

抑制活菌泡菜贮藏过程中品质劣变的研究

王向阳, 盛雪蓉, 俞兴伟, 施永清, 顾双*
(浙江工商大学食品与生物工程学院 杭州 310018)

摘要 目的:研究活菌泡菜产品在贮藏流通过程中由微生物引起的产品品质变化,开发延长泡菜贮藏期的新方法。方法:对从泡菜中分离鉴定出来的 8 种乳酸菌,在不同 pH 培养基条件下检测各种乳酸菌生长速度。对 8 种乳酸菌进行产气测定。在发酵前添加泡菜汁、嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌、木糖醇等,在不同温度条件下发酵和贮藏,对泡菜的色泽进行评分,对酸度、混浊度、挥发性物质进行测定。结果:在 pH 4.5 时,植物乳杆菌是优势菌,其次是短乳杆菌。在 pH 4.0~3.0 时,嗜酸乳杆菌是优势菌,其次是植物乳杆菌,主要产气菌是短乳杆菌、假肠膜明串珠菌、坏发酵乳杆菌。pH 4.0~4.5 时,主要产气菌是短乳杆菌。在 pH 3.5 时,主要是坏发酵乳杆菌产气。在 pH 3.0 时,不容易产气。发酵前添加 2 mL/L 1×10^5 CFU/mL 植物乳杆菌和 20 mg/g 木糖醇,可显著延长常温 and 低温下泡菜的贮藏期和货架期。结论: 1×10^5 CFU/mL 植物乳杆菌和 20 mg/g 木糖醇处理,显著抑制常温贮藏泡菜的总挥发物积累,抑制泡菜的异硫氰酸烯丙酯、茶类积累,有利于维持原初气味特征。

关键词 泡菜; 贮藏; 乳酸菌; 抑制产气; 保鲜

文章编号 1009-7848(2024)09-0389-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.09.036

泡菜是我国传统的发酵蔬菜,具有显著的保健功能^[1]。Shang 等^[2]发现腌制的佛手瓜具有抗氧化作用,能保护 HepG-2 细胞免受 H_2O_2 引起的氧化损伤。然而,若泡菜发酵条件不当,会造成亚硝酸盐和生物胺含量超标等食用安全问题。Luo 等^[3]指出,从泡菜中分离出来的植物乳杆菌 S1、植物乳杆菌 S14 和发酵乳杆菌 G9,接种泡菜,其亚硝酸盐和生物胺含量较低,有机酸和风味较好。Rao 等^[4]从泡菜中分离鉴定到发酵乳杆菌 FM 8、发酵乳杆菌 FM 10 和植物乳杆菌 FM 17。将这些菌株独立接种泡菜,25 °C 下发酵 15 d,接种发酵乳杆菌 FM 8 或植物乳杆菌 FM 17 的泡菜发酵时间短,亚硝酸盐水平较低。其中接种植物乳杆菌 FM17 的泡菜的总体可接受性得分最高。因此,合适的发酵菌种是泡菜制作的关键。

目前对泡菜发酵过程的微生物和品质研究较多。泡菜有自发发酵和受控乳酸发酵,前者微生物群的多样性受植物基质和外在环境的影响,后者使用商业发酵剂或自源发酵剂^[5]。当蔬菜被浸入盐水中时,高盐的环境使得原本在新鲜蔬菜上占优

势的菌群受到抑制。在发酵的不同阶段,菌种生长种类和速率各不相同。发酵至后期时,耐酸性很强的非产酸菌和某些霉菌容易生长,其对发酵后贮藏泡菜的风味和质地都有很大影响^[6-7]。此外,容器也会影响泡菜品质。Liu 等^[8]发现在发酵第 31 天,塑料罐中泡菜的乳酸和丁酸(不良气味)含量高于玻璃罐、瓷罐的泡菜。塑料罐发酵萝卜的表面容易成膜,主要是毕赤酵母属和念珠菌引起,泡菜在塑料罐中的硬度最低,变质程度最大。新鲜腌制的甘蓝泡菜中有嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌、短乳杆菌、食品乳杆菌(消化乳杆菌)、弯曲乳杆菌、米酒乳杆菌、坏发酵乳杆菌、假肠膜明串珠菌,其中短乳杆菌、假肠膜明串珠菌、坏发酵乳杆菌都产气^[9]。短乳杆菌和类酵母是贮藏萧山萝卜干的主要产气菌^[10]。泡菜贮藏至第 4 天,乳杆菌是优势属,植物乳杆菌是产生自诱导信号分子-呋喃硼酸二酯(AI-2)的细菌。在贮藏第 31 天,优势属也是乳杆菌,植物乳杆菌、短乳杆菌、片球菌属等都产生 AI-2。在贮藏第 79 天,肠杆菌是优势菌,植物乳杆菌、肠杆菌、巨大芽孢杆菌等都产生 AI-2^[11]。

然而,腌制完成的泡菜在贮藏过程中易导致品质腐败,如继续产酸、产气、汤液变浑浊、变馊等^[12]。目前,已有非热杀菌^[13]、芥末油^[14]、气调^[15]、化学防腐剂^[16-18]、天然防腐剂^[19-20]等多种方法用于泡菜贮藏的研究。产气是影响泡菜产品货架期和

