

## 添加白酒对人工接种东北酸菜挥发性风味成分及感官特性的影响

李 潇, 张晓黎, 高雅, 韩艳秋, 王 琛, 吴兴壮

(辽宁省农业科学院 食品与加工研究所, 辽宁 沈阳 110161)

**摘 要:** 该实验研究了添加白酒对人工接种乳酸菌发酵东北酸菜理化、挥发性风味成分及感官特性的影响。首先通过乙醇胁迫及产酸能力测定筛选混菌发酵剂, 采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析酸菜的挥发性风味成分, 并结合感官评分与电子舌鉴定白酒对酸菜感官特性的影响。结果表明, 植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)、干酪乳杆菌(*Lactobacillus casei*)和柠檬明串珠菌(*Leuconostoc citreum*) 3株乳酸菌对乙醇具有一定耐受性且产酸能力较强。添加2%白酒结合3株乳酸菌混菌发酵酸菜的可滴定酸含量较未添加白酒的混菌发酵酸菜降低了4.02%。此外, 添加白酒接种发酵酸菜形成了以酯类、酮类、含硫化合物和氨基酸为主的风味结构, 并且提高了鲜味, 降低了苦涩味, 在颜色、味道和口感上均具有显著优势。为实现人工接种东北酸菜的品质提升提供理论基础。

**关键词:** 东北酸菜; 耐乙醇乳酸菌; 白酒; 挥发性风味物质; 滋味

中图分类号: TS255.36

文章编号: 0254-5071(2022)10-0113-06

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2022.10.019

**引文格式:** 李潇, 张晓黎, 高雅, 等. 添加白酒对人工接种东北酸菜挥发性风味成分及感官特性的影响[J]. 中国酿造, 2022, 41(10): 113-118.

## Effect of Baijiu addition on the characteristic volatile flavor compounds and sensory properties of artificial inoculation of Northeast Suancai

LI Xiao, ZHANG Xiaoli, GAO Ya, HAN Yanqiu, WANG Chen, WU Xingzhuang

(Institute of Food and Processing, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

**Abstract:** The effects of Baijiu addition on the physicochemical indexes, volatile flavor compounds and sensory properties of Northeast Suancai fermented by artificially inoculated lactic acid bacteria were studied. Firstly, the mixed fermentation starters were screened by ethanol tolerance and acid production ability determination, the volatile flavor compounds of Suancai were analyzed by headspace solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS), and the effects of Baijiu on sensory properties of Suancai were identified by electronic tongue and sensory evaluation. The results showed that 3 strains of lactic acid bacteria, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* and *Leuconostoc citrinus* had certain ethanol tolerance and strong acid production ability. The titratable acid content of Suancai fermented with the mixed starters of 3 lactic acid bacteria strains and 2% Baijiu was reduced by 4.02% compared to Suancai fermented with mixed starters and without Baijiu addition. In addition, the flavor structure dominated by esters, ketones, sulfur-containing compounds and amino acids was formed in the fermented Suancai with Baijiu addition, the umami was enhanced and bitterness was reduced, and had significant advantages in taste and mouthfeel. It provided a theoretical basis for quality improvement of Northeast Suancai fermented by artificially inoculation.

**Key words:** Northeast Suancai; ethanol-resistant lactic acid bacteria; Baijiu; volatile flavor compounds; taste

东北酸菜是以白菜或甘蓝经发酵制得的盐渍菜<sup>[1]</sup>。作为我国东北地区特色食品, 酸菜因其独特的风味、爽脆的口感、浓郁醇厚的酸味和营养保健功效深受消费者喜爱。以酸菜为原料烹制的许多菜肴, 也已成为我国北方地域饮食文化的一大特色。目前, 随着现代食品加工技术的不断发展, 酸菜已逐步由传统的自然发酵向人工接种乳酸菌发酵模式转变<sup>[2]</sup>。乳酸菌在酸菜的发酵中起主导作用, 通过不同的代谢途径, 丰富的代谢产物在酸菜发酵的过程中被

不断积累, 而这些代谢产物可赋予酸菜独特的风味<sup>[3-4]</sup>。因此, 其常被用作酸菜工业生产中的发酵剂。研究表明, 人工接种乳酸菌可缩短酸菜的发酵周期, 降低酸菜亚硝酸盐含量, 稳定酸菜质量并且改善酸菜品质<sup>[5]</sup>。然而, 人工接种乳酸菌发酵的酸菜由于菌种单一, 代谢产物少于由复杂菌系自然发酵的酸菜, 因此在风味上略显不足<sup>[6]</sup>。

白酒作为另外一种传统发酵饮品, 丰富的酯类和醇类物质对其饱满的风味具有重要贡献<sup>[7]</sup>。有研究表明, 发酵泡

收稿日期: 2022-04-06

修回日期: 2022-06-28

基金项目: 辽宁省博士科研启动基金计划项目(2021-BS-034); 辽宁省民生科技计划联合计划项目(2021JH2/10200037); 辽宁省农科院院长基金项目(2022BS0701); 辽宁省农业科学院学科建设计划任务项目(2109DD123418)

