

发酵酸菜的研究及其进展

张玉龙, 胡萍*, 湛剑龙, 陈韵

(贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵阳 550025)

摘要: 酸菜是我国蔬菜加工产品中产量较多的一种, 主要以各种蔬菜为主要原料, 通过微生物发酵作用制成的一种发酵食品。它不仅保留了蔬菜原有的营养成分如维生素 C、氨基酸以及膳食纤维等营养物质, 而且还含有乳酸菌等功能性微生物。微生物发酵对酸菜的质量、风味等有着重要的影响。因此, 探讨酸菜发酵的机制及其发酵过程中微生物的多样性、营养成分、风味物质以及其他化学物质的变化具有重要的意义。根据近年来的研究结果, 本文对酸菜发酵机制、发酵过程中微生物多样性及营养成分研究等现状进行了综述, 并提出发酵酸菜微生物资源发掘及其规模化生产的发展方向。

关键词: 发酵酸菜, 发酵机制, 营养成分, 研究进展

Research of fermented sauerkraut and its advancement

ZHANG Yu-Long, HU Ping*, ZHAN Jian-Long, CHEN Yun

(School of Liquor & Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, 550025, China)

ABSTRACT: Sauerkraut is one of the most popular products of fermented vegetables which are mainly fermented with various vegetables by microorganisms. It not only remains their original nutrients such as vitamin C, amino acids, dietary fiber and other nutrients, but also contains the functional microbes such as lactic acid bacteria. The microbial fermentation has an important effect on the pickled cabbage of quality and flavor. Therefore, it is very important to study the fermentation mechanisms, microbial diversity and the change of nutrients, flavors and chemicals in fermentation process. According to recent results, the fermentation mechanisms, microbial diversity and nutritional composition of fermented sauerkraut were reviewed, and the development direction of exploration of microorganisms from sauerkraut and large-scale production were also proposed in this paper.

KEY WORDS: fermented sauerkraut; fermentation mechanism; nutrients; advancement

1 引言

酸菜是一种传统的发酵蔬菜食品, 它主要是通过乳酸菌等微生物进行发酵制成的。发酵酸菜不仅保留了蔬菜原有的营养成分如维生素 C、氨基酸以及膳食纤维等营养物质, 而且还含有乳酸菌等功能性微生物。因此, 发酵酸菜

具有清凉爽口、生津止渴、开胃及调节人体肠道微生态、降低胆固醇等生理功能^[1-5], 这深受各民族人民的喜爱^[6]。酸菜在我国具有独特而悠久的历史, 其最早可追溯到我国古代时期的周朝。随着时间的推移, 酸菜制作过程中所用的原料、配料以及工艺都有不同程度的改变, 发酵酸菜已形成了许多品种。常见的酸菜品种有东北酸菜、涪陵榨菜、

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, 主要研究方向为食品微生物与生物技术。E-mail: Is.phu@gzu.edu.cn

*Corresponding author: HU Ping, Professor, School of Liquor & Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, 550025, China. E-mail: Is.phu@gzu.edu.cn

浙江榨菜、四川泡菜、扬州酱菜、北京酱菜、河南酸菜、山西酸菜等^[7,8]。本文对发酵酸菜中微生物多样性及其营养成分的研究等进行了综述, 为筛选不同微生物发酵剂, 推进发酵酸菜的规模化生产与发展提供技术资料。

2 发酵酸菜的发展概况

自古至今, 酸菜一直深受人们的喜爱。随着文化等方面的交流, 传统酸菜的制作工艺流传到其他国家地区, 对整个世界的饮食文化起到一定的影响作用^[9]。我国人民利用发酵法制作酸菜的历史可追溯至周朝。北魏贾思勰在《齐民要术》中详细介绍了用白菜等腌渍酸菜的方法。东汉时期许慎在《说文解字》中提到“菹菜者, 酸菜也”, 菹即是酸泡菜。酸菜发酵过程中产生的酸类物质能够阻止制品的腐烂变质^[10]。唐代高僧鉴真东渡日本, 将我国酸菜制作之法传入日本。1300年前, 腌制酸菜传入韩国的韩朝半岛并与当地民族的饮食文化结合而发展形成了著名的韩国泡菜^[11]。欧洲腌渍蔬菜的历史可追溯到公元 1 世纪, 当时 Plinius^[12]首次描述了用白菜、小黄瓜制成酸泡菜腌制品的方法。随着历史的变迁, 酸菜在制作工艺和品种上取得了很大的发展, 从而出现了许多具有地方特色的发酵蔬菜制品, 如贵州苗族酸汤、侗族酸鱼、东北酸菜、四川泡菜、云南大头菜、湖南腌渍蒿头、韩国泡菜、日本泡菜等。