收稿日期: 2023-09-16

基金项目: 浙江省公益技术研究计划农业项目 (LGN18C200014); 浙江省教育厅科研项目 (Y202250368)

第一作者: 王向阳,男,博士,教授

通信作者: 顾双 E-mail: gushuang025@zjhu.edu.cn

质量的重要因素,泡菜释放的挥发性成分代表了相应的生长优势菌种。Rao等^[21]研究发现,辣椒泡菜发酵速度慢,细菌种类多,挥发物主要为醇类和酯类。豇豆和萝卜泡菜能快速酸化,细菌种类少。豇豆泡菜以乳酸杆菌和片球菌属为主,挥发物以醇类和烯烃为特征。萝卜泡菜富含乳球菌和果糖芽孢杆菌,挥发物主要是硫化物和醛类^[22]。Sun等^[23]从4℃储存7d的泡菜中鉴定出50种挥发性有机物,发现在泡菜储存过程中大多数醇、醛、酮和酯减少,而酸增加,硫化物、烯烃和酚类含量基本不变。明串珠菌、乳酸杆菌和魏斯氏菌与泡菜的风味高度相关,而芽孢杆菌和链霉菌与泡菜贮藏过程中的风味形成高度相关^[23]。甘蓝泡菜挥发性成分中的苯甲酸类、烯丙基异硫氰酸酯、壬醛、石竹烯、1-辛烯-3-醇含量较高,待贮藏至后期时,泡菜的醛类、酯类、苯衍生物、烯、烷、萘类增加^[24]。0.18%茶多酚处理甘蓝泡菜可大幅度降低酸类、酮类,降低后期酯类、醛类,提高醇类和后期烯类,导致呋唑类消失,葱醌物质上升,胺类消失,酚类出现,显著提升了后期D-柠檬烯含量,原因可能是茶多酚抑制乳酸菌生长量^[24]。

市场中售卖的带活菌泡菜(没有热杀菌,低温保存)有很大比例,而有关于活菌腌菜产品贮藏流通过程中由微生物引起的品质变化研究较少。带菌泡菜风味较佳,脆度较高,又有利于肠道健康,然而,整个流通和货架期在低温下只有7d,常温下只有2d,主要问题是活菌泡菜中乳酸菌过多会继续产气,汤液变浑浊,酸味过重,以及气味稍有馊味,有害微生物导致泡菜腐败、溃烂等,这对生产企业和商家带来了很大损失。在活菌腌菜流通过程中,其保存遇到困难,其中的乳酸菌完全可能成为败坏菌。因此,本文分析和研究活菌泡菜在贮藏、流通过程中品质变化的因素,采取最佳方法控制乳酸菌等微生物,以改善泡菜品质。

1 材料与方法

1.1 材料和试剂

泡菜由甘蓝(*Brassica rapa* L. var. hakabura)制作,海宁市光明蔬菜有限公司。乳酸菌为从该泡菜中分离鉴定的实验室保存菌种:食品乳杆菌、假肠膜明串珠菌、弯曲乳杆菌、嗜酸乳杆菌、短乳杆

菌、植物乳杆菌、米酒乳杆菌、坏发酵乳杆菌。MRS固体培养基、MRS液体培养基、乳酸菌葡萄糖发酵试验用培养基,杭州禾德化工仪器公司;木糖醇,安徽中弘生物工程有限公司。

1.2 仪器与设备

E-201C型pH计,上海精密科学仪器有限公司;TE2000-S型倒置显微镜,日本尼康公司;UV2550紫外分光光度计,日本岛津公司;F200/M200型多功能酶标仪,瑞士Tecan公司;手动顶空固相微萃取(SPME)进样器、萃取头(100 μm PDMS、65 μm PDMS-DVB、75 μm CAR-PDMS、85 μm PA),美国Supelco公司;7890A-5975C气相色谱质谱联用仪、15 mL顶空采样瓶,美国Agilent公司;RCT-basic加热磁力搅拌器,日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 耐酸优势乳酸菌试验 将MRS固体培养基上活化好的乳酸菌接种于pH 4.5,pH 4.0,pH 3.5,pH 3.0的20 mL MRS液体培养基,30℃、140 r/min下摇床培养,每隔2 h测1次,每次0.2 mL。利用96孔板,用酶标仪测定乳酸菌生长。以OD_{600nm}值为纵坐标,培养时间为横坐标,绘制乳酸菌的生长曲线^[25]。

1.3.2 不产气乳酸菌试验^[24] 将各菌株接种于10 mL乳酸菌葡萄糖发酵试验用培养基(内含有杜氏小管),30℃下培养3 d,观察其产气情况。

1.3.3 在发酵期处理抑制 250 g新鲜卷心菜经挑选、整理、清洗、沥干、切分、称量、装坛。其它辅助蔬菜、食盐、红糖,500 mL水注入坛中,蔬菜完全浸没,泡菜坛密闭发酵。

