

我国传统发酵蔬菜中乳酸菌多样性的研究进展

叶陵¹, 李勇², 王蓉蓉¹, 刘成国¹, 蒋立文¹, 邓放明¹, 周辉^{1,*}

(1.湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南省食品科学与生物技术重点实验室, 湖南长沙 410128;

2.张家界灵洁绿色食品有限公司, 湖南张家界 427000)

摘要: 对我国传统发酵蔬菜中乳酸菌生物多样性的研究进行综述, 分析了榨菜、大头菜、东北酸菜、发酵辣椒等发酵蔬菜中乳酸菌的优势菌群, 指出了目前传统发酵蔬菜中乳酸菌多样性研究的不足, 为进一步阐明乳酸菌在传统发酵蔬菜风味形成中的作用机理提供一定的参考。

关键词: 传统发酵蔬菜; 乳酸菌; 多样性

Progress in Research on the Diversity of Lactic Acid Bacteria in Traditional Chinese Fermented Vegetables

YE Ling¹, LI Yong², WANG Rongrong¹, LIU Chengguo¹, JIANG Liwen¹, DENG Fangming¹, ZHOU Hui^{1,*}

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, College of Food Science and Technology,

Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Zhangjiajie Lingjie Green Food Co. Ltd., Zhangjiajie 427000, China)

Abstract: This paper reviews recent progress in the research on the diversity of lactic acid bacteria in traditional fermented vegetables in China. The predominant lactic acid bacteria in pickled mustard tuber, fermented kohlrabi, northeast sauerkraut, and fermented pepper are analyzed, and problems existing in this field of research are also discussed. It is hoped that this review will provide valuable data for elucidating the role of lactic acid bacteria in flavor formation in traditional fermented vegetables.

Keywords: traditional fermented vegetables; lactic acid bacteria; diversity

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201815043

中图分类号: TS201.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2018)15-0296-06

引文格式:

叶陵, 李勇, 王蓉蓉, 等. 我国传统发酵蔬菜中乳酸菌多样性的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 296-301.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201815043. <http://www.spkx.net.cn>

YE Ling, LI Yong, WANG Rongrong, et al. Progress in research on the diversity of lactic acid bacteria in traditional Chinese fermented vegetables[J]. Food Science, 2018, 39(15): 296-301. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201815043. <http://www.spkx.net.cn>

2015年, 我国的蔬菜种植面积达到2 100余万hm², 蔬菜产量达到7.69亿 t, 蔬菜的种植面积与产量均为世界第一。发酵作为蔬菜的一种最简单和方便的保存方法^[1], 自公元前3世纪就已有发酵蔬菜的生产, 各种白菜、卷心菜、甜菜、萝卜、黄瓜、芹菜、青番茄、辣椒、青豆、菜豆等都可用于生产发酵蔬菜。我国是蔬菜生产大国, 一年四季均有丰富的蔬菜原料。在我国不同地域, 有着丰富多样的传统发酵蔬菜, 代表性的发酵蔬菜有四川泡菜、榨菜、东北酸菜、湖南剁辣椒、发酵芥菜等(表1), 这些发酵蔬菜因其独特的色、香、味越来越受到广大消费者的喜爱, 已经成为人们日常生活中佐餐的必需品。

表1 我国主要的传统发酵蔬菜

Table 1 Major traditional fermented vegetables in China

种类	代表	原料	主要产地
榨菜	涪陵榨菜	茎用芥菜	四川、浙江
大头菜	诸葛菜	根用芥菜	四川、湖北
酸菜	东北酸菜	大白菜	黑龙江、辽宁
发酵辣椒	剁辣椒	线椒、朝天椒等	湖南、贵州
泡菜	四川泡菜	白菜、卷心菜、萝卜等	四川、贵州
藠头	湘阴藠头	薹白亚种的地下鳞茎	湖南、江西

在蔬菜自然发酵过程中, 蔬菜表面附着的乳酸菌利用其生成的代谢产物以及形成的低氧环境成为发酵过程中的优势菌。同时乳酸菌发酵产生的醇、醛、酮和有机

收稿日期: 2017-04-05

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31571811); 国家自然科学基金青年科学基金项目(31601525);

湖南省教育厅科学研究项目(16K043)

第一作者简介: 叶陵(1993—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品微生物学。E-mail: 770358997@qq.com

*通信作者简介: 周辉(1980—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品微生物学。E-mail: paradise917@163.com

