

嗜盐片球菌在减少酱油二次沉淀和生物胺中的应用

杨明泉¹, 滑欢欢¹, 梁亮¹, 余雪婷¹, 陈穗¹, 高献礼²

(1. 广东美味鲜调味食品有限公司, 广东中山 528401) (2. 江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要: 本研究从酱醪中筛选得到了一株嗜盐片球菌, 该微生物扩大培养后在酱醪发酵前期添加 1×10^6 CFU/g 到酱醪中并按照高盐稀态酱油酿造工艺进行生产。所得酱油于 50 °C/震荡条件 (200 r/min) 下进行破坏性实验。利用肉眼观察法和冷冻-离心法检测其二次沉淀形成时间和生成量, 利用高效液相色谱法测定其生物胺含量, 利用滴定法和定量描述分析法对酱油理化指标和风味进行评价。结果发现嗜盐片球菌显著延迟了 (15 d) 酱油二次沉淀出现时间并减少了酱油二次沉淀生成量 (89.12%, $p < 0.01$) 和生物胺含量 (55.21%, $p < 0.01$), 其中色胺和酪胺含量分别下降了 100% 和 77.00%。由于嗜盐片球菌利用酱醪中的糖类物质 (总糖和还原糖下降 56.32% 和 64.56%) 产生了酸类物质 (增加 29.80%), 因此导致了酱油酸味及酸香和焦糖香增强, 甜味减弱。添加嗜盐片球菌导致的酱油滋味和香气的改变容易通过勾兑工艺进行调整, 因此在酱醪发酵阶段添加嗜盐片球菌是解决国产酱油二次沉淀和生物胺问题的有效手段。

关键词: 酱油; 乳酸菌; 沉淀; 生物胺; 风味

文章编号: 1673-9078(2019)07-205-210

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.7.028

Application of *Pediococcus halophilus* on Removing Secondary Precipitate and Biogenic Amine of Soy Sauce

YANG Ming-quan¹, HUA Huan-huan¹, LIANG Liang¹, YU Xue-ting¹, CHEN Sui¹, GAO Xian-li²

(1. Guangdong Meiweixian Flavoring Foods Co. Ltd., Zhongshan 528401, China)

(2. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: In this work, a strain of *Pediococcus halophilus* was isolated from soy sauce moromi and amplified, which was inoculated into the moromi of soy sauce on its early fermentation stage in the amount of 1×10^6 CFU/g moromi, then the resulting moromi was managed according to the protocol of high-salt and diluted-state soy sauce. The end product was subjected to destructive test under 50 °C with shaking of 200 rpm. Then the formation time and content of secondary precipitate were determined using naked eye observation/refrigerated centrifugation, the level of biogenic amine was detected with high efficiency liquid chromatography, the physicochemical indices and flavor were evaluated using titration method and quantitative descriptive analysis (QDA). It was found that *Pediococcus halophilus* deferred the occurrence of the secondary precipitation for 15 d and reduced 89.12% ($p < 0.01$) of the secondary precipitate and 55.21% of the biogenic amine content ($p < 0.01$), in which tryptamine and tyramine reduced 100% and 77.00%, respectively. The carbohydrate (total sugar and reducing sugar decreased by 56.32% and 64.56%, respectively) in moromi was converted into organic acids (increased by 29.80%) by *Pediococcus halophilus*, which enhanced the taste of sourness and the notes of sourness and caramel, lowered the taste of sweetness of soy sauce. The changes of taste and aroma of soy sauce caused by inoculating *Pediococcus halophilus* can be easily adjusted by blending procedure. Therefore, it is a potential method to solve the problems of secondary precipitation and biogenic amine in Chinese-type soy sauce by inoculating *Pediococcus halophilus* during its early moromi fermentation.

