

功能性乳酸菌的应用研究

湛剑龙¹, 胡萍^{1*}, 陈韵¹, 李立郎¹, 朱秋劲¹, 王晓宇², 谢和²

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵阳, 550025; 2. 贵州大学生命科学学院, 贵阳, 550025)

摘要: 乳酸菌是革兰氏阳性, 无芽孢, 厌氧, 利用碳水化合物产生乳酸的一类细菌, 是一种宝贵的微生物资源, 和我们的健康息息相关。本文介绍了乳酸菌的增强免疫、抗氧化、降胆固醇、抗高血压、抗菌、改善风味等功能, 这些功能目前主要被应用于食品和医疗上; 还介绍了乳酸菌的一些应用技术, 基因工程乳酸菌, 乳酸菌产酶, 乳酸菌制剂, 乳酸菌淀粉包埋以及富硒乳酸菌, 为功能性乳酸菌进一步的开发利用提供参考。

关键词: 乳酸菌; 功能; 应用技术

Research on application of functional lactic acid bacteria

ZHAN Jian-Long¹, HU Ping^{1*}, CHEN Yun¹, LI Li-Lang¹, ZHU Qiu-Jin¹, WANG Xiao-Yu², XIE He²

(1. College of Liquor Making and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China;
2. College of Life Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: Lactic acid bacteria are gram-positive, non-spore, anaerobic, a class of bacteria using carbohydrates to produce lactic acid, which are valuable resource of microorganisms, and are closely related to our health. This paper described the function of lactic acid bacteria on improving immune, antioxidant, decreasing cholesterol, antihypertensive, antibacterial, and improving the flavor functions, which were currently being used in food and medicines. Some applications were also described such as lactic acid bacteria, genetic engineering lactic acid, lactic acid producing enzyme, lactobacillus, lactobacillus starch entrapped and Se lactic acid, so as to provide a reference for the further development and utilization.

KEY WORDS: lactic acid bacteria; function; applied technology

1 引言

乳酸菌是革兰氏阳性, 无芽孢, 厌氧, 利用碳水化合物产生乳酸的一类细菌^[1], 可以分成 18 个属, 共有 200 多种。目前已被国内外生物学家所证实, 肠道乳酸菌与健康有着非常密切的直接关系^[2,3]。

乳酸菌的功能主要有: 改善人体肠道功能, 恢复人体肠道内菌群平衡, 增强人体免疫能力, 抑制腐败菌的生长, 降低胆固醇, 抗氧化, 抗高血压, 抗肿

瘤, 保藏食品, 改善食品风味等^[4-6]。随着乳酸菌的功能渐渐被人们得知, 关于乳酸菌的研究以及乳酸菌相关的产品也越来越多并应用在功能性饮料、酸奶^[7]以及其他发酵产品中, 同时各种功能性乳酸菌菌株的筛选也是研究重点。

2 免疫功能

乳酸菌作为健康人和动物肠道的主要优势菌群,

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260379)

Fund: Supported by National Natural Science Foundation of China (31260379)

*通讯作者: 胡萍, 教授, 博士, 主要研究方向为食品微生物与生物技术。E-mail: ls.phu@gzu.edu.cn

*Corresponding author: HU Ping, Professor, College of Liquor Making and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China. E-mail: ls.phu@gzu.edu.cn

通过产酸、产细菌素, 具有抑制有害菌生长, 调节肠道菌群平衡的作用, 此外, 在肠道免疫功能调节以及肠道粘膜屏障作用方面也发挥着重要作用^[8]。李雪平等^[9]研究日粮中添加乳酸菌制剂对肉鸡生产性能、免疫器官指数、血清溶菌酶和总蛋白含量及肠道菌群的影响。结果表明, 乳酸菌制剂可显著提高肉鸡日增重、肉鸡 42 天脾脏指数及血清溶菌酶含量、回肠中乳酸菌的含量, 并显著降低回肠、盲肠中大肠杆菌的含量。乳酸菌制剂对肉鸡生产性能、肠道健康及免疫功能有较好的改善作用。

乳酸杆菌在调节免疫反应中发挥重要的作用。

Chuang 等^[10]研究了热灭活乳酸菌对免疫功能的作用, 调查了这些灭活乳酸菌刺激小鼠树突状细胞 DCST 细胞的反应。结果表明, 这些灭活乳酸菌能刺激细胞增殖和白细胞介素 IL-10, IL-12 P70, 干扰素 IFN- γ 的产生, 并使 T 细胞 TH 分泌升高。

目前, 越来越多的研究使用乳酸菌作为疫苗抗原, 杀菌剂和治疗粘膜运载工具。疫苗根据重组乳酸菌打破肠道的免疫耐受, 以引发保护性免疫反应。Beatriz 等^[11]通过刺激肠上皮细胞, 外周血单核细胞和单核细胞衍生的树突状细胞, 测定细胞因子的产生来研究乳酸菌如何打破肠道免疫耐受。结果表明, 脂化的 OspA 表达的植物乳杆菌促进肠上皮细胞分泌细胞因子 IL-8, 它通过 Th1/Th2 细胞介导的免疫打破肠道的免疫耐受。Sudo 等^[12]使用无菌(GF)小鼠口服耐受诱导 IgE 反应肠道菌群, 也取得明显的效果。

