

嗜酸乳杆菌 Z-43 高密度发酵配方及 关键工艺条件优化

李翠凤^{1,2}, 徐显睿^{1,2,*}, 张宗博^{1,2}, 夏文洋², 张衡², 陈政言²

(1. 青岛根源生物技术集团有限公司食品实验室, 青岛 266000; 2. 青岛诺和诺康实业有限公司, 青岛 266000)

摘要: 目的 筛选嗜酸乳杆菌 Z-43 最优增菌培养基, 优化其关键发酵工艺条件, 提升其高密度发酵水平。

方法 以碳源、氮源、生长因子为影响因素, 分别设计单因素试验、碳源复配试验和氮源正交试验确定嗜酸乳杆菌 Z-43 最佳增殖培养基配方。**结果** 最佳配方为葡萄糖 1.25% (*m:m*)、蔗糖 1.25%、酪蛋白胨 1%、牛肉粉 1.5%、鱼蛋白胨 1%、大豆蛋白胨 0.5%、胡萝卜汁 10%、碳酸钙 0.3%、吐温 80 0.1%、脯氨酸 0.02%、磷酸氢二钾 0.2%、柠檬酸三铵 0.2%、无水乙酸钠 0.5%、一水合硫酸锰 0.025%、七水合硫酸镁 0.058%; 通过梯度试验确定关键发酵工艺条件, 最优接种量 4%, 初始 pH 6.5, 培养温度 39 °C, 将优化后发酵配方及工艺于 10 L 发酵罐进行生产发酵验证, 发酵活菌数为 3.12×10^9 CFU/mL, 是基础培养基的 3.7 倍。**结论** 优化后的配方和工艺条件可大幅提升发酵水平, 降低生产成本, 提高产品经济效益。

关键词: 嗜酸乳杆菌; 正交试验; 高密度培养基; 发酵条件

Optimization on formulation of high cell density fermentation and key processing for *Lactobacillus acidophilus* Z-43

LI Cui-Feng^{1,2}, XU Xian-Rui^{1,2,*}, ZHANG Zong-Bo^{1,2}, XIA Wen-Yang²,
ZHANG Heng², CHEN Zheng-Yan²

(1. Food Laboratory of Qingdao Genyuan Biotechnology Co., Ltd., Qingdao 266000, China;
2. Qingdao GBW Industrial Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

ABSTRACT: Objective To select the optimal enrichment medium of *Lactobacillus acidophilus* Z-43, optimize its key fermentation conditions and improve its high-density fermentation level. **Methods** Taking carbon source, nitrogen source and growth factor as influencing factors, single factor test, carbon source compound test and nitrogen source orthogonal test were designed to determine the optimal formula of *Lactobacillus acidophilus* Z-43 proliferation medium. **Results** The best formula was glucose 1.25% (*m:m*), sucrose 1.25%, casein peptone 1%, beef powder 1.5%, fish peptone 1%, soybean peptone 0.5%, tomato juice 10%, calcium carbonate 0.3%, Tween 80 0.1%, proline 0.02%, dipotassium hydrogen phosphate 0.2%, triammonium citrate 0.2%, anhydrous sodium acetate 0.5%, manganese sulfate monohydrate 0.025%, magnesium sulfate heptahydrate 0.058%; The key fermentation conditions were determined by gradient test. The optimal inoculation amount was 4%, the initial pH was 6.5, and the culture

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2020CXGC010601)

Fund: Supported by Key Research and Development Plan Project of Shandong Province (2020CXGC010601)

*通信作者: 徐显睿, 硕士, 工程师, 主要研究方向为乳品微生物与加工技术。E-mail: xuxianrui@qdgennyuan.com

*Corresponding author: XU Xian-Rui, Master, Engineer, Food Laboratory of Qingdao Genyuan Biotechnology Co., Ltd., Qingdao 266000, China. E-mail: xuxianrui@qdgennyuan.com

temperature was 39 °C. The optimized fermentation formula and process were verified in a 10 L fermentation tank. The number of live bacteria was 3.12×10^9 CFU/mL, which was the 3.7 times of the basic medium. **Conclusion** The optimized formula and process conditions can greatly improve the fermentation level, reduce the production cost and improve the economic benefit of the product.

