蔓越莓的原花青素^[19-20]。目前的研究^[19]发现 A 型原花青素是抑制尿路致病性大肠杆菌生长的主要生物活性物质。

2 蔓越莓的抗菌作用及其机理

2.1 抗尿路致病性大肠杆菌及其机理

尿道感染(UTI)是人类最常见的细菌感染所致疾病之一,70%~90%的尿道感染是由尿路致病性大肠杆菌引起的^[21]。蔓越莓被广泛推荐食用以预防尿道感染,并

据称可减轻这些感染的症状。

尿路致病性大肠杆菌含有几种作用于感染发作的毒力因子,包括 P 菌毛、I 型菌毛和溶血素,其中大部分的肾脏细菌感染和尿道细菌感染都与 P 纤维化大肠杆菌相关^[22-23]。P 菌毛结构末端具有的 papG 黏附素会与尿道上皮细胞的受体结合从而引发炎症,而蔓越莓中的植物化合物,尤其是 A 型原花青素低聚物,通过实验验证为良好的抗黏附化合物。Liu 等^[24]通过热力学方法发现蔓越莓汁破坏了 P 纤维化大肠杆菌与尿路上皮细胞受体形成配体—受体键的能力,并且压缩了 P 菌毛的长度,从而降低了它对尿路上皮细胞的黏附性。Mathison 等^[25]用电子显微镜也验证了这一结论,他们发现通过蔓越莓的原花青素提取物的处理,大肠杆菌的菌毛对尿路上皮细胞的黏附显著减少。除了原花青素,其他低分子量的酚和酚酸(如儿茶酚、苯甲酸、香草酸、苯乙酸和 3,4-二羟基苯乙酸)也被报道对尿路致病性大肠杆菌有体外抗黏附作用^[21]。

目前大部分研究^[23-25]的结果都表明蔓越莓汁以及蔓越莓的提取物是依靠降低尿路致病性大肠杆菌的黏附性从而预防尿道感染,但也有研究^[4]表示通过抑制炎症级联反应,即抑制细菌入侵的免疫反应来减少与尿道感染相关的症状。

有一项使用尿路感染小鼠模型的研究^[13]发现,饮用新鲜蔓越莓汁的小鼠的膀胱中细菌数量减少,证明了食用酸果蔓汁及其有机酸的组合具有抗菌作用。蔓越莓中富含的奎宁酸可以被代谢为马尿酸,后者是一种强力的抗菌剂^[26]。另外,由于 pH 值的变化,酚类代谢很容易受到有机酸的影响,所以蔓越莓中的多酚和有机酸可协同应用于预防尿道感染。

2.2 幽门螺杆菌及其机理

幽门螺杆菌感染是导致消化性溃疡、胃炎和胃癌等相关疾病的罪魁祸首^[27]。幽门螺杆菌是一种革兰氏阴性螺旋形细菌,它可以在人类的胃和十二指肠中生存和增殖。通过释放一种称为“脲酶”的酶,可以将尿素转化为氨,然后氨抵消了胃酸,从而使幽门螺杆菌能免受胃酸的侵害在胃部存活^[28]。

Li 等^[5]通过随机、双盲、安慰剂对照的方法在幽门螺杆菌阳性的成年人身上的试验中发现,每天食用富含原花青素的蔓越莓汁可有助于增强对幽门螺杆菌的抑制作用。蔓越莓对幽门螺杆菌的抑制作用包括以下几个机制:蔓越莓的植物化合物可以抑制幽门螺杆菌黏附于胃^[29];多酚类化合物具有的抗氧化活性能减缓幽门螺杆菌引起的胃炎症状^[30];Matsushima 等^[30]通过扫描电子显微镜进行了形态学研究,发现蔓越莓可以通过诱导幽门螺杆菌变成球状以抑制其生长。此外,多酚还可通过促进有益肠道细菌的生长、增殖或存活,使其发挥益生元

