研究论文

DOI:10.3969/j.issn. 1673-1689.2018.11.010

复合菌种对发酵鲢鱼成熟过程中品质的影响

于沛沛， 石建喜， 姜启兴， 许艳顺， 杨 方， 高 沛， 余达威， 夏文水*

（江南大学 食品学院，江苏 无锡 214122）

摘要： 为了研究接种复合菌对发酵鲢鱼成熟过程中品质的影响，作者对发酵鲢鱼成熟过程中的菌落数、pH 和总酸、生物胺、总氮（TN）、游离氨基酸（FAA）、硫代巴比妥酸（TBA）、游离脂肪酸（FFA）和挥发性风味成分进行测定，结果表明，混合菌种组的微生物增长显著高于对照组，发酵成熟后，接种组中的总酸、TN、TBA、EPA（二十碳五烯酸）和 DHA（二十二碳六烯酸）质量分数显著高于对照组；pH、生物胺质量分数低于对照组；FAA 质量分数在成熟第 6 d 达到最高，接种组达到 0.030 5 mg/g，明显高于对照组；接种组中的质量分数明显高于对照组。此外，GC-MS 的结果显示接种组的挥发性风味成分中醛类、酮类和酯类化合物的质量分数有不同程度的增加。可见，复合菌种对发酵鲢鱼成熟过程中的蛋白质和脂肪的变化起到至关重要的作用，增强了其安全性，并促进了发酵鲢鱼风味的形成。

关键词： 鲢鱼；发酵；成熟；复合菌种；风味

中图分类号：TS 2　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1673—1689(2018)11—1181—08

Effect of Mixed Starter Cultures on the Characteristic of Fermented Silver Carp During Ripening Process

YU Peipei， *SHI Jianxi*， *JIANG Qixing*， *XU Yanshun*，
YANG Fang， *GAO Pei*， *YU Dawei*， *XIA Wenshui**

（School of Food Science and Technology，Jiangnan University，Wuxi 214122，China）

Abstract： In order to evaluate the effect of mixed starter culture on the quality of fermented silver carp during ripening process，colony count，pH value and total acidity，biogenic amines，total nitrogen （TN），free amino acids （FAA），thiobarbituric acid （TBA），free fatty acids （FFA） and volatile composition were determined. The results showed that colony count and the contents of total acidity，TN，TBA，EPA （eicosapentaenoic acid） and DHA （docosahexaenoic acid） of the mixed fermented samples were higher than those of the control，while pH and biogenic amines content of the mixed fermented samples were lower than those of the control. The highest FAA contents were observed on the 6th day of ripening process，with the corresponding value of 0.030 5 mg/g in

收稿日期： 2017-07-23

基金项目： 国家大宗淡水鱼产业技术体系项目（CARS-46）；江苏省重点研发项目（BE2016333）；江苏省食品安全与质量控制协同创新中心项目。

作者简介： 于沛沛（1983—），女，山东潍坊人，农学硕士，实验师，主要从事食品加工与配料方面的研究。E-mail：ypp1102@163.com

*** 通信作者：** 夏文水（1958—），男，江苏南京人，工学博士，教授，主要从事食品加工与配料方面的研究。E-mail：xiaws@jiangnan.edu.cn

引用本文： 于沛沛，石建喜，姜启兴，等. 复合菌种对发酵鲢鱼成熟过程中品质的影响[J]. 食品与生物技术学报，2018，37(11)：1181-1188.

inoculated group,which was significantly higher than that of the control. Besides,GC-MS analysis indicated that the relative contents of aldehydes,ketones and esters of inoculated groups were higher than that of control group. Apparently,the mixed starter cultures played critical roles in the protein and lipid changes of fermented silver carp during ripening process,which improved its safety as well flavor formation.