作者简介: 李 潇(1990-), 女, 助理研究员, 博士, 研究方向为果蔬加工。

\*通讯作者: 吴兴壮(1975-), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为食品加工。

菜的过程中添加一些辅料(如白酒),有助于弥补泡菜风味的不足<sup>[8]</sup>,而在工业生产上,为提高泡菜风味品质,同时避免生产过程中出现生花现象,部分企业也会在泡菜水中添加白酒<sup>[9]</sup>。然而,中国传统酱香型、浓香型和清香型白酒具有不同的风味特征与感官属性。相比于香型较浓的酱香型和香型较清爽的清香型,以乙酯类为风味形成关键化合物的浓香型白酒呈现的窖香、花香、果香和甜香的气味较为适中<sup>[10]</sup>,更适合作为辅料进行添加。但添加白酒作为辅料对酸菜的风味影响鲜有报道。此外,乳酸菌的生长不可避免会受到乙醇环境的胁迫<sup>[11]</sup>。研究表明,过高的乙醇浓度会增加乳酸菌细胞膜的通透性,引起胞内物质外流同时影响菌体内酶的活性,进而影响菌体的代谢与生理活性,抑制其生长甚至造成死亡<sup>[12-14]</sup>。因此为了有效提高乳酸菌在发酵后期生长代谢的稳定性,选育对醇类胁迫稳定的菌种势在必行。

本研究探究了酸菜中常见的7株乳酸菌的产酸能力与耐乙醇特性,并从中筛选优良性能的乳酸菌复配成发酵剂。将复配的发酵剂对大白菜进行接种发酵,通过添加浓香型白酒,对比不同方式发酵酸菜的挥发性风味物质与感官特性,明确筛选复配的乳酸菌发酵剂的实际应用效果以及白酒对东北酸菜风味与滋味的改善作用,旨在为东北酸菜的品质提升与酸菜发酵剂的研制提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*) LNJ005:辽宁省农业科学院食品与加工研究所;发酵乳杆菌(*Lactobacillus fermentum*) BNCC194390、短乳杆菌(*Lactobacillus brevis*) BNCC337373、干酪乳杆菌(*Lactobacillus casei*) BNCC134415、嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*) BNCC186447、清酒乳杆菌(*Lactobacillus sake*) BNCC192620、柠檬明串珠菌(*Leuconostoc citreum*) BNCC194779:自北纳创联生物技术有限公司。大白菜、食盐和白酒(浓香型,酒精度42%vol):辽宁省沈阳市农科院综合市场。

MRS液体培养基:蛋白胨10.0 g,牛肉粉8.0 g,酵母浸粉4.0 g,葡萄糖20.0 g,硫酸镁0.2 g,乙酸钠5.0 g,柠檬酸三铵2.0 g,磷酸氢二钾2.0 g,硫酸锰0.05 g,吐温80 1.0 g,蒸馏水1 L,调pH为6.0~6.4。121 °C灭菌20 min。

MRS固体培养基:在MRS液体培养基中加入24 g/L琼脂,121 °C灭菌20 min。

### 1.2 仪器与设备

SW-CJ-1FD型单人单面工作净化台:上海沪净医疗器械有限公司;CJ50-3叠加式培养箱:上海程捷仪器设备有限公司;YXQ-LS立式压力蒸汽灭菌器:上海博迅实业有限公司医疗设备厂;756型紫外可见分光光度计:上海菁华科技仪器有限公司;5975C气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)仪:安捷伦科技有限

公司;SA402B型电子舌:日本INSENT公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 菌种活化与稀释

将植物乳杆菌、干酪乳杆菌和柠檬明串珠菌的冻干菌粉分别接入20 mL的MRS液体培养基,30 °C培养24 h。从菌悬液中取0.2 mL接种到20 mL的MRS液体培养基,30 °C培养24 h。将二次传代培养的菌悬液进行10倍梯度稀释( $10^{-1}$ 、 $10^{-2}$ 、 $10^{-3}$ 、 $10^{-4}$ 、 $10^{-5}$ 、 $10^{-6}$ 、 $10^{-7}$ ),分别从中取0.2 mL涂布于MRS固体培养基中30 °C培养48 h。计算乳酸菌菌落总数。

#### 1.3.2 耐乙醇、产酸能力强乳酸菌的筛选

取0.2 mL从二次传代培养的菌悬液,接入不同乙醇体积分数(1%、2%、4%、6%、8%、10%)的MRS固体培养基中进行涂布,30 °C培养48 h,测定菌株存活率,筛选耐乙醇能力强的乳酸菌。

存活率 $R_{sur}$ 计算公式如下:

$$R_{sur} = \frac{N_b}{N_0} \times 100\%$$

式中: $N_0$ 为未添加乙醇的MRS固体培养基中生长的乳酸菌数,CFU/mL; $N_b$ 为添加不同乙醇含量MRS固体培养基中生长的乳酸菌数,CFU/mL。