处理1: 1)1 mL泡菜汁(来自该企业);2)1 mL 1×10⁵ CFU/mL植物乳杆菌;3)1 mL 1×10⁵ CFU/mL嗜酸乳杆菌;4)2%木糖醇;5)1 mL 1×10⁵ CFU/mL植物乳杆菌+2%木糖醇;6)对照;室温(20℃±2℃)腌制8 d。20℃下贮藏。

处理2: 1)植物乳杆菌+低温;2)木糖醇+低温;3)植物乳杆菌+木糖醇+低温;4)低温对照。低温(10℃±1℃)下,腌制8 d。4℃下贮藏。

处理3: 上述对照样品,1)充N₂包装;2)充CO₂包装;3)充空气包装;4)对照。20℃下贮藏。

1.3.4 品质评估

表 1 泡菜评分标准表

Table 1 Pickle score standard table

评分	评定标准
5~6 分	脆度差,香气差,有酸败异味,汁液浑浊,有霉花浮膜,色泽发黄
6~7 分	质地不脆,泡菜固有香味不明显,滋味较差,偏酸,汁液较浑浊,色泽稍发黄
7~8 分	质地较脆,固有香味较明显,滋味较醇正,汁液稍浑浊,色泽尚明亮
8~9 分	质地脆,固有香味较明显,滋味较醇正,汁液较透明,色泽较明亮
9~10 分	质地脆,具泡菜固有香味,滋味醇正,无异味,汁液清晰透明,色泽明亮

注:由本专业 10 名同学组成评定小组对泡菜打分,最优为 10 分;外观色泽、口味、香味单独打分。

1.3.5 泡菜 pH 值测定 泡菜腌液用 pH 计测定。

1.3.6 泡菜混浊度测定 泡菜腌液,用分光光度计在 OD_{600nm} 下测定吸光值。

1.3.7 贮藏泡菜产气性试验 用 PET 铝箔袋真空密封包装后,20℃±2℃常温,或 4℃低温放置,记录不胀袋时间。

1.3.8 挥发性物质检测 称取 2 g 泡菜研磨均匀,转入 15 mL 顶空样品瓶,加 5 mL 蒸馏水,将固相微萃取(SPME)针管插入顶空样品瓶,加热磁力搅拌速度为 200 r/min,在 45℃下萃取 40 min,进样口解吸 5 min,气相质谱色谱联用法(GC-MS)分析鉴定。气相色谱条件:J&W 毛细管色谱柱 DB-5MS (30 m×0.25 mm×0.25 μm);程序升温:50℃保持 3 min,以 5℃/min 升到 60℃保持 2 min,再以 5℃/min 升到 150℃保持 2 min,最后以 3℃/min 升到 250℃保持 2 min。进样口温度为 250℃;载气(He)流速为 1 mL/min;不分流进样。质谱条件:电子轰击离子源;电子能量 70 eV;离子源温度 230℃;质量扫描范围为 45~400 u。经计算机谱库检索及相关。采用内标:联苯 0.5 mg/L,峰面积 130 221,出峰时间为 15.52 s。

1.4 数据处理

本试验数据为平均值±标准偏差($\bar{x} \pm s$),采用 Microsoft Excel 2010 处理数据,t 检验分析,P<0.05 具有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 耐酸优势乳酸菌的判断

8 种乳酸菌的耐酸情况如图 1 所示。pH 4.5 时,乳酸菌生长延滞期为 6 h 左右,在 6~16 h 进入对数生长期,16~24 h 进入稳定期。各种菌在 pH 4.5 时生长能力为:植物乳杆菌>短乳杆菌>假肠膜

明串珠菌>嗜酸乳杆菌>食品乳杆菌>坏发酵乳杆菌>米酒乳杆菌>弯曲乳杆菌(图 1a 和 1b)。在 pH 4.0 时,各菌的生长量减少。生长情况为:嗜酸乳杆菌>植物乳杆菌>短乳杆菌>坏发酵乳杆菌>食品乳杆菌>假肠膜明串珠菌>米酒乳杆菌>弯曲乳杆菌(图 1c 和 1d)。在 pH 3.5 时,各菌的生长情况为:嗜酸乳杆菌>植物乳杆菌>坏发酵乳杆菌>短乳杆菌>假肠膜明串珠菌>食品乳杆菌>弯曲乳杆菌>米酒乳杆菌(图 1e 和 1f)。在 pH 3.0 时,生长情况为:嗜酸乳杆菌>植物乳杆菌>米酒乳杆菌>坏发酵乳杆菌>食品乳杆菌>短乳杆菌>坏发酵乳杆菌>弯曲乳杆菌>假肠膜明串珠菌(图 1g 和 1h)。在 pH 3.0~4.5 的范围内,pH 值较高条件比较有利于植物乳杆菌、短乳杆菌,假肠膜明串珠菌的生长;在 pH 值较低的情况下,嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌成为优势乳酸菌。