Keywords: silver carp,fermentation,ripen,mixed starter culture,flavor

我国是世界水产生产大国之一,2015 年我国的水产品总产量为 6 695.65 万 t，其中淡水养殖鱼类的总产量为 3 290.04 万 t。然而,我国的淡水鱼加工比例不足 20%,严重制约了我国淡水渔业的发展[1]。其中,鲢鱼具有生长速度快、不易生病等优点,且肉质鲜嫩,营养丰富,其产量仅次于草鱼。然而,由于鲢鱼的肉薄刺多、土腥味较重等问题,导致其消费量受到很大限制[2]。腌制发酵是传统的水产品保藏加工技术,产品在腌制发酵的过程中,其理化特性、微生物群及感官特性会发生很复杂的变化,最终形成产品所特有的风味、质构和色泽等,可以更好的满足消费者的需求。由于传统的发酵鱼制品都是利用环境或鱼体中自然存在的微生物发酵而成,其发酵过程往往难以控制,因而具有发酵时间长、产品品质不一致、安全性低等缺点[3]。

近年来,现代生物技术在提升传统发酵产品品质的研究已引起广泛关注。将分离得到的菌种接种到产品中,可以有效缩短产品的发酵周期,并提高产品的品质和安全性。微生物发酵菌种以及发酵工艺条件对产品的风味和食用品质有着重要的影响。本研究室现有研究以淡水鱼为原料,通过接种从传统发酵酸鱼中分离得到的菌种进行发酵,得到了具有独特口感、质构和风味的发酵酸鱼制品[4-9]。张娜[10]研究了不同的干燥条件对腌腊鱼品质的影响,发现经低温干燥的腌腊鱼品质高于热风干燥。现有研究主要针对发酵菌种筛选、发酵过程中产品品质变化等方面,而复合菌种接种对鱼块发酵和成熟的影响还鲜有报道。

因此,本研究以复合菌种(植物乳杆菌 120、酿酒酵母 152、木糖葡萄球菌 135)作为发酵剂,在 20 ℃发酵鲢鱼块,然后在 8 ℃、RH 70%条件下成熟,分析接种复合菌种在发酵鲢鱼成熟过程中对蛋白质、脂肪和挥发性物质的影响,为现代微生物发酵技术在提升传统腌制鱼制品的风味品质的和安全性提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲢鱼：购于无锡市华润万家,2.5±0.2 kg/条,去头、去内脏,清水冲洗干净并切成 5 cm×5 cm×2 cm (长×宽×厚)的鱼块。

菌种:植物乳杆菌 120、酿酒酵母 152 和木糖葡萄球菌 135 从自然发酵酸鱼中分离得到,由江南大学食品学院提供。

丹磺酰氯购于 Sigma;甲醇、乙腈为色谱纯,其它试剂均为分析纯,购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器设备

紫外分光光度计:UV2100 型,上海尤尼柯仪器公司;气质联用仪:QP2010 plus 型,日本岛津公司;高效液相色谱仪:1525,美国沃特世公司;其他均为实验室常用仪器。

1.3 测定方法

1.3.1 菌落数的测定 乳酸菌、葡萄球菌及酵母菌分别用 MRS 培养基、MSA 琼脂培养基和 PDA 培养基。检测方法参照曾[5],结果表示为(log CFU/g)。

1.3.2 pH 的测定 称取 5 g 样品,加入 50 mL 蒸馏水,高速均质 1 min,然后立即测定匀浆的 pH 值。

1.3.3 总酸含量的测定 参照 Lucke F 方法 [11],称取 10 g 样品，均质后用 150 mL 煮沸过的蒸馏水洗入 250 mL 容量瓶中,摇匀、定容、过滤后,以 0.10 mol/L 的标准 NaOH 溶液滴定。总酸度以乳酸表示。

