植物蛋白微胶囊对益生菌包埋的研究进展

张　灿[1],吴彩娥[1*],范龚健[1],李婷婷[1],张　强[1,2],宫　号[1],刘龙云[1]
(1.南京林业大学轻工科学与工程学院,江苏南京 210037;
2.安徽科技学院 生命科学学院,安徽蚌埠 233100)

摘　要:益生菌对宿主健康具有一定的益生作用而被广泛应用于食品领域。然而益生菌对外界环境比较敏感,且进入机体后不耐胃液、胆盐等恶劣环境,导致其存活率大大下降。微胶囊技术对益生菌包埋可以解决这一问题,且将植物蛋白作为益生菌的包埋壁材,不仅可以提高益生菌在不良环境中的存活率,还可以作为载体用于益生菌肠道的定位释放。本文综述了大豆蛋白、豌豆蛋白等对益生菌的包埋以及益生菌微胶囊在食品中的应用,为植物蛋白微胶囊技术包埋益生菌提供参考依据。
关键词:微胶囊,益生菌,大豆蛋白,豌豆蛋白

Progress in the research of plant protein materials for probiotics encapsulation

ZHANG Can[1],WU Cai-e[1,*],FAN Gong-jian[1],LI Ting-ting[1],ZHANG Qiang[1,2],GONG Hao[1],LIU Long-yun[1]
(1.College of Light Industry Science and Engineering,Nanjing Forestry University,Nanjing 210037,China;
2.College of Life Science,Anhui Science and Technology University,Bengbu 233100,China)

Abstract: Owing to their prebiotic effects on human health,probiotics are widely used in the food industry.However,probiotics are very sensitive to the external environment,and they cannot resist host gastric juice,bile and other harsh environments,which leading to their survival declined significantly.Encapsulation technology of probiotics can solve this problem and taking plant proteins as wall materials to encapsulate probiotics not only can improve their survival in the poor environment,but also help their location released in intestinal tract as a carrier.This paper discussed soy protein,pea protein as wall materials to encapsulate probiotics and the applications of probiotics encapsulation in food,in order to provide a reference for plant proteins encapsulation technology to encapsulate probiotics.
Key words: encapsulation;probiotics;soy protein;pea protein
中图分类号:TS201.3　　文献标识码:A　　文章编号:1002-0306(2017)05-0385-05
doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.05.065

益生菌本身可以消化食物,产生有用的产物来破坏有害的微生物,弥补那些缺失的消化酶的功能(酶缺失或有基因缺陷),维持消化系统的pH等[1]。目前作为潜在的益生菌应用在发酵乳制品中的微生物有鼠李糖乳杆菌(*Lactobacillus rhamnosus*)、嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*)、罗伊氏乳杆菌(*Lactobacillus reuteri*)、保加利亚乳杆菌(*Lactobacillus bulgaricus*)、动物双歧杆菌(*Bifidobacterium*)、两歧双歧杆菌(*Bifidobacterium bifidum*)、青春双歧杆菌(*Bifidobacterium adolescentis*)和嗜热链球菌(*Streptococcus thermophilus*)等,且研究表明益生菌的数量必须达到7 log CFU/g才能起到功能作用[2]。由于人体内的胃酸、胆汁及各种消化酶的不良影响,益生菌到达肠道时其存活率极大的降低[3]。因此,是否能保持较高的存活率是益生菌发挥益生作用的关键因素。采用微胶囊技术包埋的益生菌可以抵抗高浓度的氧气,保证益生菌的高存活率;获得一定的抵御胃酸、胆汁和消化酶的能力,最后能以较高的活菌数定植于肠黏膜上发挥作用[4]。