2.2 产气乳酸菌

产气的菌株为假肠膜明串珠菌、短乳杆菌和坏发酵乳杆菌(表 2)。食品乳杆菌、弯曲乳杆菌、植物乳杆菌、米酒乳杆菌及嗜酸乳杆菌为不产气菌株。结合这些菌在不同 pH 值下生长情况。pH 4.5 时,短乳杆菌、假肠膜明串珠菌可能成为主要产气菌。pH 4.5 时,短乳杆菌、坏发酵乳杆菌是主要产气菌,在 pH 3.5 时,坏发酵乳杆菌、短乳杆菌是主要产气菌。在 pH 3.0 时,所有产气菌都不是优势菌。pH 4.5 时,植物乳杆菌是第 1 优势菌,可以通过增加植物乳杆菌来抑制泡菜产气。植物乳杆菌和嗜酸乳杆菌是我们需要的优势乳酸菌。

2.3 处理对常温发酵和常温贮藏泡菜性能影响

在正常发酵泡菜中,分别添加泡菜汁、嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌、木糖醇,结果如表 3 所示。泡菜在口味和色泽方面超过 9 分,都是添加木糖醇、植

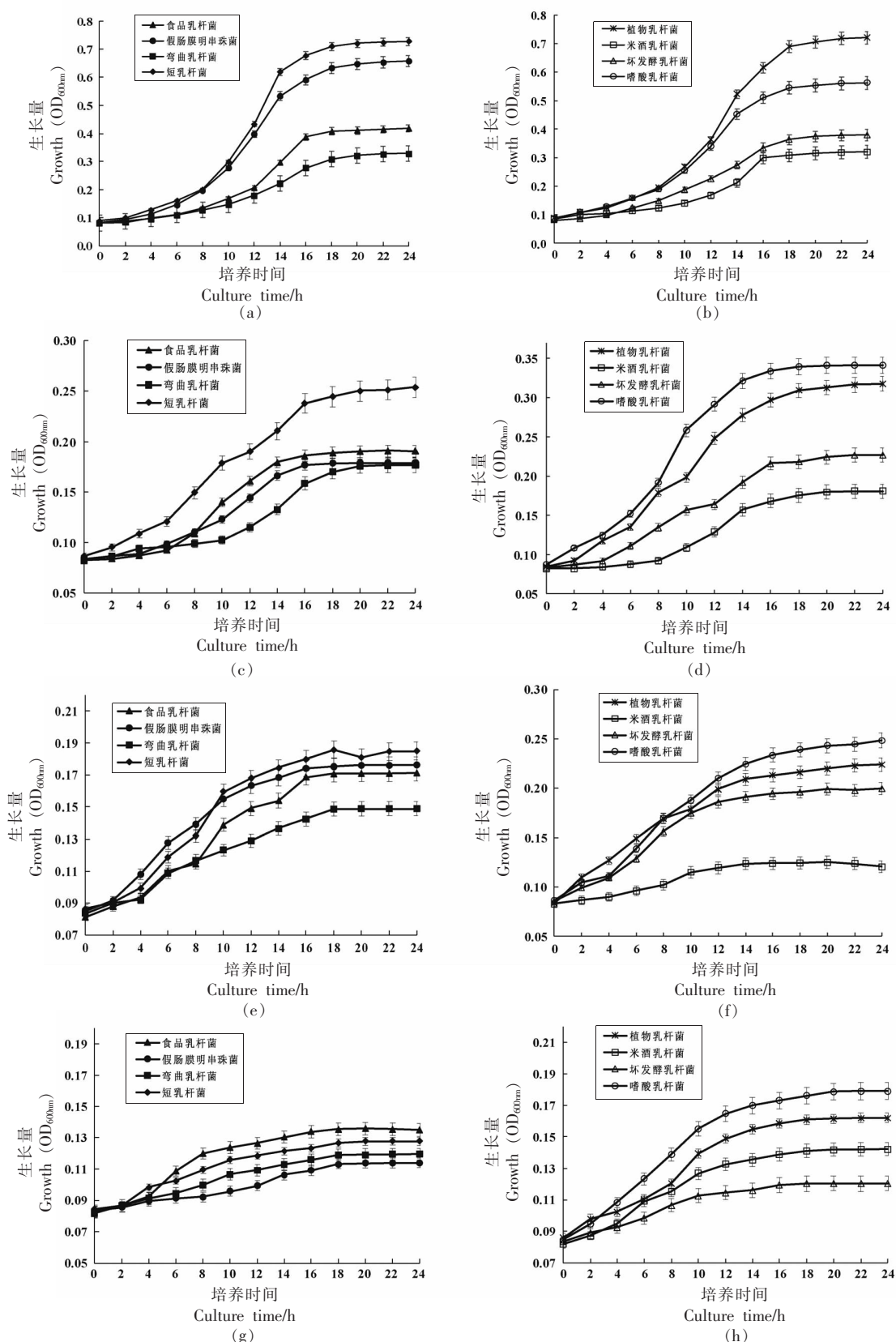


图1 8种乳酸菌分别在pH 4.5(a和b)、pH 4.0(c和d)、pH 3.5(e和f)和pH 3.0(g和h)培养基中24 h的生长曲线
 Fig.1 The eight kinds of *Lactobacillus* strains growth curve under pH 4.5 (a and b), pH 4.0 (c and d), pH 3.5 (e and f) and pH 3.0 (g and h) within 24 h, respectively

