酸菜腌制及保藏方法的研究进展

孙庆申[1,2], 王钰涵[1,2], 韩德权[1,2], 韩晓云[1,3*]

(1. 黑龙江大学 农业微生物技术教育部工程研究中心, 哈尔滨 150500;
2. 黑龙江大学 生命科学学院 黑龙江省通高等学校微生物重点实验室, 哈尔滨 150080;
3. 黑龙江大学 生命科学学院 黑龙江省普通高等学校分子生物学重点实验室, 哈尔滨 150080)

摘 要: 酸菜生产的季节性以及人们常年性需求之间的矛盾使得酸菜能够长期保藏显得尤为重要。但是酸菜在保藏过程中由于生物、物理以及化学作用使其容易腐败变质。为探究延长酸菜保质期的有效方法, 本文通过文献调研, 分别从酸菜自身、工艺条件等角度出发, 阐述了通过加入直投式的发酵剂(其中有乳酸菌及一定量的酵母菌)来丰富酸菜的酯香味, 同时利用生物拮抗作用、低温保藏等手段提高酸菜贮藏性能的方法, 特别强调了生物防腐剂以及拮抗微生物的应用前景。从食品安全以及市场化前景角度展望了未来酸菜腌制及保藏的发展方向, 为酸菜的生产和贮藏提供新思路。

关键词: 酸菜; 腌制; 保藏; 生物拮抗

Research progress on pickling and preservation of sauerkraut

SUN Qing-Shen[1,2], WANG Yu-Han[1,2], HAN De-Quan[1,2], HAN Xiao-Yun[1,3*]

(1. *Engineering Research Center of Agricultural Microbiology Technology*, *Ministry of Education*, *Heilongjiang University*, *Harbin* 150500, *China*; 2. *Key Laboratory of Microbiology*, *College of Heilongjiang Province*, *School of Life Sciences*, *Heilongjiang University*, *Harbin* 150080, *China*; 3. *Key Laboratory of Molecular Biology*, *College of Heilongjiang Province*, *School of Life Sciences*, *Heilongjiang University*, *Harbin* 150080, *China*)

ABSTRACT: The seasonality of sauerkraut production makes it difficult to satisfy people's perennial demand for sauerkraut, which emphasizes the importance of sauerkraut preservation for a long time. However, sauerkraut is prone to spoilage due to the biological, physical and chemical factors during the preservation process. Based on literature analysis, this review stated the use of ready-to-use starter (containing lactic acid bacteria and yeast) for enriching the ester fragrance; and the methods to improve the storage performance of sauerkraut such as the use of biological antagonism, and low-temperature preservation technique, with special emphasis on the prospects of biological preservation through the use of bio-preservatives and antagonistic microorganisms, from the point of sauerkraut itself, process conditions, etc, in order to explore effective methods to extend the shelf life of sauerkraut. From the perspective of food safety and market prospect, the future development direction of pickle and preservation was prospected. This review also provided the prospects for sauerkraut production and storage.

KEY WORDS: sauerkraut; pickling; storage; biological antagonism

***通讯作者:** 韩晓云, 副教授, 主要研究方向为食品与药品活性物质的挖掘。E-mail: hanxiaoyun70@126.com

***Corresponding author:** HAN Xiao-Yun, Associate Professor, Key Laboratory of Molecular Biology, College of Heilongjiang Province, School of Life Sciences, Heilongjiang University, Harbin 150080, China. E-mail: hanxiaoyun70@126.com

1 引 言

酸菜的乳酸菌发酵作用、蛋白质分解作用以及风味形成过程赋予了产品特有的风味，因而受到越来越多人的喜爱。酸菜最初作为东北三省广受欢迎的食品，现已深受全国人民的喜爱[1]。东北酸菜以白菜为原料，添加一定量的食盐，利用原料自身携带的微生物和环境微生物经发酵作用腌制而成，是餐桌上常见的食品[2]，它的味道咸、酸、香，口感好，且具有去油、开胃、提神的功效。它不仅能改善人们的食欲和消化功能，还能帮助人体吸收铁等元素。有研究表明，发酵蔬菜中黄酮类化合物的种类和含量比新鲜蔬菜多，抗氧化能力强[3]。许多研究也表明泡菜可以降低肥胖、糖尿病、炎症、高胆固醇血症和癌症的风险，有助于激活免疫系统，此外，诸多研究还证实了酸菜具有较高的营养价值[4]。基于这些特性，酸菜发酵的质量研究备受关注。

酸菜发酵具有悠久的历史，在发酵过程中产生的低 pH 环境可抑制一些杂菌的生长，在一定程度上有助于稳定酸菜的质量。但是，由于蔬菜自身的微生物、环境中杂菌种类多、对环境的耐受性差异大，会导致酸菜腌制的质量不稳定，腐臭现象时有发生。为避免这些现象，通过人工接种直投式发酵剂，使酸菜发酵条件可控，在此基础上，优化发酵剂组成，以降低各种有害物质特别是亚硝酸含量成为研究的热点。因此，各种直投式发酵剂应运而生，该发酵剂方便了酸菜的腌制，甚至工业上酸菜的生产，大大提高了酸菜产品的质量，包括产品的安全性也得到显著的提高。