3 抗氧化

自由基(free radical), 也称为“游离基”, 是指含有一个不成对电子的原子团, 氧化作用强, 具有强烈的引发脂质过氧化物的作用。病理情况下, 由于活性氧生成过多或机体抗氧化能力不足, 则可引发链式脂质过氧化反应损伤细胞膜, 进而使细胞死亡。抗氧化剂可以达到预防癌症的效果是由于它们具有清除自由基的能力, 防止 DNA 损害和随后的变异^[13,14]。

Kim 等^[15]对源自人类的嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*)KCTC3111, 乳杆菌(*lactobacillus*) KCTC3141, 嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*)KCTC3151, 和短乳杆菌 KCTC3498 的抗氧化性能进行了体外研究, 嗜酸乳杆菌 KCTC3111 在完整的细胞 49.7%和细胞裂解液 65.2%表现出最高的抑制脂质过氧化, 并具有高羟基自由基清除活性, 在 GPX 活性测定中, 活

性较高。

Srikanjana 等^[16]从泰国发酵茶 Miang 中分离出发酵乳杆菌 FTL2311 和 FTL10BR 株, 并进行了抗菌作用和清除自由基的实验。结果表明抗菌作用是由于细胞膜破坏, 从而导致致病细胞萎缩或裂开, 清除自由基效果显著。Dawei 等^[17]从分子水平研究了从发酵白菜中分离的植物乳杆菌 FC225 的抗氧化和降血脂作用, 与对照组相比, FC225 株喂养的基因表达的相关因子 Nrf2 明显升高, 这表明, 菌株 FC225 的降血脂和抗氧化保护作用可能是由于 Nrf2 的信号通路介导的抗氧化酶表达。

Cheng-Chih 等^[18]研究了鼠李糖乳杆菌在抗氧化美白和保水中的作用, 结果表明: 鼠李糖乳杆菌能清除多种自由基, 还可以在体外抑制酪氨酸酶活性, 有效地促进保湿。鼠李糖乳杆菌可以在护肤化妆品中得到有效利用。王凡等^[19]发明了一种饲料添加剂, 嗜酸乳杆菌 CGMCC No.5093 用于改善肉鸡抗氧化性能。用饲料喂食肉鸡, 嗜酸乳杆菌到胃肠道 SOD, GSH-Px 的活力在肉鸡血清中能得到改善, 而 MDA 含量在血清和肉鸡的肝脏中减少。因此, 该菌株可以作为饲料添加剂, 使肉鸡的抗氧化性能得到改善。

乳酸菌有抗氧化性, 能具有清除人体自由基, 延缓衰老, 可以用于化妆品美白和各种保健品中。

4 降胆固醇

乳酸菌及其相关制品具有降低介质以及血清中胆固醇的能力这已被大量体内及体外实验所证实。然而, 国内外对于乳酸菌降低胆固醇的作用机制尚存在不同的观点, 主要体现在: 乳酸菌细胞直接同化吸收胆固醇; 乳酸菌与胆固醇发生共同沉淀等^[20-22]。

Tahri 等^[23]研究了双歧杆菌消除胆固醇的作用机制。在静置细胞实验中, 取出的胆固醇沉淀后在细胞中没有发现胆固醇, 但是这种沉淀可以用磷酸盐缓冲液除去, 看来这种沉淀是一个短暂的现象。在把双歧杆菌菌株培养在有放射性标记的游离或酯化的胆固醇的活细胞中, 表现为能够吸收酯化的胆固醇。该研究表明, 胆固醇的去除是由于乳酸菌的同化和胆固醇共沉淀的共同作用。

Guijie 等^[24]发现在体外去除胆固醇益生菌已被分为两个阶段: 细菌细胞同化, 以及去结合型胆盐共沉淀。并从健康青少年肠道中筛选了益生菌乳杆菌菌株, 然后, 根据定量的胆固醇共沉淀, 并通过再次溶

解的方法来验证。接着,对每种菌株的降胆固醇作用的比例推导出同化/共沉淀。研究表明,12 h 潜伏期后,所有六株植物乳杆菌同化胆固醇(63.45%~81.62%)比共沉淀(18.38%~36.55%)去除量大。此外,还有研究表明乳酸菌通过调控基因的表达来减少肠道对胆固醇的吸收。Huang Y 等^[25]研究了益生菌嗜酸乳杆菌 ATCC4356 调控 Niemann-Pick C1-like 1 NPC1L1, 弱表达时,显著减少肠道对胆固醇的吸收。益生菌嗜酸乳杆菌 ATCC4356 调控 NPC1L1 基因表达减少,并在 Caco-2 细胞抑制细胞摄取胆固醇胶束。Yoon 等^[26]也有相关研究。也有降胆固醇德氏乳杆菌应用的专利^[27]。

