

沙棘益生菌微胶囊的制备及性能研究

周莉, 朱海华, 谭静, 平洋, 张亚勋, 王法云*

(河南省商业科学研究所有限责任公司, 郑州 450002)

摘要: **目的** 制备沙棘益生菌微胶囊, 并进行耐酸性和肠溶性研究。**方法** 以海藻酸钠、乳清分离蛋白和氯化钙的混合物为壁材, 采用微胶囊技术将沙棘益生菌发酵液进行包埋, 制备得到沙棘益生菌微胶囊。**结果** 选取半乳糖增殖培养基作为益生菌的活化培养基, 半乳糖浓度为 2.000%时, 对益生菌的增殖效果最佳, 不仅缩短了益生菌的延滞期, 而且提高益生菌的生长速率; 经过 150 min 的模拟胃液处理后, 仍然具有较高的存活率, 为 61%; 在模拟肠液处理中处理 60 min 之后, 益生菌就会被连续的释放出来。**结论** 沙棘益生菌微胶囊在胃液中具有良好耐酸性, 在肠液中具有良好的肠溶性。

关键词: 沙棘; 益生菌; 微胶囊; 耐酸性; 肠溶性

Preparation and performance study of *Hippophae rhamnoides* Linn. probiotics microcapsules

ZHOU Li, ZHU Hai-Hua, TAN Jing, PING Yang, ZHANG Ya-Xun, WANG Fa-Yun*

(The Institute of Commercial Sciences Co., Ltd., of Henan Province, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT: Objective To prepare the microcapsules of *Hippophae rhamnoides* Linn. probiotics, and study the acid resistance and enteric solubility. **Methods** Using a mixture of sodium alginate, whey protein isolate and calcium chloride as the wall materials, the fermentation broth of *Hippophae rhamnoides* Linn. probiotics was embedded by microencapsulation technology, and the *Hippophae rhamnoides* Linn. probiotic microcapsules were prepared. **Result** Galactose proliferation medium was selected as the activation medium of probiotics. When the concentration of galactose was 2.000%, the proliferation effect of probiotics was the best, which not only shortened the lag period of probiotics, but also increased the growth rate of probiotics. After 150 min of simulated gastric juice treatment, it still had a high survival rate, and the survival rate was 61%. After 60 minutes of treatment in the simulated intestinal fluid treatment, the probiotics were continuously released. **Conclusion** *Hippophae rhamnoides* Linn. probiotics microcapsules have good acid resistance in gastric juice and good enteric solubility in intestinal fluid.

KEY WORDS: *Hippophae rhamnoides* Linn.; probiotics; microcapsules; acid resistance; enteric solubility

0 引言

沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.), 是一种药食两用

的植物资源^[1-2], 沙棘的根、茎、叶、花、果, 特别是沙棘果实富含维生素 C、黄酮类化合物^[3]、多糖^[4]、氨基酸^[5]、不饱和脂肪酸^[6]和微量元素等^[7-8]。沙棘果实入药具有止咳

基金项目: 河南省科学院杰青人才培养项目(210411003)、河南省省级特聘研究员项目(200511003)

Fund: Supported by the Henan Academy of Sciences Jie Qing Talent Training Project (210411003), and the Henan Provincial Distinguished Researcher Project (200511003)

*通信作者: 王法云, 研究员, 主要研究方向为食品安全研究。E-mail: wangfayun262@sohu.com

*Corresponding author: WANG Fa-Yun, Professor, The Institute of Commercial Sciences Co., Ltd., of Henan Province, Zhengzhou 450002, China. E-mail: wangfayun262@sohu.com

化痰、健胃消食、活血散瘀之功效^[9-10]。现代药理学研究也发现了其具有抗疲劳、增强机体活力、降血脂和软化血管的作用^[11-13],可以广泛应用于食品、医药、轻工、航天、农牧渔业等许多领域。

益生菌是人体肠道重要的生理菌,具有多种生理功能,包括改善人体肠道功能、减少肠道疾病^[14]、促进营养物质的吸收、缓解乳糖不耐症、降低胆固醇^[15-16]、调节免疫系统^[17]、提高抗氧化能力等^[18-19],正是因为益生菌存在许多有益人体健康的功能,使得它在食品中得到了越来越广泛的应用。益生菌想要发挥其益生功效,必须保证益生菌在产品中保持活性和代谢稳定^[20],当液态食品中活菌数达到一定数量[GB 19302—2010《食品安全国家标准 发酵乳》规定乳酸菌数 $\geq 10^6$ CFU/g(mL)],益生菌才能发挥益生作用。然而,液态食品在运输、销售和消费过程中,益生菌所含活菌数一直在下降,而且益生菌的抗逆性较差,在经过胃部到达肠道时受到强胃酸、胆汁、胃蛋白酶等物质的作用,所以很难确保益生菌到达肠道内定植并有足够数量的活菌数去发挥其益生作用^[21-23]。微胶囊技术是近年来的一项保护生物活性物质的有效技术,通过微胶囊技术^[24]对益生菌进行保护,能够极大地降低外界逆环境对益生菌的杀伤作用,对菌体起到保护作用。

