

乳酸杆菌表层蛋白基因结构及功能研究进展

关晓燕¹, 罗卫东², 李丽丽³, 董颖^{*1}, 顾英³

(1. 辽宁省海洋水产科学研究院, 辽宁 大连 116023; 2. 大连海洋大学 海洋与土木工程学院, 辽宁 大连 116023;

3. 辽宁医学院 食品科学与工程学院, 辽宁 锦州 121000)

摘要: 乳酸杆菌对宿主的黏附性是其发挥益生作用的基础, 而其黏附性与自身的表层蛋白密切相关。乳酸杆菌表层蛋白具有相对分子质量低、高等电点、结构和基因的多样性等特点。国内外学者对于乳酸杆菌的表层蛋白进行了深入的研究。作者从乳酸杆菌表层蛋白的基因结构和特性、和生物学功能几个方面对乳酸杆菌表层蛋白进行了综述。

关键词: 乳酸杆菌; 表层蛋白; 结构域; 基因

中图分类号: TQ 93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2015)07—0679—06

Review on Genes Structures and Functions of Surface Layer Proteins from *Lactobacillus* spp.

GUAN Xiaoyan¹, LUO Weidong², LI Lili³, DONG Ying^{*1}, GU Ying³

(1. Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China; 2. Ocean and Civil Engineering Institute, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 3. Food Science and Engineering Institute, Liaoning Medical University, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The adhesion of *Lactobacillus* to the host is a basis of its probiotic functions and depends on surface layer proteins. These proteins from *Lactobacillus* have low molecular weights, high isoelectric points, various structures and genes and other characteristics, which are different from other surface layer proteins. Herein we summarize structures, genes and biological functions of surface layer proteins from *Lactobacillus*.

Keywords: *Lactobacillus*, surface layer proteins, structural region, gene

乳酸杆菌是可以将发酵碳水化合物转化成乳酸的一群杆状的革兰氏阳性细菌, 在自然界分布广泛, 是动物和人肠道等处重要的生理性菌群, 对于维护肠道的微生态环境稳定有重要作用和意义, 而与宿主胃肠道表面的粘附和定植是发挥这些作用

的前提的基础, 乳酸杆菌的粘附作用和细胞的表层蛋白密切相关。表层蛋白, (S-layer protein) 又称 S-层蛋白, 是指存在于革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌和古细菌的细胞壁和细胞膜最外层的蛋白结构, 在熵的驱动下, 自动装配成透明的、对称的、多孔的类

收稿日期: 2014-06-21

基金项目: 辽宁省海洋与渔业厅科研项目(201301); 海洋公益项目(201305001); 辽宁省科技计划项目(2013203001)。

作者简介: 关晓燕(1983—), 女, 辽宁营口人, 工学博士, 助理研究员, 主要从事海洋微生物研究。E-mail: guanxiaoyan201@163.com

* 通信作者: 董颖(1971—), 女, 辽宁大连人, 副研究员, 主要从事海水养殖研究。E-mail: ebuma@sina.com

似网格状的次晶格矩阵结构^[1]。细菌表层蛋白相对分子质量一般为 $4 \times 10^4 \sim 2 \times 10^5$, 等电点为 4~6, 呈酸性^[2], 但乳酸杆菌的表层蛋白除外。乳酸杆菌的表层蛋白是目前发现的最小的一类表层蛋白, 相对分子质量仅为 $2.5 \times 10^3 \sim 7.1 \times 10^3$, 并且该蛋白为碱性蛋白, 其等电点在 9.4~10.4 之间^[3]。