物乳杆菌+木糖醇,的发酵泡菜口感较甜美,清爽,给分分别为 9.0,9.3 分。添加植物乳杆菌的泡菜酸度适宜,口感较脆,有一些辅料的风味,给 8.8 分;添加嗜酸乳杆菌的发酵泡菜口感清脆,但酸度比较强,给 8.5 分;添加泡菜汁的发酵泡菜稍酸和稍咸,给 8.2 分;对照组的发酵泡菜口感偏咸偏酸,脆度性不是很高,因此给 7.1 分。

表 2 产气乳酸菌鉴定

Table 2 Gas producing test of <i>Lactobacillus</i> strain				
菌种	食品乳杆菌	假肠膜明串珠菌	弯曲乳杆菌	短乳杆菌
产气	-	+	-	+
菌种	植物乳杆菌	米酒乳杆菌	坏发酵乳杆菌	嗜酸乳杆菌
产气	-	-	+	-

注:“+”阳性反应表示产气;“-”阴性反应表示不产气。

表 3 在常温发酵泡菜中添加乳酸菌和木糖醇对产气和品质的影响

Table 3 Effects of adding *Lactobacillus* strain and xylitol on gas production and quality of fermented pickles at room temperature

处理	口味评分	气味评分	色泽评分	酸度/pH	混浊度/OD _{600nm}	产气/d
对照	7.1 ± 0.1	6.3 ± 0.1	7.4 ± 0.0	3.3 ± 0.0	2.1 ± 0.2	6.5 ± 0.5
泡菜汁	8.2 ± 0.1*	8.5 ± 0.1*	8.0 ± 0.1*	3.3 ± 0.1	1.8 ± 0.2	16.0 ± 1.0*
嗜酸乳杆菌	8.5 ± 0.1*	8.0 ± 0.1*	8.2 ± 0.1*	3.1 ± 0.1*	1.9 ± 0.1	15.0 ± 1.0*
植物乳杆菌	8.8 ± 0.1*	9.0 ± 0.1*	8.9 ± 0.1*	3.2 ± 0.1	1.6 ± 0.1	24.0 ± 1.0*
木糖醇	9.0 ± 0.1*	9.0 ± 0.1*	9.0 ± 0.1*	3.4 ± 0.1	1.4 ± 0.1*	27.0 ± 1.0*
植物乳杆菌+木糖醇	9.3 ± 0.1*	9.4 ± 0.1*	9.3 ± 0.1*	3.5 ± 0.1*	1.2 ± 0.1*	31.0 ± 1.0*

注:* 代表具有显著性差异(P<0.05)。

2.4 处理对低温发酵和低温贮藏泡菜贮藏性影响

泡菜经过 8 d 发酵后,低温对照口感较爽口酥脆,酸甜度适宜,带有点水果口味,因此评分 9.1 分;在正常发酵泡菜的情况下,泡菜经过 8 d 发酵后,低温处理下香气醇正,添加的各种辅料味足,具有传统发酵泡菜的发酵气味,无其它异味,因此评分 9.1 分。口味评分方面,泡菜经过 8 d 发酵后,植物乳杆菌+木糖醇+低温处理,得分为 9.7 分;木

糖醇+低温处理组的得分为 9.5 分;植物乳杆菌+低温处理组的得分为 9.3 分;对照低温处理的得分为 9.1 分。胀袋方面,植物乳杆菌+木糖醇+低温处理组的货架期可达 73 d,其次是植物乳杆菌+低温处理组的货架期为 44 d,木糖醇+低温处理组的货架期为 52 d,对照低温处理组在货架期 36 d 就产气胀袋了。最佳的复配处理为植物乳杆菌+木糖醇+低温。

表 4 在低温发酵泡菜中添加乳酸菌和木糖醇对产气和品质的影响

Table 4 Effects of adding *Lactobacillus* strain and xylitol on gas production and quality of fermented pickles at low temperature

处理	口味评分	气味评分	色泽评分	酸度/pH	混浊度/OD _{600nm}	产气/d
对照	9.1 ± 0.1	9.1 ± 0.1	9.1 ± 0.1	3.5 ± 0.1	1.3 ± 0.1	36.0 ± 1.0
木糖醇	9.5 ± 0.1*	9.2 ± 0.1	9.6 ± 0.1*	3.6 ± 0.1	1.1 ± 0	52.0 ± 2.0*
植物乳杆菌	9.3 ± 0.1	9.2 ± 0.1	9.4 ± 0.1*	3.6 ± 0.1	1.2 ± 0	63.0 ± 2.0*
植物乳杆菌+木糖醇	9.7 ± 0.1*	9.6 ± 0.1*	9.8 ± 0.1*	3.8 ± 0.1*	0.9 ± 0*	73.0 ± 2.0*

