



马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种及其研究进展

王艳萍*, 严婷, 王亚琦, 王远望, 王萌

天津科技大学 食品科学与工程学院, 天津 300457

王艳萍, 严婷, 王亚琦, 王远望, 王萌. 马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种及其研究进展. 微生物学报, 2022, 62(2): 414–420.

Wang Yanping, Yan Ting, Wang Yaqi, Wang Yuanwang, Wang Meng. *Lactobacillus kefiranofaciens* subsp. *kefiranofaciens* and its research progress. *Acta Microbiologica Sinica*, 2022, 62(2): 414–420.

摘要: 马乳酒样乳杆菌(*Lactobacillus kefiranofaciens*)是一类革兰氏阳性乳杆菌, 其来源广泛, 功能多样, 安全性好。2020年12月国家卫健委批准马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种作为我国新食品原料。本文主要综述国内外马乳酒样乳杆菌和马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种的菌种形态学和基因组特性、益生功能、主要价值和发展前景等方面的研究进展, 旨在为马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种的研究和产业应用提供参考。

关键词: 马乳酒样乳杆菌; 马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种; 形态学; 基因组特性; 益生功能

Lactobacillus kefiranofaciens subsp. *kefiranofaciens* and its research progress

WANG Yanping*, YAN Ting, WANG Yaqi, WANG Yuanwang, WANG Meng

College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China

Abstract: *Lactobacillus kefiranofaciens* is Gram-positive *Lactobacillus* originated from different countries and regions with probiotics characteristics and food safety. At the end of 2020, the China National Health Commission approved *L. kefiranofaciens* subsp. *kefiranofaciens* as a novel kind of food ingredients in China. This paper summarized the research progress of *L. kefiranofaciens* subsp. *kefiranofaciens* including strain morphology, genomic characteristics, probiotic functions and potential

基金项目: 国家自然科学基金(31171629)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (31171629)

*Corresponding author. Tel: +86-22-60601400; E-mail: ypwang@tust.edu.cn

Received: 7 April 2021; Revised: 31 May 2021; Published online: 5 June 2021

benefit in order to provide references for their future research and industrial applications.

Keywords: *Lactobacillus kefiranofaciens*; *Lactobacillus kefiranofaciens* subsp. *kefiranofaciens*; morphology; genomic characteristics; probiotic function

马乳酒样乳杆菌(*Lactobacillus kefiranofaciens*)首次在伯杰氏细菌鉴定手册第九版的系统分类中出现, 位于乳杆菌科, 乳杆菌属, 目前包括两个亚种: 马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种(*L. kefiranofaciens* subsp. *kefiranofaciens*)和马乳酒样乳杆菌高加索酸奶粒亚种(*L. kefiranofaciens* subsp. *kefirgranum*)^[1]。2020年12月, 中华人民共和国国家卫生健康委员会发布通知(2020年第9号), 新增马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种为新资源食品。

1988年, Fujisawa等描述了一个新种, 命名为马乳酒样乳杆菌^[2]。截止到2021年3月文献报道的马乳酒样乳杆菌25株^[3]。马乳酒样乳杆菌来源广泛, 功能多样, 安全性好。如: 马乳酒样乳杆菌8U是由Zanirati等分离自巴西开菲尔粒, 其对胃液和胆汁盐具有良好的抗性, 并且对病原菌具有很强拮抗作用^[4]。马乳酒样乳杆菌DD2是由Jeong等分离得到, DD2菌株在抗生物膜形成上表现出很强的活性, 生物膜的形成在龋齿发展中具有重要影响, DD2可能被开发为新型口服益生菌剂^[5]。Owaga等报道了马乳酒样乳杆菌M1对动物机体不会产生不良反应, 不影响SD大鼠的血液学、血清生化和尿液分析参数^[6]。欧盟、日本、韩国、加拿大、中国台湾等国家和地区允许马乳酒样乳杆菌应用在乳制品或功能性食品中。2020年马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种被列为我国新食品原料。