酸等物质,赋予了发酵蔬菜柔和的酸味和香气。因此,发酵蔬菜品质的形成与乳酸菌在发酵过程中的生长代谢作用有着重要的关系。对传统发酵蔬菜中乳酸菌多样性的研究,对于开发利用我国传统发酵食品中蕴含的微生物资源,阐明发酵蔬菜品质的形成机理,进而改进发酵蔬菜的生产工艺有着重要的现实意义。截至目前,国内运用不同的分析手段,对我国不同传统发酵蔬菜中的乳酸菌多样性进行了研究。本文对我国代表性传统发酵蔬菜中乳酸菌多样性的研究结果进行了总结,指出目前研究过程中所存在的问题,同时对未来的研究方向进行了展望。

1 发酵蔬菜中的乳酸菌多样性

乳酸菌对于发酵蔬菜的品质形成发挥着多重作用,如增进营养价值、改善食品风味、抑制杂菌生长等。在蔬菜的起始发酵和主发酵阶段,占优势的乳酸菌主要有植物乳杆菌、短乳杆菌、膜状明串珠菌、戊糖片球菌等^[2-3](表2)。

表2 我国传统发酵蔬菜中的乳酸菌 Table 2 LAB in traditional fermented vegetables in China			
发酵蔬菜	来源地	分离菌株	参考文献
榨菜	四川	植物乳杆菌、耐盐乳杆菌、发酵乳杆菌、粪链球菌、乳酸片球菌、戊糖片球菌、嗜盐片球菌	[4]
	重庆	短乳杆菌、柠檬明串珠菌、乳酸乳球菌乳酸亚种	[5]
	浙江	清酒乳杆菌、乳酸杆菌、弯曲乳杆菌、干酪乳杆菌、泡菜明串珠菌、仁海明串珠菌、冷明串珠菌、阿根廷片球菌、希腊魏斯氏菌、植物乳杆菌	[6-7]
	湖北	植物乳杆菌、耐酸乳杆菌、短乳杆菌	[8]
大头菜	重庆	植物乳杆菌、发酵乳杆菌、乳酸乳杆菌、嗜盐乳杆菌、乳链球菌、肠膜明串珠菌、粪链球菌	[9]
	内蒙古	植物乳杆菌、短乳杆菌、肠膜明串珠菌、乳酸片球菌、鼠李糖乳杆菌、耐酸乳杆菌、唾液链球菌、嗜热链球菌、植物乳球菌、粪肠球菌	[10-11]
	辽宁	植物乳杆菌、短乳杆菌、肠膜明串珠菌、清酒乳杆菌、弯曲乳杆菌、罗伊氏乳杆菌、发酵乳杆菌、棒状乳杆菌、唾液链球菌、戊糖乳杆菌、干酪乳杆菌、岩川乳杆菌、臭味乳杆菌、哈米斯乳杆菌	[12-14]
东北酸菜	黑龙江	植物乳杆菌、短乳杆菌、罗伊氏乳杆菌、肠膜明串珠菌、清酒乳杆菌、弯曲乳杆菌、哈尔滨乳杆菌、副干酪乳杆菌、干酪乳杆菌、粪肠球菌、乳酸乳球菌	[15-20]
	湖南	植物乳杆菌、短乳杆菌、戊糖片球菌	[21-23]
发酵辣椒	贵州	植物乳杆菌、戊糖片球菌	[24-25]
	安徽	植物乳杆菌、短乳杆菌、布氏乳杆菌、巴氏葡萄球菌、香肠乳杆菌、消化乳杆菌、纳木乳杆菌、耐久肠球菌、戊糖片球菌	[26]
泡菜		干酪乳杆菌干酪亚种、棒状乳杆菌棒状亚种、嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌、瑞士乳杆菌、德氏乳杆菌保加利亚亚种、唾液链球菌水杨素亚种、戊糖乳杆菌假植物亚种、草乳杆菌、绿色乳杆菌、肠乳杆菌、玉米乳杆菌、干酪乳杆菌假植物亚种、弯曲乳杆菌、棒状乳杆菌、耐盐乳杆菌、食品乳杆菌、干酪乳杆菌、清酒乳杆菌、布氏乳杆菌、发酵乳杆菌、副短乳杆菌、肠膜明串珠菌、耐乙醇片球菌、小片球菌、戊糖片球菌、类植物乳杆菌、乳酸乳球菌乳酸亚种、粪肠球菌、屎肠球菌、粪链球菌	[27-29]