传统酸菜自然发酵工艺是借助自然附着在蔬菜表面的微生物, 因为蔬菜表面所附着的微生物种类比较复杂, 在不同种类蔬菜和批次表面存在较大的差异, 所以传统的自然发酵工艺的发酵周期较长, 发酵质量不稳定, 且在发酵过程中产生大量的亚硝酸盐, 甚至产生生物胺等有害物质, 酸菜的食用安全性得不到有力的保证。为避免这些缺点和适应产业化发展的需要, 研发纯种乳酸菌发酵技术和直投式乳酸菌发酵技术并应用于酸菜的生产是很有必要的。纯种乳酸菌发酵工艺是指在接种前杀死部分或全部附着在蔬菜表面上的自然源微生物, 随后接种纯种乳酸菌进行发酵; 而直投式乳酸菌发酵技术是在纯种乳酸菌发酵技术基础上, 将发酵乳酸菌菌种制成粉末状(如菌的冻干粉), 直接喷洒或散布于蔬菜表面进行发酵。直投式乳酸菌发酵技术能够有效控制发酵菌株和发酵条件, 比传统自然发酵技术更能提高酸菜的食用安全性。

东北酸菜是我国酸菜的典型代表, 它具有清酸脆爽、色泽鲜亮、香气扑鼻等特点, 还具有开胃提神、醒酒去腻, 因酸菜含有益生菌乳酸菌, 酸菜也具有调节肠道微生态平衡、降低胆固醇等功能; 酸菜不仅能够增进食欲、帮助消化, 而且它还能够促进人体对铁等矿质元素的吸收^[13,14]。东北酸菜的发展经历了三个阶段, 即家庭坛装式的自然发酵酸菜、作坊式的自然发酵、添加防腐剂与巴氏杀菌相结合的酸菜以及益生菌乳酸菌制剂快速发酵的新型冷链型酸菜。虽然, 东北酸菜企业已占据了全国酸菜市场的一半, 其

产业规模也在不断扩大, 品种结构持续完善; 然而, 东北酸菜仍然采用传统的自然发酵的方式, 生产企业规模小, 机械化程度低, 而且缺乏专业技术支持和仪器设备, 因而造成了东北酸菜的品质不稳定^[13]。随着优良益生菌乳酸菌的分离与纯化以及优良发酵剂的开发, 并控制酸菜发酵过程中亚硝酸盐等化学物质的产生, 国内的酸菜发酵工艺开始转向直投式等人工发酵酸菜工艺, 大大增加了经济效益, 而且也保证了酸菜的食用安全性^[15]。

韩国泡菜是国外发酵蔬菜的代表, 在 2000 年, 全球腌制蔬菜贸易总额约为 13 亿美元, 而韩国、日本两国占了 95% 以上的份额^[16]。2013 年 12 月, 联合国教科文组织保护非物质文化遗产政府间委员会第八次会议在阿塞拜疆巴库通过决议, 正式将韩国“腌制越冬泡菜文化”列入教科文组织人类非物质文化遗产名录^[17]。目前, 韩国泡菜的种类多达 190 种, 被成功推广到 100 多个国家和地区^[18]。随着韩国泡菜的迅猛发展, 许多家庭作坊式的已转变成工业化的生产。在发展工业化生产泡菜的同时, 韩国的一些研究机构对泡菜制作及其营养、风味也进行了深入研究。为进一步开发泡菜的内涵, 改进泡菜的制作工艺, 韩国国内一些高校还相继开设了泡菜食品专业, 把泡菜作为研究的对象, 建立“泡菜研究所”, 对泡菜的营养成分、生化反应和保健功能等进行全方位研究

3 发酵酸菜的发酵机制

发酵酸菜主要是通过酵母菌(*Yeast*)、乳酸菌(*Lactic acid bacteria*, 简称 LAB)、醋酸菌(*Acetobacter*)等微生物通过乙醇发酵、乳酸发酵、乙酸发酵等而制成的一种传统的发酵蔬菜食品, 其中食盐在酸菜制作过程中也起到了重要的作用。

3.1 微生物的发酵作用

(1) 乙醇发酵

乙醇发酵主要是通过附着在蔬菜表面的酵母菌的代谢活动引起的。而乙醇发酵的进行, 则为乙酸发酵提供了一定的物质基础。酵母菌在蔬菜发酵过程中, 主要是将蔬菜中的一些糖分分解成乙醇和二氧化碳,

(2) 乳酸发酵

酸菜自然发酵过程中, 乳酸发酵起着主导性的作用。乳酸菌在发酵过程中利用可溶性物质发酵产生了大量的乳酸、乙酸、氨基酸、酯类化合物及一些具有生物活性的物质。在发酵过程中, 乳酸菌主要是将蔬菜中的单糖、双糖等糖类物质分解成乳酸及其他代谢产物。乳杆菌在酶的作用下进入细胞, 后又在 β -半乳糖苷酶的作用下将乳糖分解成了半乳糖和葡萄糖。半乳糖通过李洛氏途径生成葡萄糖, 再经糖酵解转化为乳酸。在磷酸转化酶的作用下, 乳酸链球菌(*Streptococcus lactis*)和乳酸杆菌(*Lactobacillus*)将乳糖水解成葡萄糖和 6-磷酸半乳糖, 后者进入糖酵解途径^[19]。