但是，酸菜生产出来以后，通过不同的后处理，然后进行包装上市，一般保质期为 3～12 个月不等，使酸菜在市场流通环节受到了制约。

因此，系统地分析影响酸菜贮藏品质的因素对于正确开发酸菜产品并其能够在市场上有效流通意义重大。本文将从酸菜产品本身、贮藏环境等方面综合地分析影响酸菜在市场流通时限的因素，以及提高流通效果的方案，从而为有目的地提高酸菜的贮藏效果，延长酸菜在市场上的流通时间及半径，满足人们的消费需求提供对策。

2 酸菜腌制

酸菜作为一种传统发酵食品，因其维生素、有机酸、氨基酸等含量丰富，并以其特有的风味深受人们喜爱[5]。国内酸菜腌制地区主要集中于东北三省。传统家用酸菜的腌制方法大多由大白菜隔绝空气自然发酵而成，腌制时要注意容器的清洁，不能有油类等物质存在，否则会导致酸菜腐烂变质。有研究表明不同的发酵器具对酸菜的口感和风味会产生较大的影响，刁亚娟等[6]对比了传统发酵腌制(即使用陶瓷缸)和塑料罐发酵的效果，发现塑料罐发酵一般处于室温发酵，发酵周期较短；而传统方法发酵一般是低温发酵，发酵时间较长。但塑料罐存在诸多安全隐患，例如塑料是由高分子物质组成，在某些的情况下会分泌有害物质向发酵基质中迁移，对人体造成伤害；同时酸菜在发酵过程中会产生大量的酸，高酸性物质会与塑料发生反应，产生更多不可控的有害物质。因此酸菜采用传统腌制方法进行发酵效果更佳。

同时大白菜腌制前不需要杀菌，因其微生物种类丰富，代谢产物成分多样，生物因子与非生物因子的相互作用十分复杂[7]，其中乳酸菌是酸菜发酵过程中的主要菌种，但发酵周期可能较长，在腌制的过程中会伴随不良杂菌的生长[8]。若发酵不充分就真空包装，乳酸菌会继续在包装袋中发酵[9]，一些杂菌不能被有效抑制，则会导致涨袋。同时，过短的发酵时间也会造成食品安全问题，如亚硝酸盐过多，经研究发现酸菜发酵初期会导致一定量的亚硝酸盐积累，由此达到最大值，但发酵一段时间后亚硝酸盐含量逐渐降低至最小值[10]。

因为自然发酵的周期长，占用空间大，需用的发酵容器多，秋冬发酵能耗大，导致投资大，成本高，产品质量不稳定等问题出现[11]，所以如何缩短发酵周期以及解决产品质量不稳定等方面是目前酸菜发酵所面临的重要问题。据报道，接种发酵剂进行培养可避免这些缺点[12]。经实验室制备的发酵剂在黄瓜、卷心菜等产品的发酵中已使用了几十年[13]。近几年人们研究出加入以乳酸菌为主的发酵剂可以有效缩短发酵周期，还能有效抑制杂菌生长[14]。孙庆申等[15]采用植物乳杆菌、副干酪乳杆菌和布式乳杆菌等联合制成的发酵剂来进行酸菜发酵，发现发酵周期明显缩短，也在一定程度上减少了杂菌的生长，得到初步结论，发酵剂中合适的菌种具有抑菌效果，降低杂菌污染，缩短发酵周期的作用。

Huang 等[16]分析了植物乳杆菌在酸菜发酵过程中的作用，如图 1 所示，胞外碳水化合物可通过磷酸转移酶系统(phosphotransferase system, PTS)泵入细菌胞浆，由磷酸烯醇丙酮酸(phosphoenolpyruvate, PEP)基团移位提供能量，是细菌摄取糖的一种独特方法。植物乳杆菌具有较强的转运和降解淀粉等大分子的能力。淀粉和葡聚糖等大分子碳水化合物通过消耗 ATP 借助 PTS 进行跨膜运输，植物乳杆菌在厌氧条件下可能具有更强的将丙酮酸转化为乳酸的能力，这正是植物乳杆菌在后发酵期使酸菜成熟的原因[17]。此外，在有氧条件下，丙酮酸转化为草酰乙酸，同时生成二氧化碳，通过罐内氧气的

还原，加速酸菜的成熟。丙酮酸脱氢酶(pyruvate dehydrogenase，pdh)催化 PEP 形成乙酰 CoA，再转化为醛。PEP 还可通过乙酰乳酸合成酶(acetolactate synthase，ALS)转化为 α-乙酰乳酸，再经乙酰乳酸脱羧酶(acetolactate decarboxylase，ALDC)酶解生成乙酰乙酸。醛和乙酰乙酸是发酵食品的主要挥发性风味物质，醛可用于其它风味物质的生物合成[18]。同时，谷氨酸脱羧酶能够从谷氨酸中除去羧基，产生二氧化碳，然后由谷转化为脯氨酸。甘氨酸、谷氨酸和脯氨酸使发酵蔬菜具有鲜味和甜味，琥珀酸是 TCA(tricarboxylic acid cycle)还原途径的最终产物。通过重组相关代谢途径，构建了细菌在植物相关底物上的代谢途径。