1.1 榨菜

榨菜是中国特产,以其鲜、香、嫩、脆的特点久享盛誉,是世界三大名腌菜之一。榨菜原料青菜头在植

物学上属十字花科,芸薹属,芥菜种茎瘤芥变种,榨菜以其酸鲜纯正、脆嫩爽口、解腻开胃、促消化增进食欲而受到消费者的普遍欢迎^[30]。榨菜的加工一般要经过修整、脱水、二次盐腌、淘洗、装坛后熟发酵等工序,其中腌制工艺的重要环节是后熟过程,该阶段是微生物发酵和榨菜风味形成的重要阶段。杨珺等^[4]采用常规微生物培养方法,对四川榨菜后熟阶段微生物区系进行研究,分离得到的乳酸菌主要为植物乳杆菌、发酵乳杆菌、乳酸片球菌、戊糖片球菌等,在整个后熟阶段,细菌和酵母数量呈现先上升后稳定的现象,说明乳酸菌和酵母菌的共同作用促成了榨菜香气的形成。李正国等^[5]利用传统分离培养方法结合基于16S rRNA作为分子标记的变性梯度凝胶电泳(denaturing gradient gel electrophoresis, DGGE),分析了涪陵榨菜腌制过程中不同时期细菌多样性。两种方法的研究结果表明优势菌群是乳杆菌属、明串珠菌属、乳球菌属。利用非培养方法获得了较多不可培养细菌的信息,但也发现一些嗜冷杆菌出现在榨菜腌制的中后期,可能是腌制加工过程中出现了污染所致。燕平梅等^[6]利用聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)-DGGE的方法,对榨菜发酵过程中乳酸菌的多样性进行研究,结果表明榨菜中含有的乳酸菌主要是片球菌属乳杆菌属。

目前发酵型榨菜几乎都采用传统的自然高盐腌渍方法,制作工艺粗放,榨菜产品含盐量高、品质不稳定。翁佩芳等^[7]通过构建16S rDNA克隆文库,对低盐腌制榨菜中细菌多样性进行研究,发现乳酸菌主要来自乳杆菌属、明串珠菌属、魏斯氏菌属,测序结果分析表明存在的乳酸菌菌种多达15种。结果也发现在不同盐浓度腌制条件下,起始阶段的优势菌具有一定的差异性,在较高盐浓度腌制条件下,乳酸菌的种类和数量相对较少。

1.2 大头菜

大头菜又称芜菁、芥辣、芥菜疙瘩,疙瘩菜是芥菜的一个变种,为根用芥菜,腌制后具有独特风味。大头菜在我国有着悠久的种植和加工历史,早在北魏时期,贾思勰就在《齐民要术》中对大头菜的腌制方法进行了总结。

目前大头菜的生产方式大都采用传统的自然发酵,其缺点是工艺落后、乳酸发酵缓慢、发酵周期长、酸味弱。因此对大头菜自然发酵过程中功能乳酸菌进行挖掘,应用于大头菜的接种发酵,成为改进大头菜生产方式、提高产品品质的重要途径。近年来对大头菜自然发酵过程中乳酸菌的多样性也进行了多项研究,并对分离乳酸菌的发酵性能进行了评价。杨雪等^[8]采用常规分离鉴定方法,从自然发酵的大头菜中分离出植物乳杆菌、耐酸乳杆菌、短乳杆菌,其中植物乳杆菌发酵风味较好,具有较强的产酸能力,具有应用于纯种发酵生产大头菜

的潜力。吴希茜^[9]同样采用常规分离鉴定方法,从自然发酵的腌制大头菜中分离出植物乳杆菌、发酵乳杆菌、乳酸乳杆菌、嗜盐乳杆菌、乳链球菌、肠膜明串珠菌等乳酸菌。将肠膜明串珠菌、植物乳杆菌、乳酸乳杆菌3种菌以3:1:1组成发酵剂,接种大头菜进行纯种发酵时,发酵40 d时可实现大头菜风味、香味、滋味等感官分析指标达到最佳状态^[31]。

1.3 东北酸菜

酸菜是我国东北、内蒙古等地区冬、春季的主要副食品,以其酸鲜纯正、脆嫩芳香、清爽可口、回味无穷、增进食欲等特点而深受消费者的喜爱。传统的东北酸菜以白菜为主要发酵原料,在清洗或速烫杀菌后,用盐水浸泡在陶缸内,压紧后在室温条件下发酵一个月后才食用。与其他传统发酵蔬菜不同,东北酸菜的腌制盐质量分数为2%左右, pH 3.1~3.7。