乳酸发酵分为同型发酵和异型发酵两种方式。植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*)、德氏乳杆菌 (*Lactobacillus delbrueckii*)、嗜酸乳杆菌 (*Lactobacillus acidophilus*) 等能够通过同型乳酸发酵利用葡萄糖, 即微生物使葡萄糖经过 EMP 途径进行糖酵解, 生成 1,6-二磷酸果糖和磷酸二羟丙酮。1,6-二磷酸果糖进一步生成中间产物丙酮酸, 丙酮酸在乳酸脱氢酶的作用下生成终产物乳酸^[20]。明串珠菌属 (*Leuconostoc*) 的乳酸菌 (Lactic acid bacteria) 及乳杆菌 (*Lactobacillus*) 等主要引起的是异型乳酸发酵, 即微生物使葡萄糖先经 HMP 途径生成乙酰磷酸和 3-磷酸甘油醛并释放出二氧化碳, 乙酰磷酸再生成乙醇或乙酸, 而 3-磷酸甘油醛则转变成乳酸。

(3) 乙酸发酵

蔬菜发酵过程中产生的微量乙酸对酸菜的品质及风味的形成相当有利, 除乙酸本身所特有的清爽酸味外, 与乙醇形成的酯也形成了酸菜独特的风味。这些微量的乙酸主要是由醋酸菌 (*Bacterium acetic*) 和(或)其他微生物氧化乙醇生成的。

3.2 食盐的作用

制作酸菜时加入适量食盐在酸菜发酵过程中起着重要的作用。一方面, 食盐溶液浓度不同, 其渗透压力就会不同, 有效的渗透压力既可以抑制有害微生物的生长繁殖, 又可以促进酸菜的发酵。一般情况下, 食盐的浓度为 1% 时, 其渗透压可以达到 6.181×10^3 kPa, 而微生物细胞的渗透压力一般在 3.040×10^2 - 1.621×10^3 kPa^[21], 蔬菜的细胞的渗透压力在 1.013×10^2 - 6.080×10^2 kPa。当食盐溶液的渗透压力高于微生物细胞的渗透压力时, 某些有害微生物因细胞内的水分外流而受到抑制或死亡; 同时蔬菜细胞中的营养物质如糖类、蛋白质、氨基酸、维生素等渗透出细胞外, 为耐高渗透压乳酸菌提供生长所需的营养物质, 进而促进乳酸发酵的进行。另一方面, 食盐对于微生物还具有毒害作用。食盐溶液中含有 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 等离子, 在浓度较高时, 食盐便会 对微生物产生毒害作用。最后, 盐浓度过高会导致酸菜的水分活度降低, 不利于有害微生物的生长繁殖, 而且较高的盐浓度也会影响微生物体内各种酶的活性, 甚至对这些酶类物质造成不同程度的破坏。

3.3 酶类的作用

蔬菜本身及微生物均含有维持其生命活动所必需的各种酶类物质。蔬菜在发酵过程中, 这些酶(如蛋白酶等)作用于蛋白质等物质, 使其发生分解反应, 生成氨基酸等各种风味化合物, 这些风味化合物是形成酸菜风味的主要来源之一^[22]。此外, 芥子苷在芥子苷酶的作用下发生水解, 生成具有特殊芳香的芥子油等各种风味物质^[23]。而乳酸菌也可在丙酮酸脱氢酶和丙酮酸脱羧酶的参与下形成活性乙醛及乙酰辅酶 A, 进而形成双乙酰, 双乙酰可在乙偶姻脱氢酶作用下形成乙偶姻, 乙偶姻亦可进一步反应转变为