目前具有表层蛋白结构的乳酸菌都为乳酸杆菌, 并不是所有乳酸杆菌都有表层蛋白, 已经证明具有表层蛋白的乳酸杆菌有短小乳酸杆菌 (*Lactobacillus brevis*)、布氏乳酸杆菌 (*Lactobacillus buchneri*)、瑞士乳酸杆菌 (*Lactobacillus helveticus*)、希氏乳酸杆菌 (*Lactobacillus hilgardii*)、嗜酸乳杆菌 (*L. Acidophilus*)、食淀粉乳酸杆菌 (*Lactobacillus amylovorus*)、卷曲乳酸杆菌 (*Lactobacillus crispatus*)、鸡乳酸杆菌 (*Lactobacillus gallinarum*)、解淀粉乳酸杆菌 (*Lactobacillus amylolyticus*)、马乳酒样乳酸杆菌 (*Lactobacillus kefirifaciens*)、巴士乳酸杆菌 (*Lactobacillus pasteurii*)、高加索酸奶乳酸杆菌和类高加索酸奶乳酸杆菌等。上述乳酸杆菌的全部或部分基因组中携带表层蛋白基因^[4]。近年来, 关于乳酸杆菌表层蛋白的研究集中在介导乳酸杆菌对细胞的黏附性、免疫调节、异源蛋白表达及表面展示技术等方面。作者就乳酸杆菌表层蛋白的特性、基因表达、结构、以及生物学功能等作一概述。

1 乳酸菌表层蛋白基因

目前很多的研究中, 已经对一些乳酸杆菌的表层蛋白基因进行了克隆和测序, 结果显示同一菌株存在多个表层蛋白基因是常见的现象, 嗜酸乳杆菌具有 slpA 和 slpB 2 个基因^[5], 短乳杆菌具有 slpB、slpC 和 slpD 3 个基因^[6]。乳酸杆菌的多个表层蛋白基因在染色体中的排列顺序具有菌株依赖性, 在短乳杆菌 ATCC 14869 中, slpB 和 slpC 基因是相邻的, slpD 却相隔较远^[7], 同样情况也出现在卷曲乳杆菌 K313 中^[8], 卷曲乳杆菌 K313 含有 slpA、slpB 和 slpC 3 个表层蛋白基因, 其中 slpB 和 slpC 相邻排列, 而 slpA 却相隔较远, 正常生长条件下, slpA 沉默, slpB 表达量却远远高于 slpC 基因的表达量。这也表明同一菌株中多个表层蛋白基因不能同时表达。目前只有短乳杆菌 ATCC14869 的 slpB 和 slpD^[7], 卷曲乳杆菌 K313 的 slpB 和 slpC 基因, 嗜酸乳杆菌的 NCFM 的 slpA 和 slpA 的基因敲除突变体 slpX

(或者是 slpB 和 slpX) 能同时表达^[9-10]。

乳酸杆菌表层蛋白是菌体中含量较高的蛋白质, 占菌体总蛋白质的 10%~15%, 说明该蛋白基因表达量比较高。乳酸菌表层蛋白基因的高效率表达与其多重启动子结构有关, 在短小乳酸杆菌 ATCC8287 的 slpA、短乳杆菌 ATCC14869 的 slpB 和嗜酸乳杆菌 ATCC4356 的 slpA 基因的上游区存两个启动子^[11]。这些启动子具有较高的活性, 起到增强和调节基因表达的作用。乳酸杆菌表层蛋白基因的 mRNA 分子的半衰期较长, 短小乳酸杆菌 ATCC8287 和嗜酸乳杆菌 ATCC4356 的表层蛋白转录基因的半衰期分别为 14 min 和 15 min^[12-13], 而一般原核生物的 mRNA 的半衰期为 2~3 min^[14]。乳酸杆菌表层蛋白的 mRNA 分子 5' 端长的不可翻译区形成了一个稳定的二级结构, 可保护 mRNA 分子降解, 从而促进了高效表达。此外, 表层蛋白高效表达还与信号肽引导的高输出率、密码子的偏好性等有关^[15]。

乳酸杆菌的表层蛋白基因表达与菌株所在的生态环境有关, 短乳杆菌 ATCC 14869 的 slpD 的表达与培养基中含氧量及成长阶段有关^[7], 在氧气充足培养基和指数增长期才表达。现在分子水平上, 关于乳酸菌表层蛋白的转录和转录调节机制探索较少。