3　影响酸菜质量的因素

在酸菜发酵和保藏过程中存在许多影响其质量的因素，例如盐浓度[19]、pH、温度等。一般来说，尽管发酵食品中的盐含量与其防腐效果、酸菜的物理和感官特性呈正相关，许多研究表明，随着储藏时间的延长，食盐添加量过高导致酸菜颜色有明显的改变[20]。盐含量在一定范围内，酸菜的颜色变化较小，一般把盐度控制在酸菜本身重量的 1.0%。同时酸菜发酵过程中的乳酸菌发酵会产生有机酸，它的积累导致成熟酸菜的 pH 值小于 4，因此酸菜的较高酸度对腐败细菌和病原体有很好的抑制作用[21]。发酵初期 pH 值的迅速降低对酸菜的品质至关重要，因为它能将腐败菌的活性降到最低，甚至直接抑制或杀死腐败菌[22]。因此酸度是影响酸菜颜色的重要因素之一，高酸环境可以稳定酸菜的色泽，并对果胶具有一定的保护效果，从而改善酸菜的口感。酸菜在不同温度下的保藏时间也不一样。在低温下，各种类型微生物的生长均受到抑制。酸菜保藏过程中其微生物菌落总数呈增加趋势，并且温度越高微生物菌落总数的增加速率越快，温度越低，酸菜的口感和色泽也越好。许多研究都表明在秋冬季发酵的酸菜品质要明显好于夏季，能在一定程度上抑制腐败细菌和病原菌的生长。因此酸菜在腌制过程中要控制好盐度并使其保持处于高酸环境中，使发酵的酸菜得以有良好的口感。

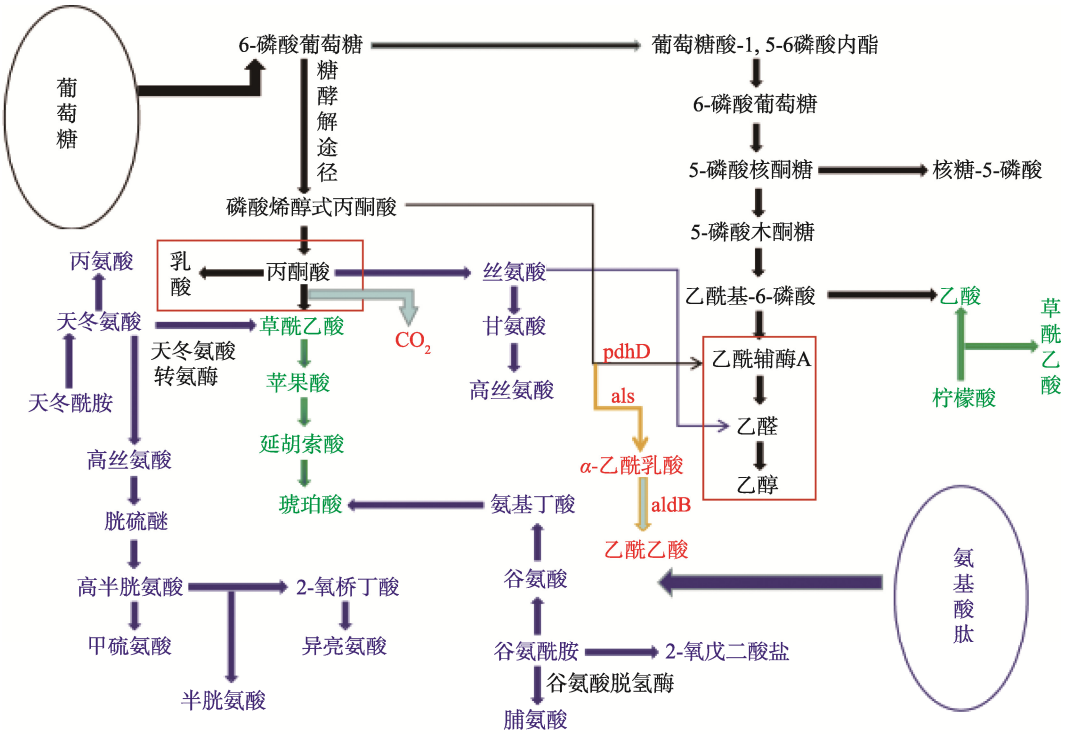

图 1　植物乳杆菌在酸菜发酵过程中参与的代谢过程

Fig.1　The metabolic process of *Lactobacillus plantarum* during sauerkraut fermentation

4 生物拮抗法在延长酸菜贮藏期中的应用

Droby 等[23]对微生物在植物病害生物防治方面也进行了相关陈述，表明微生物是水果和蔬菜组成的部分，在表面的称之为附生菌，组织内的称为内生菌，同时 DNA 测序和“组学”技术也提高了我们对微生物群落多样性、功能的理解深度。自然发酵在一定情况下会促进微生物群落演替，特别是细菌群落演替，引起代谢产物成分的变化，从而直接影响了腌菜的品质和风味。国外的学者对酸菜中优势菌群的研究目前也只针对乳酸菌及其在酸菜发酵过程中的影响[24]，但是通过针对其他腌制品的研究发现，植物乳杆菌针对草莓果实的灰霉病具有一定的拮抗作用[25]。