石佳等^[25]以沙棘果油为芯材,以酪蛋白酸钠和变性淀粉为混合壁材,制备的沙棘果油微胶囊粉稳定性强,货架期较长。向殷丰等^[26]通过复合壁材对沙棘籽油进行包埋,得到的沙棘籽油微胶囊产品具备良好的热稳定性。高雅馨等^[27]将添加天然抗氧化剂与微胶囊制备技术相结合,改善沙棘籽油的氧化稳定性,延长了货架期。刘光宪等^[28]以沙棘籽油为芯材,通过喷雾干燥制备沙棘籽油微胶囊,获得的微胶囊粒径小、包埋率高、热稳定性良好。张洪杰^[29]采用微胶囊技术对沙棘混合粉进行包覆,明显改善其吸湿性能,并得到最佳工艺条件及令人满意的缓释效果。常明等^[30]利用喷雾干燥技术制备了沙棘籽油微胶囊,包埋率达到97.32%,并且微胶囊粒径分布均匀,储藏30 d微胶囊脂肪酸组成变化较小。虽然以上研究表明,微胶囊技术能有效提高沙棘的稳定性和包埋率,但这些研究仅着眼于沙棘和微胶囊技术,大多是单独将沙棘作为芯材包入壁材之中,而将沙棘和益生菌共同包入微胶囊中的研究还未见报道。为了发挥益生菌的重要益生特性,针对沙棘中的活性成分在加工过程中极易破坏,导致活性成分得不到有效利用和益生菌活性保持时间短的技术问题,研究采用微胶囊技术对沙棘和益生菌进行包埋处理,通过微胶囊化对其进行保护,保留沙棘中的营养物质和活性成分,使沙棘中的营养活性成分充分被肠道吸收,同时也避免了益生菌直接与胃液接触,极大地提高了益生菌的存活率和稳定性,使益生菌能够在肠道充分释放,从而实现了沙棘的营养保健作用

与益生菌的功能相结合,达到调节肠道菌群平衡,抑制腐败菌生长,增强人体免疫力的功效;也解决了益生菌抗逆性差,经过胃部到达肠道时受到胃液的作用易失活的问题,同时也解决了益生菌保存过程活菌数量下降迅速,效价损失严重的问题。

本研究将沙棘作为益生菌的载体,利用沙棘中富含的沙棘黄酮等多酚类物质,沙棘黄酮具有抗氧化等作用,能够对益生菌在加工和储藏过程中起到抗氧化损伤的保护作用。沙棘中的黄酮类物质对双歧杆菌、乳酸菌具有显著的生长促进作用,可以显著提高其菌剂性能的发挥。沙棘中同时含有蛋白质、多糖等成分,结合胶类物质与益生菌菌体混合,以海藻酸钠、乳清分离蛋白和氯化钙的混合物为壁材,利用微胶囊技术将沙棘和益生菌进行包埋,减少常规益生菌加工过程中的热、氧化、干燥损伤,达到益生菌长期保存的目的,有效防止菌种在储存过程中的活力损失,并为沙棘益生菌微胶囊的开发和应用提供理论和应用依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

沙棘来源:网上购买新鲜沙棘。

MRS培养基(英国Oxoid公司);海藻酸钠、胰蛋白酶、胃蛋白酶、乳清分离蛋白(上海源叶生物科技有限公司);氯化钙、磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、氢氧化钠、氯化钠、磷酸二氢钠、盐酸等(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);保加利亚乳杆菌(菌种编号:ATCC 11842)、两歧双歧杆菌(ATCC29521)(河南省商业科学研究所有限责任公司)。

葡萄糖基础培养基:蛋白胨 10.0 g/L、牛肉膏粉 5.0 g/L、酵母膏粉 4.0 g/L、葡萄糖 20.0 g/L、吐温-80 1.0 mL/L、磷酸氢二钾 2.0 g/L、乙酸钠 5.0 g/L、柠檬酸三铵 2.0 g/L、硫酸镁 0.05 g/L,加水定容至 1000 mL;葡萄糖基础培养基的pH为6.2~6.4。

半乳糖增殖培养基:同葡萄糖基础培养基,将葡萄糖20.0 g/L换成半乳糖20.0 g/L。

蔗糖增殖培养基:同葡萄糖基础培养基,将葡萄糖20.0 g/L换成蔗糖20.0 g/L。

磷酸缓冲盐溶液(phosphate buffer saline, PBS) (pH 7.4): 8 g 氯化钠、200 mg 氯化钾、1.44 g 磷酸氢二钠、240 mg 磷酸二氢钾,加水定容至 1000 mL。

模拟胃液:取稀盐酸 16.4 mL,加水约 800 mL,调 pH 2.0,胃蛋白酶 10 g,搅匀后加水定容至 1000 mL。

模拟肠液:磷酸二氢钾 6.8 g,加水 500 mL 蒸馏水溶解,用 0.4%的氢氧化钠调节 pH 至 6.8;120°C 灭菌 20 min;胰蛋白酶 10 g,加无菌水适量使溶解,将两液混合后,加水定容至 1000 mL。