将对乙醇具有较高耐受性的乳酸菌在体积分数4%乙醇的MRS液体培养基中30 °C培养24 h。每隔3 h测定菌液pH值,绘制选定乳酸菌在乙醇环境下的酸度变化曲线,筛选产酸能力强的乳酸菌。

#### 1.3.3 人工接种东北酸菜样品制备及挥发性风味成分、感官特性分析

将筛选出的耐乙醇能力和产酸能力较强的乳酸菌的菌悬液以生理盐水稀释到相同浓度(菌体数量级为 $10^7$  CFU/mL)。将耐乙醇能力和产酸能力较强的乳酸菌菌悬液稀释液等体积混合均匀,制成液体混合菌发酵剂。

大白菜清洗切丝后,添加2%的食盐,搅拌均匀。随后将白菜丝装入塑料泡菜瓶中并压实。将液体发酵剂加入泡菜瓶中,封口前,向每个泡菜瓶中添加2%的白酒,20 °C密封发酵30 d。酸菜样品从泡菜瓶的上、中、下三层收集,并混合均匀,备用<sup>[15]</sup>。自然发酵得到的酸菜(未添加发酵剂和白酒)编号为NF,植物乳杆菌发酵得到的酸菜编号为L.P,植物乳杆菌、干酪乳杆菌和柠檬明串珠菌混合发酵得到的酸菜编号为3LAB,3种乳酸菌混合发酵且添加白酒发酵得到的酸菜编号为3L+B。测定4种酸菜的理化、微生物指标并分析其挥发性风味成分及感官特性。

#### 1.3.4 测定方法

可滴定酸:按照参考文献[16]的方法进行测定。还原糖含量:按照参考文献[15]的方法进行测定。

挥发性风味物质成分测定:采用顶空固相微萃取-气质联用方法(head space-solid phase microextraction-GC-MS, HS-SPME-GC-MS)对样品风味物质进行测定<sup>[15]</sup>。

样品处理:取5 g酸菜样品置于15 mL顶空瓶中,于60 °C

水浴40 min,然后插入老化的纤维头,60℃条件下萃取40 min。将萃取好的纤维头插入GC-MS的进样口,250℃解吸5 min。

气相色谱条件:Rxi-5Sil MS 色谱柱(30 m×250 μm×0.25 μm),高纯度氦气(He)作为载气,流速为1 mL/min,以1:3的分流比运行。升温程序:柱温35℃保持3 min,以6℃/min升至160℃,再以10℃/min升至250℃,保持3 min。

质谱条件:离子源温度为200℃。电子电离(electron ionization,ED源,电子能量为70 eV,质谱扫描范围为20~500 m/z。

感官评价:采用卫玲玲等<sup>[7]</sup>的方法并稍作修改。感官评分标准见表1。

电子舌测定:采用配备酸、苦、涩、鲜、咸5个传感器的SA402B型电子舌。取自然发酵和添加白酒的人工接种发酵酸菜的发酵液各50 mL于测量杯中,每种样品重复测定4次。

表1 酸菜感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standards of Suancai

项目	标准	分值				
		1	2	3	4	5
颜色	是否有酸菜应有的黄白色	差	较差	一般	较好	好
香气	是否有酸菜应有的酸香气味	差	较差	一般	较好	好
味道	是否有酸菜应有的酸味	差	较差	一般	较好	好
口感	是否保留酸菜应有的脆感	差	较差	一般	较好	好

1.3.5 数据分析

通过“SPSS 20.0”软件进行方差分析,在P<0.05水平上进行Duncan检验。借助“Excel 2016”软件进行感官评价的统计与分析。采用“Origin 9.0”软件进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 耐乙醇乳酸菌的筛选

表2 不同乙醇体积分数对乳酸菌存活率影响

Table 2 Effects of different volume fraction of ethanol on the survival rate of lactic acid bacteria

菌种	存活率/%					
	1%乙醇	2%乙醇	4%乙醇	6%乙醇	8%乙醇	10%乙醇
植物乳杆菌	99.32±1.00	95.56±3.26	91.65±4.46	85.13±5.86	76.77±7.81	61.61±6.26
发酵乳杆菌	83.98±4.85	73.79±3.34	65.91±4.83	52.87±9.15	44.49±8.48	41.96±3.62
短乳杆菌	95.57±6.42	92.62±8.50	91.85±3.13	80.21±5.37	71.96±2.69	62.01±8.50
嗜酸乳杆菌	94.06±4.39	88.70±2.72	81.23±6.15	76.05±4.88	66.67±5.28	36.97±3.66
干酪乳杆菌	98.57±4.79	97.80±4.62	94.40±4.24	90.12±6.98	79.47±8.80	75.19±8.84
清酒乳杆菌	74.45±14.91	58.68±4.32	46.60±6.35	19.20±4.90	10.80±5.77	2.20±1.25
柠檬明串珠菌	98.01±5.82	95.19±6.11	93.10±4.82	83.61±4.98	66.08±5.18	55.11±8.17