迄今为止，许多微生物菌株均被用于生物防治[23]，生物拮抗一般是指利用人工筛选的微生物群落，通过直接竞争或产抗菌物质来控制或抑制腐败菌的生长[26]。具有拮抗作用的微生物属于不同类群，包括酵母菌、细菌和少量的真菌[27]。大多生物拮抗菌均来自于水果、蔬菜、植物的根和土壤等[28]。乳酸菌(lactic acid bacteria，LAB)的安全性已经得到验证，一些乳酸菌还具有产抗菌化合物的能力而成为广泛应用的发酵菌种[29]。对传统发酵酸菜的先前研究表明，异型乳酸菌发酵推动了整个酸菜的发酵过程，通过产生的 CO_2 来进一步降低氧气的含量，随后同型乳酸发酵主导了酸菜的发酵过程[16]。而植物乳杆菌作为一种高效的碳水化合物的转化菌，兼具同型和异型的 2 种发酵途径，对酸菜的腌制效果贡献最大[30]。

Yu 等[31]从自然发酵的酸菜中筛选到了一株植物乳杆菌，该菌种可以在低 pH 下正常生长，证明了植物乳杆菌菌株对细胞壁合成抑制剂(多粘菌素 B 和万古霉素)以及蛋白质合成抑制剂(庆大霉素、卡那霉素和链霉素)具有抗性，因此能够有效地抑制杂菌生长，从而延长酸菜保质期。Chen 等[32]从腐生草莓上分离出 1 株植物乳杆菌 CM-3，该菌株能在草莓果实伤口中存活并迅速增殖，其潜在作用方式涉及直接抑制孢子萌发并与病原菌争夺空间和养分，从而能够有效地抑制腐生生物的生长。

此外，研究表明，酵母在发酵后风味物质的产生和成品的储存过程中也起着关键的作用[33]。郑慧纹等[34]发现，在酸菜发酵时加入酵母可提高酸菜的风味，酵母可充分利用蔬菜原料中可发酵的糖，防止剩余的可发酵糖被腐败菌利用而导致产品腐败，有利于延长产品的贮藏期。在酸菜发酵过程中适时适量地添加酵母菌不仅可通过酵母本身的酒精发酵产出乙醇[24]，又可通过进一步与有机酸相互反应产生酯类的芳香物质[35]，丰富酸菜的口感，提高产品品质。

随着科技的发展，生物拮抗来延长保质期会越来越成为研究的热点，该方法在保障了食品安全的同时也对食物的口感以及风味影响较小。所以通过向发酵的酸菜中加入拮抗菌株是很好延长酸菜保质期的方法，还能改善酸菜的口感和缩短发酵周期。

5 包装材料和防腐剂在延长酸菜贮藏期方面的应用

5.1 包装材料

包装在食品供应链中起着至关重要的作用。旨在提高食品安全和质量的新包装技术有助于减少分贮藏-销售链中的食品损失[36]。包装材质对酸菜贮藏质量也有影响，对泡菜色泽、脆度和风味的影响显著。励慧敏[20]研究发现铝箔膜比镀铝膜好，镀铝膜比透明膜好，因为 3 种材料中，铝箔膜的阻隔性最好，透明薄膜最差。良好的防氧、防潮性能有效降低褐变的发生，使酸菜包装在保护中保存较好。冷等离子体法也是一种很有潜力的表面改性方法，作为一种延长贮藏时间的新型包装方法，可用于双层抗菌膜的制备[37]，可以推测经冷等离子体技术改性的双层抗菌膜也可应于酸菜的包装，由此来延长酸菜的保质期。邹波等[38]研究发现，同一材料不同厚度包装袋对酸菜在保藏过程中的总酚含量，色泽以及褐变度亦会产生不同的影响。因此可以认为，带颜色的膜如铝膜等对酸菜保存的效果会更好，能有效的降低褐变率。使包装袋具有一定厚度也能延长酸菜的保质期。

5.2 防腐剂

随着人们对食品安全问题的重视，更多的人开始对防腐剂有了初步了解。防腐剂是指一种抑制微生物生长繁殖，并在一定程度上减少产品腐败的试剂[39]。我国到目前为止已批准了 32 种允许使用的食物防腐剂，其中最常用的有苯甲酸钠、山梨酸钾等[40]。经研究发现山梨酸钾的毒性要比苯甲酸钠的毒性低一些，所以现今大部分防腐剂都采用山梨酸钾和其他活性化合物混合来发挥其防腐效果。孟繁博等[41]研究发现联合利用防腐剂(脱氢醋酸钠:山梨酸钾为 1:1)和低温冷藏保存对酸菜的保藏效果最好。曹秋阁等[42]和夏琪娜等[43]通过优化实验，确定了酸菜防腐剂的不同配方。上述研究显示，目前人们已经开始重视酸菜的防腐问题，并开始探索各种防腐剂配方，以获得适合当地的保藏方案。