马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种是马乳酒样乳杆菌的亚种之一, 如: 马乳酒样乳杆菌JCM 6985^T和马乳酒样乳杆菌LMG 15132^T是

典型的马乳酒样乳杆菌菌株, 均分离自阿根廷开菲尔^[7-8]。马乳酒样乳杆菌ZW3由王艳萍等分离自我国西藏开菲尔粒, 具有高产胞外多糖的特点^[9]。

1 菌种形态学和基因组特性

马乳酒样乳杆菌革兰氏阳性, 无运动性, 大小通常为(0.5–1.2) μm × (3.0–20) μm , 单独、成对或偶有短链出现。在15 °C时生长缓慢或没有增长, 在45 °C时不生长。兼性厌氧, 可发酵产生乳酸, 不产生过氧化氢酶^[2]。

马乳酒样乳杆菌的2个亚种可以从菌落形态、生理生化特征和基因组成上区别。马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种在30 °C的改良KPL琼脂(pH 5.5)上培养, 菌落呈圆形或不规则形状, 直径为0.5–3.0 mm, 呈凸形, 透明或半透明, 白色, 光滑, 菌株产胞外多糖^[1]。而马乳酒样乳杆菌高加索酸奶粒亚种菌落呈白色, 紧凑, 暗淡的形态。马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种不能利用水杨素、海藻糖产酸、不水解七叶苷, 而马乳酒样乳杆菌高加索酸奶粒亚种则恰恰相反。

目前, 在National Center for Biotechnology Information上已经注册的马乳酒样乳杆菌全基因组序列的菌株一共有9株。基因组大小为2.07–2.35 Mb, GC含量为37.20%–37.58%。9株马乳酒样乳杆菌中ZW3、LKK75、JCM 6985和DSM 5016为马乳酒样亚种, JCM 8572和DSM 10550为高加索酸奶粒亚种。ATCC 43761、KR和1207属于哪个亚种尚不清楚。从基因组特性来看, 两个亚种的16S rDNA基因序列完全一致^[1]。据NCBI统计, 马乳酒样亚种

ZW3 的全基因组序列为参照对象, LKK75 的全基因组序列相似度最高, 为 98.76%。该亚种的其他菌株, 如 JCM 6985、DSM 5016 与 ZW3 全基因组序列相似度都大于 97%, 而高加索酸奶粒亚种 JCM 8572 和 DSM 10550 与 ZW3 全基因组序列相似度略低, 其中 JCM 8572 与 ZW3 全基因组序列相似度为 85.11%。这也说明 2 个亚种的基因组序列除了 16S rDNA 基因序列外还存在着近 15% 的差别, 目前 2 个亚种的基因组的差异分析还未见相关研究报道。

2 功能特性

研究发现, 马乳酒样乳杆菌菌株具有调节代谢、免疫调节、抗氧化、改善糖尿病、抗过敏、改善大脑健康等功能, 且这些益生特性与菌株的特异性密切相关^[3]。

2.1 在肠道中存活的能力

马乳酒样乳杆菌在人体内发挥其益生功能的基础是具有良好的耐酸和耐胆盐特性, 能够对宿主肠黏膜上皮细胞产生黏附作用。Santos 等对开菲尔中分离得到的乳酸杆菌对人肠上皮样 Caco-2 细胞的粘附性、及耐酸性和胆汁酸抗性进行了研究, 结果显示, 马乳酒样乳杆菌 CYC 10058 具有良好的粘附性, 对酸性 pH 值和胆汁酸有较强的耐受性, 具有良好的肠道存活潜力^[10]。

2.2 抑制有害微生物的作用

一些马乳酒样乳杆菌可以产生称为细菌素的抗菌肽, 从而阻止某些病原体的繁殖, 抑制细菌粘附或产生抗菌物质来拮抗病原菌。Bae 等研究发现, 马乳酒样乳杆菌 DN1 会对新生鸡肠炎沙门氏菌(SE)产生抑制作用, 降低沙门氏菌的存活细胞数量^[11]。Jeong 等报道了马乳酒样乳杆菌 DD2 可抑制口腔链球菌的生长, 其通过抑制果聚糖和多糖合成相关基因的表达, 来抑