1.2 仪器设备

VS-35S-D 手持均质仪(上海三先科技有限公司); HWS-250 型恒温恒湿培养箱(杭州聚同电子有限公司); SCIENTZ-IIID 超声细胞破碎机(宁波新芝生物科技股份有限公司); JSM-7500F 扫描电子显微镜(日本电子株式会社); YXQ-LS-50 立式压力蒸汽灭菌锅(上海博迅实业有限公司); UNIVERSAL 320R 高速离心机(德国 Hettich 公司); BSC-1500IIB2-X 生物安全柜(济南鑫贝西生物科技有限公司); SHZ-82 恒温振荡器(金坛市万华实验仪器厂); -80℃冰箱(山东博科生物公司); milli-Q 超纯水仪(美国密理博公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 沙棘益生菌发酵液的提取

取沙棘鲜果, 将沙棘鲜果加水浸泡 1.5 h, 超声提取 3 次, 合并提取液, 将提取液过滤, 5000 r/min 离心 10 min, 浓缩, 得到沙棘提取液; 其中, 沙棘鲜果与水的比例为 1:3 (*m*:*V*), 超声功率为 600 W, 每次超声提取的时间为 15 min。

按照李大鹏等^[31]的方法进行活化培养, 将得到的活化益生菌按体积比 3% 的比例接种至沙棘提取液中, 36℃ 发酵培养 2 d, 得到沙棘益生菌发酵液。

1.3.2 活化培养基的选择

分别配制 25 mL 葡萄糖基础培养基、半乳糖增殖培养基、蔗糖增殖培养基(各培养基的组成详见表 1); 每种培养基中碳源浓度均设置 0.125%、0.250%、0.500%、1.000%、2.000%、4.000% 6 个浓度梯度, 培养基配制完成后于 121℃ 下灭菌 20 min。

向灭菌后的每一个培养基中均接入保加利亚乳杆菌和两歧双歧杆菌, 37℃ 厌氧培养 48 h, 在 600 nm 下测定各培养基的吸光度。

表 1 各培养基的组成

Table 1 Composition of each medium

材料	葡萄糖基础培养基	半乳糖增殖培养基	蔗糖增殖培养基
蛋白胨/(g/L)	10.0	10.0	10.0
牛肉膏粉/(g/L)	5.0	5.0	5.0
酵母膏粉/(g/L)	4.0	4.0	4.0
葡萄糖/(g/L)	20.0	—	—
吐温-80/(mL/L)	1.0	1.0	1.0
磷酸氢二钾/(g/L)	2.0	2.0	2.0
乙酸钠/(g/L)	5.0	5.0	5.0
柠檬酸三铵/(g/L)	2.0	2.0	2.0
硫酸镁/(g/L)	0.05	0.05	0.05
半乳糖	—	20.0	—
蔗糖	—	—	20.0

注: —表示无此材料。

1.3.3 半乳糖增殖培养基对益生菌生长过程的影响

分别配制 25 mL 葡萄糖基础培养基(葡萄糖培养基中葡萄糖的浓度为 2.000%)、半乳糖增殖培养基(半乳糖增殖培养基中半乳糖的浓度为 2.000%), 培养基配制完成后于 121℃ 下灭菌 20 min。向灭菌后的每一个培养基中均接入保加利亚乳杆菌和两歧双歧杆菌, 37℃ 厌氧培养 48 h。每隔 4 h 去菌液在 600 nm 下测定吸光度。

1.3.4 沙棘益生菌微胶囊的制备

将保加利亚乳杆菌和两歧双歧杆菌接入半乳糖增殖培养基(半乳糖增殖培养基中半乳糖的浓度为 2.000%), 37℃ 厌氧培养 48 h, 然后将菌液在 4000 r/min 离心 10 min, 离心后收集菌体, 将菌体用生理盐水重悬, 得到活化的益生菌。活化的益生菌中保加利亚乳杆菌、两歧双歧杆菌的浓度均为 10^{10} CFU/mL。

将海藻酸钠粉末加入水中, 70℃ 水浴加热至完全溶解, 配制成质量浓度为 3% 的海藻酸钠溶液, 经 0.22 μm 滤膜过滤除菌, 备用; 将乳清分离蛋白加入浓度为 1% (*m*:*m*) 的盐酸中, 搅拌至完全溶解, 得到浓度为 10% 的乳清分离蛋白溶液, 备用; 将氯化钙溶于水中, 配制成质量浓度为 2% 的氯化钙溶液, 将氯化钙溶液在 121℃ 高压灭菌 15 min, 备用。