除此之外，已经上市的生物防腐剂如乳酸链球菌素(Nisin)和小分子肽备受关注。Nisin 对革兰氏阳性菌具有较

好的抗菌效果[44]。研究表明, Nisin 抑菌活性损失随温度、pH 值的升高或时间的延长而加剧; 此外, K^+、Ca^{2+}对 Nisin 抑菌稳定性的保护效果差, Fe^{2+}、Ba^{2+}较强, 而 Na^+、Mg^{2+}则加剧 Nisin 的活性损失[45]。陈兵等[46]通过低温浓缩法、浓度梯度盐析沉淀法、透析-层析法从酸菜中提取出一种小肽类物质, 并证明酸菜发酵液中提取出的小肽类物质有良好的防腐效果, 优于 Nisin。还有研究在 Nisin 中添加脱氢醋酸钠和尼泊金复合酯钠, 此复合防腐剂对酸菜中致腐菌的抑制率达到了 96%以上[47]。

由此可见, 酸菜腌制结束后添加防腐剂和选择包装材料对其贮藏效果将起到很大的影响, 在这些环节中, 人们对产品安全性问题关注度高, 所以在酸菜腌制结束, 上市之前的综合后处理技术(包括漂烫、脱水、高压杀菌等)也提到日程上来。

6　其他后处理技术

高压技术是一种非热杀菌技术, 对酶和微生物均有一定的灭杀效果且可保证产品质量[48]。高压可以抑制病原体的生长, 并保持食品的质量和新鲜度, 类似于最低限度的加工。但是在应用前必须充分了解样品的耐压特性, 以及在高压过后可能发生的生理反应。由于微生物的耐压能力不均匀, 不适当的压力处理条件不仅不能抑制微生物的生长, 还会导致意想不到的食品安全问题[49]。

南京工业大学发现了一种新型杀菌保鲜法, 通过先冷冻保藏再冷杀菌。该技术使用低温等离子体灭菌冷核心技术结合人工气调保鲜包装(modified atmosphere packaging, MAP), 整个过程由传统的杀菌和再包装转变为包装和杀菌, 大大减少了包装过程中的二次污染和化学残留[50]。该技术对大肠杆菌、沙门氏菌、李斯特菌等常见食品病原菌有较理想的杀灭效果, 可大大提高食品的新鲜度[51]。徐文慧等[37]也通过研究等离子体杀菌技术发现其可以杀死多种类型的细菌、真菌、病毒以及各种芽孢, 对果蔬的保鲜也有重要作用。

7　结论与展望

在改善风味、提高安全性的基础上, 人们已开始注重酸菜生产的地域性、季节性与人们需求的广泛性、常年性之间的矛盾问题。解决这一问题的关键在于提高酸菜的贮藏性能。而酸菜在保藏过程中会受到食源性腐败菌的污染, 进而导致其变质, 因此如何降低保藏期间杂菌的产生以及延长保质期是近些年研究的热点。

国内外已经开展了大量关于延长酸菜保藏期的研究, 并有一些保藏剂产品上市。目前对生物拮抗, 特别是优势发酵菌株与腐败菌的竞争关系研究已成为热点。乳酸菌与其他种类微生物是何种关系, 其代谢物如何和酵母菌代谢物相互作用形成泡菜的风味物质等仍然不清楚。对于加入乳酸菌属进行拮抗作用的机制尚未明确; 针对真菌或细菌的抑菌作用机制是否相同; 加入的拮抗菌是否是通过分泌某些物质, 如细菌素等来抑制其他杂菌的生长, 以及加入的拮抗菌在抑制真菌等杂菌生长的同时是否会抑制有益菌的生长等都是进一步研究的热点方向。研究菌种的结构与功能之间的关系, 代谢机理的研究以及抑菌机制的深入研究等, 将有助于推动抗菌物质的研究进展, 为开发食品的绿色防腐剂提供理论依据。

参考文献

[1] 赵金海, 高玉荣, 段楠. 不同发酵条件对人工接种酸菜品质的影响[J]. 黑龙江科学, 2014, 5(4): 12–14.
Zhao JH, Gao YR, Duan N. The effects of different fermentation conditions on fermented vegetables'quality [J]. Heilongjiang Sci, 2014, 5(4): 12–14.

[2] 李欣蔚. 东北地区自然发酵酸菜中乳酸菌时空分布规律的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
Li XW. The research of spatial and temporal distribution of lactic acid bacteria in naturally fermented cabbage in northeastern part [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017.

[3] 马艳弘, 魏建明, 侯红萍, 等. 发酵方式对山药泡菜理化特性及微生物变化的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 179–184.
Ma YH, Wei JM, Hou HP, *et al*. Effects of fermentation methods on physicochemical and microbiological characteristics of pickled Chinese yam [J]. Food Sci, 2016, 37(17): 179–184.