Key words: soy sauce; lactic acid bacteria; sediment; biogenic amine; flavor

收稿日期: 2019-03-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31301538); 中山市重大科技专项项目 (2018A1007); 中国博士后科学基金项目 (2016M600380); 江苏大学启动基金 (15JDG057)

作者简介: 杨明泉 (1968-), 男, 高工, 研究方向: 食品生物发酵技术

通讯作者: 陈穗 (1975-), 女, 教授级高工, 研究方向: 食品生物发酵技术;

共同通讯作者: 高献礼 (1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品生物技术

随着人民生活水平的提高和国外高质量酱油进入国内市场, 消费者不但对国产酱油风味品质要求越来越高, 同时对酱油外观品质和安全性的要求也越来越高。目前国产酱油和日本酱油相比, 产品理化指标基本相当, 但在国内市场上单位重量国产酱油的价格显著低于日本酱油^[1]。二次沉淀和生物胺问题严重影响国产酱油的外观品质 and 安全性, 是导致这种巨大价格差异的关键原因^[2,3]。

酱油二次沉淀是相对于酱油一次沉淀而言的,一次沉淀是指酱油热杀菌之后、过滤和包装之前形成的热沉淀,二次沉淀是指酱油包装之后在储存、运输和销售过程中在瓶底形成的土黄色至红棕色状沉淀^[4]。高献礼等^[5]对市售国产酱油和日本酱油二次沉淀进行了统计分析,结果显示国产酱油二次沉淀含量比日本酱油二次沉淀含量高 64%~94%,外观质量明显低于日本酱油,说明日本酱油已经成功解决二次沉淀问题。由于国产酱油和日本酱油所用菌种、原料、原料处理方式、发酵工艺存在显著差异^[6,7]。因此,日本解决酱油二次沉淀技术仅对解决国产酱油二次沉淀问题具有部分参考意义。目前国内对国产酱油二次沉淀成分、形成机制和去除技术进行了初步研究,虽然取得了一定成绩,但离成功解决二次沉淀问题仍然存在很大差距^[8,9]。

生物胺被认为是致癌物(如亚硝胺)的前体物质^[10],因此其在酱油中的含量备受消费者关注。酱油中的生物胺主要是发酵过程中微生物产的脱羧酶与相应的氨基酸作用产生的。酱油中的主要生物胺包括腐胺、尸胺、组胺、酪胺、色胺、苯乙胺、精胺和亚精胺等^[10]。邹阳等^[11]对国产酱油中的生物胺含量进行了分析,结果显示国产酱油中生物胺含量在 50.82~1898.17 mg/L 之间,部分产品的生物胺含量高于安全值 1000 mg/L^[12]。在酱油发酵过程中添加能够产胺氧化酶的微生物以降解生物胺或者添加能够产生物素、有机酸(如乳酸或乙酸等)的微生物以抑制产脱羧酶微生物的生长被认为是有效的控制酱油中生物胺的有效措施^[13~16]。

本实验室从公司酱醪中分离得到一株嗜盐片球菌,前期研究结果显示其不但具有减少酱油二次沉淀的作用,而且能够显著减少酱油中生物胺的含量,现将研究结果汇报如下,以期对酱油企业和研究人员提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

1.1.1 菌种、原料和试剂

米曲霉 3.042 为公司实验室保藏菌种。嗜盐片球菌 MWX R3 为广东美味鲜调味食品有限公司从中山厂区酱醪中分离筛选所得,鉴定结果显示该菌菌落形态成乳白色球状(见图 1)、镜检如图 1 所示的片状、G⁺兼性厌氧球菌、接触酶阴性,在 20~45 °C(最适温度 35 °C)下、含盐量 5%~23%(最适盐浓度 13%)、pH 3~9(最适 pH 5)的 MRS 培养基和能够生长。综

合以上实验结果、菌种来源和伯杰氏系统细菌学手册(1986)鉴定该菌为嗜盐片球菌。

大豆、面粉和食盐分别购买于光辉农产品有限公司(黑龙江林口县)、广州市南方面粉股份有限公司(广东省广州市)和中山盐业总公司。生物胺标准品(腐胺、尸胺、组胺、酪胺、色胺、苯乙胺、精胺、亚精胺)、乙酸钠、乙氧、三乙胺、CuSO₄、亚甲基蓝、酒石酸钾、亚铁氰化钾、葡萄糖、AgNO₃、NaOH、四硼酸钠、Na₂HPO₄ 等均为分析纯,购自中国医药集团上海化学试剂公司。