制备微胶囊时壁材的选择很重要。具有良好乳化能力和乳化稳定性的壁材,有利于提高最终产品的产率、效率和贮存稳定性;具有在高浓度时有低黏

收稿日期:2016-08-00
作者简介:张灿(1991-),女,硕士研究生,研究方向:食品科学,E-mail:zhcan910305@163.com。
* 通讯作者:吴彩娥(1963-),女,博士,教授,研究方向:食品科学,E-mail:wucaie@njfu.edu.cn。
基金项目:江苏省科技支撑计划重点研发项目(BE2015315);江苏省自然科学基金(BK20150883);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD);南方现代林业协同创新中心科研项目。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

度性质的壁材，有助于提高进料时的固形物含量，从而提高最终的微胶囊化效率和产率。益生菌包埋中最常用的壁材是海藻酸钠，它具有成本低和生物相容性高的优点，另外它具有形成离子型胶体的能力，这种胶体在低酸环境下很稳定可以抵抗胃酸，在中性或更高的 pH 环境中又能溶解，在肠液中崩解。但是由于海藻酸钠胶体多孔的凝胶网状结构使得它并不能完全有效地限制小分子有害物质的渗透，所以它对益生菌的保护效果也非常有限[5]。而植物蛋白则由于其可再生，可生物降解，有良好的功能特性如乳化性、成膜性、凝胶型和水溶性等[6]适用于微胶囊技术，从大豆、干豆、谷类中提取的植物蛋白已被用于微胶囊的制备[7]。此外，植物蛋白易得，且它们的结构和功能已被证明。和动物蛋白相比，植物蛋白具有较少的过敏原，故植物蛋白做壁材制备微胶囊在食品、制药和化妆品方面具有很大的潜力。本文就植物蛋白在微胶囊包埋益生菌中的应用，及植物蛋白包埋益生菌在食品领域中的应用等方面进行综述，为更好地利用益生菌提供研究依据。

1 植物蛋白在益生菌微胶囊技术中的应用

将植物蛋白用作微胶囊壁材显示出了食品、化妆品以及制药领域的绿色趋势。目前，被广泛用作壁材的植物蛋白有大豆分离蛋白、豌豆分离蛋白、鹰嘴豆蛋白、小麦醇溶蛋白、玉米朊蛋白和大麦蛋白。研究结果表明，不同的壁材在保护活性原料的过程中起到不同的作用。此外，从其他植物中获取的廉价蛋白质，如水稻、燕麦、向日葵等的蛋白质，都显现出了良好的溶解性、乳化性、发泡性等，因此可以作为潜在的囊材。

1.1 大豆蛋白微胶囊壁材

大豆中含有丰富的蛋白成分，约占 35%～40%，其中主要的成分为大豆球蛋白和伴大豆球蛋白，约占总蛋白的 50%～90%[8]。大豆蛋白是一种优质蛋白，其成本低，且大豆蛋白具有良好的物化性质和功能特性，尤其是凝胶型、成膜性、乳化性和表面活性。此外大豆蛋白与明胶、酪素等蛋白相比，在酸性环境下更稳定，并能协助乳酸菌黏附在肠壁绒毛上发挥作用。正是由于这些良好的功能特性，大豆分离蛋白常用于生物医学和制药[9]。但大豆分离蛋白也有一定的缺点如不耐高温，过高的热处理温度则导致大豆蛋白的溶解度下降，引起微胶囊化效率下降，所以采用大豆分离蛋白做壁材时要控制好温度。总之大豆分离蛋白做壁材制备微胶囊应用比较广泛，可以做单一壁材也可以和多糖混合做复合壁材[10-12]。

Chávez 等[13]采用喷雾干燥法和真空干燥法包埋双歧杆菌 BB12（*Bifidobacterium* BB12），发现以大豆分离蛋白和 DE 值 20 的麦芽糊精为复合壁材，经过两步干燥后，在 30 ℃的条件下储存 3 个月后所含的活菌数最高大于 7 log CFU/g。