2 乳酸杆菌表层蛋白结构和特性

乳酸杆菌表层蛋白是由相同的蛋白或糖蛋白亚基构成^[16]。许多革兰氏阳性菌中表层蛋白具有糖蛋白亚基, 在乳酸杆菌的表层蛋白中却少见。以前只有布氏乳酸杆菌中表层蛋白中发现糖蛋白^[17], 近年来在高加索酸奶乳酸杆菌和瑞士乳酸杆菌中发现了糖基化的表层蛋白^[18-19]。乳酸杆菌表层蛋白亚基的氨基酸组成相近, 疏水性氨基酸和碱性氨基酸占主体, 含硫氨基酸的含量较低, 因此, 乳酸杆菌表层蛋白呈碱性, 且其中带正电荷的氨基酸含量高于带负电荷的氨基酸含量, 这使得乳酸杆菌表层蛋白的等电点较高, 分布在 9.4~10.4 之间, 成为乳酸杆菌表层蛋白独有的特性^[20-21]。

尽管不同乳酸杆菌表层蛋白的氨基酸组成相似, 但其在结构上具有多样性。乳酸杆菌表层蛋白的一级结构相似性极低, 即氨基酸排列顺序存在较大差异。不同乳酸杆菌表层蛋白的氨基酸排列顺序

不同,甚至同种乳酸杆菌的不同菌株的表层蛋白的氨基酸排列顺序也不相同,这有利于不同乳酸杆菌共存于同一环境。通过圆二色谱分析乳酸杆菌的二级结构得出乳酸杆菌表层蛋白的20%的氨基酸构成 α -螺旋、40%的构成 β -折叠片、5%~54%构成无规则卷曲^[22]。高加索酸奶乳酸杆菌和短乳酸杆菌的表层蛋白中 α -螺旋含量为0~21%, β -折叠片为23%~50%, β -转角和无规则卷曲含量为37%~63%^[23]。但Verbelen等^[24]用原子力显微镜观察卷曲乳杆菌的表层蛋白CbsA及其C-末端和N-末端片段,发现在CbsA的N-末端至少有4个大小不一的 α -螺旋结构却不具有 β -折叠片。这表明乳酸杆菌的表层蛋白的二级结构也具有多样性。乳酸杆菌表层蛋白的相对分子质量较小,在溶液易形成二维的晶格而不是三维的晶体。因此,目前原子分辨率水平上的乳酸杆菌表层蛋白的三级结构尚不可用^[16]。

3 乳酸杆菌表层蛋白的结构域

乳酸杆菌的表层蛋白具有细胞壁连接结构域和自我组装结构域。乳酸杆菌表层蛋白的细胞壁连接结构域与表层蛋白连接在乳酸杆菌细胞壁表面的糖链结合的肽段有关,其连接作用与一个特殊的细胞壁多聚体亚单位有关。在嗜酸乳酸杆菌家族中,表层蛋白的细胞壁连接结构域为表层蛋白C-末端保守区域,该区域等电点高、富含携带正电荷的赖氨酸,通过静电作用与细胞壁中带负电荷的磷壁酸结合^[25]。而在短乳酸杆菌ATCC 8287中,表层蛋白的N-末端却相对保守,等电点高,与细胞壁上的多糖通过氢键相连^[26]。

通过电镜观察乳酸杆菌的表层蛋白结构发现,表层蛋白的自我组装区域位于表层蛋白的中心或N-末端^[27]。嗜酸乳杆菌的SA蛋白和卷曲乳杆菌的CbsA蛋白的N-末端的高度可变区域负责表层蛋白单体自我组装成规则晶格结构^[28-29]。SA蛋白的自我组装结构域是由12 000和18 000的两个子域通过一个表面暴露的环相连构成的,其保守区域和可预测区域形成的二级结构是形成规则晶格结构的关键^[30]。CbsA自我组装结构域中富含缬氨酸侧链对表层蛋白形成特定晶格结构非常重要,可能指导特定聚合物的形成^[31]。无论在体内还是体外,乳酸杆菌表层蛋白都可自我组装成规则的晶格结构,为纳米材料开发提供新的选择。