注:* 代表具有显著性差异(P<0.05)。

2.5 处理对泡菜挥发性气味物质的影响

甘蓝泡菜发酵样品有水溶性残留糖、有机酸、甘露醇、乙醇、二羟基丙酮、鸟氨酸、γ-氨基丁酸、胆碱、挥发性异硫氰酸盐、3,4-正丁基氰化物、2,

3-丁二酮、丙酮,乙酸乙酯、二甲基三硫化物和 S-甲基硫代乙酸盐。弯曲乳杆菌培养物的发酵的特征是异硫氰酸盐和己酸含量较高,乳酸、乙酸、乙偶姻和 2,3-丁二酮含量较低^[26]。本研究中泡菜贮藏前后的挥发物与之有较大不同。常温贮藏 8 d,对照和处理的总挥发物上升 4.7 倍和 3.3 倍,处理有显著抑制作用。低温贮藏 36 d,对照和处理的总挥发物上升 2.8 倍和 2.5 倍,处理无显著抑制作用。常温和低温贮藏后的醛类、萘类、苯类、烯类、醛类都显著上升。特别是萘类,贮藏后期大量出现。

常温贮藏时,泡菜中挥发性成分最高的是壬醛,低温贮藏时,癸醛和壬醛是最主要的挥发性成分。贮藏后的两种醛类都显著高于贮藏前泡菜。处理未能显著抑制该两种醛类的积累。常温贮藏 8 d,处理和对照的 3-甲基丁基丁酸酯、石竹烯都显著上升。对照的异硫氰酸烯丙酯显著上升,处理后

其显著下降。但低温贮藏,对照和处理的异硫氰酸烯丙酯、3-甲基丁基丁酸酯、石竹烯与贮藏前比较,无显著变化。常温和低温贮藏泡菜的 1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基-苯都显著高于贮藏前。常温和低温贮藏的处理泡菜的 1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基-苯都显著高于对照。常温和低温泡菜经过贮藏后的八氢-2-二甲基-2-(1-甲基亚乙基)-萘、十氢-4-甲基-1-亚甲基-7-(1-甲基亚乙基)-萘都显著高于贮藏前,处理显著降低两种萘类,对后者抑制作用更强。

榨菜发酵导致硫代葡萄糖苷完全降解,产生异硫氰酸盐和腈类。异硫氰酸盐在发酵第 21~28 d 达到高峰,腈类在发酵结束时达到峰值,食品乳杆菌和植物乳杆菌等与腈类浓度呈正相关^[27]。本研究中泡菜在常温中贮藏 8 d,异硫氰酸盐显著高于新鲜泡菜,说明硫代葡萄糖苷在泡菜贮藏中还在分解。

表 5 处理对泡菜挥发性成分影响(按照内标联苯比值换算 mg/L)

Table 5 Effect of various treatment on volatile components of pickles (converted to mg/L based on the biphenyl standard)

	0 d	CK 常温 8 d	处理常温 8 d	CK 低温 36 d	处理低温 36 d
壬醛	1.64 ± 0.22	7.06 ± 0.68 [#]	6.09 ± 0.56 [#]	3.55 ± 0.32 [#]	3.01 ± 0.28 [#]
癸醛	0.43 ± 0.21	1.53 ± 0.22 [#]	1.44 ± 0.23 [#]	4.17 ± 0.68 [#]	2.72 ± 0.52 [#]
1-辛烯-3-醇	0.56 ± 0.18	0.49 ± 0.25	0.21 ± 0.15	0.51 ± 0.18	0.66 ± 0.20
异硫氰酸烯丙酯	0.64 ± 0.25	5.46 ± 0.12 [#]	0.01 ± 0.01 ^{#*}	0.37 ± 0.31 [#]	0.89 ± 0.28 [#]
5-癸烯-1-醇-乙酸酯	0.21 ± 0.19	0.2 ± 0.08	0.02 ± 0.02	0.32 ± 0.13	0.58 ± 0.15
3-甲基丁基丁酸酯	0	1.74 ± 0.18 [#]	1.65 ± 0.14 [#]	0	0
石竹烯	0.52 ± 0.09	1.97 ± 0.18 [#]	1.99 ± 0.18 [#]	0.36 ± 0.08	0.56 ± 0.12
1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基-苯	0.49 ± 0.18	1.7 ± 0.18 [#]	2.57 ± 0.18 ^{#*}	1.17 ± 0.18 [#]	1.57 ± 0.18 ^{#*}
八氢-2-二甲基-2-(1-甲基亚乙基)-萘	0	0.14 ± 0.03 [#]	0.07 ± 0.02 ^{#*}	1.69 ± 0.10 [#]	1.36 ± 0.10 ^{#*}
十氢-4-甲基-1-亚甲基-7-(1-甲基亚乙基)-萘	0	0.99 ± 0.09 [#]	0 [*]	0.39 ± 0.04 [#]	0 [*]
合计	4.49 ± 0.58	21.28 ± 1.56 [#]	14.65 ± 1.02 ^{#*}	12.53 ± 1.15 [#]	11.35 ± 1.27 [#]

注:[#]为与贮藏前比较,达到显著;*为与同期对照比较,达到显著。

3 结论

pH 4.5 时,植物乳杆菌是优势菌,其次是短乳杆菌。在 pH 3.0~4.0 时,嗜酸乳杆菌是优势菌,其次是植物乳杆菌。主要产气菌是短乳杆菌、假肠膜明串珠菌、坏发酵乳杆菌。pH 4.5 时,产气菌依次是短乳杆菌、假肠膜明串珠菌。pH 4.0 时,产气