将沙棘益生菌发酵液、海藻酸钠溶液、乳清分离蛋白溶液按体积比 1:5:5 比例混合均匀, 得到混合液。

将得到的混合液用 2.5 mL 注射器逐滴加入氯化钙溶液中, 室温下固定 30 min, 过滤, 除去水相, 用蒸馏水冲洗 3 次, 除去多余的钙离子和未被包埋的菌体, 悬浮保存在 0.9% 生理盐水中, 得到湿态的沙棘益生菌微胶囊。将湿态微胶囊于 -20℃ 条件下预冻 24 h 后, 置于真空冷冻干燥机中干燥 48 h, 得到冻干的沙棘益生菌微胶囊, 备用。

1.3.5 沙棘益生菌微胶囊的形貌观察

使用扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)对样品微观形貌进行观察。

1.3.6 沙棘益生菌微胶囊的耐酸性研究

(1) 沙棘益生菌微胶囊的耐酸性测试

取 0.5 g 沙棘益生菌微胶囊加入到模拟胃液(4.5 mL)中, 充分混匀 15 s, 在 37℃ 条件下, 以 200 r/min 的速度在摇床中振荡处理 30、60、90、120、150 min, 处理结束后, 离心, 弃上清液, 收集沉淀物; 向沉淀物中加入 4.5 mL pH 7.4 的 PBS 中, 37℃ 下振荡至沉淀物中的沙棘益生菌微胶囊完全崩解, 得到菌悬液, 然后对菌悬液进行活菌计数。

根据活菌计数结果, 计算益生菌的存活率。所述益生菌存活率的计算公式为式(1):

$$\text{存活率}/\% = A/B \times 100\% \quad (1)$$

其中, *A* 表示模拟胃液处理后样品中的活菌数, 单位为 CFU/mL; *B* 表示模拟胃液处理前样品中的活菌数, 单位为 CFU/mL。

(2) 沙棘益生菌发酵液的耐酸性测试

取 0.5 mL 沙棘益生菌发酵液加入到模拟胃液(4.5 mL)

中,充分混匀 15 s,在 37°C 条件下,以 200 r/min 的速度在摇床中振荡处理 30、60、90、120、150 min,振荡处理结束后,离心,弃上清液,收集沉淀物;向沉淀物中加入 4.5 mL pH 7.4 的 PBS 中,37°C 下振荡混合均匀,得到菌悬液,然后对菌悬液进行活菌计数。

1.3.7 沙棘益生菌微胶囊的肠溶性研究

(1) 沙棘益生菌微胶囊的肠溶性实验

取 0.5 g 沙棘益生菌微胶囊加入到模拟肠液(4.5 mL)中,充分混匀 15 s,在 37°C 条件下,以 200 r/min 在摇床中振荡处理 30、60、90、120、150 min,振荡处理结束后,离心,弃上清液,收集沉淀物,向沉淀物中加入 4.5 mL pH 7.4 的 PBS 中,37°C 下振荡至沉淀物中的沙棘益生菌微胶囊完全崩解,得到菌悬液,然后对菌悬液进行活菌计数。

(2) 沙棘益生菌发酵液的肠溶性实验

取 0.5 mL 沙棘益生菌发酵液加入到加入模拟肠液(4.5 mL)中,充分混匀 15 s,在 37°C 条件下,以 200 r/min 在摇床中振荡处理 30、60、90、120、150 min,振荡处理结束后,离心,弃上清液,收集沉淀物;向沉淀物中加入 4.5 mL pH 7.4 的 PBS 中,37°C 下振荡混合均匀,得到菌悬液,然后对菌悬液进行活菌计数^[24]。

1.4 数据处理

本研究中所有数据均为 3 次独立重复实验的结果,利用 Excel 2013 和 SPSS 2.0 对实验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 活化培养基的选择

由图 1 可知,在半乳糖增殖培养基中,半乳糖浓度为 2.000% 时,益生菌 OD_{600 nm} 达到最大值 1.98±0.03;在葡萄糖基础培养基中,葡萄糖浓度为 2.000%,益生菌 OD_{600 nm} 达到最大值 1.65±0.01;在蔗糖增殖培养基中,蔗糖浓度为 1.000% 时,益生菌 OD_{600 nm} 达到最大值 1.18±0.05。在各培养基碳源浓度相同时,半乳糖培养基中的益生菌 OD_{600 nm} 值最高,说明半乳糖增殖培养基对益生菌的增殖效果最佳。

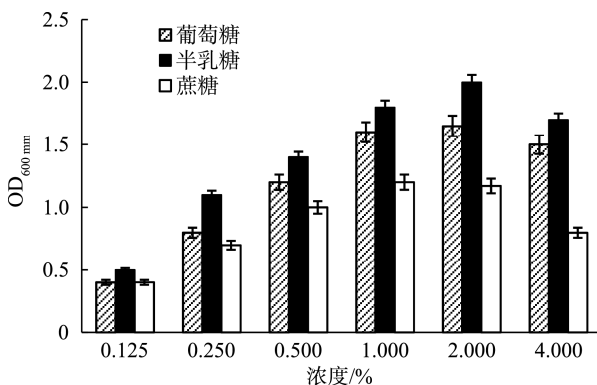


图 1 不同培养基对益生菌活化过程菌体数量的影响(n=3)
Fig.1 Effects of different media on the number of bacteria during probiotic activation (n=3)