KEY WORDS: *Lactobacillus acidophilus*; orthogonal test; high density culture; fermentation condition

0 引言

嗜酸乳杆菌是小肠和胃中重要的微生物,它具有较强的耐酸和耐胆汁能力^[1-3]及调整肠道菌群^[4-5]、缓解乳糖不耐症^[6]、增强免疫力^[7]、抗肿瘤^[8-9]、降低胆固醇^[10-12]等生理功能,在保护人体肠道健康和预防疾病中有重要作用,因而受到广泛关注,日益成为乳品科学研究领域的热点。但嗜酸乳杆菌对于生长环境、营养条件要求很高,无论是进行发酵剂制备、酶学研究或是活菌制剂等,都对发酵活菌数有较高要求,所以优化嗜酸乳杆菌发酵培养基配方,提高嗜酸乳杆菌的活菌浓度,是目前十分重要的基础研究工作,而目前相关的研究成果较少。

嗜酸乳杆菌 Z-43 是青岛根源生物技术集团食品实验室自主分离培养纯化保存的,通过耐酸耐胆盐试验、抑菌试验、疏水作用、自聚能力、表面电荷等试验筛选验证,该菌株具有很强的耐酸耐胆盐能力、极强的抑菌性和良好细胞黏附性,是一株功能性较强的益生菌株,有很高的研究价值^[13]。本研究以碳源、氮源、生长因子为影响因素,通过单因素试验及正交试验对嗜酸乳杆菌 Z-43 的增菌培养基成分和培养条件进行筛选和优化,以期为后期食品菌株产业化提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

嗜酸乳杆菌 Z-43 青岛根源生物技术集团有限公司食品实验室菌种资源库保藏。

MRS 肉汤培养基(北京陆桥技术股份有限公司);酪蛋白胨、大豆蛋白胨(青岛海博生物技术有限公司);牛肉粉、鱼蛋白胨(北京奥博星生物技术有限责任公司);葡萄糖、蔗糖、乳糖、吐温 80、碳酸钙、麦芽糖、可溶性淀粉、果糖、低聚果糖、海藻糖(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);浓缩番茄汁、浓缩胡萝卜汁(上海德乐食品配料公司);玉米浆粉(山东鲁森牧业公司)。

1.2 仪器与设备

YXQ-LS-50SII 立式高压蒸汽灭菌锅(上海博迅实业有限公司医疗设备厂); SW-CJ-1F 超净工作台(苏州安泰空气技术有限公司); SE6001FZH 电子天平(美国奥豪斯公司); MEI04E 分析天平(瑞士梅特勒-托利多公司); PHS-3C pH

计(上海仪电科学仪器股份有限公司); 756PC 紫外-可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司); LRH-250 生化培养箱(上海一恒科学仪器有限公司); MX-S 旋涡振荡器(美国赛洛捷克公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 菌株活化

将嗜酸乳杆菌 Z-43 按体积分数 1% 接种量接种到 MRS 肉汤培养基中进行活化,37 °C 恒温培养 16 h,经 2 次传代后备用。

1.3.2 碳源单因素筛选及不同碳源比例和浓度优化

用 MRS 肉汤培养基配方为基础培养基,以葡萄糖、乳糖、蔗糖、麦芽糖、可溶性淀粉、果糖、低聚果糖、海藻糖分别代替其内碳源,其他成分不变,添加量均为 2 g/100 mL。再将 1.3.1 中备用菌液按体积分数 2% 进行接种,37 °C 培养箱内静置培养 18 h,用石英比色杯测定不同碳源培养嗜酸乳杆菌 Z-43 在 600 nm 波长处的光密度。

取单因素试验效果较好的蔗糖和葡萄糖按表 1 中比例进行组合,将 1.3.1 中备用菌液按体积分数 2% 进行接种,再按表 2 中配方进行碳源浓度的优化,根据活菌计数结果确定碳源配比和浓度。

表 1 碳源组合配方
Table 1 Carbon source combination formula

碳源组合配方	比例(葡萄糖:蔗糖, m:m)
1	1:1
2	2:1
3	3:1
4	4:1
5	5:1

表 2 不同浓度碳源计数结果
Table 2 Counting results of carbon sources with different concentrations

碳源浓度配方(葡萄糖:蔗糖 = 1:1, m:m)	浓度/(g/100 mL)
1	2.0
2	2.5
3	3.0
4	3.5
5	4.0
6	4.5
7	5.0