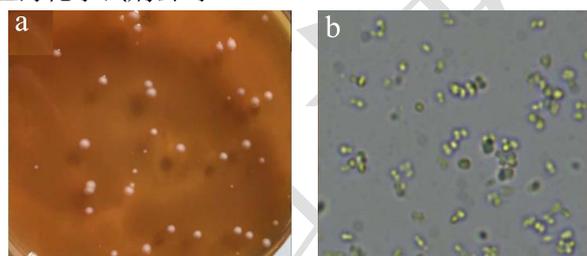


图 1 嗜盐片球菌 MWX R3 菌落形态(a)和镜检结果(b)(×500)

Fig.1 Colony morphology (a) and microscopic examination (b) results of *Pediococcus halophilus* (×500)

1.1.2 主要仪器和设备

高效液相色谱仪,美国 Waters 分析仪器有限公司; Kjeitec2300 凯氏定氮仪,瑞典 FOSS 分析仪器有限公司; WFZ UV-2100 紫外分光光度计,尤尼柯(上海)仪器有限公司; H1850R 台式高速冷冻离心机,长沙湘仪离心机仪器有限公司; 5415D 高速离心机,德国艾本德股份公司; Freezone 4.5 真空冷冻干燥机,美国 Labconco 公司; FE 20 实验室 pH 计,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备

嗜盐片球菌种子的制备采用 MRS 培养基(酪蛋白胨 10 g、牛肉浸取物 10 g、酵母提取物 5 g、葡萄糖 20 g、乙酸钠 5 g、柠檬酸二胺 2 g、吐温 80 1 g、磷酸氢二钾 2 g、MgSO₄·7H₂O 0.2 g、MnSO₄·7H₂O 0.05 g、氯化钠 58.5 g、蒸馏水 1000 mL, pH 6.8),培养基 121 °C、灭菌 30 min 冷却至于 38 °C 时接种,于 35 °C 培养 3~4 d,采用血球计数板法计数。酱油制备方法参照文献^[7]和^[17]方法并做如下修改:大豆室温浸泡 12 h 后于 121 °C 蒸煮 20 min,放蒸汽降温至 40 °C 时与接种了米曲霉孢子的面粉轻轻混合均匀,面粉与大豆(干重)重量比为 1:3,米曲霉 3.042 孢子的数量为 1×10⁶ 个/g 大曲,大曲于 30 °C 培养 44 h 至大曲表面变成浅黄绿色时结束。嗜盐片球菌种液和 450 kg 20 °Bé 盐水混均,然后与 150 kg 已经落缸(1000 L)

的大曲轻轻混匀后于常温下进行发酵,每3 d淋油一次。以未添加嗜盐片球菌的酱油为对照(种曲、规模和发酵时间、条件均相同)。发酵至180 d时发酵液经烛式过滤机(孔径为11 μm)过滤、高温短时杀菌(115 °C/30 s)、沉淀(3 d)、烛式过滤机(孔径为11 μm)过滤、经巴氏杀菌(60 °C/30 min)后热灌装(500 mL白色玻璃瓶)和封口即得样品。

1.2.2 酱油二次沉淀含量的测定

样品和对照分别置于50 °C摇床(200 r/min)中进行破坏性实验,观察二次沉淀形成时间和至60 d时生成量。用手电筒照射玻璃瓶底,记录瓶底出现肉眼可见絮状沉淀的日期,计算二次沉淀出现时间。二次沉淀含量测定方法参照文献^[18]描述的冷冻离心法。

1.2.3 酱油中生物胺含量的测定

样品和对照中的生物胺测定方法参照Shukla等^[10]方法,并做如下修改。将10 mL含有一定量的1,7-二氨基庚烷(内标,5~15 mg/L)的高氯酸(0.4 M)溶液与5 mL样品或对照混合后置于摇床(200 r/min/30 min)中提取生物胺,定性滤纸过滤后用上述含有内标的高氯酸溶液定容至25 mL。1 mL样品或对照或标准品与200 μL NaOH(2 M)、300 μL NaHCO₃(2 M)溶液混合,然后与2 mL丹磺酰氯丙酮溶液(10 mg/mL)混合后在40 °C下衍生化45 min。用100 μL NH₄OH溶液(25%)终止衍生化反应,常温静置30 min后用乙腈定容至5 mL,滤纸过滤后-20 °C储藏。