2.2 半乳糖增殖培养基对益生菌生长的影响

由图 2 可以看出,益生菌在半乳糖增殖培养基中培养 8 h 后进入对数生长期,而在葡萄糖基础培养基中培养 12 h 后才进入对数生长期,而且培养 12 h 后半乳糖增殖培养基的 OD_{600 nm} 值明显高于葡萄糖基础培养基。与葡萄糖基础培养基相比,半乳糖增殖培养基缩短了益生菌的延滞期,提高了益生菌的生长速率。因此,选取半乳糖增殖培养基作为益生菌的活化培养基,对益生菌进行活化培养。

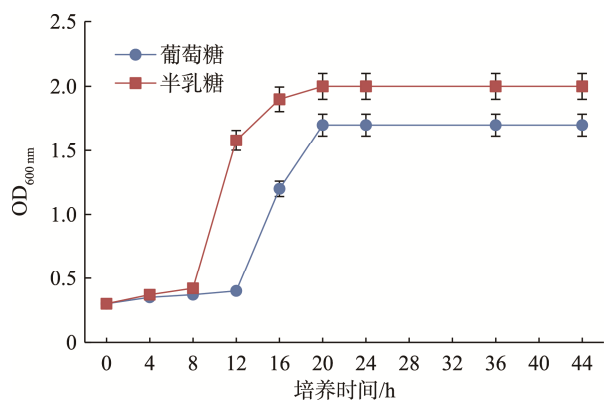


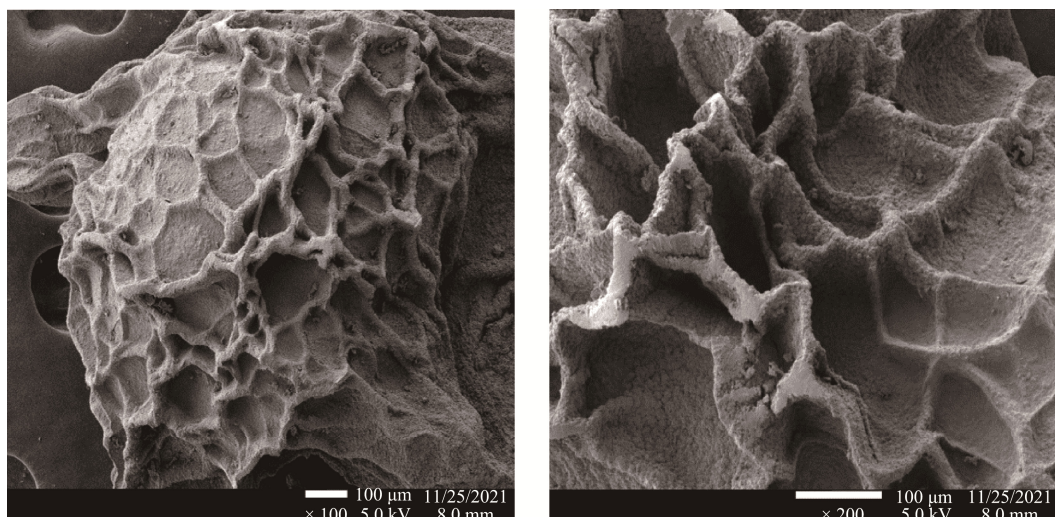
图 2 半乳糖增殖培养基对益生菌生长的影响(n=3)
Fig.2 Effects of galactose proliferation medium on probiotic growth (n=3)

2.3 沙棘益生菌微胶囊外观形态特征

沙棘益生菌微胶囊形态为肉眼可见的白色圆形小球,大小较为均匀,差异不大,基本达到预期效果(图 3)。为了观察沙棘益生菌微胶囊的包埋形态,通过扫描电子显微镜对沙棘益生菌微胶囊(图 4)的微观形貌进行分析。在 100 倍和 200 倍电子扫描镜下发现,微胶囊表面致密,形状略不规则。



图 3 沙棘益生菌微胶囊外观图
Fig.3 Appearance of *Hippophae rhamnoides* Linn. probiotic microcapsule



注: A. 沙棘益生菌微胶囊在 100 倍扫描电镜下的结构; B. 沙棘益生菌微胶囊在 200 倍扫描电镜下的结构。
图 4 沙棘益生菌微胶囊扫描电镜图

Fig.4 Scanning electron microscope images of *Hippophae rhamnoides* Linn. probiotic microcapsules