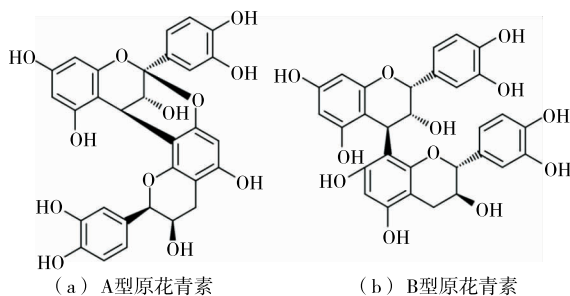


图 1 A 型原花青素和 B 型原花青素连接方式的区别^[18]

Figure 1 The difference between type-A proanthocyanidins and type-B proanthocyanidins

作用,从而抑制病原细菌如幽门螺杆菌的增殖^[31]。

2.3 抗口腔细菌及其机理

蔓越莓中的生物活性物质成分在近些年引起了牙科研究人员越来越多的关注,并发现蔓越莓汁成分在减少口腔疾病中存在潜在益处。牙菌斑是一种由细菌、细胞、蛋白质和酶组成的口腔生物膜,是龋齿、牙龈炎和牙周炎等口腔疾病的主要致病因子^[32]。其中,变形链球菌和链球菌等细菌经常和龋齿有关,它们能附着在口腔生物薄膜上,并在表面扩散,形成微菌落^[6]。

一项使用蔓越莓提取物补充漱口水的临床试验^[33]发现,使用该漱口水对链球菌的抑制效果与目前含有葡萄糖酸氯己定的黄金标准漱口水无明显差异。蔓越莓中的原花青素 A 型二聚体和寡聚体可以通过破坏变形链球菌的产酸性、对酸的耐受能力以及代谢功能,从而减少了生物膜的形成,进而抑制龋齿的发育。Sanchez 等^[34]还发现蔓越莓的多酚物质对能形成生物膜中的牙周病原体具有一定程度的抑制作用,并且可以通过抑制细菌的黏附力来抑制生物膜的形成。由于蔓越莓汁具有对口腔细菌的抗黏附剂和抗生物膜形成的特性,它被建议可以用来改善人体的口腔健康。

2.4 抗食源性致病菌及其机理

食源性疾病是一种威胁人类健康的主要疾病,其致病因素非常广泛,大部分是由细菌或细菌产生的毒素引起的。患者的症状包括腹泻、呕吐、发烧、胃肠炎,严重者会引起脓毒血症、脱水,甚至死亡^[35]。近年来,国内外由微生物污染引起的食品安全事故层出不穷,这不仅严重危害了人类的健康,还会带来巨大的经济损失。

研究^[36]发现蔓越莓中的低 pH 值和其生物活性酚类物质都对细菌有抑制作用。蔓越莓中的有机酸,尤其是奎尼酸、苹果酸和柠檬酸,会产生渗透压从而对细菌细胞膜成分造成亚致死性损害。Lacombe 等^[16]发现蔓越莓的酚类化合物,包括花青素、黄酮醇和原花青素,可以通过破坏细菌细胞壁、细胞膜和细胞内基质的结构完整性从而达到杀菌效果。而且原花青素可以结合细菌膜脂多糖,弱化细菌外膜,改变膜通透性和流动性,从而诱导细胞裂解。

另一方面,益生菌作为对人体健康有益的细菌,往往是在饮食中不被破坏,甚至是会被作为一种补充物添加到日常饮食中。国外的研究^[37]指出蔓越莓中的多酚类物质对常见的食源性致病菌具有显著的抗菌作用,但同时几乎不影响益生菌如乳酸杆菌和双歧杆菌的存活。这是由于益生菌在极端环境中存在几种防御策略,包括质子离子载体诱导的氧化应激机制、及时清除有毒的氧、以及依靠其能量传导系统拥有更高的膜流动性等。更有研究^[38]指出蔓越莓中的原花青素和益生菌之间在细胞培养模型中对减少肠外病原性大肠杆菌的侵袭存在潜在协