使用C18柱子(Waters, 50 mm×4.6 mm×5 μm)对样品和对照中的生物胺进行分离。洗脱条件为:0.1 M乙酸铵溶液(A)和乙腈(B)为流动相进行梯度洗脱(流动相A从0 min至26.25 min至36 min,比例从60%至10%至65%)、流速1 mL/min、洗脱时间35 min、检测波长254 nm。用相同条件下标准品(酪胺、腐胺、组胺、尸胺、苯乙胺、色胺、亚精胺、精胺)图谱进行定性鉴定,用内标法进行定量测定。

1.2.4 理化指标的测定

样品和对照中总氮、氨基酸态氮、总酸、氯化钠、无盐固形物的含量参照GB 18186-2000法进行测定,总糖和还原糖含量参照ZB X 66040-1987法进行测定。

1.2.5 感官评价

本实验参照Gao等^[19]方法对样品和对照的风味特征进行定量描述分析(QDA),参照国标GB/T 14195-1993的方法在广东美味鲜调味食品有限公司筛选7名感官评价员(2男,5女,年龄25~50岁),共进行7次培训(1 h/次)。以12 mM NaCl、4 mM 谷氨酸钠、40 mM 蔗糖、10 mM 乳酸、1.5 mM 咖啡因和

5%味之素M-SUPER P呈味料水溶液为咸、鲜、甜、酸、苦和醇厚感的标准溶液,以700 mg/L乙醇、150 mg/L乙酸、5 μg/L 2-乙基-3-甲基吡嗪、300 μg/L 2-乙基愈创木酚水溶液为醇香、酸香、焦糖香和烟熏香的标准溶液。感官评价在23±2 °C评价室进行,前3次培训评价员对标准溶液滋味和香气特征进行辨别和记忆。后4次培训评价员对不同品牌的酱油的上述滋味和香气特征进行识别、对其强度进行评分(无察觉:0分,最强:5分),不同评价员对风味特征和强度进行交流并达成一致。样品和对照的感官评价在23±2 °C评价室进行,20 mL样品或对照盛于100 mL透明玻璃烧杯中随机编码后送与7名评价员进行独立评价和评分(0~5分)。评价结果以雷达图的形式进行呈现。

1.2.6 统计分析

本文的实验数据分析采用SPSS 15.0软件完成,在检验水平为0.05的条件下进行显著性差异分析。

2 结果与讨论

2.1 添加嗜盐片球菌对酱油二次沉淀形成时间和生成量的影响

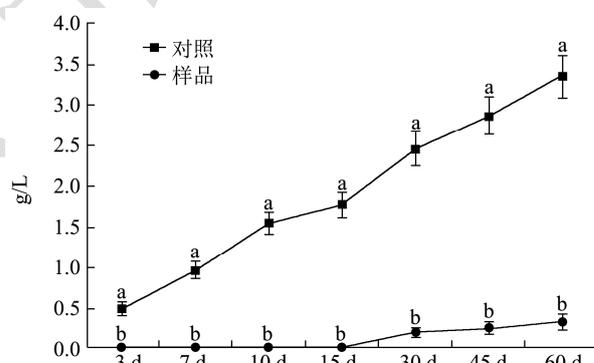


图2 样品和对照二次沉淀形成时间和形成量(g/L)

Fig.2 The appearance times and contents of secondary precipitate of samples and controls (g/L)

注:同一天数据标注不同字母表示两个数据存在显著性差异($p<0.01$)。

由图2可知,破坏性实验证明在制醪阶段添加嗜盐片球菌能够显著延长酱油二次沉淀出现时间15 d,在整个破坏性实验期间(0~60 d)添加了嗜盐片球菌的酱油二次沉淀生成量显著低于其对照($p<0.01$),至60 d时仍比其对照少89.12%。嗜盐片球菌是传统高盐发酵食品中常见微生物^[13,20,21],一般在发酵前期出现,能够迅速降低醪液pH,对后期鲁氏酵母的快速繁殖起到促进作用,对酱油风味和色泽的形成起到间接促进作用^[20,22]。韩国已于2014年将嗜盐片球菌认定为可作