菌依次是短乳杆菌、坏发酵乳杆菌。在 pH 3.5 时,产气菌依次为坏发酵乳杆菌、短乳杆菌。在 pH 3.0 时,3 种产气菌都受到抑制,不容易产气。发酵前添加植物乳杆菌、木糖醇都有显著的推迟产气时间,改善品质,延长贮藏期的作用。其中添加 0.2% 10⁵ CFU/mL 植物乳杆菌和 2%木糖醇的处

理,不管在常温和低温下,都显著延长泡菜的贮藏期和货架期。常温和低温贮藏泡菜的总挥发物显著上升,醛类、萘类、苯类、烯类、醛类都显著上升。特别是萘类,贮藏后期大量出现。该处理显著抑制常温贮藏泡菜的异硫氰酸烯丙酯、萘类积累,有利于维持原初气味特征。

参 考 文 献

- [1] CHOI I H, NOH J S, HAN J S, et al. A fermented vegetable, improves serum lipid profiles in healthy young adults: Randomized clinical trial[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2013, 16(3): 223-229.
- [2] SHANG Z X, LI M Q, ZHANG W W, et al. Analysis of phenolic compounds in pickled chayote and their effects on antioxidant activities and cell protection [J]. *Food Research International*, 2022, 157: 111325.
- [3] LUO W S, WU W L, DU X Y, et al. Regulation of the nitrite, biogenic amine and flavor quality of Cantonese pickle by selected lactic acid bacteria[J]. *Food Bioscience*, 2023, 53: 102554.
- [4] RAO Y, QIAN Y, TAO Y F, et al. Characterization of the microbial communities and their correlations with chemical profiles in assorted vegetable Sichuan pickles[J]. *Food Control*, 2020, 113: 107174.
- [5] CAGNO D 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.
- [6] 康明丽. 乳酸菌及其在食品工业中的应用[J]. *河北工业科技*, 2008, 25(6): 391-393.
KANG M L. *Lactobacillus* and its application in food technology[J]. *Hebei Journal of Industrial Science and Technology*, 2008, 25(6): 391-393.
- [7] 徐莹, 李景军, 何国庆. 食用泡菜安全性分析[J]. *中国食物与营养*, 2005, 4: 56-57.
XU Y, LI J J, HE G Q. Analysis of pickle safety[J]. *Food and Nutrition in China*, 2005, 4: 56-57.
- [8] LIU L, SHE X, QIAN Y, et al. Effect of different fermenting containers on the deterioration of Sichuan pickle[J]. *LWT*, 2019, 111: 829-836.
- [9] 顾双, 王向阳, 俞兴伟, 等. 泡菜中产气乳酸菌分离鉴定研究[J]. *中国调味品*, 2016, 41(1): 1-2, 14.
GU S, WANG X Y, YU X W, et al. Separation and identification of gas-producing lactic acid bacteria in kimchi[J]. *China Condiment*, 2016, 41(1): 1-2, 14.
- [10] 王向阳, 刘东红. 腌萝卜干产气菌的分离与鉴定[J]. *中国食品学报*, 2009, 9(5): 200-206.
WANG X Y, LIU D H. Separation and identification of the aerogen from pickled radish[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2009, 9(5): 200-206.
- [11] LIU L, TAO Y F, LI Y F, et al. Isolation and characterization of bacteria that produce quorum sensing molecules during the fermentation and deterioration of pickles[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2022, 379: 109869.
- [12] GUPTA A K, KUMAR V, NAIK B, et al. Mapping of nutraceutical and sensorial properties of stuffed red chilli pickle: Effect of storage on quality [J]. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, 11: 100504.
- [13] RODRIGO D, MARTINEZ A, HARTE F, et al. Study of inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange carrot juice by means of pulsed electric fields: comparison of inactivation kinetics models[J]. *Journal of Food Protection*, 2001, 64(2): 259-263.
- [14] KHASKHELI S G, ZHENG W, SHEIKH S A, et al. Effect of processing techniques on the quality and acceptability of *Auricularia auricula* mushroom pickle[J]. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2015, 3(1): 46-51.
- [15] OZER M H, AKBUDAK B, UYLASER V, et al. The effect of controlled atmosphere storage on pickle production from pickling cucumbers cv. 'Troy' [J]. *European Food Research and Technology*, 2006, 222(6): 118-129.
- [16] 王向阳, 李宁, 俞兴伟. 防腐剂对泡菜常温流通中总菌数的影响[J]. *中国调味品*, 2014, 39(12): 1-3.
WANG X Y, LI N, YU X W. The effect of preservatives on the total colonies number in pickles at ambient temperature[J]. *China Condiment*, 2014, 39(12): 1-3.
- [17] 王向阳, 吴婷, 俞兴伟. 食品添加剂对贮藏泡菜质地的影响[J]. *中国调味品*, 2015, 40(12): 73-75.
WANG X Y, WU T, YU X W. Effect of food additives on texture of stored pickles[J]. *China Condiment*, 2015, 40(12): 73-75.
- [18] 王向阳, 龚佳惠, 俞兴伟. 四种化学防腐剂对泡菜