2,3-丁二醇^[24]。

4 发酵酸菜的研究进展

4.1 酸菜中微生物的研究进展

酸菜是以蔬菜为原料, 利用微生物的发酵作用制成的发酵食品。微生物发酵对酸菜的风味、质量等有着重要的影响。要保证酸菜的风味与品质, 实现由自然发酵转变到人工发酵, 就必须对自然发酵过程中酸菜的微生物区系进行研究。美国 Fleming 课题组^[25]对自然发酵酸菜中微生物区系进行了研究, 结果表明, 以圆白菜为原料的酸菜发酵由初始异型发酵和后期同型发酵两个阶段组成, 发酵过程中起主要作用的微生物是乳酸菌, 鉴定的 4 种乳酸菌分别为 *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus brevis*, *Pediococcus pentosaceus* 及 *Lact. Plantarum*; 其中早期发酵的主要菌种是 *Leuconostoc mesenteroides*, 而发酵后期占优势的菌种则是 *Lact. Plantarum*。Lee 等^[26]采用变性梯度凝胶电泳 (denaturing gradient gel electrophoresis, DGGE) 技术检测到乳酸菌 *W. confusa*、*Leuc. Citreum*、*Lact. sake* 和 *Lact. curvatus* 是 Kimchi 发酵中主要的发酵菌群。1995 年, 钟之绚等^[27]用传统方法首次研究了东北酸菜发酵微生物区系, 研究表明, 东北酸菜发酵过程中存在乳酸菌、酵母菌、霉菌和细菌, 但乳酸菌在整个发酵过程中起主导作用。大量的研究也表明, 在酸菜发酵过程中, 乳酸菌、酵母菌、醋酸菌、明串珠菌等共同构成了酸菜发酵的微生物区系, 进行着乳酸发酵、乙醇发酵及乙酸发酵等^[28-30]。发酵酸菜中微生物主要以乳酸菌为主要优势菌群, 大量的研究集中在优势乳酸菌及功能性乳酸菌的分离、筛选与鉴定。发酵酸菜中的乳酸菌主要是植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*)、短乳杆菌 (*Lactobacillus brevis*)、弯曲乳杆菌 (*Lactobacillus curvatus*)、耐酸乳杆菌 (*Lactobacillus acetotolerans*) 以及乳酸乳球菌 (*Lactococcus lactis*) 等, 其中前三种菌产酸能力较强, *Lactobacillus plantarum* C88、*Lactobacillus plantarum* S4-1 以及乳酸乳球菌 (*Lactococcus lactis*) 等的降胆固醇能力较强, 部分植物乳杆菌可以产生乳酸菌素^[1,5,31-36]。

目前, 采用人工接种的方式对酸菜进行发酵也有一些文献报道。采用人工接种的方式发酵酸菜, 不仅可以促进发酵进程, 缩短发酵周期, 而且还可以改善发酵酸菜的风味与品质。接入的菌种有 *Lactobacillus plantarum*、*Lactobacillus mesenteroides*、*Lactobacillus casei* 或 *Lactobacillus plantarum* 与 *Lactobacillus acidophilus* 组成的混合菌群等^[37,38]。现阶段人工接种发酵酸菜的研究多集中在发酵酸菜风味物质含量等方面的研究, 混合菌群发酵体系较单纯菌种发酵体系的风味物质种类等多些, 但仍然尚缺乏对人工接种条件下酸菜风味物质变化原因的深入研究。

4.2 酸菜中化学成分研究进展

作为我国传统美食的一系, 发酵酸菜除原料蔬菜本

身所含有的一些纤维素、维生素、矿物质等外, 蔬菜在发酵过程中还生成了乳酸、胆碱类、激糖素、肽类、维生素 C、维生素 B₁₂ 以及各种酶等物质^[39,40]。目前, 国内外对发酵酸菜的研究大多集中在酸泡菜中微生物多样性, 尤其是乳酸菌区系及其分离鉴定等方面^[41-43], 而对发酵蔬菜及发酵液的化学成分分析的研究多集中在对人工发酵蔬菜发酵过程中有机酸等风味物质及亚硝酸盐含量的研究^[44-48], 而对于发酵蔬菜和发酵液的化学成分的研究少有文献报道。许多研究表明, 发酵酸菜中含有乳酸、乙酸、酒石酸、柠檬酸、苹果酸等酸类物质, 还含有少量的糖类、蛋白质、纤维素、维生素、氨基酸(如天门冬氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸等)以及钙、铁、磷、锌等矿物质, 这些氨基酸中有 7 种氨基酸为人体必需氨基酸^[30,49-52]。酸菜在发酵过程中, 总酸含量(以乳酸计%)、维生素 B₂ 等均有所增加, 总糖、还原糖、氨基酸态氮的含量呈现先下降而后趋于稳定的趋势; 可溶性蛋白质含量呈现先下降后又趋于稳定的规律; 亚硝酸盐的含量则是先增加后降低, 并在发酵第 18 天时出现“亚硝峰”, 当酸菜发酵成熟后, 亚硝酸盐的含量保持在 0.57 mg/kg-2.11 mg/kg 的较低水平^[14,53,54]。