为食品原料的微生物,其安全性得到了认可^[23]。但有关嗜盐片球菌能够减少酱油中二次沉淀的生成的研究尚未见报道。其可能的机制为嗜盐片球菌能够在醪液中大量繁殖并成片状存在(见图1),在醪液加热后进行热沉淀过程中嗜盐片球菌进一步聚集并吸附醪液中不稳定的疏水性蛋白质和微小颗粒进而形成一次沉淀(被去除),而醪液中疏水性蛋白质被认为是导致酱油二次沉淀的主要成分^[2],嗜盐片球菌通过吸附二次沉淀蛋白形成共沉淀(一次沉淀)显著减少了酱油二次沉淀的形成。

2.2 添加嗜盐片球菌对酱油中生物胺含量的影响

如表1所示,对照酱油中总生物胺含量为118.25 mg/L,而添加了嗜盐片球菌的酱油中总生物胺含量仅为52.96 mg/L,添加嗜盐片球菌显著降低了酱油中生物胺的总含量(55.21%)并改变了酱油中生物胺的组成。此外,嗜盐片球菌改变了酱油中生物胺的组成,样品中生物胺含量由高至低依次为组胺>腐胺>苯乙

胺>酪胺>精胺>尸胺>亚精胺;对照中生物胺含量由高至低依次为酪胺>组胺>精胺>腐胺>苯乙胺>尸胺>亚精胺>色胺。其中色胺被全部降解(100%),酪胺降解率高达77.00%。邹阳等^[11]采用高效液相法对市售10种酱油中的8种生物胺进行了检测,结果显示酱油中总生物胺含量的范围为50.82~1898.17 μg/mL,其中酪胺、腐胺和苯乙胺是酱油样品中含量最多的生物胺。本实验测定的酱油中总生物胺含量远低于上述报告平均值,但所测定的生物胺组成与上述结果基本一致。Shalaby^[12]研究结果认为食品中生物胺含量大于1000 mg/L将对人体产生危害,按照本实验工艺生产的酱油生物含量远低于上述限值。高盐发酵食品中嗜盐乳酸菌减少产品中生物胺含量的机制如下,或通过在高温环境下分泌产生的细菌素、有机酸(主要包括乳酸和乙酸)抑制能够分泌脱羧酶微生物的生长,或通过自身分泌的生物胺氧化酶降解生物胺从而减少产品中生物胺的含量^[14-16]。部分嗜盐乳酸菌具有减少生物胺的能力,部分嗜盐乳酸菌可能增加产品中生物胺的含量,这与其具体菌株有关^[13]。实验证明本实验室分离得到的嗜盐片球菌具有明显的减少酱油中生物胺的能力。

表1 嗜盐片球菌对酱油中生物胺含量的影响

Table 1 Effect of *Pediococcus halophilus* on the contents of biogenic amines in soy sauce (mg/L)

| 项目 | 酪胺 | 腐胺 | 组胺 | 尸胺 | 苯乙胺 | 色胺 | 亚精胺 | 精胺 | 总生物胺 |
|----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------|
| 样品 | 7.52±0.11 ^b | 10.31±0.13 ^b | 15.20±0.16 ^b | 2.13±0.02 ^b | 8.97±0.09 ^b | 0 ^b | 1.80±0.03 ^b | 7.03±0.05 ^b | 52.96 |
| 对照 | 32.70±0.37 ^a | 16.38±0.16 ^a | 29.60±0.21 ^a | 3.76±0.03 ^a | 15.29±0.12 ^a | 1.16±0.03 ^a | 2.56±0.04 ^a | 16.80±0.09 ^a | 118.25 |