由表2可知,随乙醇含量的增加,乳酸菌的存活率均下降。发酵乳杆菌、嗜酸乳杆菌、清酒乳杆菌在乙醇体积分数为6%时,存活率均降至80%以下。表明这3种菌对乙醇的耐受程度较低。由于干酪乳杆菌、短乳杆菌、柠檬明串珠菌和植物乳杆菌在体积分数4%乙醇条件下存活率均>90%,表明这4种菌对体积分数4%乙醇的耐受程度较高。因此选择这4种菌进行产酸能力测定。

2.2 乙醇对乳酸菌产酸能力的影响

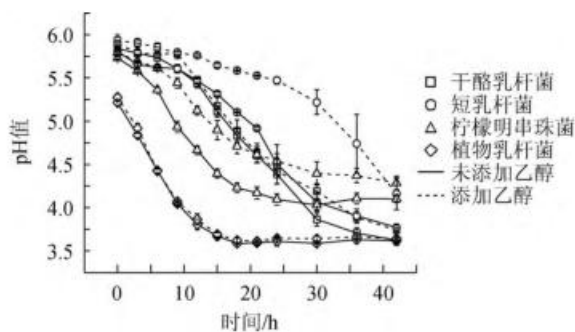


图1 乙醇对4株乳酸菌产酸能力的影响

Fig. 1 Effects of ethanol on the acid production ability of 4 lactic acid bacteria

由图1可知,未添加和添加体积分数4%乙醇的植物乳

杆菌、柠檬明串珠菌和干酪乳杆菌的产酸趋势基本相同。其中,植物乳杆菌和柠檬明串珠菌在添加乙醇后,分别在生长3 h和15 h时,环境的pH已经达到5以下。而添加乙醇的干酪乳杆菌初期生长平稳,18 h时后pH下降到5以下。相比之下,添加乙醇的短乳杆菌产酸速率较低,生长36 h后环境pH降到5以下。植物乳杆菌产酸速率快,能力强,生长稳定期环境pH达到3.6左右。柠檬明串珠菌前期生长略受抑制,但其产酸速率较快。而干酪乳杆菌中后期产酸速率快,且生长不受体积分数4%乙醇影响。因此可以选择植物乳杆菌、柠檬明串珠菌和干酪乳杆菌复配成生长稳定,产酸速率快、能力强的混合发酵剂。

2.3 白酒结合耐乙醇混菌发酵剂对酸菜微生物及理化指标的影响

采用植物乳杆菌、柠檬明串珠菌和干酪乳杆菌混合接种发酵酸菜,单纯植物乳杆菌发酵和自然发酵酸菜的菌落总数、可滴定酸含量和还原糖含量见图2。

通过比较发现,自然发酵的酸菜中包含最多的乳酸菌数为9.22 lg(CFU/mL),而三种菌混合发酵酸菜的乳酸菌数又略少于植物乳杆菌接种发酵的酸菜。这可能是由于外源乳酸菌的添加,尤其是柠檬明串珠菌和植物乳杆菌产酸快,在发酵初期使得发酵环境的pH急剧下降,因此白菜自

身或环境中所夹带的其他部分乳酸菌的生长因急剧的酸性环境变化而被抑制<sup>[18]</sup>。另一方面,韩宏娇等<sup>[19]</sup>认为发酵后期由于营养物质不断被消耗,导致发酵液中乳酸菌生长所需的碳、氮源不足,因此乳酸菌数减少。虽然发酵剂选用的是耐乙醇的乳酸菌,但添加白酒发酵的酸菜中乳酸菌数仍有所下降,这可能是由于白酒中的其他物质对乳酸菌的生长也有影响。此外,人工接种乳酸菌发酵酸菜的可滴定酸和还原糖含量均高于自然发酵的酸菜。由于接种快速产酸的乳酸菌后,乳酸菌代谢产生大量的乳酸、乙酸、丙酸等有机酸,快速增加了发酵液中可滴定酸的含量<sup>[20]</sup>。而接种乳酸菌发酵酸菜的还原糖含量较高,一方面由于大量的外源乳酸菌,对蔗糖具有高的利用率,而减少了对葡萄糖和果糖等还原糖的消耗,保留了部分还原糖<sup>[21]</sup>;另一方面,自然发酵酸菜中更多的微生物利用并消耗了还原糖,而人工接种发酵酸菜的乳酸菌活菌数少,因此代谢消耗的糖量减少,从而人工接种乳酸菌发酵酸菜的还原糖高于自然发酵的酸菜<sup>[22-23]</sup>。值得注意的是接种发酵的酸菜中,添加白酒的混菌发酵酸菜的还原糖含量比未添加白酒的混菌发酵酸菜降低4.02%,比单植物乳杆菌发酵的酸菜降低6.64%。成品过度酸化往往是发酵蔬菜工业生产中的一大难题<sup>[24]</sup>,而从结果上来看,白酒的添加,降低了乳酸菌发酵酸菜的酸度,这表明白酒的添加可以抑制乳酸菌发酵酸菜的过度酸化,使酸菜口感更加柔和。