多项研究采用一般传统分离方法从自然发酵酸菜中鉴定出植物乳杆菌、短乳杆菌、清酒乳杆菌、肠膜明串珠菌等^[10-15]。栗永乐等^[11]从内蒙古东部地区采集的14份农家酸菜汁中分离出84株乳酸菌,除了上述几种常见的乳酸菌外,还分离出鼠李糖乳杆菌、耐酸乳杆菌、唾液链球菌、嗜热链球菌、粪肠球菌等,进一步加深了对自然发酵酸菜中乳酸菌多样性的了解。Miyamoto等^[17]从东北酸菜中分离出一株哈尔滨乳杆菌新种,武俊瑞等^[13]利用PCR-DGGE技术对东北地区传统发酵酸菜中的乳酸菌多样性进行研究,结果表明植物乳杆菌、短乳杆菌、清酒乳杆菌、弯曲乳杆菌是酸菜中的优势菌群,此外还首次发现了哈米斯乳杆菌和臭味乳杆菌。另外,有多项研究利用PCR-DGGE技术研究了酸菜中乳酸菌多样性,结果表明除了优势菌与上述武俊瑞等的研究结果相同外,还鉴定出棒状乳杆菌、戊糖乳杆菌、唾液乳杆菌、岩川乳杆菌等传统分离方法未分离鉴定的菌株^[14,32]。有研究表明弯曲乳杆菌是酸菜发酵的主要乳酸菌,该菌的生长速率快于肠膜明串珠菌,因此能成为酸菜发酵的优势菌^[33]。

李超^[18]通过构建克隆文库的方法对酸菜发酵过程中的微生物动态变化进行解析,乳酸菌的检测结果表明酸菜自然发酵分为同型发酵和异型发酵两个阶段,发酵前期以异型发酵为主,而后期则以同型发酵为主,结果首次表明oligofermentans乳杆菌参与了酸菜的发酵过程。随后采用传统分离方法对不同发酵时期的酸菜中乳酸菌进行分离,结果表明酸菜发酵6 d时,分离的菌属主要是明串珠菌属、肠球菌属、乳球菌属等异型发酵乳酸菌。而酸菜发酵26 d时分离的乳酸菌主要是植物乳杆菌、短乳杆菌、干酪乳杆菌、副干酪乳杆菌等。采用同型发酵乳酸菌弯曲乳杆菌和异型发酵乳酸菌肠膜明串珠菌进行酸菜的纯种发酵,结果表明接种发酵可有效降低酸菜中的亚硝酸盐含量,明显增加乳酸的含量。

1.4 发酵辣椒

我国是辣椒最大的生产国,辣椒的初加工主要有干制、腌制、油制、泡渍等。其中腌制辣椒就包括剁辣椒、泡辣椒、辣椒酱等发酵辣椒产品。自然发酵法制成的发酵辣椒产品主要是利用其天然辣椒表面附着的乳酸菌进行发酵,经过乳酸发酵以后,其味酸辣、可口,并且具有开胃的功能。

剁辣椒是湖南最常见的发酵辣椒产品,其传统加工方法是利用乳酸菌的自然发酵和食盐保存作用对辣椒进行加工处理,目前剁辣椒加工企业普遍采用超过食盐质量分数20%以上的高盐腌制辣椒的方法进行加工,这样虽然可保留辣椒的色泽、辣味和脆度,但是产品没有发酵辣椒特有的风味和香气,而且加工食用前要经过脱盐处理,这样增加了生产成本,同时也造成了环境的污染。因此,选用发酵性能优良的乳酸菌进行辣椒的接种发酵,成为提高发酵辣椒品质的重要途径。

赵玲艳等^[21]从自然发酵辣椒中分离出3株产酸快、耐盐能力强的乳杆菌,具有应用于辣椒纯种发酵的潜力。钟燕青^[22]、王兰^[23]、王丽芳^[24]等先后从自然发酵辣椒中分离出植物乳杆菌和戊糖片球菌,几株分离菌株都显示了极强的产酸能力。王修俊等^[25]从自然发酵辣椒汁中分离出一株植物乳杆菌,具有较强的耐盐和产酸能力,适用于发酵辣椒的生产。

1.5 泡菜

我国泡菜历史悠久,是一种传统的发酵食品^[34],其中以四川泡菜最为著名,四川适宜的气候条件以及丰富的蔬菜资源,使得四川泡菜品种繁多。

盛海圆^[26]对市售及自制泡菜中乳酸菌进行了分离和鉴定,分离鉴定出植物乳杆菌、耐久肠球菌、布氏乳杆菌、香肠乳杆菌、消化乳杆菌、短乳杆菌、戊糖片球菌等。结果证实不同样品之间乳酸菌种类存在一定的差异性,但两种不同来源的泡菜中,植物乳杆菌是主要的优势菌。周光燕^[27]采集了四川地区自然发酵泡菜34份,从中共分离出116株乳酸菌,其中乳杆菌94株,球菌22株。乳杆菌主要是干酪乳杆菌干酪亚种、棒状乳杆菌棒状亚种、植物乳杆菌等,还分离鉴定出并不常见的玉米乳杆菌、绿色乳杆菌、草乳杆菌、类布氏乳杆菌等乳杆菌,说明四川地区的泡菜中微生物种类非常丰富。陈功等^[28]以传统优质四川泡菜为研究对象,初步研究了不同区域优势微生物的菌群和生态分布,初步确定了四川泡菜中的乳酸菌主要是植物乳杆菌、短乳杆菌、肠膜明串珠菌、耐乙醇片球菌等。张蓓蓓等^[29]从180余份的泡菜中分离出447株乳酸菌,共鉴定出11个属34个种,确定了肠膜明串珠菌、植物乳杆菌、短乳杆菌、干酪乳杆菌等乳杆菌为主要优势菌群,研究结果为四川泡菜微生物资源的标准化整理整合提供了参