2.4 沙棘益生菌微胶囊的耐酸性研究

实验结果如图 5 所示。随着在模拟胃液中处理时间的延长, 不经包埋处理的沙棘益生菌发酵液中益生菌的存活率迅速下降; 当处理时间达到 120 min 时, 存活率降至 25%; 当处理时间达到 150 min 时, 存活率仅为 5%。由此可见, 模拟胃液对未包埋的沙棘益生菌发酵液中的益生菌具有很强的杀伤力, 益生菌不能通过胃部到达肠道, 因而也无法得到预期的益生效果。本研究制备的沙棘益生菌微胶囊在模拟胃液中经过 150 min 的处理后, 益生菌的存活率仍为 61%, 远高于未包埋的沙棘益生菌发酵液; 由此说明, 本研究制备的沙棘益生菌微胶囊的壁材对益生菌菌株起到了良好的保护作用, 有效地保护益生菌抵抗胃部的恶劣条件顺利到达肠道。

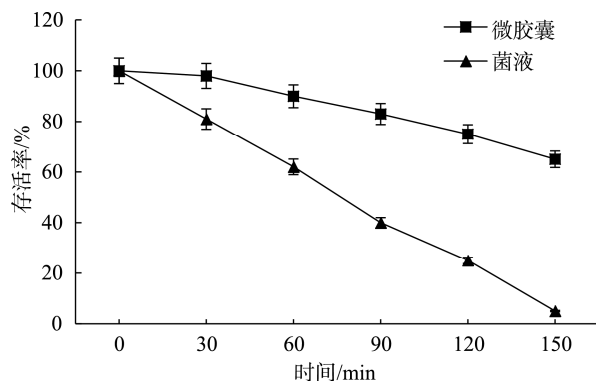


图 5 沙棘益生菌微胶囊在模拟胃液中的存活结果(n=3)
Fig.5 Survival results of *Hippophae rhamnoides* Linn. probiotic microcapsules in simulated gastric juice (n=3)

2.5 沙棘益生菌微胶囊的肠溶性研究

由图 6 可知, 随着模拟肠液处理的时间延长, 沙棘微胶囊包埋的益生菌会连续的释放, 在模拟肠液中处理 60 min 之后, 活菌数在 10^9 CFU/mL [即 $9 \log(\text{CFU/mL})$] 左右, 益生菌就会被连续的释放出来; 由此说明本研究制备的沙棘益生菌微胶囊肠溶性较好, 这主要由于海藻酸钠可依赖 Ca^{2+} 形成可逆性凝胶, 当外界环境中存在与 Ca^{2+} 结合能力更强的磷酸根离子时, 将引起凝胶结构破裂, 进而释放出益生菌。微胶囊在肠液中的溶胀性明显要大于在胃液中的溶胀性, 在胃液中, 微胶囊呈收缩趋势, 能有效保护益生菌免受酸性损伤。

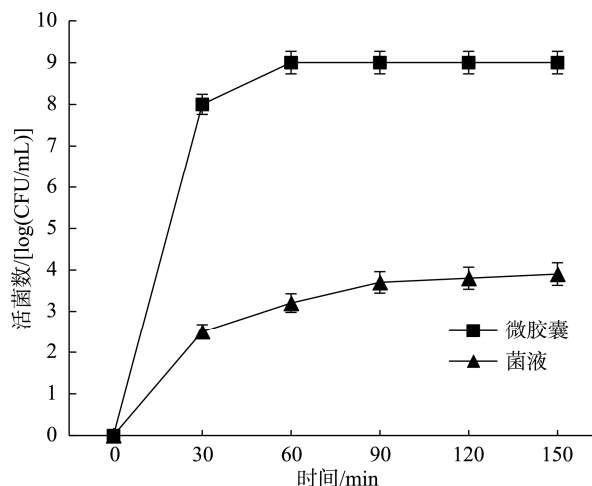


图 6 沙棘益生菌微胶囊在模拟长夜中的释放结果(n=3)
Fig.6 Release results of *Hippophae rhamnoides* Linn. probiotic microcapsules in simulated long nights (n=3)

3 结 论

在采用益生菌对沙棘提取液进行发酵前,采用半乳糖增殖培养基对益生菌进行活化处理,半乳糖增殖培养基对益生菌的增殖效果最佳,不仅能使肠道益生菌大量增殖,形成数量优势,造成酸性环境,从而抑制致病菌的生长;而且半乳糖可提高益生菌的生长速率,缩短活化处理时间。

本研究制备的沙棘益生菌微胶囊方法简单、易操作,能够延长沙棘益生菌产品的货架期,通过超声提取方式制备沙棘提取液,并采用益生菌对沙棘提取液进行发酵,以海藻酸钠、乳清分离蛋白和氯化钙的混合物为壁材,采用微胶囊技术将沙棘和益生菌进行包埋成沙棘益生菌微胶囊,选取半乳糖增殖培养基作为益生菌的活化培养基,半乳糖浓度为 2.000%时,对益生菌的增殖效果最佳,不仅缩短了益生菌的延滞期,而且提高益生菌的生长速率;在模拟胃液中经过 150 min 的处理后,益生菌的存活率仍为 61%,远高于未包埋的沙棘益生菌发酵液;在模拟肠液中处理 60 min 之后,活菌数在 10^9 CFU/mL 左右,益生菌就会被连续的释放出来,由此可见,制备的沙棘益生菌微胶囊在胃液中具有良好耐酸性,在肠液中具有良好的肠溶性,环境抗逆性强。本研究制备的沙棘益生菌微胶囊耐酸性好、肠溶效果优异、存活率高,不仅可以提高益生菌的菌体存活率,而且能够有效增加益生菌菌体的稳定性,但仅限体外,下一步可以在热、有氧等环境中去提高益生菌的活性,并进行动物试验、药理学及毒理学试验等,为益生菌微胶囊在食品工业中的应用奠定基础。