邹强[14]以大豆蛋白为壁材通过乳化凝胶方法包埋两歧双歧杆菌 F-35（*Bifidobacterium bifidum* F-35），经过包埋的两歧双歧杆菌 F-35 比包埋前具有更高的存活率。此外邹强等[15]比较了不同壁材（大豆蛋白、乳清蛋白、酪蛋白、明胶）包埋对双歧杆菌和乳杆菌存活率的影响，结果表明大豆蛋白微胶囊对这两种菌具有一定的保护作用。

许女等[16]利用 4% 大豆分离蛋白溶液、4% 微孔淀粉溶液和 2% 海藻酸钠溶液作为微胶囊化的三层壁材，分别采用挤压法和等电点沉淀法来包埋植物乳杆菌 MA2（*Lactobacillus plantarum* MA2），挤压法用 2.5 mL 的注射器 5 号针头制作的微胶囊呈球形，包埋率高，肠液活菌数高达 9 log CFU/g。

1.2 豌豆蛋白微胶囊壁材

豌豆蛋白是从豌豆种子中提取分离出来的，约占 20%～30%。豌豆蛋白具有良好的溶解性、搅拌稳定性、凝胶性和乳化性[17]。一般豌豆蛋白应用在微胶囊中时要和多糖联合使用做复合壁材，多糖和蛋白质的相互作用可以赋予豌豆蛋白新的特性而不需要经过化学的或酶的改性，尤其是溶解度、成膜性和表面活性[18]。这些相互作用可以增加乳化稳定性，进而获得尺寸大小较好的微粒，提高微胶囊化效率。此外有研究证明采用凝聚法用豌豆蛋白制备微胶囊时，需要加入交联剂，防止微胶囊聚集，最常用的交联剂是戊二醛，但由于戊二醛具有毒性，在食品工业领域被禁止使用，故凝聚法并不太适合豌豆蛋白包埋。

Sultan 等[19]采用喷雾干燥法利用不同壁材包埋啤酒酵母属酵母菌（*Saccharomyces cerevisiae var. Boulardii*），发现豌豆分离蛋白包埋的益生菌存活率为 86.52% ±1.23%，在 pH 为 1.5 的模拟胃液中存活率最高为 68.02% ±2.01%。其中在 125 ℃喷雾干燥条件下的效果更好，得到的微胶囊更能抵抗胃酸。由于喷雾干燥法是在高温下进行的，为保证益生菌的存活率不仅要选择可以耐高温的菌种，另外其存活率很大程度上还取决于所用的壁材，所以将豌豆分离蛋白在 125 ℃的喷雾温度下应用于益生菌包埋是可行的。

Wang 等[20]分别以豆类蛋白（大豆蛋白 1.21 g、豌豆蛋白 1.25 g、蚕豆蛋白 1.54 g 和扁豆蛋白 1.26 g）-藻朊酸盐为壁材采用乳化法包埋青春双歧杆菌（*Bifidobacterium adolescentis*）制备微胶囊。首先将蛋白分别配制成浓度为 10% 的溶液，然后又 0.5 mol/L 的 NaOH 调节 pH 至 7.0，接下来室温下搅拌过夜（16 h），之后加入 0.01 g 的藻朊酸盐，再加入 1 mL 菌悬液，1000 ×g 离心 5 min 回收得到微胶囊。其中以豌豆蛋白-藻朊酸盐为壁材制得的益生菌微胶囊粒径平均为（18.4 ±2.0）μm，且呈球形，表面光滑，微粒之间分散开来，此微胶囊在模拟胃液中最耐酸，能最大限度的保护益生菌。

Klemmer 等[21]利用豌豆分离蛋白-藻朊酸盐作为壁材，采用挤压法制备益生菌微胶囊。微胶囊中益生菌的释放与模拟肠液中的 Na^+ 水平和微胶囊基质中豌豆分离蛋白的酶促降解有关，双歧杆菌在模拟肠液中的释放率为 3.67%～4.67%。Kotikalapudi 等[22]利用豌豆分离蛋白-藻朊酸盐包埋嗜酸乳杆菌 ATCC11975（*Lactobacillus acidophilus* ATCC 11975）。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