考。杜晓华等^[35]从泡菜中分离得到一株酶降解亚硝酸盐的植物乳杆菌,将该菌株接种至发酵泡菜,可快速降低泡菜中的亚硝酸盐含量。

基于泡菜中含有丰富的乳酸菌,有研究学者从泡菜中筛选具有特殊生理功能的乳酸菌。Yu Zhihui等^[36]从自然发酵泡菜中分离出一株有耐胆盐、耐酸等益生特性的植物乳杆菌,该植物乳杆菌发酵的酸奶可明显降低小鼠血清中的胆固醇含量,提示其可作为潜在的具有降血脂功能的益生菌。Li Ming等^[37]通过肌酐和鸟苷体外降解、耐胆盐、拮抗、细胞黏附等实验,筛选到一株具有降低尿酸的植物乳杆菌,体内实验也证实了灌胃该植物乳杆菌菌液可以降低高尿酸大鼠血清中的尿酸含量。Liu Pei等^[38]从自然发酵泡菜中分离出一株高产共轭亚油酸的植物乳杆菌,在48 h内可实现亚油酸26.1%的转化,因此该菌株具有作为可提高泡菜共轭亚油酸含量的发酵剂的潜力。Luo Wei等^[39]从泡菜中分离出对沙门氏菌具有拮抗作用的植物乳杆菌和短乳杆菌,保鲜实验证实了乳杆菌培养液对鲜切苹果表面的沙门氏菌具有较强的抑制作用,可延缓鲜切苹果的腐败。Yang Zhennai等^[40]从自然发酵泡菜中分离出一株产胞外多糖的鼠李糖乳杆菌,所产多糖主要由半乳糖和N-乙酰葡萄糖胺构成,利用该鼠李糖乳杆菌发酵可提高酸乳持水力,改善发酵乳的流变特性。

1.6 其他发酵蔬菜

叶用芥菜是我国传统的地方性腌制食品,具有香气浓郁、风味鲜美、组织嫩脆的特点,用于佐食可以增进食欲,因而深受广大消费者的喜爱。林亲录等^[41]从湖南省华容县地窖传统发酵芥菜中分离得到两株乳杆菌,将其进行接种发酵实验时,可明显缩短芥菜发酵时间,产品中亚硝酸盐含量明显低于自然发酵。顾振宇等^[42]通过对芥菜半干腌制发酵过程中的乳酸菌进行分离,共鉴定出肠膜明串珠菌、发酵乳杆菌、植物乳杆菌、乳酸片球菌、短乳杆菌等乳酸菌,此外还鉴定出酵母菌,说明芥菜发酵是一个多菌种共同参与的过程。王一淇等^[43]的研究结果表明,在芥菜发酵前期,优势乳酸菌为乳酸球菌,随着乳酸的不断产生,乳球菌由于不耐酸,其生长受到抑制,而乳杆菌的生长则加快,并超过乳酸球菌的数量,在发酵中后期,乳杆菌成为主要的优势乳酸菌。

酸豆角是原料豆角经过腌制处理并在腌制过程中进行乳酸发酵的发酵产品,黄诚等^[44]利用常规分离方法从湘西传统发酵酸豆角中分离出短乳杆菌、肠膜明串珠菌,分离菌株耐盐能力强,产酸快。刘锐等^[45]也从自然发酵豆角中分离得到一株明串珠菌,其代谢产物具有明显的抑菌作用。

2 乳酸菌多样性研究中存在的问题

2.1 多样性研究技术方法单一

从目前我国对传统发酵蔬菜中乳酸菌多样性研究的现状来看,绝大多数研究所采用的分离方法完全依靠传统的分离培养,分离出的乳酸菌种类和数量少,很多种乳酸菌无法检测出。而依靠先进的微生物非培养技术,如PCR-DGGE技术,可对传统发酵蔬菜中大量无法培养的微生物进行检测,不但方法成熟简便,而且可检测出大量常规分离培养方法无法分离的菌株,从而加深对传统发酵蔬菜中微生物菌群的了解,有利于进一步阐明传统发酵蔬菜品质形成的机制。