[4] Park J, Pichiah P, Yu J, *et al*. Anti-obesity effect of kimchi fermented with *Weissella koreensis OK* 1-6 as starter in high-fat diet-induced obese C57 BL/6J mice [J]. J Appl Microbiol, 2012, 113(6): 1507–1516.

[5] Jagannath A, Raju PS, Bawa AS. A two-step controlled lactic fermentation of cabbage for improved chemical and microbiological qualities [J]. J Food Qual, 2012, 35(1): 13–20.

[6] 刁亚娟, 白胡木吉力图, 霍玉洁. 传统方法腌制酸菜和塑料瓶腌制酸菜的腌制工艺的比较 [J]. 食品工程, 2017, 2: 6–7.
Diao YJ, Bai HMJLT, Huo YJ. Comparison ofthe pickled process between traditional pickled cabbage and pickled cabbage in plas tic bottle [J]. Food Eng, 2017, 2: 6–7.

[7] Chowdhury S, Teoh YL, Ong KM, *et al*. Poly(vinyl) alcohol crosslinked composite packaging film containing gold nanoparticles on shelf life extension of banana [J]. Food Packag Shelf, 2020, 24: 100463.

[8] 燕平梅, 魏爱丽, 李润花, 等. PCR–DGGE 法分析酸菜中乳酸菌的多

样性[J]. 中国酿造, 2019, 38(4): 32–35.
Yan PM, Wei AL, Li RH, *et al*. Diversity of lactic acid bacteria in sauerkraut analysis by PCR-DGGE [J]. China Brew, 2019, 38(4): 32–35.

[9] 李梅, 卜孟军, 崔洋, 等. 不同处理方式下毛竹笋发酵过程中质地变化分析[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(8): 138–144.
Li M, Bu MJ, Cui Y, *et al*. Change of the texture of bamboo shoots (*Phyllostachys eduis*) with different treatments during ferme [J]. Food Ferment Ind, 2017, 43(8): 138–144.

[10] 韩宏娇, 丛敏, 李欣蔚, 等. 自然发酵酸菜化学成分含量和微生物数量的动态变化及其相关性分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(2): 148–153.
Han HJ, Cong M, Li XW, *et al*. Dynamic changes and correlation analysis of chemical components contents and microbial quantity in naturally fermented sauerkraut [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(2): 148–153.

[11] 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.

[12] Wouters D, Bernaert N, Conjaerts W, *et al*. Species diversity, community dynamics, and metabolite kinetics of spontaneous leek fermentations [J]. Food Microbiol, 2013, 33(2): 185–196,

[13] 张健, 姜素平, 蒋继宏, 等. 毛泡桐内生真菌的分离、拮抗细菌菌株的筛选和鉴定[J]. 微生物学杂志, 2018, 38(5): 60–65.
Zhang J, Jiang SP, Jiang JH, *et al*. Isolation, screening and identification of antagonistic bacteria strains of endophytic fungi from *Paulownia tomentosa* [J]. J Microbiol, 2018, 38(5): 60–65.

[14] 王璐, 王伟伟, 王艳霞, 等. 果蔬发酵乳酸菌的筛选、鉴定及发酵性能分析[J]. 食品科学, 2020, 41(10): 166–171.
Wang L, Wang WW, Wang YX, *et al*. Screening, identification and fermentation characteristics of lactic acid bacteria for fermentation of fruits and vegetables [J]. Food Sci, 2020, 41(10): 166–171.

[15] 孙庆申, 王艺, 杨丽娟, 等. 复合酸菜发酵剂乳酸菌的优选及鉴定[J]. 黑龙江大学工程学报, 2013, 4(4): 35–39, 46.
Sun QS, Wang Y, Yang LJ, *et al*. Isolation and identification of the preferably selected lactic acid bacteria from marketed pickled cabbage [J]. J Eng Heilongjiang Univ, 2013, 4(4): 35–39, 46.

[16] Huang T, Xiong T, Peng Z, *et al*. Genomic analysis revealed adaptive mechanism to plant–related fermentation of *Lactobacillus plantarum* NCU116 and *Lactobacillus* spp. [J]. Genomics, 2020, 112(1): 703–711.

[17] Xiao Y, Xiong T, Peng Z, *et al*. Correlation between microbiota and flavours in fermentation of Chinese Sichuan paocai [J]. Food Res Int, 2018, 114: 123–132.

[18] 邵齐, 彭珍, 熊涛. 乳酸菌发酵对芒果浆理化指标、营养成分和风味物质的影响[J]. 饮料工业, 2017, 20(5): 43–48.
Shao Q, Peng Z, Xiong T. Effects of Lactic acid bacteria on physical-chemical properties, nutritional components and flavor compounds of mango slurry [J]. Bever Ind, 2017, 20(5): 43–48.

[19] 曾凡坤, 王中凤, 吴永娴, 等. 传统涪陵榨菜工业化生产工艺研究[J]. 中国食品学报, 2004, (1): 27–32.
Zeng FK, Wang ZF, Wu YX, *et al*. Research on the industrial production technology of traditional Fuling zhacai [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2004, (1): 27–32.