经过包埋的益生菌在模拟胃液(pH2.0)中2 h后益生菌活菌数仅下降1 log CFU/mL,豌豆分离蛋白-藻朊酸盐具有较好的保护作用。此外,Khan等[23]采用挤压法包埋益生菌时也采用了豌豆蛋白与藻朊酸盐做复合壁材包埋青春双歧杆菌。

1.3 鹰嘴豆蛋白微胶囊壁材

有关鹰嘴豆蛋白做壁材制备益生菌微胶囊的报道不多,鹰嘴豆蛋白之所以可以做壁材制备微胶囊,是因为它具有优异的功能特性和营养价值,另外,和大豆蛋白相比鹰嘴豆蛋白具有更少的过敏原和较高的溶解性,同时具有一定的乳化能力。鹰嘴豆分离蛋白质含有所有必需氨基酸,其中赖氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸与组氨酸含量较高,满足人类需求[24]。

Wang等[25]采用乳化法将10%的鹰嘴豆蛋白和0.1%的藻朊酸盐的壁材包埋的益生菌和裸菌置于模拟胃液中,90%的益生菌失活所需时间分别为(106.31±17.03) min和(18.98±0.29) min。将包埋菌和裸菌置于模拟肠液中3 h,前5 min内的释放率分别为93.6%和85.2%,且此后裸菌不再释放。因此可以将鹰嘴豆蛋白-藻朊酸盐应用在食品中包埋一些敏感的益生菌。另外,Khan等[23]采用挤压法用鹰嘴豆分离蛋白包埋青春双歧杆菌,得到的微胶囊表面比较光滑,耐胃酸性和肠溶性均较好。

1.4 其他蛋白

Wang等[20]以扁豆蛋白(1.26 g)和蚕豆蛋白(1.54 g)-藻朊酸盐为壁材采用乳化法包埋青春双歧杆菌制备了微胶囊,对益生菌有较好的保护作用。此外,Khan等[23]采用挤压法包埋益生菌时也采用了扁豆蛋白和蚕豆蛋白两种蛋白与藻朊酸盐做复合壁材包埋青春双歧杆菌,在37 ℃ pH1.8的模拟胃液中几种谷类蛋白包埋的益生菌平均仅下降了2.0~2.6 log CFU/g,在模拟肠液中,微胶囊立即崩解,益生菌的量达到5 log CFU/g。

玉米中的醇溶蛋白是玉米的主要贮存蛋白,占50%~55%,具有良好的持水性、成膜性和黏接性,还具有耐酸、耐油等特性,可广泛应用于医药、食品及化工等其它行业。Laelorspoen等[26]采用电子喷雾技术以玉米醇溶蛋白-藻朊酸盐为壁材包埋嗜酸乳杆菌。在不同的电压4、6和10 V条件下制备微胶囊,并且随着电压的升高,微胶囊表面的褶皱越来越少,表面趋于光滑。将制得的微胶囊置于pH1.2的模拟胃液中益生菌的量仅下降了1 log CFU/g,而裸菌则下降了5 log CFU/g。

2 植物蛋白包埋益生菌技术在食品领域的应用

益生菌主要应用于医药产品中,目前也趋于应用于健康食品。大部分的益生菌产品都是日常的冷冻食品,如酸奶、奶酪、冰淇淋等,另外在果汁、蛋黄酱、香肠和其他产品中也有应用益生菌[27-29]。益生菌对外界环境敏感而,这阻碍了它在食品中的应用,微胶囊技术可以解决这一难题,使益生菌在胃肠道中生存并定殖。将益生菌微胶囊应用在食品中不仅提高的益生菌的存活率,提高了产品的货架期,而且对产品的感官接受度没有任何影响[30]。近年来,益生菌微胶囊已出现在一些食品中。