值得注意的是,在一些研究中,分子鉴定方法与传统培养方法中生物菌群存在一定的差异,得到的优势菌不同,往往用分子生物学方法获得的相对丰度高的优势菌多是不可培养的细菌,而传统方法获得的总菌落数比例最高的优势菌在分子生物学检测中大多是低丰度细菌,这可能是方法本身的局限性所致,如样品的DNA提取效率电泳的条件影响等。因此,未来在进行微生物多样性分析时,应注意对不同方法的结果进行比较,合理进行方法的选择及补充。

2.2 乳酸菌分离筛选的样品量少

目前的研究结果表明我国的传统发酵蔬菜中乳酸菌的种类非常丰富,然而多数的研究报道结果均来自于对单一发酵蔬菜样品中乳酸菌的分离鉴定,从中分离鉴定出的乳酸菌具有很大的偶然性,因此研究结果并不能完全代表此种发酵蔬菜中乳酸菌菌群的整体面貌,如我国各地常见的自然发酵泡菜,其中的原料有豇豆、青菜、萝卜、白菜等,在进行微生物多样性的研究时,应考虑原料的组成,分析不同原料对研究结果的影响。为全面了解发酵蔬菜中乳酸菌的种类和分布,应该首先考虑广泛收集传统发酵蔬菜制作地区的样品,在具备充足样品量的基础上,结合常规的分离技术和分子生物学技术进行乳酸菌的分离鉴定,这样得到的结果才具有代表性。

2.3 乳酸菌在发酵蔬菜风味形成中作用机制的研究缺乏

从目前对我国不同传统发酵蔬菜中乳酸菌多样性研究的现状来看,不同地域具有不同的代表性发酵蔬菜,其中植物乳杆菌、短乳杆菌、肠膜明串珠菌等是植物源蔬菜中常见的乳酸菌。虽然了解了自然发酵蔬菜中常见的乳酸菌,但对于这些乳酸菌在发酵蔬菜风味形成中的机制研究比较少。已发现在四川榨菜和泡菜发酵过程中,有乳酸菌和酵母菌的共同参与^[46];但乳酸菌与其他种类微生物是何种关系,作为优势菌群,乳酸菌的代谢物如何和酵母菌代谢物相互作用,从而形成泡菜的风味物质等仍然不清楚。

3 结 语

从目前对乳酸菌多样性已有的研究结果可知,传统发酵蔬菜中蕴含着丰富的乳酸菌资源,未来的研究可从两方面进行。

加强对乳酸菌在发酵蔬菜品质形成中作用机制的研究。研究乳酸菌在传统发酵蔬菜品质形成中作用机理时,可采用乳酸菌单独发酵或乳酸菌酵母菌混合发酵的形式;利用气相色谱-质谱、电子鼻等先进风味检测技术,对接种发酵蔬菜的风味进行研究;利用代谢组学技术手段分析发酵过程中代谢物的变化规律;利用主成分分析等聚类分析方法分析出接种发酵所产生的关键物质,阐明乳酸菌在传统发酵蔬菜品质形成中的作用机理,为进一步开发利用乳酸菌作为蔬菜发酵剂提供依据。

加强对传统发酵蔬菜中益生菌的筛选及应用研究。我国传统发酵蔬菜品种繁多,其中蕴含着丰富多样的乳酸菌,可为益生菌的筛选提供强大的菌种库。在对发酵蔬菜中乳酸菌进行开发利用的同时,不可忽视乳酸菌的安全性问题,如乳酸菌的耐药性、产生物胺等问题,已有研究报道指出泡菜原料表面多种乳酸菌对抗生素存在一定的抗性^[47-48],但是否存在耐药质粒产生可转移性、其他发酵蔬菜中乳酸菌的耐药性如何,还需要进一步的研究。因此,未来对发酵蔬菜中乳酸菌的开发利用,需要将乳酸菌的发酵特性、益生特性与安全性并举,以作为筛选的重要原则。

参考文献:

- [1] DI CAGNO R, CODA R, DE ANGELIS M, et al. Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation[J]. Food Microbiology, 2013, 33(1): 1-10. DOI:10.1016/j.fm.2012.09.003.
- [2] 胡晓清, 潘露, 王汝毅. 发酵蔬菜中乳酸菌的功能性与安全性研究进展[J]. 现代食品科技, 2012, 28(11): 1606-1611.
- [3] XIONG T, SONG S H, HUANG X H, et al. Screening and identification of functional *Lactobacillus* specific for vegetable fermentation[J]. Journal of Food Science, 2013, 78(1): M84-M89. DOI:10.1111/j.1750-3841.2012.03003.x.
- [4] 杨珺, 吴永娟, 曾凡坤. 四川榨菜后熟时期微生物区系的初探[J]. 食品科学, 1999, 20(12): 50-51. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.1999.12.016.
- [5] 李正国, 付晓红, 邓伟, 等. 传统分离培养结合DGGE法检测榨菜腌制过程的细菌多样性[J]. 微生物学通报, 2009, 36(3): 371-376.
- [6] 燕平梅, 乔宏萍, 赵文婧, 等. 基于PCR-DGGE方法分析榨菜中乳酸菌群落结构[J]. 食品科学, 2016, 37(13): 136-139. DOI:10.7506/SPKX1002-6630-201613024.
- [7] 翁佩芳, 陈希, 沈锡权, 等. 榨菜低盐腌制细菌群落多样性的分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(2): 338-345. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2012.02.016.
- [8] 杨雪, 陶兴无, 高冰, 等. 发酵大头菜中乳酸菌的分离鉴定及生产初试[J]. 中国酿造, 2008, 27(9): 31-33. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2008.05.009.