制口腔链球菌的生物膜形成能力^[5]。

2.3 调节代谢和免疫作用

由于受遗传和环境因素的影响, 例如缺乏身体活动、饮酒、吸烟等影响, 人体代谢紊乱和亚健康的问题也变得普遍, 马乳酒样乳杆菌在调节机体代谢和免疫方面也有发挥作用。肖雪筠等研究发现, 马乳酒样乳杆菌能够缓解环磷酰胺对小鼠免疫抑制作用, 调节 Th1/Th2 平衡, 起到免疫调节和保护作用^[12]。Lin 等报道了马乳酒样乳杆菌 M1 能够通过调节代谢物的表达, 来影响脂肪形成, M1 在高脂饮食(HFD)诱导的肥胖小鼠中具有促进肥胖作用^[13]。Sugawara 等发现, 在含有大米的培养基中培养马乳酒样乳杆菌, 得到的发酵产物喂养线虫, 线虫的寿命被延长并且与年龄相关的行动迟缓被抑制^[14]。

2.4 维持肠道健康

马乳酒样乳杆菌可以通过调节细胞骨架和紧密连接蛋白来增强肠屏障功能, 从而影响粘膜细胞间的相互作用和细胞稳定性。同时, 其也能通过对肠道菌群的调节, 来维护肠道健康。研究表明, 马乳酒样乳杆菌 M1 不仅可以通过减少促炎细胞因子, 增加抗炎细胞因子 IL-10 的产生, 改善由 DSS 诱导引起的结肠炎^[15], 而且能预防出血性大肠杆菌(EHEC)感染引起肠道损伤、肾脏损伤、细菌移位和志贺毒素渗透, 并且增加粘膜 EHEC 特异性 IgA 反应^[16]。Jeong 等报道, 服用马乳酒样乳杆菌 DN1 会提高小鼠粪便样品的粪便重量和含水量, 且粪便中总菌数, 厚壁菌门、拟杆菌、乳杆菌和普氏菌也显著增高^[17]。

2.5 抗过敏作用

过敏性疾病是当前的世界性疾病, 大约影响世界范围 30% 以上人群, 在过去的几十年里, 过敏性疾病的发病率在许多国家呈逐年上升趋势

势^[18]。有研究报道马乳酒样乳杆菌能改善过敏性哮喘, 发挥抗过敏活性。Hong 等将热灭活的马乳酒样乳杆菌 M1 给予小鼠, 它能够通过抑制脾细胞和支气管肺泡液中辅助性 T 细胞(Th2) 细胞因子、促炎性细胞因子和 Th17 细胞因子的产生, 增加脾细胞中调节性 T 细胞群和抑制哮喘表型的所有特征, 改善 OVA 引起的过敏性哮喘^[19]; 灭活 M1 也能使 Th1/Th2 平衡向 Th1 优势倾斜, 提高 CD4⁺ CD25⁺调节性 T 细胞百分比, 并减少活化的 CD19⁺ B 细胞, 从而抑制体内免疫球蛋白 E 产生, 发挥抗过敏活性^[20]。

2.6 改善大脑健康

随着对脑-肠轴研究的不断深入, 益生菌通过肠道菌群来调节神经系统疾病的研究多有报道。Sun 等研究表明, 马乳酒样乳杆菌 ZW3 具有改善慢性不可预见性应激(CUMS)小鼠的抑郁样行为和独立探索能力, 调节色氨酸代谢紊乱, 保护 HPA 轴, 抑制 CUMS 引起的炎症, 改善精神抑郁, 促进大脑健康^[21]。