2.1 在酸奶中的应用

利用微胶囊化益生菌的产品中,酸奶是一个典型的代表。酸奶中由于氧气的存在使得益生菌的存活率很低。因此采用微胶囊技术可以使益生菌与外界的氧气隔离开。Khan等[23]采用谷物蛋白-藻朊酸盐包埋青春双歧杆菌制备微胶囊,之后添加到酸奶中,在4 ℃下储存30 d检测益生菌的存活率,裸菌在2 d后益生菌的量就下降了2.5 log CFU/mL,7 d后基本上检测不到菌的存在,而包埋的益生菌在18 d后仅下降了3 log CFU/mL。王艳萍等[31]用大豆分离蛋白、微孔淀粉和藻朊酸钠对瑞士乳杆菌(*Lactobacillus helveticus*)进行三层包埋,将包埋的瑞士乳杆菌加入到酸奶中,提高了益生菌的存活率。此外有研究表明喷雾干燥法制备的一种水解酪蛋白的大豆分离蛋白微胶囊,感官测试表明微胶囊产品苦味大大降低,说明大豆分离蛋白能有效屏蔽水解酪蛋白的苦味[32]。

2.2 在饮料中的应用

Wang等[20]用豌豆分离蛋白-藻朊酸盐包埋青春双歧杆菌制备微胶囊。之后将其分别添加于菠萝汁和白葡萄汁中,然后分别储存于4 ℃和22 ℃的条件下,测得在菠萝汁和白葡萄汁中的青春双歧杆菌在第1周内均下降2~3 log CFU/mL,之后一直到第6周基本上保持平稳,但整体来说22 ℃下的保护效果比4 ℃的更好。王艳萍等[31]以大豆分离蛋白、微孔胶囊和海藻酸钠做三层壁材包埋瑞士乳杆菌,之后加入到苦茶保健饮料中,使菌体在肠道内停留和吸收时间大大延长,提高产品的保健疗效。潘秋月[33]采用喷雾干燥法探究大豆分离蛋白和其他几种动物蛋白对双歧杆菌的包埋效果,经微射流处理后,大豆分离蛋白微胶囊的粒径最小,其的多分散指数有所下降,表现出良好的稳定性。α-乳清蛋白和乳清分离蛋白的粒径虽然有显著的下降,但同时离子分布系数有显著上升,说明其粒子极不稳定。所以大豆分离蛋白和其他几种动物类蛋白相比有极大的优势。最后将用大豆分离蛋白包埋长双歧杆菌(*Bifidobacterium longum*)添加于胡萝卜汁中,随着培养时间的延长,胡萝卜汁中的活菌数有明显的增加。培养48 h后,胡萝卜汁中活菌数达到7 log CFU/mL以上,达到了维护人体肠道健康所需的益生菌浓度。

2.3 在其他食品中的应用

詹亚男[34]用大豆蛋白微胶囊化植物乳杆菌与凝结芽孢杆菌(*Bacillus coagulans*),之后与人参皂苷、茶多酚和绿茶香精等混合制作醒脑咀嚼片,通过小鼠负重游泳实验及血乳酸和肝糖原的测定表明醒脑咀嚼片具有抗疲劳功效。Farnworth等[35]将鼠李糖乳杆菌(*Lactobacillus rhamnosus* GG)和约氏乳杆菌(*Lactobacillus johnsonii* La-1)接种到牛乳和豆乳中,这两种菌在豆乳中的增长速率分别是在牛乳中增长速率的3倍和5倍。主要是因为大豆基质中含有丰

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

富的优质蛋白，更利于益生菌的生长。Liong 等[36]将嗜酸乳杆菌添加到大豆蛋白基质中来制作奶酪。

从营养角度分析，蛋白类壁材比其他壁材更具营养性。此外，动物蛋白和植物蛋白富含氨基酸，尤其是动物蛋白含有人体必需的 8 种氨基酸而且氨基酸比例与人体所需要的比例接近，但是动物蛋白会带来“三高”问题。虽然植物蛋白的氨基酸评价较低，被人体吸收的程度差些，但可以通过科学的方法来弥补。另外摄取优质植物蛋白会大大减少“三高”的发生率。植物蛋白具有脂肪低，热量低及无胆固醇的特点。所以从营养角度来说植物蛋白做壁材包埋益生菌添加到食品中是有一定的优势的。