- [9] 吴希茜. 自然发酵腌制大头菜发酵过程中细菌的分离鉴定[J]. 山东食品发酵, 2011(4): 11-14.
- [10] 赵岩. 赤峰地区酸菜中乳酸菌的筛选与初步鉴定[J]. 中国酿造, 2013, 32(5): 35-37. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2013.05.010.
- [11] 栗永乐, 李秀丽, 李传娟, 等. 内蒙古东部地区农家酸菜中乳酸菌的分离与初步鉴定[J]. 食品工业, 2012, 33(11): 132-134.
- [12] 刘晓辉, 陈顺, 高晓梅, 等. 酸菜中乳酸菌的分离筛选与鉴定研究[J]. 中国酿造, 2009, 28(2): 62-64.
- [13] 武俊瑞, 岳喜庆, 石璞, 等. PCR-DGGE分析东北自然发酵酸菜中乳酸菌多样性[J]. 食品与生物技术学报, 2014, 33(2): 127-130.
- [14] 丛敏, 李欣蔚, 武俊瑞, 等. PCR-DGGE分析东北传统发酵酸菜中乳酸菌多样性[J]. 食品科学, 2016, 37(7): 78-82. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201607015.
- [15] 张鲁冀, 孟祥晨. 自然发酵东北酸菜中乳杆菌的分离与鉴定[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(11): 125-131. DOI:10.3969/j.issn.1005-9369.2010.11.023.
- [16] 李欣, 武俊瑞, 田甜, 等. 大庆自然发酵酸菜中乳酸菌的分离鉴定及耐酸菌株初步筛选[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 150-154. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201401029.
- [17] MIYAMOTO M, SETO Y, HAO D H, et al. *Lactobacillus harbinensis* sp. nov., consisted of strains isolated from traditional fermented vegetables 'Suan cai' in Harbin, Northeastern China and *Lactobacillus perolens* DSM 12745[J]. Systematic and Applied Microbiology, 2005, 28(8): 688-694. DOI:10.1016/j.syapm.2005.04.001.
- [18] 李超. 东北酸菜发酵微生物动态解析及人工接种对酸菜发酵的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015: 27-30.
- [19] 张天琪, 张雪, 孔保华, 等. 东北酸菜中产胞外多糖乳杆菌的分离筛选及其在酸乳中的应用[J]. 中国乳品工业, 2009, 37(7): 8-12. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2009.07.002.
- [20] 于志会, 李常营, 张雪, 等. 酸菜中降胆固醇功能植物乳杆菌的体外筛选[J]. 食品与生物技术学报, 2011, 30(3): 398-402.
- [21] 赵玲艳, 邓放明, 杨抚林, 等. 自然发酵辣椒中乳酸菌的分离及其发酵性能研究[J]. 食品科学, 2005, 26(10): 82-86. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2005.10.014.
- [22] 钟燕青. 自然发酵辣椒中乳酸菌分离筛选及香气成分分析[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012: 10-14.
- [23] 王兰, 赵玲艳, 陈思思, 等. 发酵辣椒中产亚硝酸盐还原酶短乳杆菌L5的选育及特性研究[J]. 中国酿造, 2014, 33(11): 25-29. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2014.11.006.
- [24] 王丽芳, 王修俊, 郑君花, 等. 发酵辣椒中一株乳酸菌的分离鉴定及其生长特性的研究[J]. 中国调味品, 2014, 39(6): 67-72. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2014.06.016.
- [25] 王修俊, 王丽芳, 郑君花, 等. 贵州发酵辣椒中优良乳酸菌的分离鉴定及生长特性研究[J]. 食品科技, 2014, 39(10): 17-21.
- [26] 盛海圆. 传统泡菜中乳酸菌的分离鉴定及其多样性分析[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2010: 14. DOI:14-24.7666/d.y1735160.
- [27] 周光燕. 四川地区自然发酵泡菜中乳酸菌的生物特性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2006: 33-41.
- [28] 陈功, 张其圣, 余文华, 等. 四川泡菜乳酸菌多样性及其功能特性[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(3): 1-4.
- [29] 张蓓蓓, 王柱, 王宪斌, 等. 四川地区泡菜微生物的多样性分析[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(1): 1-5; 10. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2016.01-001.
- [30] 付晓红. 榨菜腌制过程中微生物区系多样性分析及发酵剂研制[D]. 重庆: 重庆大学, 2009: 1-2.
- [31] 吴希茜. 大头菜后熟优势微生物分离鉴定及发酵剂的研制[D]. 重庆: 西南大学, 2011: 27-43. DOI:10.7666/d.y1881804.
- [32] WU R N, YU M L, LIU X Y, et al. Changes in flavor and microbial diversity during natural fermentation of suan-cai, a