同作用。

3 结论

保护食物和人体免受病原体的侵害是非常有必要的,现阶段人们往往采用添加抗菌化合物的办法于食品中以提高品质并延长保质期,以及在人体中使用抗生素的办法来对抗微生物的侵害。然而,随着社会对营养与食品安全的关注度越来越高,天然和安全的食品更受消费者的青睐,并且人工抗生素和防腐剂的滥用和过度使用可能会导致抗菌素的残留,从而引起抗菌素耐药菌的出现。所以,寻找拥有抗菌活性的天然物质是非常有意义的。目前的研究表明蔓越莓及其产物有潜力作为一种对人体尿道、胃部、口腔和肠道健康有益的功能型食品,其植物化合物可以用在抗菌药物和天然防腐剂中,这需要今后更多的研究验证。

参考文献

- [1] ZHAO Shao-min, LIU Hai-yan, GU Li-wei. American cranberries and health benefits: An evolving story of 25 years[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(14): 5 111-5 116.
- [2] 郭佳, 丁庆波. 蔓越莓的营养与功能特性概述[J]. 农产品加工(学刊), 2011(5): 100-104.
- [3] 魏燕, 詹子逸, 章宇. 蔓越莓生物活性物质及主要生理功能研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(10): 219-224.
- [4] VASILEIOU I, KATSARGYRIS A, THEOCHARIS S, et al. Current clinical status on the preventive effects of cranberry consumption against urinary tract infections[J]. Nutrition Research, 2013, 33(8): 595-607.
- [5] LI Zhe-xuan, MA Jun-ling, GUO Yang, et al. Suppression of helicobacter pylori infection by daily cranberry intake: A double-blind, randomized, placebo-controlled trial [J]. Journal of Gastroenterology and Hepatology, 2020, DOI: 10.1111/jgh.15212.
- [6] BODET C, GRENIER D, CHANDAD F, et al. Potential oral health benefits of cranberry[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2008, 48(7): 672-680.
- [7] CAILLET S, COTE J, SYLVAIN J F, et al. Antimicrobial effects of fractions from cranberry products on the growth of seven pathogenic bacteria[J]. Food Control, 2012, 23(2): 419-428.
- [8] CHANG S K, ALASALVAR C, SHAHIDI F. Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 21: 113-132.
- [9] PURI B, HALL A, BAXTER H, et al. Phytochemical dictionary: A handbook of bioactive compounds from plants[M]. 2nd ed. [S.l.]: CRC Press, 1998: 12-16.
- [10] PAPPAS E, SCHAICH K. Phytochemicals of cranberries