1.3.3 氮源单因素筛选及不同氮源比例和浓度优化

以优化碳源后 MRS 肉汤培养基为基础,用大豆蛋白胨、胰蛋白胨、酪蛋白胨、鱼蛋白胨、酵母浸粉 FM802、蛋白胨、牛肉粉、牛肉膏、酵母膏、牛骨蛋白胨 FP328 分别代替其氮源,其他成分不变,添加量均为 2.5 g/100 mL。再将 1.3.1 中备用菌液按体积分数 2% 进行接种,37 °C 培养箱内静置培养 18 h,用石英比色杯测定不同碳源培养嗜酸乳杆菌 Z-43 在 600 nm 波长处的光密度。

取单因素试验效果较好的酪蛋白胨、牛肉粉、大豆蛋白胨和鱼蛋白胨进行正交试验(表 3),再按表 4 中配方进行氮源浓度优化,根据活菌计数结果确定氮源配比和浓度。

表 3 氮源优化正交试验设计(g/100 mL)
Table 3 Orthogonal experimental design of nitrogen source optimization (g/100 mL)

因素 水平	A 酪蛋白胨	B 牛肉粉	C 大豆蛋白胨	D 鱼蛋白胨
1	1	1	1	1
2	2	2	2	2
3	3	3	3	3

表 4 氮源浓度配方
Table 4 Nitrogen source concentration formula

氮源浓度配方 (酪蛋白胨:牛肉粉:大豆蛋白胨:鱼蛋白胨 = 2:3:1:2, m:m:m:m)		浓度/(g/100 mL)
1		3.0
2		3.5
3		4.0
4		4.5
5		5.0

1.3.4 生长因子优化

以优化碳氮源后 MRS 肉汤培养基为基础,用浓缩番茄汁、浓缩胡萝卜汁和玉米浆粉作为生长因子,其他成分不变,各生长因子添加量分别为 5、10、15 g/100 mL,将 1.3.1 中备用菌液按体积分数 2% 进行接种,37 °C 培养箱内静置培养 18 h,根据活菌计数结果确定生长因子及浓度。

1.3.5 碳酸钙添加量优化

以优化碳源、氮源、生长因子后 MRS 肉汤培养基为基础,分别添加 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 g/100 mL 碳酸钙,其他成分不变,将 1.3.1 中备用菌液按体积分数 2% 进行接种,37 °C 培养箱内静置培养 18 h,根据活菌计数结果确定碳酸钙浓度。

1.3.6 吐温 80 添加量优化

以上述优化后 MRS 肉汤培养基为基础,分别添加 0.05、0.10、0.20、0.30、0.40 g/100 mL 吐温 80,将 1.3.1 中备用菌液按体积分数 2% 进行接种,37 °C 培养箱内静置

培养 18 h,根据活菌计数结果确定吐温 80 浓度。

1.3.7 氨基酸种类优化

以上述优化后 MRS 肉汤培养基为基础,分别添加 0.02 g/100 mL 的赖氨酸、精氨酸、脯氨酸、缬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丝氨酸、组氨酸、甲硫氨酸、苯甲氨酸,将 1.3.1 中备用菌液按体积分数 2% 进行接种,37 °C 培养箱内静置培养 18 h,根据活菌计数结果确定氨基酸种类。

1.3.8 嗜酸乳杆菌 Z-43 发酵条件优化

将 1.3.1 中活化好的菌液按体积分数 2% 接种至上述优化培养基中,分别测定嗜酸乳杆菌 Z-43 在不同接种量(2%、3%、4%、5%、6%)、培养温度(35、37、39、41、43 °C)、初始 pH (6.00、6.25、6.50、6.75、7.00、7.25)条件下活菌数,确定其最佳培养条件。