4.3 酸菜中风味成分的研究进展

风味是评价酸菜品质的重要指标之一。乳酸、柠檬酸、氨基酸等有机酸类物质对酸菜的风味有很大的影响。酸菜的风味还与一些呈味的化合物有关, 如氨基酸、硫氰酸酯类物质等。在微生物的作用下, 酸菜在发酵过程中会产生乳酸、柠檬酸等有机酸类物质, 其中以乳酸为主^[55]。氨基酸是酸菜风味物质的主要来源之一, 其本身可以呈现出酸、甜、苦及鲜等味道, 也可作为某些挥发性风味物质的前体物质。在发酵过程中, 蔬菜含有的蛋白质可在自身蛋白酶及微生物的作用下水解为氨基酸, 而且自然发酵与人工接种制作酸菜, 其游离氨基酸组成基本一致, 均含有苏氨酸、天冬氨酸以及谷氨酸等 14 种氨基酸^[56]。氨基酸可以通过化学反应生成醇类、酸类及酯类等物质, 也可与其他化合物反应生成某些香味物质。蔬菜自身也含有醇、醛、萜烯类等各种香气成分, 经发酵后, 会生成一些新的风味物质, 但一些原有的风味成分会消失; 而且蔬菜中的含糖苷类化合物在发酵过程中会发生降解等作用而产生风味物质。一些研究表明, 酸菜中的挥发性风味成分主要是醇类、酯类、醛类、酮类、酚类、烷烃类、硫醚类、烯烃类及一些杂环类化合物^[17,57,58]。酸菜发酵期间, 含硫化合物组成明显变化, 酯类、硫醚类物质、二硫化物和三硫化物等的含量有所增加; 而此期间产生的乙醇、乳酸、乙酸等物质也会发生作用, 生成酯类等风味物质。人工接种与自然发酵酸菜相比较, 有机酸种类和含量无明显的差异; 其挥发性风味物质相近, 人工接种发酵酸菜含有几乎所有自然发酵酸菜中的特征风味物质^[37]。目前, 酸菜风味物质研究仍

然主要集中在有机酸类及挥发性风味物质等方面。

5 展望

发酵酸菜具有很好的市场发展前景, 特别是益生菌发酵酸菜, 其品质稳定性主要与原料、辅料及环境等有关。在发酵酸菜的生产方面, 国外主要接种异型发酵乳酸菌来制作酸菜, 而国内主要趋向于接种同型发酵的乳酸菌来制作酸菜。当前在发酵酸菜方面研究最多的是从自然发酵酸菜中分离优势乳酸菌, 并接种发酵酸菜。在同样的发酵条件下, 接种不同发酵类型的乳酸菌或乳酸菌混合菌种, 分析其对于酸菜发酵微生物区系、营养成分及风味物质等的动态影响, 探析不同发酵类型的乳酸菌或乳酸菌混合物对酸菜发酵进程和风味物质形成的影响机制, 将有助于筛选出适宜于发酵酸菜规模化、标准化生产的微生物发酵剂, 提高生产效率, 保证产品质量稳定和提高食用安全性, 从而进一步推进发酵酸菜产业的快速发展。

参考文献

- [1] 尹军霞, 沈国娟, 沈蓉, 等. 酸菜汁中降胆固醇乳酸菌的分离鉴定[J]. 中国食品学报, 2008, 8(2): 47-51.
Yin JX, Shen GJ, Shen R, et al. Isolation and identification of cholesterol-degrading lactic acid bacteria from sauerkraut juice [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2008, 8(2): 47-51.
- [2] 田永峰, 吴天祥, 胡晓瑜, 等. 乳酸菌在食品及酿酒工业中的应用[J]. 酿酒科技, 2007, 4(154): 19-23.
Tian YF, Wu TX, Hu XY, et al. Application of *Lactobacillus* in food industry [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2007, 4(154): 19-23.
- [3] 徐俐, 戴岳宗. 乳酸菌对酸汤中亚硝酸盐变化研究[J]. 中国调味品, 2009, 5(34): 43-46.
Xu L, Dai YZ. Study on the effect of nitrite in sour soup of different lactic acid bacteria [J]. Chin Condiment, 2009, 5(34): 43-46.
- [4] 赵国忠, 王梦颖, 韩俊燕, 等. 东北酸菜品质评定及发酵优良菌株筛选[J]. 中国酿造, 2014, 33(8): 33-37.
Zhao GZ, Wang MY, Han JY, et al. Quality assessment of northeast sauerkraut and screening of superior fermented strains [J]. China Brewing, 2014, 33(8): 33-37.
- [5] 于志会. 益生性降胆固醇植物乳杆菌的筛选、发酵特性及体内功效研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
Yu ZH. Screening Fermentation properties and *in vivo* Efficacy of Cholesterol-Lowering Probiotic *Lactobacillus plantarum* Strains [D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- [6] 李乐清. 四川少数民族食俗[J]. 中国烹饪研究, 1994, 11(1): 45-47.
Li LQ. Sichuan food customs of ethnic minorities [J]. Chin Cuisine Res, 1994, 11(1): 45-47.
- [7] 卢晓黎, 尼海峰. 发酵蔬菜功能菌研究与应用进展[J]. 中国食品学报, 2012, 12(2): 1-6.
Lu XL, Ni HF. The research and application process on functional strains for fermented vegetables [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2012, 12(2): 1-6.
- [8] 李宝树, 杨文铎. 关于东北酸菜(酸渍大白菜之一)若干问题的探讨[J]. 吉林蔬菜, 2012, (7): 45-48.
Li BS, Yang WD. Several issues on the northeast sauerkraut (one of the