- and cranberry products; Characterization, potential health effects, and processing stability [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2009, 49(9): 741-781.
- [11] JENSEN H D, KROGFELT K A, CORNETT C, et al. Hydrophilic carboxylic acids and iridoid glycosides in the juice of American and European cranberries (*Vaccinium macrocarpon* and *V. oxycoccos*), lingonberries (*V. vitis-idaea*), and blueberries (*V. myrtillus*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(23): 6 871-6 874.
- [12] BAZINET L, BRIANCEAU S, DUBE P, et al. Evolution of cranberry juice physico-chemical parameters during phenolic antioxidant enrichment by electrodialysis with filtration membrane [J]. Separation and Purification Technology, 2012, 87: 31-39.
- [13] JENSEN H D, STRUVE C, CHRISTENSEN S B, et al. Cranberry juice and combinations of its organic acids are effective against experimental urinary tract infection [J]. Frontiers in Microbiology, 2017, 8: 542.
- [14] VINSON J A, SU Xue-hui, ZUBIK L, et al. Phenol antioxidant quantity and quality in foods; Fruits [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(11): 5 315-5 321.
- [15] COTE J, CAILLET S, DOYON G, et al. Bioactive compounds in cranberries and their biological properties [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2010, 50(7): 666-679.
- [16] LACOMBE A, MCGIVNEY C, TADEPALLI S, et al. The effect of American cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) constituents on the growth inhibition, membrane integrity, and injury of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in comparison to *Lactobacillus rhamnosus* [J]. Food Microbiology, 2013, 34(2): 352-359.
- [17] KYLLI P, NOHYNEK L, PUUPPONEN-PIMIÄ R, et al. Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*) and European cranberry (*Vaccinium microcarpon*) proanthocyanidins; Isolation, identification, and bioactivities [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(7): 3 373-3 384.
- [18] CIRES M J, WONG X, CARRASCO-POZO C, et al. The gastrointestinal tract as a key target organ for the health-promoting effects of dietary proanthocyanidins [J]. Frontiers in Nutrition, 2016, 3: 57.
- [19] FELICIANO R P, KRUEGER C G, REED J D. Methods to determine effects of cranberry proanthocyanidins on extraintestinal infections; Relevance for urinary tract health [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2015, 59(7): 1 292-1 306.
- [20] WANG Yi-fei, HARRINGTON P D, CHANG T, et al. Analysis of cranberry proanthocyanidins using UPLC-ion mobility-high-resolution mass spectrometry [J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2020, 412: 3 653-3 662.
- [21] DE LLANO D, ESTEBAN-FERNÁNDEZ A, SÁNCHEZ-PATÁN F, et al. Anti-adhesive activity of cranberry phenolic compounds and their microbial-derived metabolites against uropathogenic *Escherichia coli* in bladder epithelial cell cultures [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2015, 16(6): 12 119-12 130.
- [22] LANE M C, MOBLEY H L T. Role of P-fimbrial-mediated adherence in pyelonephritis and persistence of uropathogenic *Escherichia coli* (UPEC) in the mammalian kidney [J]. Kidney International, 2007, 72(1): 19-25.
- [23] RIBIC R, MESTROVIC T, NEUBERG M, et al. Effective anti-adhesives of uropathogenic *Escherichia coli* [J]. Acta Pharmaceutica, 2018, 68(1): 1-18.
- [24] LIU Ya-tao, GALLARDO-MORENO A M, PINZON-ARANGO P A, et al. Cranberry changes the physicochemical surface properties of *E. coli* and adhesion with uroepithelial cells [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2008, 65(1): 35-42.
- [25] MATHISON B D, KIMBLE L L, KASPAR K L, et al. Development and validation of a sensitive, high-throughput bioassay for the adhesion of radiolabeled *E. coli* to uroepithelial cells in vitro [J]. Journal of Natural Products, 2013, 76(9): 1 605-1 611.
- [26] FELLERS C R, REDMON B C, PARROTT E M. Effect of cranberries on urinary acidity and blood alkali reserve [J]. Journal of Nutrition, 1933, 6(5): 455-463.
- [27] 孙琼梅. 您知道幽门螺旋杆菌感染的危害吗? [J]. 保健文汇, 2020(7): 148.
- [28] DUNN B E, COHEN H, BLASER M J. *Helicobacter pylori* [J]. Clinical Microbiology Reviews, 1997, 10(4): 720-741.
- [29] BURGER O, WEISS E, SHARON N, et al. Inhibition of *Helicobacter pylori* adhesion to human gastric mucus by a high-molecular-weight constituent of cranberry juice [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2002, 42(S3): 279-284.
- [30] MATSUSHIMA M, SUZUKI T, MASUI A, et al. Growth inhibitory action of cranberry on *Helicobacter pylori* [J]. Journal of Gastroenterology and Hepatology, 2008, 23: S175-S180.
- [31] HERVERT-HERNANDEZ D, GONI I. Dietary polyphenols and human gut microbiota; A review [J]. Food Reviews International, 2011, 27(2): 154-169.
- [32] LILJEMARK W F, BLOOMQUIST C. Human oral microbial ecology and dental caries and periodontal diseases [J]. Critical Reviews in Oral Biology and Medicine, 1996, 7(2): 180-198.
- [33] KHAIRNAR M R, KARIBASAPPA G, DODAMANI A, et al. Comparative assessment of cranberry and chlorhexidine mouthwash on streptococcal colonization among dental students; A randomized parallel clinical trial [J]. Contemporary Clinical Dentistry, 2015, 6(1): 35-39.

(下转第 210 页)

- 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, 璠阿敏, 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 physico-chemical 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.