1.3.4 生物胺的测定 参考 Ben-Gigirey B[12]方法采用 HPLC 法测定,并稍有修改。 HPLC 条件:进样量:10 μL;色谱柱:Zorbax×CB C18(4.6×250 μm);柱温:30 ℃;荧光检测器:激发波长 340 nm,发射波长 515 nm;流动相:A 50%乙腈 B 90%乙腈;流速:1.0 mL/min,梯度洗脱。

1.3.5 总氮含量的测定 参考国标 GB/T 5009.5—2010,采用凯氏定氮法。

1.3.6 游离氨基酸的测定 采用茚三酮比色法。

1.3.7 TBA 的测定 取 2 g 样品,加入 20 mL 质量分数为 10%的三氯乙酸溶液,高速均质 30 s 后于 4 ℃ 2 000 g 离心 5 min。上清液过滤,取滤液 5 mL 与 5 mL 0.02 mol/L 的 TBA 溶液混合,置沸水浴中加热 20 min,迅速冷却,在 532 nm 处测吸光值。TBA 值以丙二醛(MDA)的质量分数表示,单位为 mg/kg 样品。

1.3.8 FFA 的测定 游离脂肪酸的甲酯化参照 Gandemer G[13]方法,FFA 组成采用 GC-MS 分析。色谱柱:石英毛细管柱(30 m×0.32 mm);升温程序:初温为 120 ℃,保持 3 min 后以 10 ℃/min 升温至 190 ℃,再以 2 ℃/min 升温至 220 ℃,保持 15 min;进样口和检测温度均为 250 ℃;载气(N_2)的流速为 3 mL/min;分流比为 1:8;进样量:1 μL。

1.3.9 挥发性风味化合物的测定

1)挥发性风味物质的提取:采用固相微萃取法(SPME),萃取温度为 50 ℃,萃取时间为 60 min。将萃取头插入 GC 进样口,250 ℃解析 3 min。

2)GC-MS 测定:气相色谱条件:弹性毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),载气(He)流量为 0.81 mL/min,进样口温度维持在 250 ℃,不分流进样。升温程序:起始柱温为 40 ℃,维持 3 min 后以 5 ℃/min 升温至 120 ℃,保持 5 min 后以 15 ℃/min 升温至 240 ℃,保持 5 min。质谱条件:离子源温度为 200 ℃,四级杆温度为 150 ℃,电子电压为 70 eV。

1.4 实验方法

1.4.1 复合菌种的制备 将菌种(植物乳杆菌 120,酿酒酵母 152,木糖葡萄球菌 135)活化后,培养液于 4 ℃、10 000 r/min 离心 10 min,以无菌生理盐水洗涤两次,重悬于无菌生理盐水中,最后调整菌液的质量浓度至 5~6 log CFU/mL,置 4 ℃保存,于 24 h 内使用。

1.4.2 发酵鲢鱼的制备 将鲢鱼鱼块在 20 ℃条件下,置发酵罐腌制发酵 48 h。然后以去离子水洗净,沥干后分为两组:(1)表面涂抹混合发酵剂(比例为 1:1:1),(2)不做任何处理。将鱼块置 8 ℃、RH 70%的培养箱中成熟,成熟时间为 8 d,每两天进行取样并测定分析。

1.5 数据处理

数据用 Origin 8.5 统计作图,利用 SPASS 22.0 软件进行差异显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 发酵鲢鱼成熟过程菌落数变化