- traditional food made in Northeast China[J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 211(1): 23-31. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.028.
- [33] YANG H Y, WU H, GAO L J, et al. Effects of *Lactobacillus curvatus* and *Leuconostoc mesenteroides* on suan cai fermentation in Northeast China[J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2016, 26(12): 2148-2158. DOI:10.4014/jmb.1607.07010.
- [34] HAN X, YI H X, ZHANG L W, et al. Improvement of fermented Chinese cabbage characteristics by selected starter cultures[J]. Journal of Food Science, 2014, 79(7): 1387-1392. DOI:10.1111/1750-3841.12495.
- [35] 杜晓华, 刘书亮, 蒲彪, 等. 四川泡菜中降解亚硝酸盐乳酸菌的筛选鉴定及其应用[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(4): 48-52.
- [36] YU Zhihui, ZHANG Xue, LI Shengyu, et al. Evaluation of probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from Chinese sauerkraut[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2013, 29(3): 489-498. DOI:10.1007/s11274-012-1202-3.
- [37] LI Ming, YANG Dianbin, MEI Lu, et al. Screening and Characterization of purine nucleoside degrading lactic acid bacteria isolated from Chinese sauerkraut and evaluation of the serum uric acid lowering effect in hyperuricemic rats[J]. PLoS ONE, 9(9): e105577. DOI:10.1371/journal.pone.0105577.
- [38] LIU Pei, SHEN Shengrong, RUAN Hui, et al. Production of conjugated linoleic acids by *Lactobacillus plantarum* strains isolated from naturally fermented Chinese pickles[J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2011, 12(11): 923-930. DOI:10.1631/jzus. B1100072.
- [39] LUO Wei, CHEN Min, CHEN Anjun, et al. Isolation of lactic acid bacteria from pao cai, a Chinese traditional fermented vegetable, with inhibitory activity against *Salmonella* associated with fresh-cut apple, using a modelling study[J]. Journal of Applied Microbiology, 2014, 118(4): 998-1006. DOI:10.1111/jam.12741.
- [40] YANG Zhennai, LI Shengyu, ZHANG Xue, et al. Capsular and slime-polysaccharide production by *Lactobacillus rhamnosus* JAAS8 isolated from Chinese sauerkraut: potential application in fermented milk products[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2010, 110(1): 53-57. DOI:10.1016/j.jbiosc.2009.12.010.
- [41] 林亲录, 谭兴和, 何煜波, 等. Lact.3和Lact.6两株选育菌种的发酵性能研究[J]. 食品科学, 2003, 24(7): 79-82. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2003.07.015.
- [42] 顾振宇, 陈荷凤, 梁新乐, 等. 芥菜半干腌制发酵过程中乳酸菌的分离及特性研究[J]. 食品科学, 2004, 25(3): 84-86. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2004.03.014.
- [43] 王一淇, 李宗军. 湖南芥菜腌制发酵过程中的菌相变化规律[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 200-203. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201411040.
- [44] 黄诚, 黄群, 麻成金, 等. 湘西传统酸豆角优势乳酸菌分离及鉴定[J]. 中国酿造, 2009, 28(5): 35-38. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2009.05.011.
- [45] 刘锐, 李燕莉. 自然发酵酸豆角中优势乳酸菌的分离鉴定和生长特性研究[J]. 中国酿造, 2011, 30(4): 133-135.
- [46] 曾骏. 传统四川泡菜发酵过程中酵母菌的动态变化规律及发酵性能研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013: 16-26.
- [47] 蔡婷, 徐顾榕, 林凯, 等. 发酵用鲜辣椒中乳酸菌抗生素耐药性与耐药基因[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(9): 941-949. DOI:10.3969/j.issn.1673-1689.2016.09.007.
- [48] 蔡婷, 卢倩文, 向文良, 等. 四川泡菜发酵原料-灯笼辣椒附生乳酸菌的抗生素耐药性评估与耐药基因分析[J]. 食品科学, 2017, 38(2): 27-33. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201702005.