参考文献

- ARAYA-FARIAS M, MAKHLOUF J, RATTI C. Drying of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berry: Impact of dehydration methods on kinetics and quality [J]. Dry Technol, 2011, 29(3): 351–359.
- 刘俭,蔡永国,周汤琳,等.沙棘粉咀嚼片的配方优化及其品质分析[J].食品工业科技,2022,43(3):188–194.
LIU J, CAI YG, ZHOU TL, et al. Formulation optimization and quality analysis of chewable sea buckthorn powder tablets [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(3): 188–194.
- SABIR S M, MAGSOOD H, HAYAT I. Elemental and nutritional analysis of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* ssp. turkestanica) berries of Pakistani origin [J]. J Med Food, 2005, 8(4): 518–521.
- 魏晨业,包晓玮,王娟,等.沙棘多糖分离纯化及抗氧化活性[J].食品科学,2021,42(4):227–232.
WEI CY, BAO XW, WANG J, et al. Isolation and purification of sea buckthorn polysaccharides and antioxidant activity [J]. Food Sci, 2021, 42(4): 227–232.
- YANG H, WANG H, ZHANG C, et al. Study on extraction technology of polysaccharides from sea-buckthorn by hot-water processing [J]. Farm Prod Process, 2018, 23(4): 106–113.
- 李琳,刘雅谦,孙万成,等.富集沙棘果油中棕榈油酸的工艺优化及脂肪酸分析[J].粮食与油脂,2022,35(2):138–141,162.
LI L, LIU YQ, SUN WC, et al. Process optimization and fatty acid analysis of palmitic acid enriched in sea buckthorn fruit oil [J]. Cere Oils, 2022, 35(2): 138–141, 162.
- 吕佳玮,王颖,刘亚琼,等.沙棘多酚提取纯化工艺研究[J].食品工业科技,2021,42(3):108–114.
LV JW, WANG J, LIU YQ, et al. Study on the extraction and purification process of sea buckthorn polyphenols [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(3): 108–114.
- 周莉,朱海华,平洋,等.沙棘牛油果益生菌酸乳的配方优化及其抗氧化性[J].中国食品添加剂,2019,30(10):53–58.
ZHOU L, ZHU HH, PING Y, et al. Formulation optimization and antioxidant of sea buckthorn avocado probiotic yogurt [J]. Chin Food Addit, 2019, 30(10): 53–58.
- 王迪,李文霞,姚瑜,等.沙棘蛋白和多肽的提取及功能活性研究进展[J].食品工业科技,2022,43(3):447–455.
WANG D, LI WX, YAO Y, et al. Advances in extraction and functional activity of sea buckthorn proteins and polypeptides [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(3): 447–455.
- 常应九,高庆超,曹效海,等.沙棘活性成分及其对胃肠微生物影响的研究进展[J].包装工程,2019,40(21):15–22.
CHANG YJ, GAO QC, CAO XH, et al. Research progress on active components of seabuckthorn and their effects on gastrointestinal microorganisms [J]. Packag Eng, 2019, 40(21): 15–22.
- JAYASHANKAR B, MISHRA KP, GANJU L, et al. Supercritical extract of Seabuckthorn leaves (SCE200ET) inhibited endotoxemia by reducing inflammatory cytokines and nitric oxide synthase 2 expression [J]. Int Immunopharmacol, 2014, 20(1): 89–94.
- JAYASHANKAR B, SINGH D, TANWAR H, et al. Augmentation of humoral and cellular immunity in response to tetanus and diphtheria toxoids by supercritical carbon dioxide extracts of *Hippophae rhamnoides* L. leaves [J]. Int Immunopharmacol, 2017, 44: 123–136.
- OLAS B. The beneficial health aspects of sea buckthorn [*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson] oil [J]. J Ethnopharmacol, 2018, 213(3): 183–190.
- HILL D, SUGRUE I, TOBINC, et al. The *Lactobacillus casei* group: History and health related applications [J]. Front Microbiol, 2018, 9(8): 2107.
- HAJAVI J, ESMAEILI SA, VARASTEHR AR, et al. The immunomodulatory role of probiotics in allergy therapy [J]. J Cellul Physiol, 2019, 234(3): 2386–2398.
- MOLUDI J, MALEKI V, HAMED JV, et al. Metabolic endotoxemia and cardiovascular disease: A systematic review about potential roles of prebiotics and probiotics [J]. Clin Exp Pharmacol Physiol, 2020, 47(1): 1–13.
- SANDERS MMD, REID G, GIBSON G, et al. Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: From biology to the clinic [J]. Nat Rev Gastroenterol Hepatol, 2019, 16(10): 605–616.
- YANG JJ, WANG CL, LIU LQ, et al. *Lactobacillus reuteri* KT260178 supplementation reduced morbidity of piglets through its targeted colonization, improvement of cecal microbiota profile, and immune functions [J]. Probiot Antimicrob Prot, 2020, (12): 194–203.
- 伍雪梅,吴超,肖香,等.植物乳杆菌发酵大麦提取物的体外抗氧化活性研究[C].第十六届益生菌与健康国际研讨会摘要集,2021.