2.7 分解亚硝酸盐作用

马乳酒样乳杆菌对亚硝酸盐有一定的降解能力。有研究认为, 马乳酒样乳杆菌 CICC 6287 降解亚硝酸盐的能力可能比乳酸片球菌更强。发酵初期, pH 较高, 亚硝酸盐的降解主要为酶降解, 发酵后期, pH 较低, 亚硝酸盐的降解主要为酸降解, 马乳酒样乳杆菌 CICC 6287 也可降低发酵辣椒中的亚硝酸盐的含量^[22]。对马乳酒样乳杆菌 ZW3 全基因组序列进行分析(NCBI 登录号 CP002764.1), 发现有 3 个基因与亚硝酸盐的降解有关。WANG_0769 和 WANG_1034 编码硝基还原酶。WANG_0780 编码亚硝酸盐转运蛋白, 促进亚硝酸盐的输出与输入。这 3 种基因经异源表达后, 均有降解亚硝酸盐的酶活性^[23]。马乳酒样乳杆菌 ZW3 等菌株混合发酵的豇豆中, 亚硝酸盐含量显著降低^[24]。

2.8 代谢产物具有益生作用

越来越多的报道表明细菌和宿主之间的相互作用是通过各自的细胞成分或细菌的代谢产物来发挥作用。乳酸菌胞外多糖作为活性强大的生物大分子, 通常具有多种生理功能。Furuno 等对开菲尔粒中马乳酒样乳杆菌产生的胞外多糖 kefiran 的功能进行了研究。结果显示, kefiran 通过抑制 Akt 和 ERKs 途径抑制肥大细胞脱粒和细胞因子 TNF- α 产生, 表明 kefiran 具有抗炎作用^[25]。其次, kefiran 能够降低主动脉的动脉粥样硬化病变和脂质过氧化水平, 升高 β 低密度脂蛋白中半乳糖含量, 从而预防高胆固醇血症引起的动脉粥样硬化的发生和发展^[26]。此外, kefiran 在小鼠体内具有免疫调节能力, 它能诱导肠黏膜反应, 并且能够上调和下调肠黏膜的保护性免疫力, 维持肠道稳态, 在小肠和大肠中提高 IgA 的产生, 并通过释放至细胞内的细胞因子影响全身免疫^[27]。

2.9 马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种 ZW3 的研究

马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种作为马乳酒样乳杆菌的其中一个亚种, 其研究报道并不很多, 其中代表性的菌株是马乳酒样乳杆菌 ZW3^[28], 马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种于今年被列为我国新食品原料。这是我国首次分离得到、具有自主知识产权的新乳杆菌。研究发现该菌株具有高产胞外多糖、调节肠道菌群、改善大脑健康、分解亚硝酸盐等特性。研究发现该菌株的 EPS 具有良好的乳化能力, 具有粘性作用^[9,29]。

Xing 等研究发现, 口服或者灌胃 ZW3, 该菌可以成功粘附在小鼠肠道上, 并且连续处理后毛螺菌科(*Lachnospiraceae*)会增加, 乳杆菌科(*Lactobacillaceae*)有增加趋势, 其具备作为被开发益生菌株的潜力^[30]。还发现, 从西藏开菲尔

粒中分离出来的马乳酒样乳杆菌 XL10 具有在肠道中定殖的潜力,能促进小鼠肠道有益菌生长,抑制有害菌繁殖,调节肠道菌群平衡,具有保护肠道健康的潜能,可以作为营养食品或益生菌补充剂^[31]。马乳酒样乳杆菌 ZW3 具有改善慢性不可预见性应激(CUMS)小鼠的抑郁样行为和独立探索能力(见 2.6),通过脑肠轴的作用,调节色氨酸代谢紊乱,保护 HPA 轴,抑制 CUMS 引起的炎症,对大脑健康精神抑郁具有显著的缓解和改善。此外,膳食补充 ZW3 使 CUMS 小鼠肠道微生物群更加平衡^[21]。现已发现 ZW3 菌株具有多种益生功能。