5 抗高血压

高血压被认为是全球一个显著的危害健康问题。研究表明乳酸菌发酵食品有利于降血压。Yu 等^[28]研究从泡菜中分离的乳酸杆菌抗高血压的效果,抑制肾血管紧张素转换酶(ACE)的活性,并用乳酸杆菌处理自发性高血压老鼠。结果表明,菌株 LG 42 的提取物对老鼠高血压有显著抑制作用。Osuntoki 等^[29]发现食用高盐食品可使血压升高,通过从土著高盐发酵食品分离的嗜酸乳杆菌生产的发酵脱脂牛奶与高盐食品一起喂养雄性大鼠与空白对照组作对比来研究乳酸杆菌抗高血压效果。结果表明,喂食发酵脱脂牛奶和高盐食品后的小鼠没有显著变化,这说明分离的乳酸杆菌具有抗高血压的作用。

来源于食物蛋白 ACE 抑制肽的降压肽可抑制(ACE)活性,有明显的降血压作用,这些多肽又是通过抑制血管紧张素转化酶的活性起降血压作用^[30,31]。Flambard^[32]发明了以瑞士乳杆菌为发酵菌株发酵动物奶蛋白或植物蛋白得到抗高血压肽的专利。

6 产乳酸链球菌素

乳酸链球菌素(Nisin)是由乳酸链球菌发酵而成的一种多肽类细菌素,是一种核糖体合成的肽,具有抗菌活性,Nisin 在高酸和加热时都表现出较好的稳定性,其耐热性能优良,也是世界公认一种安全的天然生物性食品防腐剂和抗菌剂^[33,34]。其作用机制是利用其蛋白质结构上的不同位点电荷数的不同,具有类似清洁剂功能。其杀菌机制是先吸附在目标菌的细胞膜上、再侵入膜内形成通透孔道,以引起胞内重要

物质,如 ATP、K⁺等的流失或生化反应障碍,而导致指标菌死亡^[35,36]。

陈果忠^[37]研究了把 Nisin 添加到低温肉制品中,观察肉的感官指标和细菌数的变化。结果表明,Nisin 能有效抑制细菌繁殖速度,使肉制品的货架期延长。由于 Nisin 是窄谱抗菌素,单独使用未必起到好的效果,并且 Nisin 具有一定的臭味,贮藏后对冷却肉的气味有一些影响,通常将 Nisin 和其他几种保鲜剂联合使用会改善 Nisin 对冷却肉气味的影响,同时保鲜效果更好。刘国荣等^[38]研究了揭示乳酸菌细菌素和超高压联合处理对低温切片火腿的防腐保鲜效果,结果表明,enterocin LM-2 和超高压技术的联合使用可明显延长低温切片火腿的货架期,可将低温切片火腿的货架期延长至 100 d。

此外,Nisin 由于抗菌耐药性,可以作用于医疗上,改善人体肠道功能,提高人体免疫力^[39]。也有报道表示乳酸链球菌素能阻止癌细胞增殖,但不伤害健康细胞^[40]。

7 改善风味

发酵食品具有更高的营养物质,容易消化,保质期更长,更安全并且减少烹饪时间^[41,42]。很多发酵食品是通过乳酸菌发酵而得到的,其风味和原来有很大不同,主要是因为乳酸菌在生长繁殖过程产生了一些代谢产物,而发酵原料量的多少直接影响乳酸菌的生长和最后风味的形成^[43]。Smit 等^[44]研究了奶酪产品的风味形成中的生物化学反应,发现主要是蛋白质酪蛋白酶促降解为肽和氨基酸,后者则是主要的挥发性香气化合物的前体。乳杆菌属,链球菌属,丙酸杆菌种作用于干酪表面,促使成熟,有利于奶酪香味的形成。

醋是中国传统产品,其味道会受到乳酸含量的影响。Jiang 等^[45]优化了醋的发酵参数:接种植物乳杆菌和酿酒酵母 *Saccharomyces cerevisiae* 混合菌株的量为 3% 体积/体积,30℃ 的温度下,初始 pH 值 4.0。在这些最佳条件下发酵导致酒精度为 6.2%(v:v),总酸度为 49.5 g/L,乳酸含量为 4.14 g/L。乳酸含量 4.14 g/L,其含量接近固态发酵所达到的水平,是无乳酸菌 1.16 g/L 醋发酵的 3.56 倍。

许继春^[46]对发酵香肠中的风味物质进行了研究,发现发酵香肠成熟过程中,蛋白质水解产生多肽、游

离氨基酸等,游离氨基酸和多肽对香肠的风味有重要作用,氨基酸通过美拉德反应和斯托勒克降解等反应进一步降解产生的小分子挥发性物质,也是香肠风味的组成成分。

此外,在葡萄酒生产过程中乳酸菌发酵产生的乳酸菌对葡萄酒的品质也产生重要影响^[47]。

8 乳酸菌的应用技术

随着乳酸菌的功能被人们所重视,一些关于乳酸菌的技术也应运而生,比如对乳酸菌进行基因改造、淀粉包埋制备微囊乳酸菌、富硒乳酸菌。

8.1 基因工程乳酸菌

Field 等^[48]选定了变种的乳酸链球菌产丝氨酸到甘氨酸变化在第29位S29G进行基因突变,产生三种菌株S29A, S29D和S29E。研究表明,对药物耐药,抗菌作用,与原来相比都显著增强。Li等^[49]为了得到高效率的乳酸菌,采用氮离子注入的方式来使野生干酪乳杆菌 *Lactobacillus casei* CICC6028 突变,突变株N-2,在其最佳的发酵温度40℃时乳酸产率为136 g/L,比原始菌株在最佳的发酵温度34℃时98 g/L有很大提升。