3 结语

将微胶囊技术应用于食品领域中为益生菌抵抗胃酸等恶劣环境以及延长产品的货架期开辟了一条新的途径。但植物蛋白用于微胶囊还存在以下不足：一方面，和藻朊酸盐、动物蛋白相比，植物蛋白用于益生菌包埋的种类还不是很多，主要是一些豆类蛋白，如大豆蛋白、豌豆蛋白和鹰嘴豆蛋白等，故需要开发其他植物蛋白来用于微胶囊壁材，林源植物蛋白如银杏蛋白、油茶籽蛋白和核桃蛋白等，成本低廉，可生物降解，同时可能具有一些特定功能（如溶解性、乳化性和成膜性等），完全可以作为壁材用于益生菌的微胶囊。另一方面，提高植物蛋白包埋益生菌微胶囊的耐胃酸性和肠溶性能力也是迫切需要解决的技术难点。目前还未见通过蛋白质改性（如糖基化、磷酸化、烷基化和酰基化）技术来提高蛋白质微胶囊壁材性能的研究，所以可以从此方面入手对蛋白质进行改性从而提高其壁材性能。尽管利用植物蛋白包埋益生菌面临着很大的挑战，但消费者对益生菌产品的关注度在提高，需求在增加，相信植物蛋白益生菌微胶囊技术在未来会有一个很好的市场。

参考文献

[1] Amara A A, Shibl A. Role of Probiotics in health improvement, infection control and disease treatment and management[J]. Saudi Pharmaceutical Journal, 2015, 23(2): 107-114.

[2] Champagne C P, Gardner N J, Roy D. Challenges in the addition of probiotic cultures to foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2005, 45(1): 61-84.

[3] Nazzaro F, Fratianni F, Coppola R, et al. Fermentative ability of alginate-prebiotic encapsulated Lactobacillus acidophilus and survival under simulated gastrointestinal conditions[J]. Journal of Functional Foods, 2009, 1(3): 319-323.

[4] Crittenden R, Weerakkody R, Sanguansri L, et al. Synbiotic microcapsules that enhance microbial viability during nonrefrigerated storage and gastrointestinal transit[J]. Applied and environmental microbiology, 2006, 72(3): 2280-2282.

[5] George M, Abraham T E. Polyionic hydrocolloids for the intestinal delivery of protein drugs: alginate and chitosan-a review[J]. Journal of Controlled Release, 2006, 114(1): 1-14.

[6] Nesterenko A, Alric I, Violleau F, et al. The effect of vegetable protein modifications on the microencapsulation process[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 41: 95-102.

[7] Karaca A C, Low N H, Nickerson M T. Potential use of plant proteins in the microencapsulation of lipophilic materials in foods[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 42(1): 5-12.

[8] Ruíz-Henestrosa V P, Sánchez C C, Escobar M M Y, et al. Interfacial and foaming characteristics of soy globulins as a function of pH and ionic strength[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2007, 309(1): 202-215.

[9] Gu X, Campbell L J, Euston S R. Effects of different oils on the properties of soy protein isolate emulsions and gels[J]. Food research international, 2009, 42(8): 925-932.

[10] Augustin M A, Sanguansri L, Bode O. Maillard reaction products as encapsulants for fish oil powders[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(2): 25-32.

[11] Rusli J K, Sanguansri L, Augustin M A. Stabilization of oils by microencapsulation with heated protein-glucose syrup mixtures[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2006, 83(11): 965-972.

[12] Yu C, Wang W, Yao H, et al. Preparation of phospholipid microcapsule by spray drying[J]. Drying Technology, 2007, 25(4): 695-702.