马乳酒样乳杆菌 ZW3 产生的胞外多糖(EPS),与黄原胶、瓜尔胶和刺槐胶等其他市售水胶体相比,具有更好的乳化能力,可以开发成乳化剂^[32]。ZW3 对亚硝酸盐有很强的降解作用,对其降解率超过 92%,甚至可达 100%^[23]。郑永娜等将 ZW3 与其他乳酸菌复配用于豇豆的发酵,发酵过程中产酸速度加快,发酵时间缩短;并且在发酵成熟后,风味醇厚,ZW3 可作为一种新型蔬菜发酵菌种使用^[24];因此,马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种(ZW3)作为新食品原料,具有良好的益生特性和应用价值。

3 主要价值和发展前景

随着对马乳酒样乳杆菌研究的不断深入,研究人员发现该菌具有抑制有害菌、调节代谢和免疫、维持肠道健康、抗过敏作用、改善精神抑郁等多种益生功能,这些特点都让马乳酒样乳杆菌备受关注,一定会在功能性食品领域有所作为。ZW3 还具有改善慢性不可预见性应激小鼠的抑郁样行为和独立探索能力的潜力,为调节大脑健康提供了益生菌菌株备选^[21]。

除此之外,马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种产生大量胞外多糖,应用于发酵乳制品中,对

无添加的发酵乳产品的开发将发挥巨大的作用;该代谢产物除了具有良好的益生特性外,其对化妆品的保湿护肤、化工行业的絮凝分离等作用也将对相关产业带来巨大的影响。

伴随着马乳酒样乳杆菌马乳酒样亚种作为我国新食品原料的新增菌种的发布,其功能特性、作用机制等基础研究和应用研究都会全面深入地加速展开,该菌在产业中的应用也会更加广泛,必将对乳制品、发酵果蔬、化妆品等行业的发展带来强劲的推动力。同时,我国可用于食品中的益生菌的种类还不多,但我国的发酵食品具有悠久的历史和丰富的资源,随着对益生菌研究的不断深入,相信有更多的益生菌被开发利用。

参考文献

- [1] Vancanneyt M, Mengaud J, Cleenwerck I, Vanhonacker K, Hoste B, Dawyndt P, Degivry MC, Ringuelet D, Janssens D, Swings J. Reclassification of *Lactobacillus kefirgranum* Takizawa et al. 1994 as *Lactobacillus kefiranofaciens* subsp. *kefirgranum* subsp. nov. and emended description of *L. kefiranofaciens* Fujisawa et al. 1988. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2004, 54(2): 551–556.
- [2] Fujisawa T, Adachi S, Toba T, Arihara K, Mitsuoka T. *Lactobacillus kefiranofaciens* sp. nov. isolated from kefir grains. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1988, 38(1): 12–14.
- [3] Slattery C, Cotter PD, O'Toole PW. Analysis of health benefits conferred by *Lactobacillus* species from kefir. *Nutrients*, 2019, 11(6): 1252.
- [4] Zanirati DF, Abatemarco M Jr, Sandes SHDC Jr, Nicoli JR Jr, Nunes AC Jr, Neumann E Jr. Selection of lactic acid bacteria from Brazilian kefir grains for potential use as starter or probiotic cultures. *Anaerobe*, 2015, 32: 70–76.
- [5] Jeong D, Kim DH, Song KY, Seo KH. Antimicrobial and anti-biofilm activities of *Lactobacillus kefiranofaciens* DD2 against oral pathogens. *Journal of Oral Microbiology*, 2018, 10(1): 1472985.