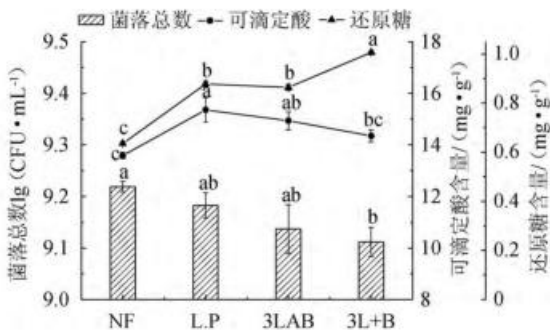


图2 酸菜的菌落总数、可滴定酸和还原糖含量测定结果

Fig. 2 Determination results the total number of colonies, titratable acid and reducing sugar content of Suancai

#### 2.4 白酒结合耐乙醇混菌发酵剂对酸菜风味及挥发性成分的影响

采用GC-MS对自然发酵酸菜、植物乳杆菌接种发酵酸菜、混菌接种发酵酸菜和添加白酒的混菌发酵酸菜的挥发性风味成分进行分析比较,结果见表3。

四种发酵方式酸菜的挥发性物质及挥发性成分有明显差异。自然发酵的酸菜共检测出45种物质,而接种植物乳杆菌和混菌发酵的酸菜检测出的物质均较少,分别为27种和30种。自然发酵酸菜的挥发性物质以醇为主(40.92%),其次是酸(19.09%)、氨基酸(13.08%)和碳氢化合物(8.68%)。

接种植物乳杆菌和混菌发酵酸菜的挥发性物质中醇、酯和氨基酸的含量高于自然发酵,而碳氢化合物低于自然发酵酸菜。相比之下,添加白酒并接种混菌发酵的酸菜检测出42种物质。虽然醇类含量较低(27.34%),但酸、酯和氨基酸的含量较高,分别占总量的6.66%、25.99%和20.80%。含碳数较低的脂肪酸乙酯是酒类的主体成分,具有鲜花及果香<sup>[25]</sup>,尤其是己酸乙酯与丁酸乙酯是浓香型白酒的主要香味成分,而添加白酒不仅为酸菜增加了低碳脂肪酸的占比,还引入了独有的己酸乙酯与丁酸乙酯,增加了酸菜的芳香气味。与接种发酵的酸菜相比,白酒增加了酸菜中乙酸的占比。乙酸具有清爽的米醋香味,能够增加酸菜的爽口度。然而,白酒的添加,导致了酸菜中酸类物质种类的减少,与氨基酸含量的增加。这与可滴定酸降低的结果一致,也表明白酒可以促进酸类向氨基酸的转化。此外,添加白酒的酸菜检测出了自然发酵和接种发酵并未检测出的酮类和含硫化合物。酮类物质具有浓郁的香味,是酒类风味的重要组成部分<sup>[26]</sup>,具有香气的调节作用。因此添加白酒接种发酵的酸菜中检测到的新的风味物质结构能够赋予酸菜独特的风味特征,而较少种类与含量的醇、呈味酸以及较高含量的氨基酸又能为酸菜呈现新的滋味。

表3 不同发酵方式酸菜挥发性风味成分

Table 3 Volatile components of Suancai under different fermentation modes

序号	保留时间/min	挥发性成分	含量/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )			
			NF	L.P	3LAB	3L+B
醇类						
1	1.957	乙醇	190.29	196.186	200.957	237.67
2	4.813	1,3-丁二醇	13.702	-	0.379	5.2
3	5.698	(S)-2-甲基-1-丁醇	69.09	105.746	53.592	13.75
4	14.147	2-(1-甲基乙氧基)-乙醇	1.374	-	-	-
5	19.193	2,3-丁二醇	41.81	26.807	33.425	15.2
6	20.775	2-乙氧基-1-丙醇	33.849	78.475	81.569	23.64
7	23.251	4-甲基-2-戊醇	12.487	5.854	21.754	11.63
8	24.634	3-甲基-2-丁醇	1.233	5.283	21.898	-
9	26.173	异丙醇	2.589	-	-	5.41
10	26.352	苯甲醇	5.266	-	-	-
11	27.164	2-己醇	4.385	1.945	2.598	5.04
12	27.356	2-壬醇	2.888	-	-	-
13	28.995	2-戊醇	3.91	-	-	3.52
14	30.279	2-(1-甲基乙氧基)-1-丙醇	3.54	-	-	1.54
15	30.600	4-甲基-4-辛醇	3.857	-	1.876	1.54
16	31.609	2-庚醇	-	6.657	-	1.38
17	33.634	4-甲氧基-2-丁醇	2.924	-	2.435	1.42
18	34.540	3-甲基-3-己醇	15.974	14.796	3.481	4.87
醛类						
1	10.380	4-戊烯醛	-	8.01	10.07	2.05
2	12.564	丁醛	4.02	-	0.85	-
3	15.457	3-羟基丁醛	36.61	4.84	42.97	40.11