- WU XM, WU C, XIAO X, *et al.* Antioxidant activity of *Lactobacillus plantarum* fermented barley extract *in vitro* [C]. Abstract Collection of the 16th International Symposium on Probiotics and Health, 2021.
- [20] FENSTER K, FREEBURG B, HOLLARD C, *et al.* The production and delivery of probiotics: A review of a practical approach [J]. *Microorganisms*, 2019, 17(3): E83.
- [21] 程玉霞. 基于外源乳化法的植物乳杆菌微胶囊制备及性能研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2013.
CHENG YX. Preparation and performance of *Lactobacillus plantarum* microcapsules based on exogenous emulsification method [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2013.
- [22] 刘延国, 张琳, 冯香安, 等. 益生菌在消化道中的抑菌作用[J]. *中国饲料*, 2011, (16): 9–12.
LIU YG, ZHANG L, FENG XAN, *et al.* Bacteriostatic effect of probiotics in the digestive tract [J]. *Chin Feed*, 2011, (16): 9–12.
- [23] 焦闻文, 王芳, 蒋云生. 诱变乳酸杆菌的生物学特性及功能研究[J]. *中南药学*, 2017, 15(1): 13–18.
JIAO WW, WANG F, JIANG YS. Biological characteristics and function of *Lactobacillus* mutagenesis [J]. *Zhongnan Pharmaceutical Sci*, 2017, 15(1): 13–18.
- [24] 常柳依, 庄晶云, 孟菲, 等. 海洋寡糖益生菌微胶囊的制备和体外评估及其对动物肠道菌群的调节作用[J]. *食品科学*, 2019, 40(24): 142–150.
CHANG LY, ZHUANG JY, MENG F, *et al.* Preparation and *in vitro* evaluation of marine oligosaccharide probiotic microcapsules and their regulatory effect on animal intestinal flora [J]. *Food Sci*, 2019, 40(24): 142–150.
- [25] 石佳, 于明晓, 徐昊, 等. 沙棘果油微胶囊化制备工艺的优化及其表征[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(7): 173–177, 184.
SHI J, YU MX, XU H, *et al.* Optimization and characterization of microencapsulation process of sea buckthorn fruit oil [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(7): 173–177, 184.
- [26] 向殷丰, 刘睿杰, 常明, 等. 沙棘籽油微胶囊制备及其特性研究[J]. *中国油脂*, 2020, 45(1): 12–16, 60.
XIANG YF, LIU RJ, CHANG M, *et al.* Preparation and characteristics of sea buckthorn seed oil microcapsules [J]. *China Oils Fats*, 2020, 45(1): 12–16, 60.
- [27] 高雅馨, 侯占群, 任迪峰, 等. 沙棘籽油微胶囊的制备及氧化稳定性评价[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(20): 169–176.
- GAO YX, HOU ZQ, REN DF, *et al.* Preparation and oxidation stability evaluation of sea buckthorn seed oil microcapsules [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(20): 169–176.
- [28] 刘光宪, 周中英, 祝水兰, 等. 沙棘籽油微胶囊的制备及其性质研究[J]. *食品与机械*, 2017, 33(8): 194–197.
LIU GX, ZHOU JY, ZHU SL, *et al.* Preparation and properties of sea buckthorn seed oil microcapsules [J]. *Food Mach*, 2017, 33(8): 194–197.
- [29] 张洪杰. 微胶囊技术在沙棘混合粉防吸湿方面的应用研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2004.
ZHANG HJ. Application of microencapsulation technology in anti-moisture absorption of sea buckthorn mixed powder [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2004.
- [30] 常明, 郭怡雯, 向殷丰, 等. 沙棘籽油微胶囊品质评价及应用研究[J]. *中国油脂*, 2020, 45(11): 133–137.
CHANG M, GUO YW, XIANG YF, *et al.* Quality evaluation and application of sea buckthorn seed oil microcapsules [J]. *China Oils Fats*, 2020, 45(11): 133–137.
- [31] 李大鹏, 高玉荣. 益生菌植物乳杆菌 G1-28 复合冻干发酵剂制备及保藏条件研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(10): 100–104.
LI DP, GAO YR. Preparation and preservation technology of probiotic *Lactobacillus plantarum* G1-28 composite lyophilized starter [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(10): 100–104.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介



周 莉, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全研究。

E-mail: zhoulizuo@126.com



王法云, 研究员, 主要研究方向为食品安全研究。

E-mail: wangfayun262@sohu.com