4 乳酸杆菌表层蛋白的生物学功能及应用

4.1 粘附作用

乳酸杆菌表层蛋白与乳酸杆菌黏附性有关,是乳酸杆菌粘附不同宿主的中介物。在致病菌中,表层蛋白通过粘附、抗原变异和共聚等多种机制产生致病性,但乳酸杆菌是益生菌,表层蛋白是其益生作用因子,介导乳酸杆菌与胃肠道等组织的黏附力,抑制大肠杆菌、沙门氏菌等病原菌对肠道粘附。卷曲乳酸杆菌JCM 5810对鸡肠道的胶原蛋白具有粘附作用,在体外,该菌株也可对鸡肠道的胶原蛋白进行粘附。而用盐酸胍去除卷曲乳酸杆菌JCM 5810细胞外的表层蛋白,无有表层蛋白的卷曲乳酸杆菌JCM 5810细胞却对鸡肠道的胶原蛋白无粘附作用。这说明卷曲乳酸杆菌JCM 5810的黏附性与其表层蛋白密切相关^[32]。张英春等^[33]研究发现副干酪乳酸杆菌M5-1的表层蛋白参与了该菌株抑制宋内志贺氏菌对HT-29细胞的粘附,并且副干酪乳酸杆菌M5-1的表层蛋白也能抑制宋内志贺氏菌对HT-29细胞的粘附。并不是所有的乳酸杆菌的表层蛋白都与粘附性有关,嗜酸乳杆菌BG2FO4的表层蛋白不参与乳酸杆菌的粘附和对致病菌的粘附性^[34]。这说明乳酸杆菌的表层蛋白在功能上也存在多样性。

4.2 异源蛋白质的表达载体或分泌性表达载体

乳酸杆菌表层蛋白基因具有多重启动子结构,并且所乳酸杆菌的表层蛋白N-末端都有由25~30个氨基酸组成的信号肽^[35],因此表层蛋白质的功能主要集中在利用其启动子或信号肽序列生产胞内或胞外异源蛋白质。应用比较广泛的是短小乳酸杆菌slpA基因的启动子和信号肽。短小乳酸杆菌的slpA基因的启动子用于葡萄糖苷酸酶在乳球菌中高效表达^[36]。利用短小乳酸杆菌ATCC8287的表层蛋白SlpA的信号肽使 β -内酰胺酶在乳球菌中分泌表达,其分泌量高达80 mg/L^[37]。但乳酸杆菌表层蛋白基因表达系统具有宿主选择性。嗜酸乳杆菌ATCC4356的表层蛋白的启动子在干酪乳酸杆菌的转录活性较高但在瑞特乳酸杆菌中的转录效率则较低^[28-38]。这说明表层蛋白基因表达分泌系统也存在多样性,并且表达效率与宿主有关。

4.3 免疫调节作用

目前关于乳酸杆菌的表层蛋白的免疫调节作

用主要为诱导免疫应答和作为抗原疫苗载体。通过基因敲除技术研究发现,嗜酸乳杆菌 NCFM 的 SlpA 蛋白能与人的未成熟的树突状细胞的特异性抗原受体结合,诱导 IL-10 的生成,并抑制 IL-12、p70 的表达参与免疫应答,起到免疫调节作用^[39]。乳酸杆菌表层蛋白是异源蛋白的高效表达载体和分泌表达载体。因此,乳酸杆菌表层蛋白可作为外源抗原的运输载体,通过基因工程技术将抗原蛋白表达于细胞表面,主要应用于口服抗原疫苗开发。乳酸杆菌能在胃肠道定植,因此乳酸杆菌的表层蛋白具有耐胆汁、耐胃酸等特点。这能很好地克服口服抗原被胆汁、胃酸和胃蛋白酶降解的缺点,有利于口服抗原简便、安全、高效地通过胃肠道,从而发挥免疫功能。特别是能够携带由混合蛋白组成的表层蛋白的乳酸杆菌菌株具有作为活的黏膜疫苗的潜力。利用短小乳酸杆菌 KCTC3102 和 ATCC8287 的表层蛋白