1.3.9 活菌数测定

参照 GB 4789.35—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验》进行测定。

1.4 数据处理

采用 OriginPro 8.5 和 Design Expert V 8.0.6 进行软件作图和试验结果分析。

2 结果与分析

2.1 碳源筛选及不同碳源比例和浓度确定

碳源是菌体发酵过程中最重要的营养元素之一,培养基中提供含量充足、种类多样的碳源,有利于提升菌体生长速率,稳定菌体形态,促进菌体均衡生长。而且碳源的多样性也是影响发酵水平及菌体抗逆性的关键因素^[14]。由图 1 可知,以葡萄糖、蔗糖作为碳源时效果显著,菌体浓度明显高于其他碳源($P < 0.05$),以可溶性淀粉为碳源的培养基菌体生长最差。李鹏冲等^[15]和施大林等^[16]分别研究了其他 2 株嗜酸乳杆菌,最适碳源分别为葡萄糖和蔗糖,这与他们的研究结果一致。由于混合型碳源较单一碳源提供更丰富营养,因此将初选碳源进行组合进一步优化其配比和浓度。

当葡萄糖与蔗糖复配比在 1:1 ($m:m$)时,嗜酸乳杆菌 Z-43 对碳源利用率最高,其活菌数达 1.06×10^9 CFU/mL。碳源添加量为 2.5% 时活菌数最高,达 1.15×10^9 CFU/mL,随着碳源浓度的提高,活菌数并未提高反而有所下降,可能是高浓度的糖会形成高渗环境,并产生碳源分解代谢阻遏效应,不利于嗜酸乳杆菌 Z-43 的生长。

2.2 氮源单因素筛选及不同氮源比例和浓度确定

根据图 2 可知,氮源单因素试验中表现优异的为牛肉粉、鱼蛋白胨、大豆蛋白胨、酪蛋白胨,所以确定用以上 4 种氮源进行正交实验。从表 5 中分析各因素极差 $R_B > R_D > R_C > R_A$ 可知,影响 Z-43 生长主次关系为牛肉粉 > 鱼蛋白胨 > 大豆蛋白胨 > 酪蛋白胨。根据最优水平组合与试验组 6 组比较,选出最高水平,确定出氮源总含量为 2.5%,各

氮源的添加量为 2%酪蛋白胨、3%牛肉粉、1%大豆蛋白胨、2%鱼蛋白胨, 得出各氮源之间的比例为 2:3:1:2。据报道, 嗜酸乳杆菌分解蛋白质的能力较弱^[17]。但是根据本次试验结果显示, Z-43 对于本培养基中的复配氮源利用率较高。因为以上 4 种氮源中氮元素主要以小分子形式存在, 如氨基酸和肽类等, 菌体在生长过程中更容易吸收利用。并且复配氮源更能提高培养基内氮源含量, 提供更多的营养。氮源添加量在 4% 时最高, 活菌数达到了 1.63×10^9 CFU/mL。

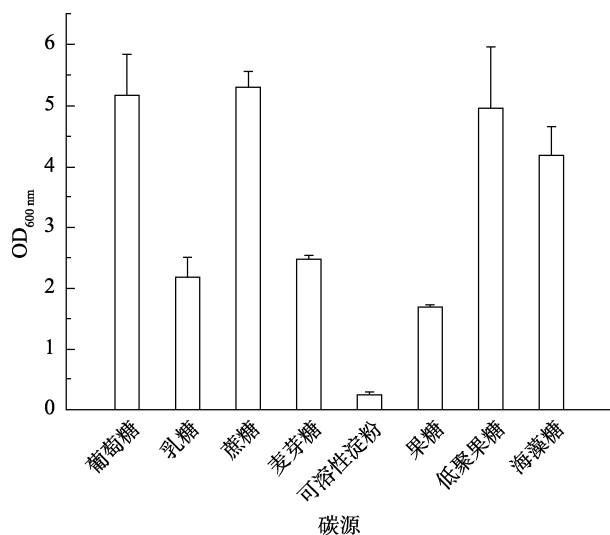


图 1 碳源单因素试验结果($n=3$)

Fig.1 Results of single factor experiment for carbon resource ($n=3$)

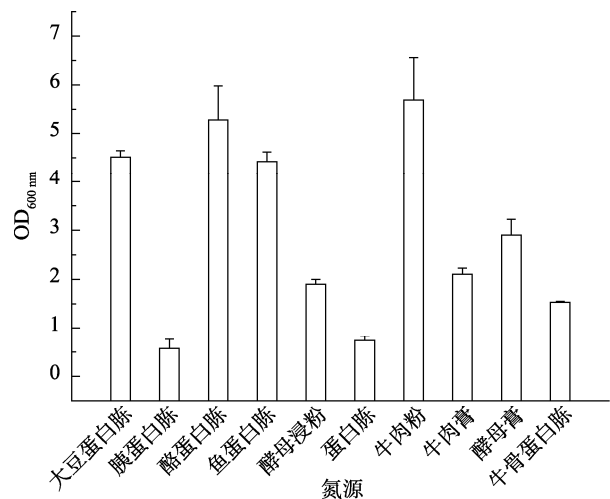


图 2 氮源单因素试验结果($n=3$)