Mundi等^[50]探讨嗜酸乳杆菌La-5和长双歧杆菌菌株NCC2705对导致腹泻的弯曲杆菌的作用,结果表明,这两种益生菌菌株的CFSM能够下调CIAB和flaA基因在野生型弯曲杆菌的表达应变,对弯曲杆菌导致的腹泻有积极效果。Christina等^[51]将苹果酸乳酸酶MLE,克隆到*Lactobacillal*,表达载体pSIP409,结果表明,表达MLE重组植物乳杆菌和野生型植物乳杆菌相比较能加速乳酸发酵。

还有一些学者研究将具有保健作用的外源性或内源性基因在乳酸菌中进行表达,将乳酸菌的非特异性抗感染能力和疫苗抗原的特异性免疫相结合^[52],这些使得乳酸菌在保健领域的具有更广阔的前景。

8.2 乳酸菌产酶

乳酸菌种类繁多,其产生的酶也具有诸多用途。

Justyna等^[53]研究发现益生罗伊氏乳杆菌产生的葡聚糖蔗糖酶/葡糖基转移酶GTFA/reuteransucrase能使蔗糖和麦芽糖低聚糖形成葡萄糖低聚物。Ogbonnaya等^[54]研究了德氏乳杆菌NRRL B-763产生的亚麻苦苷酶,进行了纯化和木薯粉和氰化物的降

解试验。结果表明,亚麻苦苷酶酶可适于木薯的改进和降解氰化物以及其他生物技术的应用。Balakrishnan等^[55]从各种样品中分离筛选得到了具有分解脂肪能力的乳杆菌,并进行了产酶纯化,结果表明,乳杆菌属可作为一个脂肪酶的新的有效的微生物源。

目前酶的产量不大,价格高,利用乳酸菌还有各种微生物来产生酶能改善这种状况,经过基因的改良可能得到量大酶活高的酶。

8.3 乳酸菌制剂

目前的乳酸菌制剂主要用来治疗腹泻,乳酸菌的其他制剂有待研发。

Marion-Eliette等^[56]设计了一个随机对照试验,以测试一种口服嗜酸乳杆菌制剂优于安慰剂的急性腹泻。对300名60个月至9岁的腹泻越南儿童进行口服嗜酸乳杆菌制剂,结果表明,口服乳杆菌制剂后能减少腹泻持续时间,大便次数,住院天数和病毒在粪便中的数量并且使用乳杆菌制剂有利于降低越南对腹泻儿童的负担。Mary等^[57]为了确定含有乳酸杆菌制剂与抗生素的功效,对参与的135位平均74岁的病人使用抗生素和消除其他病因的影响,食用含干酪乳杆菌、L保加利亚和嗜热链球菌100 g 97mL的饮料一天两次,服用1周。对照组口服无菌奶。结果表明,含有干酪乳杆菌、L保加利亚和嗜热链球菌的热益生菌饮料可以减少抗生素相关性腹泻和梭菌相关性腹泻的发生率。Wang等^[58]发明了一中乳酸菌制剂,所得制剂是140 mg的干燥制剂溶于3 mL水,可保持pH值至少为4.3,添加了6 μL的0.1 mol/LHCl。

8.4 淀粉包埋制备微囊乳酸菌

MA^[59]为了保证嗜酸乳杆菌能抵制机械压迫和胃酸,成功地使肠道益生菌发挥作用,采用多孔淀粉为壁材制备微胶囊嗜酸乳杆菌。通过单因素和正交实验,确定嗜酸乳杆菌微胶囊的最佳工艺条件:多孔淀粉用量为5 g, pH值6.0,温度20℃,震荡200r/min,包埋率是67.12%。然后用微胶囊进食,发现可以有效地提高狗的肠道菌群乳酸菌的数量。张兆俊^[60]采用微孔淀粉为包埋材料,制备高活菌率和高肠道定位释放性的活性乳酸菌微胶囊,并研究了制备的活性乳酸菌胶囊对肠道环境的改善效果。结果表明,采用微孔淀粉能有效的提高乳酸菌胶囊中活菌率和

肠道释放性, 制备的乳酸菌胶囊能明显增加饲喂大鼠肠道中乳酸菌数量、改善其肠道生态环境, 降低血脂浓度, 降低了大鼠粪便、小肠及盲肠内 pH 值, 增加了大鼠的采食量和体重, 明显降低了血清中总胆固醇和甘油三酯水平, 而微孔淀粉胶囊组的生理功能效果优于市售胶囊组。