注:同一列数据标注不同字母表示两个数据存在显著性差异($p < 0.01$)。下表同。

表2 嗜盐片球菌对酱油常规理化指标的影响

Table 2 Effect of *Pediococcus halophilus* on physicochemical indices of soy sauce (g/100 mL)

| 项目 | 总氮 | 氨基酸态氮 | 总糖 | 还原糖 | 总酸 | NaCl | 非盐固形物 |
|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 样品 | 1.56±0.06 ^a | 0.86±0.03 ^a | 1.38±0.06 ^b | 1.01±0.04 ^b | 1.96±0.08 ^a | 15.38±0.09 ^a | 12.55±0.33 ^b |
| 对照 | 1.53±0.06 ^a | 0.85±0.03 ^a | 3.16±0.13 ^a | 2.85±0.10 ^a | 1.51±0.06 ^b | 15.37±0.08 ^a | 14.00±0.38 ^a |

2.3 添加嗜盐片球菌对酱油常规理化指标的影响

由表2可知,嗜盐片球菌显著提高了酱油总酸含量(29.80%),同时显著减少了酱油中总糖(56.32%)、还原糖(64.56%)和非盐固形物的含量(10.36%)($p < 0.01$),但对酱油总氮、氨基酸态氮和NaCl含量无影响($p > 0.05$)。Herpandi等^[13]研究结果证明了添加嗜盐片球菌降低了虾酱中还原糖的含量,但对其蛋白质含量无显著影响。Singracha等^[15]研究发现乳酸菌(嗜盐四联球菌)和酵母菌协同发酵提高了酱油醪液中的总酸含量、减少了醪液中葡萄糖含量,但对醪液NaCl含量无影响。本实验结合国内外类似研究结果可

知,添加嗜盐片球菌能够改变酱油中糖类、总酸和非盐固形物含量,进而可能改变酱油的风味。

2.4 添加嗜盐片球菌对酱油风味的影响

由图3可知,嗜盐片球菌增加了酱油的酸味(13.48%)及酸香(11.53%)和焦糖香(7.40%)、降低了其甜味(12.21%)($p > 0.05$),但对酱油的咸味、鲜味、苦味和醇厚感及醇香和烟熏香几乎无影响。这与常规理化指标分析结果一致(嗜盐片球菌增加了酱油中酸含量、减少了其糖含量,对其他指标无显著影响)。前期研究结果证明了嗜盐片球菌能够通过消耗醪液中的糖类物质产生乳酸和醋酸,从而增加酱油的酸味、酸香而降低其甜味^[20]。虽然醪液中糖类物质减少和总酸含量增加均达到了显著水平,但感官评价结果

显示其相应的风味特征变化并未达到显著水平,这可能与酱油中甜味和酸味氨基酸含量可能未变化有关,同时滋味物质之间的相互协同作用也对终产品的各滋味强度具有重要影响^[19,24]。Harada 等^[6]指出嗜盐四联球菌与菠萝酮(2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone)的产生密切相关,由于嗜盐片球菌与嗜盐四联球菌在微生物分类学上具有较近的亲缘关系,同时前期研究结果也证实了菠萝酮为酱油中关键香气化合物,具有典型的焦糖香^[19]。因此,嗜盐片球菌所产菠萝酮可能增强了酱油的焦糖香。

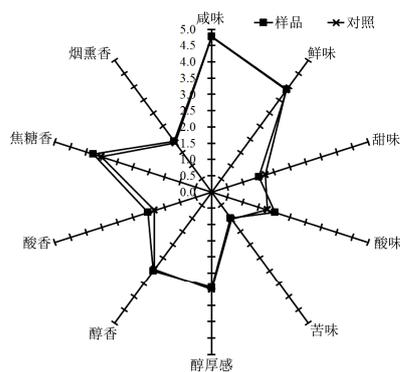


图3 嗜盐四联球菌对酱油风味的影响

Fig.3 Effects of *Pediococcus halophilus* on the flavor of samples and controls

3 结论

本文从公司酱醪中分离得到一株嗜盐片球菌 MWX R3, 在酱醪发酵初期添加该嗜盐片球菌不但能够显著推迟酱油二次沉淀出现时间(15 d)和减少其生成量(减少 89.12%) -显著改善酱油外观品质,而且显著减少了终产品的总生物胺含量(55.21%),提高了酱油安全性。添加该嗜盐片球菌降低了终产品的糖类物质含量和甜味,但提高了其酸类物质含量及其酸味、酸香和焦糖香。因此,在酱醪发酵前期添加嗜盐片球菌不但改善了其外观品质、提高了其生物安全性,同时也在一定程度上也改善了其风味。下一步将对该嗜盐片球菌改善酱油二次沉淀现象的机理及其在酱油大规模生产中的应用进行深入研究。