续表

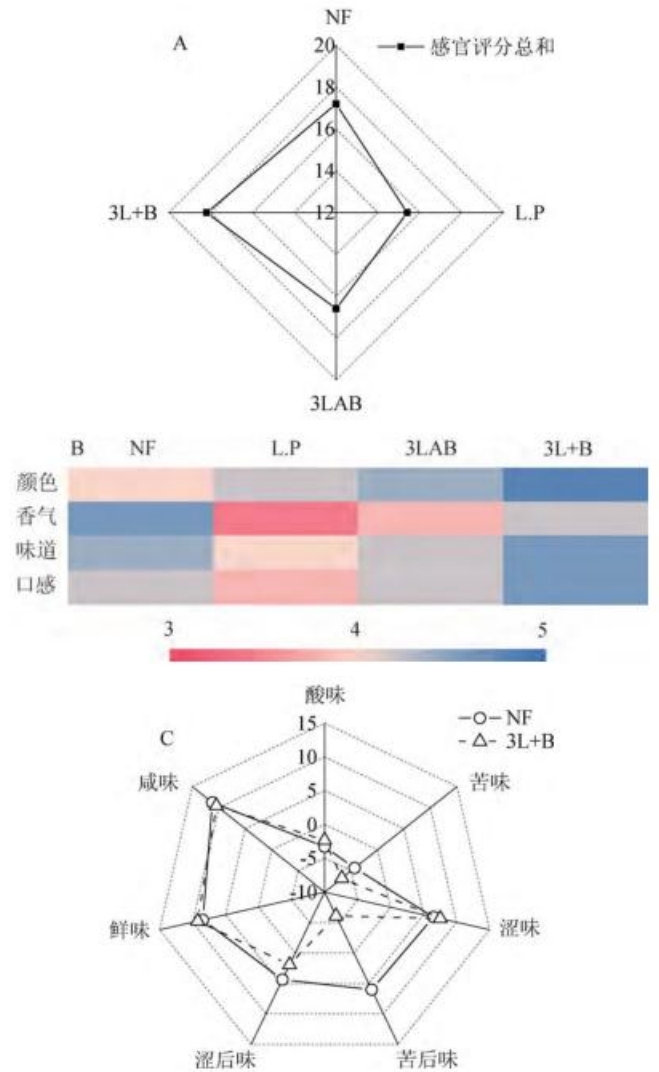
序号	保留时间/min	挥发性成分	含量/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )			
			NF	L.P	3LAB	3L+B
酸类						
1	4.480	乙酸	46.92	19.12	2.17	34.75
2	4.644	甲氧基乙酸	-	-	-	3.45
3	12.443	环丙烷羧酸	-	0.84	0.47	-
4	15.114	3-丁烯酸	-	31.59	32.88	22.20
5	15.417	2-壬酸	-	-	-	6.21
6	16.884	L-乳酸	98.31	63.72	93.47	-
7	18.062	甲基酒石酸	30.26	54.72	66.60	-
8	19.053	胞壁酸	7.75	10.58	14.45	-
酯类						
1	3.020	甲酸乙酯	47.34	88.93	63.82	113.70
2	6.428	丁酸乙酯	-	-	-	6.41
3	7.426	碳酸二乙酯	2.38	12.65	0.54	-
4	12.176	己酸乙酯	-	-	-	131.32
5	13.847	辛酸己酯	-	2.39	0.52	-
6	19.550	(S)-2-羟基-丙酸乙酯	-	11.90	14.09	-
7	23.333	甲酸,1-甲基乙酯	1.23	-	-	-
8	25.228	甲酸,1-甲基丙酯	3.52	-	-	-
9	25.598	乙酸甲氧基乙酯	2.03	-	-	-
10	28.034	十一烷酸,2-乙基-甲酯	-	-	-	6.27
11	30.532	丙酸,3-甲氧基甲酯	1.43	-	-	2.15
碳氢化合物						
1	8.344	5-氟基-1-戊烯	15.43	8.48	0.97	34.20
2	8.619	1,2-二甲基-环丙烷	-	-	-	15.57
3	9.049	(E)-1,5-庚二烯	13.86	51.92	39.41	16.38
4	11.618	八甲基环四硅氧烷	2.01	2.57	2.98	5.52
5	13.246	3-甲氧基-1-丙烯	6.11	2.09	1.62	3.02
6	15.707	十甲基-环戊硅氧烷	1.90	-	-	7.39
7	16.149	2-戊烯	-	-	-	3.61
8	19.444	1,6-庚二炔	-	-	-	3.35
9	19.824	1,5-庚二炔	-	-	-	5.34
10	28.710	2-甲氧基乙氧基-乙烯	3.06	-	2.13	1.28
11	29.268	2-乙氧基-丙烷	4.10	3.14	1.57	-
12	30.767	正十六烷酸	7.64	-	-	-
13	32.577	油酸	32.67	-	-	-
酮类						
1	11.853	2,5-二羟基苯乙酮,双(三甲基硅烷基)醚	-	-	-	1.36
2	23.142	5-羟基-2-甲基-3-己酮	-	-	-	1.50
3	35.146	5-甲氧基-2-戊酮	-	-	-	2.23
醚类						
1	26.949	二异丙醚	1.74	-	-	-
2	33.906	硫氰酸乙酯	-	-	-	1.24
含硫化合物						
1	20.335	胍硫代碳酰胺	-	-	-	1.34
2	33.030	丁烷(二硫代)酸甲酯	-	-	-	1.75
吡啶						
1	6.830	1-甲基-2-苯基-1H-吡啶	7.24	-	5.63	2.64
吗啉						
1	10.274	N-甲酰基吗啉	4.46	-	-	9.07