8.5 富硒乳酸菌

硒元素是人体必需的向量矿物质营养素, 人体内无法合成, 人体本身的硒总含量为 6~20mg。硒对提高免疫力和预防癌症非常重要, 当硒缺乏的时候, 就很容易导致人体免疫能力下降, 威胁人类健康, 生命的四十多种疾病都与人体缺硒有关, 如癌症、心血管病、肝病、胰脏疾病、白内障、糖尿病、生殖系统疾病等症状。不过也不能盲目补硒, 因为只有有机硒才是对人体有益的。宋照军等^[61]研究了将亚硒酸钠添加在活性乳酸菌发酵剂中, 通过活性乳酸菌的生物转化, 使活性乳酸菌发酵剂富集有机硒, 再用活性乳酸菌发酵剂和鲜乳等加工制成富硒功能性酸乳。与普通乳酸菌发酵酸乳相比, 硒含量提高了约 450 倍。Yazdi 等^[62]研究富硒乳杆菌抑制癌症, 采用富硒短乳杆菌喂养小鼠, 结果发现, 实验组小鼠寿命得到延长。朱善良等^[63]探讨富硒乳酸菌对健康小鼠, 组织脂质过氧化的影响。结果表明, 富硒乳酸菌能够通过提高组织抗氧化酶活性、抑制脂质过氧化产物, 保护机体免受脂质过氧化损伤。

9 展望

乳酸菌是人及动物体内正常菌群的重要成员, 在人们日常饮食中发挥着重要作用。随着其功能不断被发掘, 新的要求就是更高效地利用乳酸菌, 采用传统的方法与先进的技术相结合可以开发应用多功能性的乳酸菌, 如基因工程菌等, 也可以制备单一功能的靶向乳酸菌分子制剂用于癌症及临床医疗。目前国内的乳酸菌研究仍然是热点, 时有新菌株出现, 可是在其应用方面国内远远低于国外, 可以依据其功能以及利用各种技术来制造各种产品而不仅仅是简单的粗加工产品。

参考文献

- [1] Anna H. Food Quality and Standards-VOL. -LATIC ACID BACTERIA [M]. EOLSS, Budapest, 2009: 70-83.
- [2] Ranjita S, Eric A, Rachel CA, *et al.* The role of cell surface architecture of lactobacilli in host-microbe interactions in the gastrointestinal tract [J]. *Mediators Inflamm*, 2013, (2013): 1-16.
- [3] Kaushik, J K, Kumar A, Duary R K, *et al.* Functional and probiotic attributes of an Indigenous Isolate of *Lactobacillus plantarum* [J]. *Plos One*, 2009, 4(12): 1
- [4] 雷欣宇, 曾凡坤, 康建平, 等. 乳酸菌的生理功能及其食用制剂制备技术进展[J]. *食品与发酵科技*, 2012, 48(2): 5-8,22. Lei XY, Zeng FK, Kang JP, *et al.* Advances of Physiological Functions and Preparation Technology of Food Preparation of *Lactobacillus* [J]. *Food Ferment Technol*, 2012, 48 (2):5-8, 22.
- [5] 彭新颜, 于海洋, 李杰, 等. 乳酸菌抗氧化作用研究进展[J]. *食品科学*, 2012, 33(23): 370-374. Peng XY, Yu HY, Li J, *et al.* Development and prospect of antioxidant activity of lactic acid bacteria [J]. *Food Sci*, 2012, 33(23): 370-374
- [6] 尹胜利, 杜鉴, 徐晨. 乳酸菌的研究现状及其应用[J]. *食品科技*, 2012, 37(9): 25-29 Yin SL, Du J, Xu C, *et al.* Advances in the research and application of *Lactobacillus* [J]. *Food Sci Technol*, 2012, 37(9):25-29.
- [7] 印伯星. 功能性酸奶的研制[D]. 南京: 南京农业大学, 2004 Yin BX. Study and development of functional yoghurt [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2004.
- [8] 斯日古楞, 张润平, 周瑞峰. 乳酸菌的生理功能及其作用机理[J]. *微生态新技术*, 2012, (5): 49-51. Si RGL, zhang RP, Zhou RF. Physiological function and mechanism of action of lactic acid bacteria [J]. *Microecol New Technol*, 2012, (5): 49-51.
- [9] 李雪平, 计成, 刘爱君, 等. 乳酸菌制剂对肉鸡生产性能、免疫功能及肠道菌群的影响[J]. *中国饲料添加剂*, 2011, (2): 29-32. Li XP, Ji C, Liu AJ, *et al.* Effects of dietary lactobacillus on the growth performance, immune function and intestinal micro flora of broiler [J]. *Chin Feed Add*, 2011, (2): 29-32.
- [10] Chuang L, Wu KG, Pai C, *et al.* Heat-killed cells of lactobacilli skew the immune response toward T helper 1 polarization in mouse splenocytes and dendritic cell-treated T cells [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, (55): 11080-11086.
- [11] Beatriz del R, Jos FS, Maria GS. Immune response to *Lactobacillus plantarum* expressing *Borrelia burgdorferi ospA* is modulated by the lipid modification of the antigen [J]. *Plos One*, 2010, 5 (6):1-10.
- [12] Sudo N, Sawamura S, Tanaka K, *et al.* The requirement of intestinal bacterial flora for the development of an IgE production system fully susceptible to oral tolerance induction [J]. *J Immunol*, 1997, 159(4):1739-1745.
- [13] Henry JT. DNA oxidation products, antioxidant status, and cancer