与上皮细胞结合特性,将纯的免疫球蛋白结合融合蛋白与小牛肠道表面的靶向抗体结合,可以防止新生牛犊腹泻^[40]。

5 展 望

人们已经利用生物、物理、化学以及计算机模型方法对乳酸菌表层蛋白的结构、基因表达机制和应用进行分析,发现乳酸杆菌表层蛋白具有多重启动子和信号肽的特点,是异源蛋白表达和展示载体,也是抗原疫苗良好的运输载体。并且乳酸杆菌的表层蛋白乳酸杆菌的粘附性密切相关,可作为粘附素。现在虽对乳酸杆菌表层蛋白有一定的了解,但还有很多作用机制及机理尚待研究。如乳酸杆菌表层蛋白是否只是通过粘附和竞争抑制方式来抑制病原菌,以便全面了解并开发乳酸杆菌表层蛋白的潜能。

参考文献:

- [1] 朱晓. 乳酸菌表层蛋白的性质、结构与功能[D]. 无锡:江南大学,2012.
- [2] 贾国东. 嗜酸乳杆菌 S 层蛋白抗病毒感染特性研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2013.
- [3] 朱晓,胡斌,李景艳,等. 乳酸菌表层蛋白的分离及其结构和性质[J]. 食品与发酵工业,2011,10:19-24.
ZHU Xiao,HU Bin,LI Jingyan,et al. Surface layer proteins of lactobacillus;isolation,structure and properties [J]. **Food and Fermentation Industries**,2011,10:19-24.(in Chinese)
- [4] Hynonen U,Palva A. Lactobacillus surface layer proteins;structure,function and applications [J]. **Applied Microbiology and Biotechnology**,2013,97(12):5225-5243.
- [5] Boot H J,Kolen C P,Pouwels P H. Identification,cloning,and nucleotide sequence of a silent S-layer protein gene of *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 which has extensive similarity with the S-layer protein gene of this species [J]. **Journal of Bacteriology**,1995,177(24):7222-7230.
- [6] Rush C M,Mercenier A,Pozzi G. Expression of Vaccine Antigens in *Lactobacillus*[M]. Berlin:Springer Berlin Heidelberg,1997.
- [7] Jakava-Viljanen M,Åvall-Jääskeläinen S,Messner P,et al. Isolation of three new surface layer protein genes (slp) from *Lactobacillus brevis* ATCC 14869 and characterization of the change in their expression under aerated and anaerobic conditions [J]. **Journal of Bacteriology**,2002,184(24):6786-6795.
- [8] Kahala M,Savijoki K,Palva A. In vivo expression of the *Lactobacillus brevis* S-layer gene [J]. **Journal of Bacteriology**,1997,179(1):284-286.
- [9] Sun Z,Kong J,Hu S,et al. Characterization of a S-layer protein from *Lactobacillus crispatus* K313 and the domains responsible for binding to cell wall and adherence to collagen[J]. **Applied Microbiology and Biotechnology**,2013,97(5):1941-1952.
- [10] Goh Y J,Azcárate-Peril M A,O'Flaherty S,et al. Development and application of a upp-based counterselective gene replacement system for the study of the S-layer protein SlpX of *Lactobacillus acidophilus* NCFM [J]. **Applied and Environmental Microbiology**,2009,75(10):3093-3105.
- [11] Hynönen U,Åvall-Jääskeläinen S,Palva A. Characterization and separate activities of the two promoters of the *Lactobacillus brevis* S-layer protein gene[J]. **Applied Microbiology and Biotechnology**,2010,87(2):657-668.
- [12] Boot H J,Kolen C P,Andreadaki F J,et al. The *Lactobacillus acidophilus* S-layer protein gene expression site comprises two consensus promoter sequences,one of which directs transcription of stable mRNA[J]. **Journal of Bacteriology**,1996,178(18):5388-5394.