参考文献

- 冯云子,崔春,高献礼,等.中式酱油与日式酱油非挥发性成分的比较[J].食品与发酵工业,2010,37(7):62-66
FENG Yun-zi, CUI Chun, GAO Xian-li, et al. Comparative study on non-volatile components in traditional Chinese-type soy sauce and Japanese-type soy sauce [J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 37(7): 62-66
- GAO X L, SUN P F, LU J, et al. Characterization and formation mechanism of proteins in the secondary precipitate of soy sauce [J]. European Food Research and Technology, 2013, 237(4): 647-654
- 陈晓霞,邵璋,王颖超,等.膜处理对酱油成分的影响[J].中国调味品,2011,2:90-92
CHEN Xiao-xia, SHAO Zhang, WANG Ying-chao, et al. Effects of membrane treatment on ingredients of soy sauce [J]. China Brewing, 2011, 2: 90-92
- 曾新安,李国基,于淑娟.酱油沉淀成分研究[J].食品科学,2002,23(11):32-34
ZENG Xin-an, LI Guo-ji, YU Shu-juan. Research on the sediment of soy sauce [J]. Food Science, 2002, 23(11): 32-34
- 高献礼,闫爽,陈燕斌,等.基于统计学方法的酱油二次沉淀形成的初步研究[J].食品工业科技,2013,34(3):188-192
GAO Xian-li, YAN Shuang, CHEN Yan-bin, et al. Preliminary study on secondary sediment formation of soy sauces based on statistics methods [J]. Science and Technology of Food industry, 2013, 34(3): 188-192
- HARADA R, YUZUKI M, ITO K, et al. Microbe participation in aroma production during soy sauce fermentation [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2018, 125(6): 688-694
- 高献礼.高盐稀态酱油在发酵和巴氏杀菌过程中风味物质形成和变化的研究[D].广州:华南理工大学,2010
GAO Xian-li. Study on the formation and changes of flavor compounds in high-salt and diluted-state soy sauce during fermentation and pasteurization [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010
- 孙亚文.蛋清液在清除酿造酱油二次沉淀上应用[J].中国酿造,2010,9:121-122
SUN Ya-wen. Application of egg white solution in removing the second precipitation in soy sauce production [J]. China Brewing, 2010, 9: 121-122
- 张丽华,何余堂.不同澄清剂在消除酿造酱油二次沉淀的应用研究[J].中国酿造,2012,31(8):145-146
ZHANG Li-hua, HE Yu-tang. Application study of different clarifying agents on removing the second precipitation in brewed soy sauce [J]. China Brewing, 2012, 31(8): 145-146
- Shukla S, Park H K, Kim J K, et al. Determination of biogenic amines in Korean traditional fermented soybean paste (*Doenjang*) [J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48: 1191-1195
- 邹阳,赵海峰,赵谋明.高效液相色谱法同时测定酱油中的8种生物胺[J].现代食品科技,2012,28(5):570-573
ZOU Yang, ZHAO Hai-feng, ZHAO Mou-ming.