[13] Chávez B E, Ledeboer A M. Drying of probiotics: optimization of formulation and process to enhance storage survival[J]. Drying Technology, 2007, 25(7-8): 1193-1201.

[14] 邹强. 双歧杆菌微胶囊的研究[D]. 无锡：江南大学, 2012.

[15] 邹强，袁鹏，刘小鸣，等. 不同蛋白质包埋壁材对益生菌在人体模拟胃液中的保护效果[J]. 食品工业科技, 2012, 33(13): 60-63.

[16] 许女，王艳萍，刁傲登，等. 植物乳杆菌 MA2 微胶囊化的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(10): 17-22.

[17] Akintayo E T, Oshodi A A, Esuoso K O. Effects of NaCl, ionic strength and pH on the foaming and gelation of pigeon pea (Cajanus cajan) protein concentrates[J]. Food Chemistry, 1999, 66(1): 51-56.

[18] Liu S, Elmer C, Low N H, et al. Effect of pH on the functional behaviour of pea protein isolate-gum Arabic complexes[J]. Food Research International, 2010, 43(2): 489-495.

[19] Arslan S, Erbas M, Tontul I, et al. Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. boulardii with different wall materials by spray drying[J]. Food Science and Technology, 2015, 63(1): 685-690.

[20] Wang J, Korber D R, Low N H, et al. Encapsulation of *Bifidobacterium adolescentis* cells with legume proteins and survival under stimulated gastric conditions and during storage in commercial fruit juices[J]. Food Science and Biotechnology, 2015, 24(2): 383-391.

[21] Klemmer K J, Korber D R, Low N H, et al. Pea protein-based capsules for probiotic and prebiotic delivery[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(11): 2248-2256.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[22] Kotikalapudi B L,Low N H,Nickerson M T,et al.*In vitro* characterization of probiotic survival,adherence and antimicrobial resistance: Candidate selection for encapsulation in a pea protein isolate-alginate delivery system [J]. International Journal of Probiotics & Prebiotics,2010,5(1):1-12.

[23] Khan N H,Korber D R,Low N H,et al.Development of extrusion-based legume protein isolate-alginate capsules for the protection and delivery of the acid sensitive probiotic, *Bifidobacterium adolescentis* [J]. Food Research International, 2013,54(1):730-737.

[24] 张涛,江波,王璋.鹰嘴豆分离蛋白质的特性[J].食品与生物技术学报,2005,24(3):66-71.

[25] Wang J,Korber D R,Low N H,et al.Entrapment,survival and release of *Bifidobacterium adolescentis* within chickpea protein-based microcapsules [J].Food Research International,2014,55:20-27.

[26] Laelorspoen N, Wongsasulak S, Yoovidhya T, et al. Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* in zein-alginate core-shell microcapsules via electrospraying [J]. Journal of Functional Foods,2014,7:342-349.

[27] Champagne C P,Gardner N J.Effect of storage in a fruit drink on subsequent survival of probiotic *Lactobacilli* to gastro-intestinal stresses [J].Food Research International,2008,41(5):539-543.

[28] Charalampopoulos D, Wang R, Pandiella S S, et al. Application of cereals and cereal components in functional foods: a review [J].International journal of food microbiology,2002,79(1):131-141.

[29] Fahimdanesh M,Mohammadi N,Ahari H,et al.Effect of microencapsulation plus resistant starch on survival of Lactobacillus casei and *Bifidobacterium bifidum* in mayonnaise sauce [J]. African Journal of Microbiology Research,2012,6(40):6853-6858.

[30] Cruz A G,Antunes A E C,Sousa A L O P,et al.Ice-cream as a probiotic food carrier [J].Food Research International,2009,42(9):1233-1239.

[31] 王艳萍,许女.瑞士乳杆菌微胶囊及其制备与应用[P].中国专利:101323850,2008-07-28.

[32] Ortiz S E M,Mauri A,Monterrey-Quintero E S,el at. Production and properties of casein hydrolysate microen-capsulated by spray drying with soybean protein isolate [J].LWT-Food Science and Technology,2009,42(5):919-923.