- [13] Ehretsmann C P, Carpousis A J, Krisch H M. mRNA degradation in procaryotes [J]. **The FASEB Journal**, 1992, 6 (13): 3186-3192.
- [14] 李鹏成. 嗜酸乳酸杆菌 S- 层蛋白拮抗肠道病原菌粘附或入侵宿主细胞机制的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [15] Peter H. Pouwels, Jack A.M. Leunissen. Divergence in codon usage of *Lactobacillus* species [J]. **Nucleic acids Research**, 1994, 22(6): 929-936.
- [16] 李宗军, 杨秀华, 刘元元, 等. 乳酸菌 S- 层蛋白的多样性及其研究方法[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 6: 721-726.
LI Zongjun, YANG Xiuhua, LIU Yuanyuan, et al. Heterogeneity of putative surface layer proteins in lactobacilli and its research methods[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2009, 6: 721-726. (in Chinese)
- [17] Messner P, Steiner K, Zarschler K, et al. S-layer nanoglycobiology of bacteria [J]. **Carbohydrate Research**, 2008, 343 (12): 1934-1951.
- [18] Mobili P, de los Angeles Serradell M, Trejo S A, et al. Heterogeneity of S-layer proteins from aggregating and non-aggregating *Lactobacillus kefir* strains[J]. **Antonie van Leeuwenhoek**, 2009, 95(4): 363-372.
- [19] Wasko A, Polak-Berecka M, Kuzdraliński A, et al. Variability of S-layer proteins in *Lactobacillus helveticus* strains [J]. **Anaerobe**, 2014, 25: 53-60.
- [20] 杨秀华, 王远亮, 肖荣, 等. 乳酸菌 S- 层蛋白的功能特性及在微生态制剂中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2008, 11: 124-130.
YANG Xiuhua, WANG Yuanliang, XIAO Rong, et al. The function of lactobacillus surface layer proteins and its application in microecological agent[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2008, 11: 124 -130. (in Chinese)
- [21] 王凡, 李晓清, 刘婷. 乳酸杆菌 S- 层蛋白研究进展[J]. 中国饲料, 2012, 19: 34-37.
WANG Fan, LI Xiaoqing, LIU Ting. Research advance of lactobacillus S-layer protein [J]. **China Feed**, 2012, 19: 34-37. (in Chinese)
- [22] 张静飞, 万翠香, 曾明, 等. 乳杆菌表面蛋白的研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2009, 1: 177-182.
ZHANG Jingfei, WAN Cuifang, ZENG Ming, et al. Research progress in the surface protein of lactobacilli [J]. **Natural Product Research and Development**, 2009, 1: 177-182. (in Chinese)
- [23] Mobili P, Londero A, Maria T M R, et al. Characterization of S-layer proteins of *Lactobacillus* by FTIR spectroscopy and differential scanning calorimetry[J]. **Vibrational Spectroscopy**, 2009, 50(1): 68-77.
- [24] Verbelen C, Antikainen J, Korhonen T K, et al. Exploring the molecular forces within and between CbsA S-layer proteins using single molecule force spectroscopy[J]. **Ultramicroscopy**, 2007, 107(10): 1004-1011.
- [25] Hu S, Kong J, Sun Z, et al. Heterologous protein display on the cell surface of lactic acid bacteria mediated by the S-layer protein [J]. **Microbe Cell Fact**, 2011, 10: 86.
- [26] Åvall-Jääskeläinen S, Hynonen U, Ilk N, et al. Identification and characterization of domains responsible for self-assembly and cell wall binding of the surface layer protein of *Lactobacillus brevis* ATCC 8287[J]. **BMC Microbiology**, 2008, 8(1): 165.
- [27] 张伟, 杨金彩, 周栋, 等. 乳酸杆菌表层蛋白生物学功能研究进展[C]. 苏州: 中国畜牧兽医学会——第三届中国兽医临床大会论文集, 2012.
- [28] Åvall-Jääskeläinen S, Palva A. *Lactobacillus* surface layers and their applications [J]. **FEMS Microbiology Reviews**, 2005, 29 (3): 511-529.
- [29] Smit E, Oling F, Demel R, et al. The S-layer Protein of *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356: Identification and Characterisation of Domains Responsible for S-protein Assembly and Cell Wall Binding [J]. **Journal of Molecular Biology**, 2001, 305 (2): 245-257.
- [30] Sillanpää J, Martí nez B, Antikainen J, et al. Characterization of the collagen-binding S-layer protein CbsA of *Lactobacillus crispatus*[J]. **Journal of Bacteriology**, 2000, 182(22): 6440-6450.
- [31] Smit E, Jager D, Martinez B, et al. Structural and functional analysis of the S-layer protein crystallisation domain of *Lactobacillus acidophilus* ATCC4356: Evidence for protein-protein interaction of two sub domains [J]. **Journal of Molecular Biology**, 2002, 324(5): 953-964.
- [32] Sillanpää J, Martí nez B, Antikainen J, et al. Characterization of the collagen-binding S-layer protein CbsA of *Lactobacillus crispatus*[J]. **Journal of Bacteriology**, 2000, 182(22): 6440-6450.
- [33] 张英春, 马微, 易华西, 等. 副干酪乳杆菌 M5-L 抑制宋内志贺氏菌黏附作用影响因素的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33