续表

序号	保留时间/min	挥发性成分	含量/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )			
			NF	L.P	3LAB	3L+B
含氮化合物						
1	18.368	胍甲酸乙酯	-	-	-	1.40
2	19.113	苯丙腈	30.15	-	-	2.70
氨基酸						
1	1.656	(S)-1-丙氨酸乙酰胺	130.78	177.56	178.09	203.64
2	32.950	3,4-二羟脯氨酸	-	-	-	4.34
其他						
1	14.672	异丁烯环氧化物	-	-	-	17.39
2	28.470	甲基5-O-甲基- $\alpha$ -D-木呋喃糖苷	1.81	-	-	1.20
3	33.212	1,6-双脱氧-1-甘露醇	35.51	-	-	-

注：“-”表示未检出。

2.5 白酒结合耐乙醇混菌发酵剂对酸菜感官品质的影响



A感官评分;B感官特性;C电子舌风味分析。

图3 酸菜的感官品质评价结果

Fig. 3 Sensory quality evaluation results of fermented suancai

酸菜感官品质评价结果见图3。从图3A和图3B中酸菜的感官评分结果可以看出,自然发酵的酸菜在感官品质上优于仅由乳酸菌接种发酵的酸菜,这一结果在其他相关研究中也得到认证<sup>[27]</sup>。与单植物乳杆菌发酵的酸菜相比,混合乳酸菌发酵的酸菜在颜色、香气、味道和口感上均有优势。而添加了白酒并由混菌发酵剂发酵的酸菜在感官评分上明显高于仅由乳酸菌接种发酵甚至是自然发酵的酸菜,尤其是在颜色、味道和口感上具有显著优势。虽然在香气品质上稍逊于自然发酵,但也明显好于仅由乳酸菌接种发酵的酸菜。

由图3C可知,添加白酒的接种发酵酸菜与自然发酵酸菜相比,酸味和鲜味略有提高。这与可滴定酸含量和风味物质成分的测定结果一致,与自然发酵相比,添加白酒发酵的酸菜的酸类物质和氨基酸占比增加,因此酸味和鲜味提升。此外,白酒结合混菌发酵可以降低酸菜苦味,尤其降低了苦和涩的后味,这与还原糖测定结果一致,添加白酒导致酸菜还原糖含量增加,因此降低了苦味。而苦涩味降低能有效提高品尝的愉悦感。综合主观和客观的感官评价结果,表明筛选的植物乳杆菌、干酪乳杆菌和柠檬明串珠菌混合作发酵剂在对改善人工接种单一乳酸菌发酵酸菜的感官品质上具有有效作用,而白酒的添加对于人工接种乳酸菌发酵酸菜的品质的进一步提升具有重要意义。

### 3 结论

本研究从7种发酵酸菜常用乳酸菌中筛选出3种耐乙醇型乳酸菌,分别为植物乳杆菌、干酪乳杆菌和柠檬明串珠菌,并复配成发酵剂,用于酸菜的发酵。通过对耐乙醇型复配发酵剂发酵的酸菜的乳酸菌数、可滴定酸含量和还原糖以及感官品质进行分析,耐乙醇型复配发酵剂适用于酸菜的发酵,可以抑制酸菜的后酸化,同时形成以酯、酮、含硫化物化合物和氨基酸为主的新型风味结构,改善人工接种酸菜的感官品质并显著提升酸菜的鲜味。该结果为进一步研究人工接种乳酸菌发酵酸菜的的风味形成机理提供理论基础,同时,对乳酸菌发酵酸菜的的品质提升和新产品创制提供思路。