[20] 励慧敏. 提高酸菜风味包保存期品质的研究[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(8): 53–55.
Li HM. Study on improving the quality of sauerkraut during the storage life [J]. Food Res Dev, 2011, 32(8): 53–55.

[21] Baptista RC, Horita CN, Santana AS. Natural products with preservative properties for enhancing the microbiological safety and extending the shelf-life of seafood: A review [J]. Food Rese Int, 2020, 127: 108762.

[22] 唐垚, 蔡地烽, 陈功, 等. 拉萨不同贮藏时间泡菜的菌相构成及筛选乳酸菌特性解析[J]. 中国调味品, 2019, 44(9): 107–110.
Tang Y, Cai DF, Chen G, *et al*. Bacterial phase composition of pickles at different storage time in lhasa and characteristics analysis of screened lactic acid bacteria [J]. Chin Cond, 2019, 44(9): 107–110.

[23] Droby S, Wisniewski M. The fruit microbiome: A new frontier for postharvest biocontrol and postharvest biology [J]. Posth Biol Technol, 2018, 140: 107–112.

[24] 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.
Ye L, Li Y, Wang RR, *et al*. Progress in research on the diversity of lactic acid bacteria in traditional Chinese fermented vegetables [J]. Food Sci, 2018, 39(15): 296–301.

[25] Daranas N, Rosello G, Cabrefiga J, *et al*. Biological control of bacterial plant diseases with *Lactobacillus* plantarum strains selected for their broad-spectrum activity [J]. Ann Appl Biol, 2019, 174(1): 1–14.

[26] Camargo AC, Todorov SD, Chihib NE, *et al*. Lactic acid bacteria (LAB) and their bacteriocins as alternative biotechnological tools to control *Listeria monocytogenes* biofilms in food processing facilities [J]. Mol Biotechnol, 2018, 60(9): 712–726.

[27] Palani K, Harbaum PB, Meske D, *et al*. Influence of fermentation on glucosinolates and glucobrassicin degradation products in sauerkraut [J]. Food Chem, 2016, 190: 755–762.

[28] Dukare AS, Paul S, Nambi VE, *et al*. Exploitation of microbial antagonists for the control of postharvest diseases of fruits: A review [J]. Crit Rev Food Sci, 2019, 59(9): 1498–1513.

[29] Huang C, Cao J, Xiao M, *et al*. Effects of time delays on stability and Hopf bifurcation in a fractional ring–structured network with arbitrary

neurons [J]. Commun Nonlinear Sci, 2018, 57: 1–13.

[30] Illeghems K, Vuyst LD, Weckx S. Comparative genome analysis of the candidate functional starter culture strains *Lactobacillus fermentum* 222 and *Lactobacillus plantarum* 80 for controlled cocoa bean fermentation processes [J]. BMC Genomics, 2015, 16(1): 766.

[31] Yu Z, Zhang X, Li S, *et al.* Evaluation of probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from Chinese sauerkraut [J]. World J Microb Biot, 2013, 29(3): 489–498.

[32] Chen C, Cao Z, Li J, *et al.* A novel endophytic strain of *Lactobacillus plantarum* CM–3 with antagonistic activity against *Botrytis cinerea* on strawberry fruit [J]. Biol Control, 2020, 148: 104306.

[33] Yang X, Hu W, Xiu Z, *et al*. Microbial dynamics and volatilome profiles during the fermentation of Chinese northeast sauerkraut by *Leuconostoc mesenteroides* ORC 2 and *Lactobacillus plantarum* HBUAS 51041 under different salt concentrations [J]. Food Res Int, 2019, 130: 108926.

[34] 郑慧纹, 闫茹, 徐琳琳, 等. 东北酸菜发酵酵母菌冻干保护剂的优化研究[J]. 中国酿造, 2020, 39(3): 136–140.
Zheng HW, Yan R, Xu LL, *et al*. Optimization offreeze-drying protective agent for yeast from fermented northeast pickle [J]. Chin Brew, 2020, 39(3): 136–140.

[35] Ahmadsah LSF, Min SG, Han SK, *et al*. Effect of low salt concentrations on microbial changes during Kimchi fermentation monitored by PCR-DGGE and their sensory acceptance [J]. J Micro Biot, 2015, 25(12): 2049–2057.

[36] Storia AL, Giuseppe FAD, Volpe S, *et al*. Physical properties and antimicrobial activity of bioactive film based on whey protein and *Lactobacillus curvatus* 54M16 producer of bacteriocins [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 108(108): 105959.

[37] 徐文慧, 周锦云, 蔡静, 等. 基于低温等离子体技术的果蔬生鲜杀菌保鲜研究进展[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(1): 121–124.
Xu WH, Zhou JY, Cai J, *et al*. Research progress on sterilization and preservation of fresh fruits and vegetables by low temperature [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2020, 61(1): 121–124.

[38] 邹波, 莘海亮, 梁旭楷, 等. 贵州启蒙酸菜真空包装保质工艺初步研究[J]. 农产品加工, 2017, 4: 33–34.
Zou B, Xin HL, Liang XK, *et al*. Preliminary study on vacuum packaging shelf technology of qimeng pickles of Guizhou [J]. Farm Prod Proc, 2017, 4: 33–34.