发酵鲢鱼成熟过程中乳酸菌、木糖葡萄球菌和酵母菌生长情况如图 1 所示。

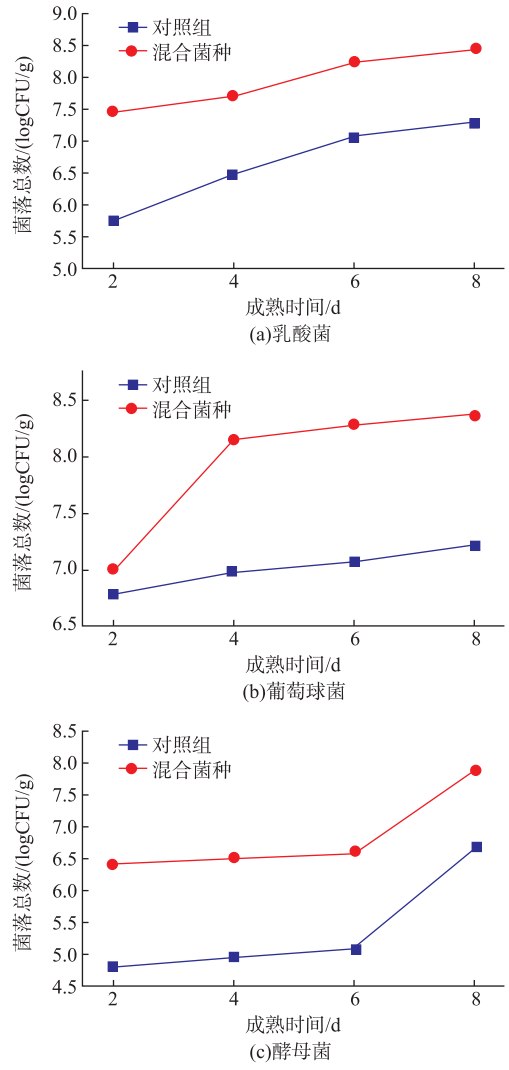


图 1 发酵鲢鱼成熟过程中微生物的变化

Fig. 1 Microbiological changes in silver carp during maturation

由图 1 可知,混合菌种组的微生物增长显著高于对照组。在混合菌种组,乳酸菌在第 2 d 到第 4 d 时增长迅速,从 7.01 log CFU/g 增长到 8.15 log CFU/g,发酵后期增长缓慢;葡萄球菌从第 2 d 到第 6 d 时增长缓慢,从第 6 d 到第 8 d 数量从 6.53 log CFU/g 迅速增长到 7.87 log CFU/g;而酵母菌的数量一直处于缓慢增长。成熟过程初期鱼肉中的碳

水化合物充足,乳酸菌大量生长繁殖,使得鱼肉中的有机酸大量积累,而酵母菌是一种兼性厌氧菌,在无氧条件下可以将葡萄糖分解为二氧化碳和醇类,木糖葡萄球菌中的脂肪酶和蛋白酶活性能将酸和醇结合形成酯和其他风味化合物。酵母菌是许多发酵产品中的主要微生物,可以在乳酸菌创造的酸性环境中大量繁殖[14],具有较强的产香能力。

2.2 发酵鲢鱼成熟过程中的 pH 和总酸质量分数的变化

pH 和总酸是影响发酵鲢鱼肉品质的重要因素,发酵鲢鱼在成熟过程中的 pH 和总酸质量分数的变化如图 2 所示。

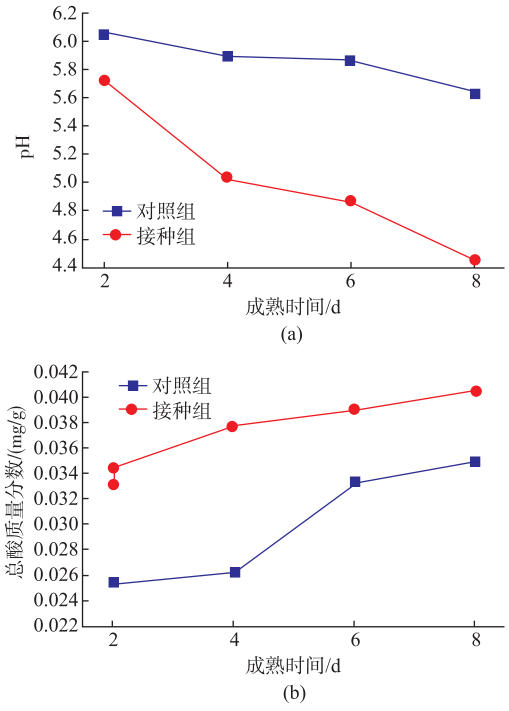


图 2 复合菌种对鲢鱼成熟过程中 pH 和 TA 的影响

Fig. 2 Effect of mixed starter cultures on pH and TA of silver carp during ripening process