Fig.2 Results of single factor experiment for nitrogen resource ($n=3$)

2.3 生长因子优化结果

天然果蔬汁对乳酸菌的生长繁殖均有不同程度的促进作用^[18], 不同种类的营养物质对嗜酸乳杆菌的影响研究结果如图 3 所示。番茄汁、胡萝卜汁、玉米浆^[19]都可提升

Z-43 的发酵活菌数, 胡萝卜汁的作用效果最为显著 ($P<0.05$), 与魏淑珍^[20]、陈小梅^[21]等研究结果一致, 其次作用效果较显著的是番茄汁, 而最不显著的为玉米浆; 根据梯度实验数据结果可知, 培养基中添加 10% 的胡萝卜汁时, 发酵水平最高, 活菌数最多。可能胡萝卜汁中含有维生素 A、胡萝卜素、维生素 C 等多种维生素以及钙、钾、镁等多种金属元素, 从而促进了嗜酸乳杆菌的生长。因此, 选用 10% 的胡萝卜汁作为嗜酸乳杆菌的生长因子。

表 5 正交试验设计与结果

Table 5 Orthogonal experimental design and results

试验号	A 酪蛋白胨	B 牛肉粉	C 大豆蛋白胨	D 鱼蛋白胨	活菌数/ (10^8 CFU/mL)
1	1	1	1	1	10.5
2	1	2	2	2	10.6
3	1	3	3	3	11.4
4	2	1	2	3	9.0
5	2	2	3	1	10.8
6	2	3	1	2	12.5
7	3	1	3	2	10.9
8	3	2	1	3	10.0
9	3	3	2	1	11.5
K_1	32.53	30.37	33.03	32.8	
K_2	32.3	31.46	31.13	34	
K_3	32.4	35.4	33.07	30.43	
k_1	10.84	10.12	11.01	10.93	
k_2	10.77	10.49	10.38	11.33	
k_3	10.8	11.8	11.02	10.14	
R	0.07	1.68	0.64	1.19	
影响主次					$B>D>C>A$
最优水平					$A_1B_3C_3D_2$

2.4 碳酸钙添加量优化结果

碳酸钙在乳酸菌发酵培养过程中有着缓冲 pH 的作用, 碳酸钙中的碳酸根离子可以与乳酸菌生物代谢产生的乳酸反应, 调节环境稳定性。缓解代谢产物积累对菌体生长的抑制, 延长菌体生长的对数期, 而且微弱溶解的 Ca^{2+} 对冻干有保护作用^[22]。结果显示, 碳酸钙最适浓度为 0.3%, 这与戴青^[23]研究结果一致。

2.5 吐温 80 添加量优化结果

吐温 80 是微生物发酵的表面活性剂, 而且对于菌体生长具有刺激作用, 不适宜浓度的吐温 80 会对菌体生长产生抑制作用。当吐温 80 浓度为 0.1% 时菌体浓度最大, 为吐温 80 最佳添加浓度。

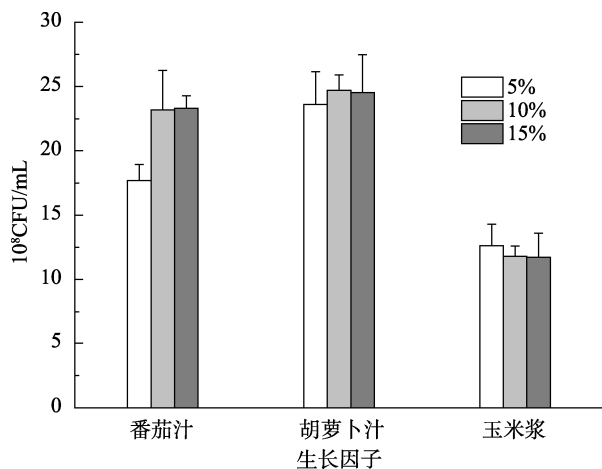


图 3 生长因子及浓度试验结果(n=3)