### 参考文献:

- [1] 吴兴社,陈玉成,张华,等.东北酸菜产业发展现状与对策[J].农业工程技术,2015(11):24-26.
- [2] 肖然,陈文珊,李春.直投发酵剂对酸菜发酵品质影响的研究[J].食品科技,2011,36(1):64-67.
- [3] YANG X, HU W, JIANG A, et al. Effect of salt concentration on quality of northeast sauerkraut fermented by *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactobacillus plantarum* salt effects on northeast sauerkraut fermentation [J]. *Food Biosci*, 2019, 30, 100421.
- [4] JIANG X, PENG D, ZHANG W, et al. Effect of aroma-producing yeasts in high-salt liquid-state fermentation soy sauce and the biosynthesis pathways of the dominant esters[J]. *Food Chem*, 2021, 344: 128681.
- [5] 云琳,毛丙永,崔树茂,等.不同发酵方式对萝卜泡菜理化特性和风味的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(13):69-75.
- [6] 李晓博,胡文忠,姜爱丽,等.自然发酵与人工接种发酵酸菜的研究进展[J].食品与发酵工业,2016,42(3):251-255.
- [7] WANG M Y, YANG J G, ZHAO Q S, et al. Research progress on flavor compounds and microorganisms of maotai flavor *Baijiu*[J]. *J Food Sci*, 2019, 84(1): 6-18.
- [8] 李海丽.泡菜的亚硝酸盐控制技术及贮藏性研究[D].保定:河北农业大学,2012.
- [9] 王彬.一种泡菜加工工艺:CN109430772A[P].2019-03-08.
- [10] 郭雪峰,程玉鑫,黄永光,等.不同香型白酒感官风味及挥发性化合物结构特征[J].食品科学2022:1-16. [2022-04-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20211221.1051.008.html>.
- [11] 周羽,刘艳琼,陈启明,等.耐乙醇乳酸菌的分离和培养[J].食品工业,2018,39(12):114-119.
- [12] 金丹,蒋彩虹,蒋艾廷,等.塔城地区酸马奶中耐乙醇乳酸菌的筛选与鉴定[J].中国酿造,2017,36(3):44-48.
- [13] SILVEIRA M, ABEE T. Activity of ethanol-stressed *Oenococcus oeni* cells: a flow cytometric approach[J]. *J Appl Microbiol*, 2010, 106(5): 1690-1696.
- [14] EVA G A, ISABEL L, IGNACIO R J, et al. High tolerance of wild *Lactobacillus plantarum* and *Oenococcus oeni* strains to lyophilisation and stress environmental conditions of acid pH and ethanol[J]. *Fems Microbiol Lett*, 2004(1):53-61.
- [15] YANG X, HU W, XIU Z, et al. Microbial dynamics and volatime 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*, 2020,130: 108926.
- [16] XYAB C, WHB C, AJB C, et al. Effect of salt concentration on quality of Chinese Northeast sauerkraut fermented by *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactobacillus plantarum*[J]. *Food Biosci*, 2019, 30, 100421.
- [17] 卫玲玲,应铁进,陈延,等.甘蓝泡菜发酵菌种的复配研究[J].中国食品学报,2012,12(8):93-97.
- [18] 鲁笛,缪元浩,张邑衡,等.4株乳酸菌之间的相互作用比较[J].现代农业科技,2019(20):226,232.
- [19] 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.
- [20] VIEIRA P, PINTO C A, LOPES-DA-SILVA J A, et al. A microbiological, physicochemical, and texture study during storage of yoghurt produced under isostatic pressure[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2019, 110, 152-157.
- [21] XIONG T, LI J, LIANG F, et al. Effects of salt concentration on Chinese Sauerkraut fermentation[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2016, 69: 169-174.
- [22] LGRR A, VMZG B, MP A, et al. Fruits and fruit by-products as sources of bioactive compounds. benefits and trends of lactic acid fermentation in the development of novel fruit-based functional beverages[J]. *Food Res Int*, 2020, 140: 109854.
- [23] XIONG T, PENG F, LIU Y, et al. Fermentation of Chinese sauerkraut in pure culture and binary co-culture with *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactobacillus plantarum*[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2014, 59(2): 713-717.
- [24] 陈安特,张文娟,张羲,等.酿酒酵母对萝卜泡菜发酵过程的影响[J].食品与发酵工业,2017,43(6):129-133.
- [25] FAN G, TENG C, XU D, et al. Improving ethyl acetate production in *Baijiu* manufacture by *Wickerhamomyces anomalus* and *Saccharomyces cerevisiae* mixed culture fermentations[J]. *Biomed Res Int*, 2019, 4: 1-11.
- [26] 宋丹丹,何鹏辉,陈娟,等.气相色谱-质谱联用检测分析六大蒸馏酒中挥发性成分差异[J].中国酿造,2020,39(6):190-195.
- [27] 韩国玲,刘安军.东北酸白菜人工接种发酵工艺及挥发性成分的研究[J].食品研究与开发,2010,31(3):126-129.