由图 2 可知,pH 值的变化与总酸质量分数的变化趋势相一致。在发酵鲢鱼成熟过程中,接种组和对照组鱼肉的 pH 值低于 7.0,且均呈现出下降趋势,随着成熟时间的延长,下降速率增大,最终接种组的 pH 值 4.46,对照组 pH 值为 5.63。造成接种组和对照组 pH 值较低的原因主要是在成熟阶段,乳酸菌在鱼肉中大量繁殖,如图 1 所示,涂抹混合发酵剂组乳酸菌的数量由最初的 6.80 CFU/g 增至成熟结束时的 8.36 CFU/g;而对照组乳酸菌数量由最初的 5.87 CFU/g 增至 7.21 CFU/g,明显低于涂抹混合发酵组,这也说明了接种组 pH 值降低的幅度明显大于对照组。乳酸菌能对鱼肉中的碳水化合物进行分解,产生乳酸等物质,从而降低了鱼肉的 pH 值;同时,成熟过程中的脂肪分解以及 FFA 的积累也会导致 pH 值的降低[15],也有报道称鱼肉内源酶或自身携带的微生物酶也会引起 pH 值的降低[16-18]。研究表明,乳酸菌不仅可以降低发酵过程中的 pH 值,还可以抑制腐败菌和致病菌的生长繁殖,也能够改变产品的色泽和风味,并加速成熟过程[19-20],达到快速发酵、缩短工艺时间的目的。

2.3 发酵鲢鱼成熟后生物胺质量分数的变化

发酵鲢鱼成熟后的生物胺质量分数如表 1 所示。由表 1 可以看出,接种组和对照组中的生物胺质量分数具有明显差异。食品中的肠杆菌和假单胞菌与腐胺、尸胺和组胺的形成密切相关,其所含的高活性脱羧酶使得产品产生生物胺[21]。

表 1 发酵成熟后鲢鱼中生物胺的质量分数

Table 1 Mass fraction of biogenic amines in cured – ripening fermented silver carp

样品	生物胺的质量分数/(mg/kg)				
	组胺	酪胺	尸胺	腐胺	亚精胺
接种组	2.77± 0.01	13.61± 0.05	5.44± 0.02	0.52± 0.01	3.05± 0.02
对照组	21.35± 0.04	27.80± 0.40	17.12± 0.12	10.77± 0.01	3.14± 0.02

组胺、酪胺、尸胺和腐胺是发酵肉制品中的主要生物胺,而精胺和亚精胺质量分数较低,其中,组胺是对人体危害最大的生物胺[22-23]。一般认为,食品中的酪胺质量分数不得高于 100~800 mg/kg,组胺质量分数不得高于 100 mg/kg[24]。接种组中的组胺和酪胺质量分数远低于这一标准,且低于对照组,可推测微生物在鲢鱼风干成熟过程中可有效抑制组胺和酪胺产生菌的生长。因此,在选择发酵剂时需选择不具有脱羧酶活性、可抑制致病菌生长的菌种,以防止生物胺在发酵和成熟阶段的积累。

2.4 发酵鲢鱼成熟过程中 TN 质量分数的变化

发酵鲢鱼在成熟过程中 TN 质量分数的变化如图 3 所示,随着成熟时间的延长,两组中 TN 的质量分数均逐渐升高,与对照组相比,接种组中 TN 的质量分数增加更加明显,其可能是因为在成熟过程中,接种组中的微生物快速生长,所分泌的蛋白酶