- prevention [J]. *J Nutr*, 2004, (134): 3186–3187.
- [14] Andrew RC. Oxidative DNA damage, antioxidants, and cancer [J]. *BioEssays*, 1999, 21(3): 238–246.
- [15] Kim HS, Chae HS, Jeong SG, *et al.* In vitro antioxidative properties of lactobacilli [J]. *Asian-Australasian J Anim Sci*, 2006, 19: 262–265.
- [16] Srikanjana K, Siriporn O. Antibacterial and antioxidant activities of acid and bile resistant strains of lactobacillus fermentum isolated from miang [J]. *Braz J Microbiol*, 2009, (40): 757–766.
- [17] Gao DW, Gao ZR, Zhu GH. Antioxidant effects of *Lactobacillus plantarum* via activation of transcription factor Nrf2 [J]. *Food Funct*, 2013, 4: 982–989.
- [18] Cheng-Chih T, Chin-Feng C, Wen-Ying H, *et al.* Applications of lactobacillus rhamnosus spent culture supernatant in cosmetic antioxidation, whitening and moisture retention applications [J]. *Molecules*, 2013, 18: 14161–14171.
- [19] 王凡, 李晓清, 刘婷, 等. Application of feed additive with lactobacillus acidophilus for antioxidation: 中国, CN 201210352111 [P]. 2013-01-09.
Wang F, Li XQ, Liu T, *et al.* Application of feed additive with lactobacillus acidophilus for antioxidation: China, CN 201210352111 [P]. 2013-01-09.
- [20] Kumar M, Nagpal R, Kumar R, *et al.* Cholesterol-lowering probiotics as potential biotherapeutics for metabolic diseases [J]. *Experimental Diabetes Res*, 2012, (2012): 902–917.
- [21] 韩俊华, 盛晓甘, 董彩凤, 等. 乳酸菌降胆固醇作用研究现状 [J]. *中国乳品工业*, 2002, 30(3): 17–20.
Han JH, Sheng XG, Dong CF, *et al.* The state of the art on the mechanisms of lactic acid bacteria in reducing cholesterol [J]. *China Dairy Ind*, 2002, 30(3): 17–20.
- [22] 周凌华, 王豪, 王荫榆, 等. 功能性益生乳酸菌的研究进展 [J]. *天然产物研究与开发*, 2012, 24: 990–997.
Zhou LH, Wang H, Wang YY, *et al.* Research progress of functional probiotic lactic acid bacteria [J]. *Res Dev J Nat Prod*, 2012, 24: 990–997.
- [23] Tahri K, Grill JP, Schneider F. Bifid bacteria strain behavior toward cholesterol: coprecipitation with bile salts and assimilation [J]. *Curr Microbiol*, 1996, 33(3): 187–193.
- [24] Li GJ, Hang XM, Tan J, *et al.* A BSH volumetric activity dependent method for determination of coprecipitated cholesterol and the assimilation/coprecipitation proportion of cholesterol removal by *Lactobacillus plantarum* [J]. *Ann Microbiol*, 2009, 59(3): 469–475
- [25] Huang Y, Zheng YC. The probiotic *Lactobacillus acidophilus* reduces cholesterol absorption through the down-regulation of Niemann-Pick C1-like 1 in Caco-2 cells [J]. *British J Nutr*, 2010, 103(4): 473–478
- [26] Yoon HS, Ju JH, Kim HN, *et al.* Reduction in cholesterol absorption in Caco-2 cells through the down-regulation of Niemann-Pick C1-like 1 by the putative probiotic strains *Lactobacillus rhamnosus* BFE5264 and *Lactobacillus plantarum* NR74 from fermented foods [J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2013, 64(1): 44–52.
- [27] Agnes M, Florent L, Catherine N, *et al.* Blood-cholesterol-lowering strain of *Lactobacillus delbrueckii*: US, 20110305679 [P]. 2011-12-15.
- [28] Yu MH, Im HG, Im NK, *et al.* Anti-hypertensive activities of lactobacillus isolated from kimchi [J]. *Korean J Food Sci Technol*, 2009, 41(4): 428–434
- [29] Osuntoki AA, Omonigbehin EA, Gbeneditso SO, *et al.* Prevention of salt induced hypertension in rats by oral administration of *Lactobacillus acidophilus* Yoghurt [J]. *Nigerian Food J*, 2007, 25(1): 184–189.
- [30] 周贺霞, 马良, 张宇昊. 食品中降血压肽的研究现状及应用 [J]. *食品与发酵技术*, 2012, 48(1): 11–15.
Zhou HX, Ma L, Zhang YH. The research and application of antihypertensive peptide derived from food [J]. *J Food Ferment Technol*, 2012, 48(1): 11–15.
- [31] 赵延华, 龚吉军, 李振华, 等. ACE 抑制肽研究进展 [J]. *粮食与油脂*, 2011, (6): 44–46.
Zhao YH, Gong JJ, Li ZH, *et al.* Research progress of ACE inhibitory peptide [J]. *J Grain Oil*, 2011, (6): 44–46.
- [32] Flambard B, Frederiksberg DK. Process for preparing peptides with anti-hypertensive properties: USA, US7491507B2 [P]. 2009-02-17.
- [33] Liang XB, Sun ZZ, Zhong J, *et al.* Adverse effect of nisin resistance protein on nisin-induced expression system in *Lactococcus lactis* [J]. *Microbiol Res*, 2010(165): 458–465.
- [34] Ian MG, Angela MP, Jimmy D. Ballard, *et al.* Inhibition of bacillus anthracis spore outgrowth by Nisin [J]. *Antimicrob Agents Chemother*, 2008, 52 (12): 4281–4288.
- [35] Hyde AJ, Parisot J, McNichol A, *et al.* Nisin-induced changes in Bacillus morphology suggest a paradigm of antibiotic action [J]. *Proc Nat Acad Sci USA*, 2006, 103(52): 19896–19901.
- [36] 李瑞胜, 别怀周, 张明. 乳酸菌细菌素作用机理的研究 [J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(27): 13616–13617, 13621.
Li RS, Bie HZ, Zhang M. Overview of the mechanism of action of lactic acid bacteria bacteriocins [J]. *J Anhui Agri Sci*, 2012, 40(27): 13616–13617, 13621.
- [37] 陈果忠. 细菌素 Nisin 延长低温熟肉制品货架期的效果 [J]. *甘肃农业科技*, 2009, (10): 10–13.
Chen GZ. Effect on bacteriocin nisin to extend shelf life of the