[39] Nezhad AHN, Davoodi A, Zahrani EM, *et al*. The effects of an inorganic corrosion inhibitor on the electrochemical behavior of superhydrophobic micro–nano structured Ni films in 3.5% NaCl solution [J]. Surf Coat Tech, 2020, 395: 125946.

[40] 任淑娟. 一株高抑制青霉菌菌株的分类鉴定与抑菌谱[D]. 晋中: 山西农业大学, 2013.
Ren SJ. Identification and antimicrobial spectrum of a high inhibiting penicillium strain [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2013.

[41] 孟繁博, 张万萍, 林茂, 等. 不同保藏方式对人工接种酸菜品质的影响[J]. 中国调味品, 2016, 41(9): 57–61.
Meng FB, Zhang WP, Lin M, *et al*. The effect of different ways of preservation on the quality of pickle inoculated artificially [J]. China Cond, 2016, 41(9): 57–61.

[42] 曹秋阁, 夏琪娜, 侯俊财, 等. 响应面法优化酸菜抑菌配方的研究[J]. 食品工业, 2014, 35(5): 86–89.
Cao QG, Xia QN, Hou JC, *et al.* Optimization of antibacterial formula for pickled vegetable using response surface analysis [J]. Food Ind, 2014, 35(5): 86–89.

[43] 夏琪娜, 侯俊财, 韩晶, 等. 发酵酸菜护色方法的研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(3): 17–20.
Xia QN, Hou JC, Han J, *et al*. Study on the color protection method of fermented cabbage [J]. China Cond, 2015, 40(3): 17–20.

[44] Twomey E, Hill C, Field D, *et al*. Bioengineered nisin derivative M17Q has enhanced activity against *Staphylococcus* epidermidis [J]. China Cond, 2020, 9: 305.

[45] 刘启莲. Nisin 抑菌稳定性改善研究及其应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
Liu QL. Research on improvement of antibacterial stability of nisin and its application [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.

[46] 陈兵, 田波, 原韬, 等. 酸菜发酵液中抑菌物质的提取与鉴定[J]. 食品与机械, 2011, 27(5): 123–125, 136.
Chen B, Tian B, Yuan T, *et al*. Extraction and identification of antibacterial substances from sauerkraut juice [J]. Food Mach, 2011, 27(5): 123–125, 136,

[47] 姜绍通, 孙磊, 罗水忠, 等. 复合防腐剂对腌制蔬菜中腐败细菌的抑制效果研究[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 54–58.
Jiang ST, Sun L, Luo SZ, *et al*. Suppression effect of compound preservative on spoilage bacteria in pickled vegetables [J]. Food Sci, 2010, 31(9): 54–58.

[48] 张少兰. 高静压技术的研究进展及其在食品加工中的应用[J]. 粮油加工与食品机械, 2003, (6): 64–66.
Zhang SL. Research progress of high static pressure technology and its application in food processing [J]. Grain Oil Proc Food Mach, 2003, (6): 64–66.

[49] Huang HW, Lung HM, Yang BB, *et al.* Responses of microorganisms to high hydrostatic pressure processing [J]. Food Control, 2014, 40: 250–259.

[50] 陈永, 莫国欢, 邱洁, 等. 气调冷藏对崇左江州酸菜贮藏品质的影响研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(14): 1–10.

Chen Y, Mo GH, Qiu J, *et al*, Study on the effect of controlled atmosphere and cold storage on the quality of pickled vegetables in Jiangzhou, Chongzuo [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(14): 1–10.

[51] 金凤. 高压电场“过”一下食品保鲜期大大提高[J]. 中国蔬菜, 2020, 2: 39.
Jin F. The high voltage electric field *passes* the food fresh-keeping period greatly improves [J]. China Veget, 2020, (2): 39.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介

孙庆申, 博士, 教授, 主要研究方向为食品与药品活性物质的挖掘。
E-mail: sunqingshen@hlju.edu.cn

韩晓云, 副教授, 主要研究方向为食品与药品活性物质的挖掘。
E-mail: hanxiaoyun70@126.com

食品加工工艺优化及应用研究

随之人类对自身健康的关注及生活水平的提高, 加工食品因保持其原色、原味及食品营养成分的优越性备受关注。越来越多的新工艺新方法应用于食品加工业, 尤其是多种工艺的综合利用, 对食品行业的发展起到了巨大的推动作用。

鉴于此, 本刊特别策划“食品加工工艺优化及应用研究”专题, 主要围绕加工工艺优化(提取工艺优化、配方优化、纯化优化、制备优化、响应面法优化等)、食品加工的综合利用及评价等问题展开讨论, 计划在 2021 年 2/3 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心 吴永宁 研究员特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力, 综述及研究论文均可。请在 2021 年 1 月 30 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题食品加工工艺优化及应用研究):

网站: www.chinafoodj.com(备注: 投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者登录-注册投稿-投稿栏目选择“2020 专题: 食品加工工艺优化及应用研究”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsq@126.com(备注: 食品加工工艺优化及应用研究专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部