促使蛋白质等含氮物质转化为风味化合物等物质。在成熟初期,对照组的 TN 的质量分数高于接种组,其可能是因为成熟初期,接种组中的部分蛋白质渗出引起的。

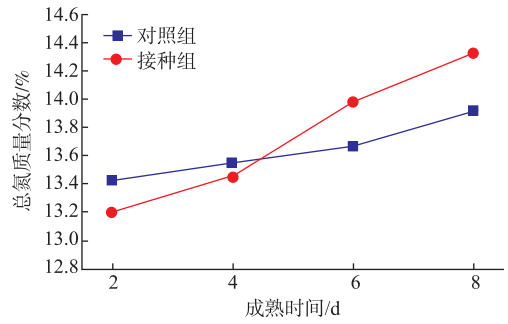


图 3 复合微生物对鲢鱼成熟过程中总氮的影响

Fig. 3 Effect of mixed starter cultures on TN during silver carp ripening process

2.5 发酵鲢鱼成熟过程中 FAA 质量分数的变化

FAA 是蛋白质水解的最终产物,不仅可以直接形成滋味物质,而且是许多挥发性风味物质的前体物质,因此 FAA 既可以影响产品的滋味又对风味的形成有重要作用[25]。一些游离氨基酸可以通过 Maillard 反应生成醛类物质,也可以通过 Strecker 降解生成酮类、醇类和酯类物质,其反应产物均会对腌制鱼风味的形成产生一定影响[26]。发酵鲢鱼在成熟过程中的 FAA 质量分数的变化如图 3 所示。

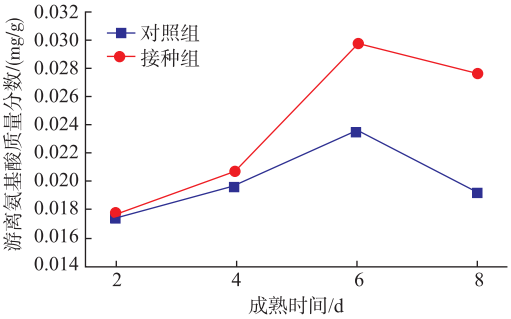


图 4 复合微生物对鲢鱼成熟过程中游离氨基酸的影响

Fig. 4 Effect of mixed starter cultures on FAA during silver carp ripening process

由图 4 可以看出,FAA 在发酵鲢鱼成熟过程中呈现先增加后下降的变化趋势。FAA 质量分数的增加主要是蛋白质水解的结果,除了鱼肉中的内源蛋白酶外,微生物还可代谢产生多种外源蛋白酶,两者均可促进鱼肉蛋白的降解[27]。成熟过程中接种的混合微生物均是有利于最终产品品质的菌种,可以提高外源蛋白酶数量,因此接种组中 FAA 质量分数高于对照组。FAA 的变化取决于其形成和降解两个反应的相对速度,随成熟时间的延长,Strecker 降解反应使得 FAA 消耗速度高于了蛋白的水解速度;而且在成熟后期可能产生的 FAA 质量分数变化不大,而主要产生小肽类物质,导致从成熟第 6 d 开始 FAA 质量分数开始减少。但相较于对照组,成熟中期接种组中 FAA 质量分数不仅增加快速,而且在成熟后期,减少速率也相对缓慢,因此可知,复合微生物代谢产生的外源蛋白酶促进了蛋白质的水解,FAA 质量分数增加,提高了产品的风味品质。

2.6 复合微生物对鲢鱼成熟过程中 TBA 的影响

TBA 可以反映脂肪第二阶段的氧化程度。由图 5 可以看出,随着成熟过程的进行,TBA 质量分数呈上升趋势,成熟结束时,对照组 TBA 值丙二醛由 3.24 mg/kg 增加至 3.89 mg/kg;而接种组由于优势菌种的作用,其 TBA 明显低于对照组,其可能是复合菌种对不饱和脂肪酸具有抗氧化作用[28]。