- [6] Owaga EE, Chen MJ, Chen WY, Chen CW, Hsieh RH. Oral toxicity evaluation of kefir-isolated *Lactobacillus kefiranofaciens* M1 in Sprague-Dawley rats. *Food and Chemical Toxicology*, 2014, 70: 157–162.
- [7] Cheirsilp B, Suksawang S, Yeesang J, Boonsawang P. Co-production of functional exopolysaccharides and lactic acid by *Lactobacillus kefiranofaciens* originated from fermented milk, kefir. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(1): 331–340.
- [8] Hamet MF, Londero A, Medrano M, Vercammen E, Van Hoorde K, Garrote GL, Huys G, Vandamme P, Abraham AG. Application of culture-dependent and culture-independent methods for the identification of *Lactobacillus kefiranofaciens* in microbial consortia present in kefir grains. *Food Microbiology*, 2013, 36(2): 327–334.
- [9] 王艳萍, 李超, Zaheer Ahmed. 一株马乳酒样乳杆菌胞外多糖的理化性质. *食品与发酵工业*, 2011, 37(9): 59–63.
Wang YP, Li C, Zaheer A. Physicochemical properties of exopolysaccharide produced by *Lactobacillus kefiranofaciens* ZW3. *Food and Fermentation Industries*, 2011, 37(9): 59–63. (in Chinese)
- [10] Santos A, San Mauro M, Sanchez A, Torres JM, Marquina D. The antimicrobial properties of different strains of *Lactobacillus* spp. isolated from kefir. *Systematic and Applied Microbiology*, 2003, 26(3): 434–437.
- [11] Bae D, Kim DH, Chon JW, Song KY, Seo KH. Synergistic effects of the early administration of *Lactobacillus kefiranofaciens* DN1 and *Kluyveromyces marxianus* KU140723-05 on the inhibition of *Salmonella* Enteritidis colonization in young chickens. *Poultry Science*, 2020, 99(11): 5999–6006.
- [12] 肖雪筠, 张奕, 新华·那比. 四种新疆发酵驼乳源益生菌对小鼠的免疫调节作用. *食品工业科技*, 2017, 38(4): 337–341.
Xiao XJ, Zhang Y, Xianhua NB. Immunoregulatory effects of four probiotics derived from Xinjiang fermented camel milk in mice. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(4): 337–341. (in Chinese)
- [13] Lin YC, Chen YT, Li KY, Chen MJ. Investigating the mechanistic differences of obesity-inducing *Lactobacillus kefiranofaciens* M1 and anti-obesity *Lactobacillus mali* APS1 by metabolomics and metabolomics. *Frontiers in Microbiology*, 2020, 11: 1454.
- [14] Sugawara T, Furuhashi T, Shibata K, Abe M, Kikuchi K, Arai M, Sakamoto K. Fermented product of rice with *Lactobacillus kefiranofaciens* induces anti-aging effects and heat stress tolerance in nematodes via DAF-16. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2019, 83(8): 1484–1489.
- [15] Chen YP, Hsiao PJ, Hong WS, Dai TY, Chen MJ. *Lactobacillus kefiranofaciens* M1 isolated from milk kefir grains ameliorates experimental colitis *in vitro* and *in vivo*. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(1): 63–74.
- [16] Chen YP, Lee TY, Hong WS, Hsieh HH, Chen MJ. Effects of *Lactobacillus kefiranofaciens* M1 isolated from kefir grains on enterohemorrhagic *Escherichia coli* infection using mouse and intestinal cell models. *Journal of Dairy Science*, 2013, 96(12): 7467–7477.
- [17] Jeong D, Kim DH, Kang IB, Kim H, Song KY, Kim HS, Seo KH. Modulation of gut microbiota and increase in fecal water content in mice induced by administration of *Lactobacillus kefiranofaciens* DN1. *Food & Function*, 2017, 8(2): 680–686.
- [18] 沈曦, 李鸣, 石磊, 龄南, 何苗, 王舒悦, 何方. 乳酸杆菌的免疫调节及抗过敏作用研究. *四川大学学报: 医学版*, 2016, 47(2): 192–196.
Shen X, Li M, Shi L, Ling N, He M, Wang SY, He F. The immunomodulatory and anti-allergy effects of *Lactobacilli*. *Journal of Sichuan University(Medical Science Edition)*, 2016, 47(2): 192–196. (in Chinese)
- [19] Hong WS, Chen YP, Dai TY, Huang IN, Chen MJ. Effect of heat-inactivated kefir-isolated *Lactobacillus kefiranofaciens* M1 on preventing an allergic airway response in mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(16): 9022–9031.
- [20] Hong WS, Chen YP, Chen MJ. The antiallergic effect of kefir *Lactobacilli*. *Journal of Food Science*, 2010, 75(8): H244–H253.
- [21] Sun Y, Geng WT, Pan YJ, Wang JJ, Xiao P, Wang YP. Supplementation with *Lactobacillus kefiranofaciens* ZW3 from Tibetan kefir improves depression-like behavior in stressed mice by modulating the gut microbiota. *Food & Function*, 2019, 10(2): 925–937.
- [22] 谢九艳, 翟磊, 宋振, 杨玉新, 程池, 姚粟. 菌株 CICC 6287 发酵特性研究及其在辣椒发酵中的应用. *生物技术通报*, 2018, 34(1): 223–229.
Xie JY, Zhai L, Song Z, Yang YX, Cheng C, Yao S. The fermentation characteristics and application in Chili fermentation of strain CICC 6287. *Biotechnology*