- acid pickling cabbage) [J]. *Jilin Vegetables*, 2012, (7): 45–48.
- [9] 徐莹. 发酵食品学[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2011: 1.
Xu Y. *Fermented food science* [M]. Zhengzhou: Zhengzhou University Press, 2011: 1.
- [10] 陈功. 试论中国泡菜历史与发展[J]. *食品与发酵科技*, 2010, 46(3): 1–5.
Chen G. The history and development of chinese pickles [J]. *Food Ferment Technol*, 2010, 46(3): 1–5.
- [11] 孟祥利. 乳酸发酵酸菜的应用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
Meng XL. The application of lactic acid bacteria in fermented sauerkraut [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.
- [12] Pederson C, Albury M. The effect of pure culture inoculation fermentation of cucumbers [J]. *Food Technol*, 1961, (15): 351–354.
- [13] 尼海峰, 邓冕, 冯月玲. 东北酸菜产业现状与发展对策[J]. *中国调味品*, 2011, (6): 10–12.
Ni HF, Deng M, Feng YL. Industrial situation and development countermeasures of Northeast sauerkraut [J]. *China Condiment*, 2011, (6): 10–12.
- [14] 杜书, 岳喜庆, 武俊瑞, 等. 自然发酵酸菜游离氨基酸的分析[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(2): 174–176.
Du S, Yue XQ, Wu JR, *et al.* Analysis of free amino acids in Chinese naturally fermented sauerkraut [J]. *Food Ferment Ind*, 2013, 39(2): 174–176.
- [15] 赵立彬. 优势菌种筛选与接种发酵提升泡菜营养品质及益生性的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2010.
Zhao Li-bin. Selection and inoculation of Dominant bacteria to enhance nutritional quality and prebiotics capacity of Pickles [D]. Shihezi: Shihezi University, 2010.
- [16] 陈仲翔, 董英. 泡菜工业化生产的研究进展[J]. *食品科技*, 2004, (4): 33–35.
Chen ZX, Dong Y. Research process of pickles commercial process [J]. *Food Sci Technol*, 2004, (4): 33–35.
- [17] 黄飞. 浅谈韩国泡菜及泡菜文化[J]. *科技世界*, 2014, 5: 241.
Huang Fei. Introduction to Korean kimchi and kimchi culture [J]. *Sci Technol Vision*, 2014, 5 241.
- [18] 甘奕, 李洪军, 付杨, 等. 韩国泡菜制作过程中理化特性及微生物的变化[J]. *食品科学*, 2014, 35(15): 166–171.
Gan Yi, Li HJ, Fu Y, *et al.* Changes in the physico-chemical and microbiological characteristics of kimchi during manufacture [J]. *Food Sci*, 2014, 35(15): 166–171.
- [19] 谢达平, 赵国华, 陈晓平. 食品生物化学[M]. 中国轻工业出版社, 2004.
Xie DP, Zhao GH, Chen XP. *Food Biochemistry* [M]. China Light Industry Press, 2004.
- [20] Abdel-Rahman MA, Tashiro Y, Sonomoto K. Lactic acid Production from lignocellulose- derived sugars using lactic acid bacteria: Overview and limits [J]. *J Biotechnol*, 2011, 154(4): 286–301.
- [21] 乔宾福. 实用微生物技术[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1985.
Qiao BF. *Practical Microbial Technology* [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Literature Press, 1995.
- [22] 张菊华, 单杨, 李高阳. 乳酸菌发酵蔬菜汁的呈味作用[J]. *湖南农业科学*, 2004, (1): 67–70.
Zhang JH, Shan Y, Li GY. Discussion on flavor developing effects of vegetable juice fermented by lactic acid bacteria [J]. *Hunan Agric Sci*, 2004, (1): 67–70.
- [23] 林丽钦. 十字花科植物的风味物质及其降解化学[J]. *福建轻纺*, 1999, 119(4): 1–5.
Lin LQ. Flavor substance and its degradation chemistry of crucifer [J]. *The Light Textile Ind Fujian*, 1999, 119(4): 1–5.