[33] 潘秋月.微胶囊双歧杆菌的制备及其特性研究[D].北京:中国农业大学,2015.

[34] 詹亚男.醒脑咀嚼片的开发研究[D].黑龙江:黑龙江大学,2011.

[35] Farnworth E R,Mainville I,Desjardins M P,et al.Growth of probiotic bacteria and *Bifidobacteria* in a soy yogurt formulation [J].International journal of food microbiology,2007,116(1):174-181.

[36] Liong M T,Easa A M,Lim P T,et al.Survival,growth characteristics and bioactive potential of *Lactobacillus acidophilus* in a soy-based cream cheese [J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2009,89(8):1382-1391.

(上接第384页)

[42] Tian J,Zeng X,Lu A,et al. Perillaldehyde,a potential preservative agent in foods: Assessment of antifungal activity against microbial spoilage of cherry tomatoes [J]. LWT-Food Science and Technology,2015,60(1):63-70.

[43] Mohammedi Z,Atik F.Fungitoxic effect of natural extracts on mycelial growth,spore germination and aflatoxin B1 production of Aspergillus flavus. Australian Journal of Crop Science,2013,7(3):293-298.

[44] Panahirad S,Zaare-Nahandi F,Mohammadi N,et al.Effects of salicylic acid on Aspergillus flavus infection and aflatoxin B-1 accumulation in pistachio(Pistacia vera L.) fruit [J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2014,94(9):1758-1763.

[45] Giuseppe Blaiotta,Alberto Ritieni.Reduction of ochratoxin A during the fermentation of Italian red wine moscato [J]. Food Control,2010,21:579-583.

[46] Castoria R,Mannina L,Duran-Patron R,et al.Conversion of the mycotoxin patulin to the less toxic desoxypatulinic acid by the biocontrol yeast Rhodosporidium kratochvilovae strain LS11 [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2011,59(21):11571-11578.

[47] Spadaro D,Lore A,Garibaldi A,et al. A new strain of Metschnikowia fructicola for postharvest control of Penicillium expansum and patulin accumulation on four cultivars of apple [J]. Postharvest Biology and Technology,2013,75(1):1-8.

[48] Fiori S,Hammami W,Razzu S,et al.Biocontrol activity of four non-and low-fermenting yeast strains against Aspergillus carbonarius and their ability to remove ochratoxin A from grape juice [J]. International Journal of Food Microbiology,2014,189(17):45-50.

[49] Magnusson J,Strom K,Roos S,et al.Broad and complex antifungal activity among environmental isolates of lactic acid bacteria [J].Fems Microbiology Letters,2003,219(1):129-135.

[50] Hawar S,Vevers W,Karieb S,et al. Biotransformation of patulin to hydroascladiol by Lactobacillus plantarum [J]. Food Control,2013,34(2):502-508.

[51] Kachouri F,Ksontini H,Hamdi M.Removal of aflatoxin B1 and inhibition of aspergillus flavus growth by the use of lactobacillus plantarum on olives [J].Journal of Food Protection,2014,77(10):1760-1767.

[52] Farzaneh M,Shi Z Q,Ghassempour A,et al. Aflatoxin B1 degradation by Bacillus subtilis UTBSP1 isolated from pistachio nuts of Iran [J].Food Control,2012,23(1):100-106

[53] Yue T L,Dong Q F,Guo C X,et al. Reducing patulin contamination in apple juice by using inactive yeast [J].Journal of Food Protection,2011,74(1):149-153.

[54] 董媛,岳田利,袁亚宏,等.三种失活酵母对苹果汁中展青霉素去除研究[J].食品工业,2013,34(1):116-118.

[55] Yuan Y,Wang X,Hatab S,et al.Patulin reduction in apple juice by inactivated Alicyclobacillus spp [J].Letters in Applied Microbiology,2014,59(6):604-609.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net