Fig.3 Growth factor and concentration test results (n=3)

2.6 氨基酸添加量优化结果

不同氨基酸种类对菌数影响不同。脯氨酸和甲硫氨酸对菌数增殖效果显著($P < 0.05$), 其他氨基酸效果相差不大($P > 0.05$), 选择 0.02% 脯氨酸作为嗜酸乳杆菌 Z-43 增菌培养最佳氨基酸。

2.7 发酵条件优化结果

2.7.1 接种量的优化

不同接种量直接影响着嗜酸乳杆菌 Z-43 高密度培养。适当加大接种量, 有利于形成群体优势而缩短延滞期, 进而缩短发酵周期, 同时减少污染的可能性; 但接种量过大, 活菌生长量大, 后期代谢产物积累及营养物质匮乏造成菌种早衰、活力下降^[24]。接种量不同, 发酵结束后活菌数略有差别, 接种量 4% 时菌体浓度最高($P < 0.05$), 再提高接种量活菌数开始下降, 因此最适接种量为 4%, 与朱承亮等^[25]研究嗜酸乳杆菌最适接种量一致。因此选择体积分数 4% 作为接种量进行实验。

2.7.2 培养温度的优化

培养温度是影响乳酸菌发酵生长周期的关键因素之一。在 35~39 °C 时, 温度越高, 发酵活菌数越高; 高于 39 °C 时, 发酵活菌数为下降趋势。当培养温度较低时, 菌种接种于培养基后, 菌种适应需要一定的时间, 延滞期比较长, 发酵周期延长, 温度过高可致菌体死亡, 对菌体生长不利。适宜的温度刺激能促使菌体的快速繁殖, 因此嗜酸乳杆菌 Z-43 的最佳培养温度为 39 °C。

2.7.3 接种 pH 的优化

不同起始 pH 对嗜酸乳杆菌的生长影响不同, 起始 pH 会影响菌体的延滞期和生长速率, 过高或过低都不利于菌体生长。实验最佳起始 pH 为 6.5, 与赵燕霞等^[26]研究嗜酸乳杆菌起始培养条件相同。

2.8 发酵罐验证试验结果

配制 MRS 基础培养基及上述优化培养基, 在 10 L 发酵罐中按接种量 4%, 起始 pH 6.5, 39 °C 恒温发酵条件下进行嗜酸乳杆菌 Z-43 高密度培养。最终优化培养基组发酵液活菌数达到 3.12×10^9 CFU/mL, 约为 MRS 基础培养基的 3.7 倍。

3 结论

本研究对嗜酸乳杆菌 Z-43 高密度发酵配方及关键工艺条件进行了优化。根据本次试验数据结果, 确定嗜酸乳杆菌 Z-43 优化培养基成分为: 葡萄糖 1.25%、蔗糖 1.25%、酪蛋白胨 1%、牛肉粉 1.5%、鱼蛋白胨 1%、大豆蛋白胨 0.5%、胡萝卜汁 10%、碳酸钙 0.3%、吐温 80 0.1%、脯氨酸 0.02%, 其他成分参照 MRS 基础培养基; 优化发酵条件为接种量 4%, 培养温度 39 °C, 起始 pH 6.5。优化后的配方和工艺条件可大幅提升发酵水平, 降低生产成本, 提高产品经济效益。