- 乳酸菌和产酸的影响[J]. 中国调味品, 2015, 40(9): 1-3.
- WANG X Y, GONG J H, YU X W. The effect of four chemical preservatives on lactic acid bacteria and acid production of pickles[J]. China Condiment, 2015, 40(9): 1-3.
- [19] 王向阳, 杨玲, 余兴伟, 等. 天然食品防腐剂对泡菜常温流通中菌落总数和 pH 的影响[J]. 中国调味品, 2015, 40(10): 1-3, 22.
- WANG X Y, YANG L, YU X W, et al. The effects of natural food preservatives on the total number of colonies and pH of kimchi at ambient temperature[J]. China Condiment, 2015, 40(10): 1-3, 22.
- [20] 王向阳, 丁冰, 俞兴伟, 等. 丁香对泡菜贮藏性的影响[J]. 中国调味品, 2015, 40(11): 7-11, 13.
- WANG X Y, DING B, YU X W, et al. The effect of clove on the storage property of pickled cabbage[J]. China Condiment, 2015, 40(11): 7-11, 13.
- [21] RAO Y, QIAN Y, TAO Y F, et al. Characterization of the microbial communities and their correlations with chemical profiles in assorted vegetable Sichuan pickles[J]. Food Control, 2020, 113: 107174.
- [22] YU Y Y, XU Y J, LI L, et al. Isolation of lactic acid bacteria from Chinese pickle and evaluation of fermentation characteristics [J]. LWT, 2023, 180: 114627.
- [23] SUN X H, QI X, HAN Y D, et al. Characteristics of changes in volatile organic compounds and microbial communities during the storage of pickles [J]. Food Chemistry, 2023, 409: 135285.
- [24] 王向阳, 董欢欢, 俞兴伟. 茶多酚对货架期泡菜气味成分的影响[J]. 中国调味品, 2016, 41(2): 36-38, 43.
- WANG X Y, DONG H H, YU X W. The effect of tea polyphenol on volatile flavor compounds in pickled cabbage during shelf life[J]. China Condiment, 2016, 41(2): 36-38, 43.
- [25] 李敏. 不同发酵条件和发酵方式对泡菜感官品质的影响[J]. 北方园艺, 2012, 6: 150-153.
- LI M. Effects of different fermentation conditions and methods on the sensory qualities of pickled cabbages [J]. Northern Horticulture, 2012, 6: 150-153.
- [26] TOMITA S, WATANABE J, KURIBAYASHI T, et al. Metabolomic evaluation of different starter culture effects on water-soluble and volatile compound profiles in nozawana pickle fermentation[J]. Food Chemistry: Molecular Sciences, 2021, 2: 100019.
- [27] LIU D Q, ZHANG C C, ZHANG J M, et al. Dynamics of the glucosinolate-myrosinase system in tuber mustard (*Brassica juncea* var. *tumida*) during pickling and its relationship with bacterial communities and fermentation characteristics [J]. Food Research International, 2022, 161: 111879.

Studies on the Inhibition of the Gas Production and Quality Deterioration of Pickles during Storage

Wang Xiangyang, Sheng Xuerong, Yu Xingwei, Shi Yongqing, Gu Shuang*

(School of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018)

Abstract Objective: The quality changes caused by microorganisms in the process of pickle storage and circulation were investigated and a new method to prolong the storage life of pickle was developed. Methods: The growth rate of 8 lactobacillus from pickles was tested under different pH media and their gas production was measured. Before cabbage fermentation, adding pickled liquid, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, xylitol, etc., The pickle was fermented and stored at ambient and low temperatures for 31 d and 73 d respectively. The color of pickle was scored, and acidity and turbidity and volatile substances were determined. Result: *Lactobacillus plantarum* was the dominant bacterium, followed by *Lactobacillus brevis* when 8 lactobacillus grow on pH 4.5 culture medium. *Lactobacillus acidophilus* is the dominant bacterium, followed by *Lactobacillus plantarum* of 8 lactobacillus on pH 4.0 to 3.0 culture medium. *Lactobacillus brevis*, *Leuconostoc pseudoentericus*, and *Lactobacillus fermentans* all contributed to gas production during pH 4.0 to 3.0, and gas production mainly caused by *Lactobacillus brevis* during pH 4.0 to 4.5, caused by *Lactobacillus malefermentans* at pH 3.5, while gas production was greatly inhibited at pH 3.0. The addition of 2 mL/L 1×10^5 CFU/mL

Lactobacillus plantarum combined with 20 mg/g xylitol significantly prolonged the storage and shelf life of the pickles at ambient and low temperature. Conclusion: The treatment with 1×10^5 CFU/mL *Lactobacillus plantarum* combined with 20 mg/g xylitol significantly inhibited the accumulation of total volatiles, allyl isothiocyanate, and naphthalene in pickles, which contributed to the maintenance of the original odor characteristics.

Keywords pickled cabbage; storage; lactic acid bacteria; inhibition of gas production; preservation