- [24] 周晓媛. 发酵辣椒的风味物质和风味调配技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2005.
Zhou XY. Studies on the flavor components and flavor adjustment of fermented chili products [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2005.
- [25] Fleming HP, McFeeters RF, Daeschel MA. The *lactobacilli*, *pediococci*, and *leuconostocs*: vegetable products [M]. Boca Raton: CRC Press Inc, 1985.
- [26] Lee JS, Heo GY, Lee JW, *et al.* Analysis of kimchi microflora using denaturing gradient gel electrophoresis [J]. *Int J Food Microbiol*, 2005, 102: 143–150.
- [27] 钟之绚, 郭剑. 酸白菜发酵中乳酸菌群的分析[J]. *微生物学报*, 1995, 35(1): 74–76.
Zhong ZX, Guo J. Analysis of lactic population in fermentation of the chinese cabbage [J]. *Acta Microbiol Sinica*, 1995, 35(1): 74–76.
- [28] 张宗舟, 王玉洁, 石宝珍. 泡菜生产的微生物区系分析[J]. *中国酿造*, 2014, 33(3): 24–27.
Zhang ZZ, Wang YJ, Shi BZ. Microbial flora analysis in pickle production [J]. *China Brewing*, 2014, 33(3): 24–27.
- [29] 孟宪刚, 唐璠. 西北酸菜高效复合发酵菌种的筛选[J]. *食品科学*, 2011, 32(11): 222–227.
Meng XG, Tang Y. Screening of composite fermentation strains for pickled vegetable commercialized in northwest china [J]. *Food Sci*, 2011, 32(11): 222–227.
- [30] 张璇. 贵州“红酸汤”半成品中微生物区系的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
Zhang X. Study on the microbial flora of semi-finished products of “red sour soup” in Guizhou [D]. Chongqing: Southwest University, 2011.
- [31] 方丽, 郑明珠. 酸菜汁中乳酸菌的分离与鉴定研究[J]. *农产品加工·学刊*, 2010, (9): 52–54.
Fang L, Zheng MZ. Isolation and identification of lactic bacteria in sauerkraut juice [J]. *Acad Period Farm Prod Process*, 2010, (9): 52–54.
- [32] 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.
Zhang LJ, Meng XC. Isolation and identification of *Lactobacilli* from natural fermented suancai [J]. *J Northeast Agric Univ*, 2010, 41(11): 125–131.
- [33] 葛菁萍, 邹鹏, 宋刚, 等. 酸菜发酵液中乳酸菌的分离与鉴定[J]. *食品工业科技*, 2007, 28(10): 83–84.
Ge QP, Zhou P, Song G, *et al.* Isolation and identification of lactic acid bacteria in sauerkraut juice [J]. *Scie Technol Food Ind*, 2007, 28(10): 83–84.
- [34] 胡书芳, 王雁萍, 洪爱俊, 等. 自然发酵酸菜中乳酸菌的分离鉴定及其生理特性研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(15): 6896–6898.
Hu SF, Wang YP, Hong AJ, *et al.* Study on the seperation and identification of lactic acid bacteria from natural fermented pickle and their physiological characteristics [J]. *J Anhui Agric. Sci*, 2009, 37(15): 6896–6898.
- [35] 栗永乐. 酸菜中乳酸菌的分离鉴定以及益生特性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
Li YL. The Isolation, Identification and probiotic properties of Lactic acid bacteria from sauerkraut [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.
- [36] 李传娟. 传统酸菜中抗菌性乳酸菌的筛选及其细菌素研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
Li CJ. Screening and research lactic acid bacteria of antibacterial property and their bacteriocins in traditional pickle [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.