参考文献

- [1] 黄金珠, 朴金一, 姜成哲. 矿物质复合微量元素对嗜酸乳杆菌效能影响的初步研究[J]. 中国饲料, 2021, 32(5): 52-56.
HUANG JZ, PIAO JY, JIANG CZ. A preliminary study on the effect of mineral complex microelements on the efficacy of *Lactobacillus acidophilus* [J]. China Feed, 2021, 32(5): 52-56.
- [2] 陈梓琦, 汪彩云, 李紫宁, 等. 乳酸菌的生长特性及其功能性质与应用综述[J]. 农产品加工, 2020, 19(12): 4.
CHEN ZQ, WANG CY, LI ZN, et al. A review of the growth characteristics, functional properties and applications of lactic acid bacteria [J]. Farm Prod Proc, 2020, 19(12): 4.
- [3] 曲勤凤, 俞漪, 徐琼, 等. 臭味发酵食品中益生菌分离鉴定及功能性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(3): 138-144.
QU QF, YU Y, XU Q, et al. Isolation, identification and functional study of probiotics from odor fermented food [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(3): 138-144.
- [4] HOSEINIFAR SH, ROOSTA Z, HAJIMORADLOO A, et al. The effects of *Lactobacillus acidophilus* as feed supplement on skin mucosal immune parameters, intestinal microbiota, stress resistance and growth performance of black swordtail [J]. Fish Shellfish Immunol, 2015, 42(2): 533-538.
- [5] LV CH, WANG T, REGMI N, et al. Effects of dietary supplementation of selenium-enriched probiotics on production performance and intestinal microbiota of weanling piglets raised under high ambient temperature [J]. J Anim Physiol Anim Nutr, 2015, 99(6): 1161-1171.
- [6] SILVEIRA MS, FONTES C, GUILHERME AA, et al. Cashew apple juice as substrate for lactic acid production [J]. Food Bioprocess Technol, 2012, 5(3): 947-953.
- [7] 杨楠. 嗜酸乳杆菌对肉鸡 EGCs 分布, 部分免疫功能及抗大肠杆菌感染作用的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2019.
YANG N. Effect of *Lactobacillus acidophilus* on EGCs distribution partial immune function and anti-*E. coli* infection in broilers [D]. Shihezi:

- Shihezi University, 2019.
- [8] SADEGHI-ALIABADI H, MOHAMMADI F, FAZELI H, *et al.* Effects of *Lactobacillus plantarum*A7 with probiotic potential on colon cancer and normal cells proliferation in comparison with a commercial strain [J]. *Iran J Basic Med Sci*, 2014, 17(10): 815–819.
- [9] LIM SM. Antimutagenicity activity of the putative probiotic strain *Lactobacillus paracasei* subsp. *Tolerans* JG22 isolated from pepper leaves Jangajji [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2014, 23(1): 141–150.
- [10] GILLILAND SE, WALKER DK. Factors to consider when selecting a culture of *Lactobacillus acidophilus* as a dietary adjunct to produce a hypocholesterolemic effect in humans [J]. *J Dairy Sci*, 1990, 73(4): 905–911.
- [11] 付永岩, 赵悦含, 王毅超, 等. 降胆固醇乳酸菌的益生特性及其作用机理[J]. *中国乳品工业*, 2019, 47(7): 23–27.
FU YY, ZHAO YH, WANG YC, *et al.* Study on probiotic characteristics and preliminary mechanism of cholesterol-lowering lactic acid bacteria [J]. *Chin Dairy Ind*, 2019, 47(7): 23–27.
- [12] EID W, DAUNER K, COURTNEY KC, *et al.* mTORC1 activates SREBP-2 by suppressing cholesterol trafficking to lysosomes in mammalian cells [J]. *Proceed Nation Acad Sci USA*, 2017, 114(30): 7999–8004.
- [13] 徐显睿, 李翠凤, 杨洪来, 等. 具有益生潜力的乳酸杆菌筛选[J]. *乳业科学与技术*, 2020, 43(2): 13–17.
XU XR, LI CF, YANG HL, *et al.* Screening of *Lactobacillus* for probiotic potential [J]. *Dairy Sci Technol*, 2020, 43(2): 13–17.
- [14] 陈齐, 马章献, 郑建丰, 等. 嗜酸乳杆菌 LA-G80 发酵培养基的优化[J]. *乳业科学与技术*, 2019, 42(5): 9–15.
CHEN Q, MA ZX, ZHENG JF, *et al.* Optimization of medium composition and culture conditions for growth of *Lactobacillus acidophilus* LA-G80 [J]. *Dairy Sci Technol*, 2019, 42(5): 9–15.
- [15] 李鹏冲, 张立攀, 章建军, 等. 乳酸菌粉培养基优化复配研究及应用[J]. *食品工业*, 2020, 42(5): 27–30.
LI PC, ZHANG LP, ZHANG JJ, *et al.* Study and application of optimal mixture of lactic acid bacteria powder medium [J]. *Food Ind*, 2020, 42(5): 27–30.
- [16] 施大林, 孙梅, 陈秋红, 等. 嗜酸乳杆菌培养基的优化及高密度培养[J]. *食品与发酵科技*, 2011, 47(2): 60–63.
SHI DL, SUN M, CHEN QH, *et al.* Optimization of culture medium and high cell density culture for *Lactobacillus acidophilus* [J]. *Food Ferment Technol*, 2011, 47(2): 60–63.
- [17] 赵瑞香, 李元瑞, 罗磊. 嗜酸乳杆菌生产特性的研究[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2002, 30(3): 85–88.
ZHAO RX, LI YR, LUO L. Study on production characteristics of *Lactobacillus acidophilus* [J]. *J North West A&F Univ (Nat Sci Ed)*, 2002, 30(3): 85–88.
- [18] 何嘉敏, 于新, 刘学云. 响应面优化益生菌发酵复合果蔬汁的加工工艺[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(5): 212–219.
HE JM, YU X, LIU XY. Optimization of probiotic fermentation process for vegetable-fruit juice [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2019, 35(5): 212–219.
- [19] 赵玉斌, 吴静, 葛建亭, 等. 玉米淀粉糖副产物制备嗜酸乳杆菌的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2019, 48(7): 51–55.
ZHAO YB, WU J, GE JT, *et al.* The research on *Lactobacillus acidophilus* preparation from by-product of corn starch sugar [J]. *Grain Feed Ind*, 2019, 48(7): 51–55.
- [20] 魏淑珍, 吴荣荣, 李辉. 几种蔬菜提取汁对嗜酸乳杆菌 HS111 菌种生长的影响[J]. *食品科技*, 2013, 38(2): 10–12.
WEI SZ, WU RR, LI H. Several vegetables juice affect the growth of *Lactobacillus acidophilus* HS111 strains [J]. *Food Sci Technol*, 2013, 38(2): 10–12.
- [21] 陈小梅, 张迅捷, 罗建玲, 等. 嗜酸乳杆菌增菌培养研究[J]. *四川食品与发酵*, 2004, 40(2): 45–47.
CHEN XM, ZHANG XJ, LUO JL, *et al.* Study on the growth promoting culture of *Lactobacillus acidophilus* [J]. *Sichuan Food Ferment*, 2004, 40(2): 45–47.
- [22] 袁林, 张明华, 涂熠坤, 等. 响应面法优化包被发酵嗜酸乳杆菌的高密度培养[J]. *中国酿造*, 2019, 38(2): 110–116.
YUAN L, ZHANG MH, TU YK, *et al.* Optimization of high density fermentation of encapsulated *Lactobacillus acidophilus* by response surface method [J]. *China Brew*, 2019, 38(2): 110–116.
- [23] 戴青. 凝结芽孢杆菌分离筛选及复合益生菌剂的应用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
DAI Q. Study on isolation of *Bacillus coagulans* and microecological modulator application on feeding piglets [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008.
- [24] 刘建丽. 嗜酸乳杆菌 NX2-6 高密度培养及冻干工艺研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
LIU JL. And freeze-drying processing *Lactobacillus acidophilus* NX2-6 [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [25] 朱承亮, 叶雪飞, 朱仕翔, 等. 嗜酸乳杆菌高密度发酵条件的研究[J]. *科技通报*, 2009, 25(2): 174–177.
ZHU CL, YE XF, ZHU SX, *et al.* Study on high cell density culture of *Lactobacillus acidophilus* [J]. *Bull Sci Technol*, 2009, 25(2): 174–177.
- [26] 赵燕霞, 王元弛, 姚国强, 等. 嗜酸乳杆菌 IMAU30067 增殖培养基的研究[J]. *中国乳品工业*, 2019, 47(2): 15–21.
ZHAO YX, WANG YC, YAO GQ, *et al.* Study on the optimization of enrichment medium of *Lactobacillus acidophilus* IMAU30067 [J]. *Chin Dairy Ind*, 2019, 47(2): 15–21.

(责任编辑: 李磅礴 于梦娇)

作者简介



李翠凤, 助理工程师, 主要研究方向为乳品微生物与加工技术。
E-mail: 2072743251@qq.com



徐显睿, 硕士, 工程师, 主要研究方向为乳品微生物与加工技术。
E-mail: xuxianrui@qdgnyuan.com