- low-temperature of cooked meat [J]. Gansu Agri Sci Technol, 2009, (10): 10–13.
- [38] 刘国荣, 孙勇, 王成涛, 等. 乳酸菌细菌素和超高压联合处理对低温切片火腿的防腐保鲜效果[J]. 食品科学, 2012, 33(6): 256–263.
- Liu GR, Sun Y, Wang CT, *et al.* Combinatorial preservative effect of bacteriocin and high Hydrostatic pressure on refrigerated sliced vacuum-packaged cooked ham [J]. Food Sci, 2012, 33(6): 256–263.
- [39] 房春红, 刘杰, 许宏宏. 乳酸菌素的研究现状和发展趋势[J]. 中国乳品工业, 2006, 34(2): 53–55.
- Fang CH, Liu J, Xu XH. Research and development on bacteriocin produced by lactic acid bacteria [J]. China Dairy Ind, 2006, 34(2): 53–55.
- [40] Yvonne K. Common food preservative may slow, even stop tumor growth [N]. Univ Michigan News Service, 2012-10-30.
- [41] Singh VP, Pathak V, Akhilesh KV. Fermentation meat products: organoleptic quality and biogenic amines—a review [J]. Am J Food Technol, 2012, 7(5): 278–288.
- [42] 李轻舟, 王红育. 发酵肉制品研究现状及展望[J]. 食品科学, 2011, 32(3): 247–251.
- Li QZ, Wang HY. Present status and prospects of research on fermented meat products [J]. Food Sci, 2011, 32(3): 247–251.
- [43] Mcfeeters RF. Fermentation microorganisms and flavor changes in fermented foods [J]. J Food Sci, 2004, 69(1):35–37.
- [44] Smit G, Smit BA, Engels WJ. Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products [J]. FEMS Microbiol Rev, 2005, 29(3): 591–610.
- [45] Jiang Y, Guo J, Li Y, *et al.* Optimisation of lactic acid fermentation for improved vinegar flavour during rosy vinegar brewing [J]. J Sci Food Agric, 2010, 90(8): 1334–1339.
- [46] 许继春. 发酵香肠中风味物质的研究[J]. 中国食品, 2011, 23: 31–33.
- Xu JC. Fermentation sausage flavor substances [J]. China Food, 2011, 23: 31–33.
- [47] Angela M, Antonio G, Michelle W, *et al.* Lactic Acid Bacteria as a Potential Source of Enzymes for Use in Vinification[J]. Appl Environ Microbiol, 2004, 70(10): 5715–5731.
- [48] Field D, Begley M, O'Connor PM, *et al.* Bioengineered nisin derivatives with enhanced activity against both gram positive and gram negative pathogens [J]. Plos One, 2012, 7(10): 1–12.
- [49] Li SC, Zhu ZY, Gu SB, *et al.* Mutation-screening in l-(+)-lactic acid producing strains by ion implantation [J]. Indian J Microbiol, 2011, 55(2): 138–143.
- [50] Mundi A, Delcenserie V, Amiri-Jami, *et al.* Preparations of *Lactobacillus acidophilus* Strain La-5 and *Bifid bacterium longum* Strain NCC2705 Affect Virulence Gene Expression in *Campylobacter jejuni* [J]. J Food Protection, 2013, 76(10): 1740–1746.
- [51] Christina S, Herbert M, Reinhard E, *et al.* Heterologous expression of *Oenococcus oeni* malolactic enzyme in *Lactobacillus plantarum* for improved malolactic fermentation [J]. AMB Express, 2012, 2(1): 19.
- [52] 姚运宝, 杨文涛, 杨桂连, 等. 基因工程乳酸菌的应用研究进展[J]. Chin J Microecol, 2012, 24(9): 850–852.
- Yao YB, Yang WT, Yang JL, *et al.* Progress in application of recombinant genetic engineering LAB [J]. Chin J Microecol, 2012, 24(9): 850–852.
- [53] Justyna MD, Meng XF, Hans L, *et al.* Gluco-oligomers initially formed by the reuteransucrase enzyme of *Lactobacillus reuteri*121 incubated with sucrose and malto-oligosaccharides[J]. Glycobiol, 2013, 23(9): 1084–1096.
- [54] Ogbonnaya N, Florence OA. Linamarase Enzyme from *Lactobacillus delbrueckii* NRRL B-763: Purification and Some Properties of a β -Glucosidase [J]. J Mex Chem Soc, 2011, 55(4), 246–250.
- [55] Balakrishnan P, Thamarachelvan R, Erelot N, *et al.* Production of lipase enzyme from *Lactobacillus* spp. and its application in the degradation of meat [J]. World Appl Sci J, 2011, 12(10): 1798–1802.
- [56] Marion-Éliette K, Ha V, Pham TNT, *et al.* An oral preparation of *Lactobacillus acidophilus* for the treatment of uncomplicated acute watery diarrhoea in Vietnamese children: study protocol for a multicentre, randomized, placebo-controlled trial [J]. Trials, 2013, 14: 27.
- [57] Mary H, Aloysius LD, Nirmala M. Use of probiotic *Lactobacillus* preparation to prevent diarrhoea associated with antibiotics: randomized double blind placebo controlled trial [J]. BMJ, 2007, (335): 80–83.
- [58] Wang J, Liu Y, Xu Q. Transiently buffered lactobacillus preparations and use thereof: US, 20110135615 [P]. 2011-06-09
- [59] Yuan MA. Double-layer embedment process and application of *Lactobacillus acidophilus* microcapsule [J]. Food Sci, 2013, 34(4): 99–103.
- [60] 张兆俊. 微孔淀粉包埋乳酸菌功能性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2006.
- Zhang ZJ. Studies on functionality of embedding *Lactobacillus* in micro porous starch [D]. Chongqing: Southwest University, 2006.
- [61] 宋照军, 赵良, 李志刚, 等. 富硒活性乳酸菌功能性酸乳的工艺研究[J]. 食品科学, 2006, 27(9): 175–177.
- Song ZJ, Zhao L, Li ZG, *et al.* Technical study on se content of