- Bulletin*, 2018, 34(1): 223–229. (in Chinese)
- [23] 郑永娜. 马奶酒样乳杆菌 ZW3 降解亚硝酸盐功能的研究与应用. 天津科技大学硕士学位论文, 2016.
- [24] 郑永娜, 赵勇, 王菁蕊, 王艳萍. 马奶酒样乳杆菌 ZW3 在豇豆发酵中的应用. *食品研究与开发*, 2014, 35(18): 361–365.
Zheng YN, Zhao Y, Wang QR, Wang YP. Application of *Lactobacillus kefiranofaciens* ZW3 in Cowpea fermentation. *Food Research and Development*, 2014, 35(18): 361–365. (in Chinese)
- [25] Furuno T, Nakanishi M. Kefiran suppresses antigen-induced mast cell activation. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 2012, 35(2): 178–183.
- [26] Uchida M, Ishii I, Inoue C, Akisato Y, Watanabe K, Hosoyama S, Toida T, Ariyoshi N, Kitada M. Kefiran reduces atherosclerosis in rabbits fed a high cholesterol diet. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, 2010, 17(9): 980–988.
- [27] Vinderola G, Perdigon G, Duarte J, Farnworth E, Matar C. Effects of the oral administration of the exopolysaccharide produced by *Lactobacillus kefiranofaciens* on the gut mucosal immunity. *Cytokine*, 2006, 36(5/6): 254–260.
- [28] Wang Y, Wang J, Ahmed Z, Bai X, Wang J. Complete genome sequence of *Lactobacillus kefiranofaciens* ZW3. *Journal of Bacteriology*, 2011, 193(16): 4280–4281.
- [29] Rizwan-Ur-Rehman, Wang Y, Wang J, Geng W. A study on comparative analysis of gumminess attribute of Mozzarella cheese produced and developed by adjunct strain *Lactobacillus kefiranofaciens* ZW3. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 2017, 10(6): 2222–3045.
- [30] Xing ZQ, Tang W, Yang Y, Geng WT, Rehman RU, Wang YP. Colonization and gut flora modulation of *Lactobacillus kefiranofaciens* ZW3 in the intestinal tract of mice. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2018, 10(2): 374–382.
- [31] 贾庆喜, 邢竹青, 孙也, 王艳萍. 马乳酒样乳杆菌 (XL10) 的分离、鉴定及对小鼠肠道菌群的影响. *食品研究与开发*, 2019, 40(10): 182–187.
Jia QX, Xing ZQ, Sun Y, Wang YP. Isolation and identification of *Lactobacillus kefiranofaciens*(XL10) and its effect on gut microbiota of Mice. *Food Research and Development*, 2019, 40(10): 182–187. (in Chinese)
- [32] Wang YP, Ahmed Z, Feng W, Li C, Song SY. Physicochemical properties of exopolysaccharide produced by *Lactobacillus kefiranofaciens* ZW3 isolated from Tibet kefir. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2008, 43(3): 283–288.

(本文责编 张晓丽)