- (24):99-102.
- ZHANG Yingchun, MA Wei, YI Huaxi, et al. Factors involved in *L. paracasei* subsp. *paracasei* M5-L inhibition of the *Shigella sonnei* adhesion[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2012, 33(24):99-102. (in Chinese)
- [34] Greene J D, Klaenhammer T R. Factors involved in adherence of lactobacilli to human Caco-2 cells [J]. **Applied and Environmental Microbiology**, 1994, 60(12):4487-4494.
- [35] 卢千慧, 张英春, 张兰威. 乳酸杆菌 S- 层蛋白性质及其益生功能研究进展[J]. 微生物学通报, 2014, 1:122-129.
- LU Qianhui, ZHANG Yingchun, ZHANG Lanwei. Advances in S-layer protein properties of *Lactobacillus* and its probiotic functions[J]. **Microbiology China**, 2014, 1:122-129. (in Chinese)
- [36] Savijoki K, Kahala M, Palva A. High level heterologous protein production in *Lactococcus* and *Lactobacillus* using a new secretion system based on the *Lactobacillus brevis* S-layer signals[J]. **Gene**, 1997, 186(2):255-262.
- [37] Kahala M, Palva A. The expression signals of the *Lactobacillus brevis* slpA gene direct efficient heterologous protein production in lactic acid bacteria[J]. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 1999, 51(1):71-78.
- [38] Penders J, Thijs C, Mommers M, et al. Intestinal lactobacilli and the DC-SIGN gene for their recognition by dendritic cells play a role in the aetiology of allergic manifestations[J]. **Microbiology**, 2010, 156(11):3298-3305.
- [39] Lizier M, Sarra P G, Cauda R, et al. Comparison of expression vectors in *Lactobacillus reuteri* strains [J]. **FEMS Microbiology Letters**, 2010, 308(1):8-15.
- [40] Khang YH, Park HY, Jeong YS, et al. Recombinant S-layer proteins of *Lactobacillus brevis* mediating antibody adhesion to calf intestine alleviated neonatal diarrhea syndrome[J]. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, 2009, 19(5):511-519.

会 议 信 息

会议名称(中文): 2015 年全国作物生产与粮食安全博士后学术论坛

所属学科: 作物学及林木育种、生物学、农林植物保护学、农作物、林木果实产品贮藏、保鲜与安全

开始日期: 2015-08-01

所在城市: 江西省 南昌市

主办单位: 全国博士后管委会办公室 中国博士后科学基金会 江西省人力资源和社会保障厅

承办单位: 江西农业大学

联系人: 谢国强

联系电话: 0791-83828130;13755797909

传真: 0791-83813450

E-MAIL: guoqingxie@163.com

会议网站: <http://jj.chinapostdoctor.org.cn/Xslt/szdwlt.action?szdwid=10865&forumid=beec167c-9c9c-43bf-be34-ec7954b80e9c>

会议背景介绍:

根据 2015 年中国博士后学术论坛的总体安排, 由中国博士后管委会办公室、中国博士后科学基金会和江西省人力资源和社会保障厅主办、江西农业大学承办的“2015 年全国作物生产与粮食安全博士后学术论坛”拟定于 2015 年 8 月在江西南昌举行。论坛组委会诚邀作物生产相关学科领域的各博士后科研流动站、工作站设站单位的广大专家学者、博士后参会。

本次论坛将邀请知名院士和专家、学者做特邀报告, 介绍相关领域的最新进展和趋势。采用专题报告和交流研讨的方式, 围绕作物生产与粮食安全领域的热点问题进行学术交流, 展现博士后研究人员在该领域的最新研究成果。