yoghurt in se-enriched and activated lactobacillus [J]. Food Sci, 2006, 27(9): 175-177.

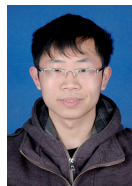
- [62] Yazdi MH, Mahdavi M, Setayesh N, *et al.* Selenium Nan particle-enriched Lactobacillus brevis causes more efficient immune responses in vivo and reduces the liver metastasis in metastatic form of mouse breast cancer [J]. DARU J Pharma Sci, 2013, 21(1):33.

- [63] 朱善良, 高伟, 陈龙. 富硒乳酸菌对小鼠组织脂质过氧化的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(20): 8621-8622, 8625.

Zhu SL, Gao W, Chen L. Effects of lactobacillus rich in selenium on tissue lipid per oxidation response [J]. J Anhui Agri Sci, 2008, 36(20): 8621-8622, 8625.

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



湛剑龙, 硕士研究生, 主要研究方向为食品微生物与生物技术。

E-mail: 429538609@qq.com



胡萍, 教授, 博士, 主要研究方向为食品微生物与生物技术。

E-mail: ls.phu@gzu.edu.cn

“功能性食品研究”专题征稿

功能性食品是指具有营养功能、感觉功能和调节生理活动功能的食品。目前已研发的功能性食品主要包括: 增强人体体质(增强免疫能力, 激活淋巴系统等)的食品; 防止疾病(高血压、糖尿病、冠心病、便秘和肿瘤等)的食品; 恢复健康(控制胆固醇、防止血小板凝集、调节造血功能等)的食品; 调节身体节律(神经中枢、神经末梢、摄取与吸收功能等)的食品和延缓衰老的食品等。由于其特殊的营养功能, 越来越得到人们的关注。

鉴于此, 本刊特别策划了“功能性食品研究”专题, 由北京大学工学院副院长、食品与生物资源工程研究所所长、中国食品科技学会功能食品分会常务副理事长兼秘书长**陈峰教授**担任专题主编, 围绕**功能性食品的营养研究、开发应用、安全质量控制**等问题展开讨论, 计划在 2014 年 6 月出版。