- Simultaneous determination of 8 kinds of biogenic amines in soy sauce by HPLC [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2012, 28(5): 570-573
- [12] SHALABY A R. Significance of biogenic amines to food and human health [J]. *Food Research International*, 1996, 29: 675-690
- [13] Herpandi L S D, Simamora G R R. Effects of different *Pediococcus halophilus* level and fermentation time on chemical properties of fermented anchovy paste “terasi ikan” [J]. *Materials Science and Engineering*, 2017, 193: 12004
- [14] 刘玉晗,卢士玲,陆静,等.乳酸菌中生物胺氧化酶菌株的筛选[J].*现代食品科技*,2016,32(4):106-113
LIU Yu-han, LU Shi-ling, LU Jing, et al. Screening of amine oxidase-producing strains from lactic acid bacteria [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(4): 106-113
- [15] Singracha P, Niamsiri N, Visessanguan W, et al. Application of lactic acid bacteria and yeasts as starter cultures for reduced-salt soy sauce (moromi) fermentation [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 78: 181-188
- [16] LIM E S, LEE N G. Control of histamine-forming bacteria by probiotic lactic acid bacteria isolated from fish intestine [J]. *Korean Journal of Microbiology*, 2016, 52(3): 352-364
- [17] GAO X L, ZHAO H F, ZHAO M M, et al. A comparative study on physicochemical properties of Chinese-type soy sauces prepared using pure koji and mixed kojis [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2010, 9(40): 6740-6747
- [18] 高献礼,孙鹏飞,闫爽,等.酱油二次沉淀制备方法的对比[J].*食品与发酵工业*,2013,39(1):46-50
GAO Xian-li, SUN Peng-fei, YAN Shuang, et al. A comparative study on the different methods for secondary precipitates preparation of soy sauce [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2013, 39(1): 46-50
- [19] GAO X L, ZHANG J K, JOE M R, et al. Characterization of taste and aroma compounds in Tianyou, a traditional wheat flour-fermented condiment [J]. *Food Research International*, 2018, 106: 156-163
- [20] 吴世君,周建民.乳酸菌和酵母菌的添加时期及添加量对酱醪发酵的影响[J].*中国调味品*,1989,7:27-31
WU Shi-jun, ZHOU Jian-min. Effects of addition time and dosage of lactic acid bacteria and yeast on the moromi [J]. *China Brewing*, 1989, 7: 27-31
- [21] 张妙霞,雷晓凌,李学恭,等.鱼露中乳酸菌及其主要产品指标关系研究[J].*现代食品科技*,2009,25(12):1408-1411
ZHANG Miao-xia, LEI Xiao-ling, LI Xue-gong, et al. Correlation between strains of lactic acid bacteria in fish sauces and the major characteristics of fish sauces [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2009, 25(12): 1408-1411
- [22] 陈伯林.耐盐乳酸菌在酱油发酵中的应用[J].*现代食品科技*,2011,27(11):1340-1343
CHEN Bo-lin. Application of lactic acid bacteria with high salt tolerance in the soy sauce fermentation [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2011, 27(11): 1340-1343
- [23] 刘文丽,程池,姚粟,等.韩国食品用微生物菌种管理现状[J].*食品与发酵工业*,2015,41(11):237-242
LIU Wen-li, CHENG Chi, YAO Su, et al. The current situation of microbial food culture management in Republic of Korea [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2015, 41(11): 237-242
- [24] Breslin P A S. Interactions among salty, sour and bitter compounds [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 1996, 7: 390-399

(上接第 17 页)

- [14] 颜金鹏,王丽,李善妮,等.杀菌/渗透性增强蛋白功能及应用前景[J].*中国生物化学与分子生物学报*,2011,7:622-631
YAN Jin-peng, WANG Li, LI Shan-ni, et al. Bactericidal / permeability-increasing protein neutrophils gram-negative bacteria endotoxin [J]. *Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 2011, 7: 622-631
- [15] Ganzle M G, Vogel R F. On-line fluorescence determination of pressure mediated outer membrane damage in *Escherichia coli* [J]. *Syst Appl Microbiol*, 2001, 24: 477-485
- [16] Fang F C. Antimicrobial reactive oxygen and nitrogen species: concepts and controversies [J]. *Nat Rev Microbiol*, 2004, 2(10): 820-832
- [17] Valko M, Rhodes C J, Moncol J, et al. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer [J]. *Chem Biol Interact*, 2006, 160(3): 1-40
- [18] Tardu M, Bulut S, Kavakli I H. MerR and ChrR mediate blue light induced photo-oxidative stress response at the transcriptional level in *Vibrio cholera* [J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 40817
- [19] Adair TL, Drum B E. RNA-Seq reveals changes in the *Staphylococcus aureus* transcriptome following blue light illumination [J]. *Genom Data*, 2016, 9(9): 4-6