- [37] 栾天奇. 酸菜发酵剂的制备及酸菜风味成分分析[D]. 天津: 天津科技大学, 2011.
Luan TQ. Suan Cai starter culture preparation and its flavour components analysis [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2011.
- [38] 徐俐, 戴岳宗. 乳酸菌对酸汤挥发性物质的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 505-509.
Xu L, Dai YZ. Effects of different lactic acid bacteria in sour soup on volatile flavor compounds [J]. Food Sci, 2008, 29(11): 505-509.
- [39] 陈兵, 原韬, 黄薇薇, 等. 纯化分离酸菜水中的肽类代谢产物[J]. 食品工业, 2013, 34(6): 75-78.
Chen B, Yuan T, Huang WW, *et al.* Purification and separation of peptide metabolites from sauerkraut fermentation juice [J]. Food Ind, 2013, 34(6): 75-78.
- [40] 刘恩才. 乳酸食品: 酸菜的医疗功效[J]. 食品科技, 1996, 121(5): 35.
Liu EC. Lactic acid food: the medical efficacy of sauerkraut [J]. Food Technol, 1996, 121(5): 35.
- [41] 杨荣玲, 肖更生, 吴晓玉, 等. 我国蔬菜发酵加工研究进展[J]. 保鲜与加工, 2006, (2): 15-18.
Yang RL, Xiao GS, Wu XY, *et al.* Advance in study of fermentation processing of vegetables in china [J]. Storage Process, 2006, (2): 15-18.
- [42] 王卫东, 陈安徽, 杨万根, 等. 人工发酵蔬菜的研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 413-416.
Wang WD, Chen AH, Yang WG, *et al.* Advances in inoculated fermented vegetables [J]. Food Sci, 2010, 31(21): 413-416.
- [43] 张杨, 孟祥晨. 自然发酵酸菜中乳杆菌的分离鉴定与多态性分析[J]. 中国乳品工业, 2009, 37(2): 19-22.
Zhang Y, Meng XC. Isolation, identification and genetic diversity analysis of *lactobacilli* from naturally fermented northeast sauerkraut [J]. China Dairy Ind, 2009, 37(2): 19-22.
- [44] 黄业传, 曾凡坤. 自然发酵与人工发酵泡菜的品质对比[J]. 食品工业, 2005, (3): 41-43.
Huang YC, Zeng FK. The comparison of quality between the natural fermented sauerkraut and the inoculated fermented sauerkraut [J]. Food Ind, 2005, (3): 41-43.
- [45] 龚钢明, 管世敏, 吕玉涛. 接种乳酸菌发酵泡菜的研究[J]. 食品科技, 2010, 35(6): 44-46.
Gong GM, Guan SM, Lv YT. Study on processing condition of lactic acid bacteria inoculated fermented of pickled vegetable [J]. Food Sci Technol, 2010, 35(6): 44-46.
- [46] 李洁芝, 陈功, 张其圣, 等. 直投式乳酸菌发酵青菜时亚硝酸盐的动态变化与控制[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(8): 64-68.
Li JZ, Chen G, Zhang QS, *et al.* Dynamic changes and controls of nitrite using direct vat starters in the pickled mustard [J]. Food Ferment Ind, 2009, 35(8): 64-68.
- [47] 于娟娟, 王顺喜, 马微. 直投式发酵剂生产酸菜及其风味物质的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(4): 82-86.
Wang JJ, Wang SX, Ma W. Study on ready-to-use starter to produce sauerkraut organic acids and flavor components [J]. Food Sci, 2008, 29(4): 82-86.
- [48] 田慧敏, 刘小荣. 乳酸菌发酵酸菜及廉价培养基的筛选[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2012, 28(10): 23-25.
Tian HM, Liu XR. Sauerkraut fermented by lactic acid bacteria and screening of cheap medium [J]. J Chifeng Univ (Nat Sci Edit), 2012, 28(10): 23-25.
- [49] 武俊瑞, 张苗, 蔡森, 等. 自然发酵酸菜发酵液中化学成分测定[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 117-119.
Wu JR, Zhang M, Cai M, *et al.* Chemical composition analysis of naturally fermented sauerkraut [J]. Food Sci, 2012, 33(16): 117-119.
- [50] 周文美. 苗家珍珠——酸汤[J]. 江苏调味副食品, 2004, 21(4): 27-28.
Zhou WM. Hmong's delicious food-vinegar soup [J]. Jiangsu Condiment Subsidiary Food, 2004, 21(4): 27-28.
- [51] 汤庆莉, 杨占南, 吴天祥. 贵州省苗族发酵型酸汤中特征性成分的初步研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(9): 165-166.
Tang QL, Yang ZN, Wu TX. Study on the characteristic components in fermented acidic liquid from Miao nationality in Guizhou province [J]. Scie Technol Food Ind, 2005, 26(9): 165-166.
- [52] 王禾, 韩春然, 王金凤. 多株乳酸菌快速发酵制作酸菜的研究[J]. 黑龙江商学院学报(自然科学版), 1999, 15(3): 13-17.
Wang H, Han CR, Wang JF. A study on the production of acid cabbage through fast fermentation by lactic acid bacteria strains [J]. J Heilongjiang Commer Coll (Nat Sci Edit), 1999, 15(3): 13-17.
- [53] 闫雅岚, 李小平, 陈喜彦. 泡菜在自然发酵过程中营养成分变化规律的研究[J]. 中国调味品, 2008, (9): 53-55.
Yan YL, Li XP, Chen XY. Study on the variance of nutrient components of pickle in nature fermentation [J]. China Condiment, 2008, (9): 53-55.
- [54] 杜书. 酸菜自然发酵过程中风味及质地变化规律研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.
Du S. Studies on changes of flavor and texture in sauerkraut during natural fermentation [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2013.
- [55] 熊瑛, 寻思颖, 孙棣, 等. 高效液相色谱法测定酸汤中的有机酸[J]. 中国调味品, 2012, 37(7): 71-73.
Xiong Y, Xun SY, Sun D, *et al.* Determination of organic acids in sour soup by high performance liquid chromatography [J]. China Condiment, 2012, 37(7): 71-73.
- [56] 朱文娟, 周相玲, 张惠, 等. 人工接种泡菜的风味物质研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(11): 108-110.
Zhu WX, Zhou XL, Zhang H, *et al.* Study on flavors of inoculated fermented pickle [J]. Sci Technol Food Ind, 2007, 28(11): 108-110.
- [57] 田丰伟. 泡菜菌系分析和接种发酵研究[D]. 无锡: 无锡轻工业大学, 2000.
Tian FW. Analysis of Kimchi flora and inoculated fermentation research [D]. Wuxi: Wuxi University of Light Industry, 2000.
- [58] 章献, 赵勇, 刘源, 等. 2 种韩国泡菜挥发性风味物质分析研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(1): 150-156.
Zhang X, Zhao Y, Liu Y, *et al.* Analysis of the volatiles in two kinds of korea kimchi by gas chromatograph-mass spectrometry with solid phase microextraction [J]. Food Ferment Ind, 2009, 35(1): 150-156.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



张玉龙, 硕士, 主要研究方向为食品微生物与生物技术。

E-mail: Zhangyl340@126.com



胡萍, 教授, 主要研究方向为食品微生物与生物技术。

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