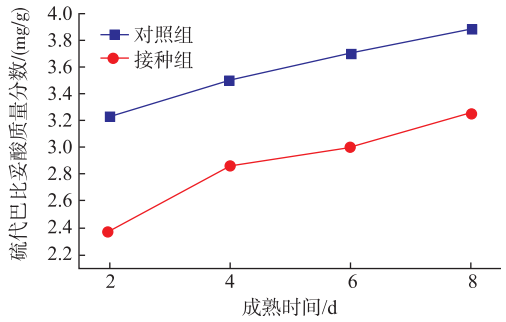


图 5 复合微生物对鲢鱼成熟过程中 TBA 的影响

Fig. 5 Effect of mixed starter cultures on TBA during silver carp ripening process

2.7 发酵鲢鱼成熟结束后 FFA 质量分数的变化

发酵鲢鱼成熟结束后接种组与对照组中 FFA 的组成及质量分数如表 2 所示。成熟鲢鱼中共检出了 14 种 FFA,其中包括 5 种饱和脂肪酸(SFA)、3 种单不饱和脂肪酸(MUFA)和 6 种多不饱和脂肪酸(MUFA)。对照组与接种组中的不饱和脂肪酸质量分数分别为 56.03%和 70.33%,其中,对照组中 SFA、MUFA 均高于接种组,而接种组中的 PUFA 则高于对照组。

鲢鱼成熟工艺过程中 FFA 的变化是动态过程:一方面,脂质经水解生成 FFA,FFA 增加;另一方

面,FFA 会被氧化分解生成小分子风味物质,FFA 减少。接种组中 FFA(4.10 mg/g 脂肪)低于对照组(4.75 mg/g 脂肪),但接种组中的棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)等饱和脂肪酸明显低于对照组,这主要是复合菌种在成熟过程中发挥了重要作用。而且,接种组中的不饱和脂肪酸(UFA)高于对照组,其中 EPA 与 DHA 明显增加,这主要是因为 pH 的降低抑制了脂肪氧化酶的活性,使得不饱和脂肪酸无法进一步降解。

表 2 复合微生物对腌制成熟鲢鱼游离脂肪酸的影响

Table 2 Effect of mixed starter cultures on FFA concentrations generated from cured –ripening silver carp

游离脂肪酸/(mg/g)	样品	
	接种组	对照组
C14:0(肉豆蔻酸)	0.042	0.068
C15:0(十五烷酸)	0.020	0.017
C16:0(棕榈酸)	0.37	0.93
C17:0(十七烷酸)	0.016	0.013
C18:0(硬脂酸)	0.77	1.06
SFA	1.22	2.09
C16:1(棕榈油酸)	0.11	0.31
C18:1(油酸)	0.19	0.96
C20:1(11–二十碳烯酸)	0.040	0.32
MUFA	0.35	1.60
C18:2(亚油酸)	0.35	0.14
C18:3(亚麻酸)	0.020	0.047
C20:4(花生四烯酸)	1.01	0.23
C20:5(EPA)	0.068	0.031
C22:5(DPA)	0.51	0.29
C22:6(DHA)	0.57	0.32
PUFA	2.54	1.06
总量	4.10	4.75

2.8 发酵鲢鱼成熟过程中挥发性风味成分的分析

鲢鱼成熟后挥发性风味成分的组成及质量分数如表 3 所示。成熟鲢鱼中的挥发性风味成分主要包括醛类、酮类、酯类、醇类、酸类、烃类等。其中,对照组共检出了 54 种风味化合物,其中醛类 7 种、酮类 6 种、酯类 10 种、醇类 12 种、酸类 4 种、烃类 15 种;接种组中共检出了 64 种风味化合物,其中醛类 14 种、酮类 9 种、酯类 13 种、醇类 10 种、酸类 3 种、烃类 15 种。由表 3 可以看出,接种组与对照组中的挥发性化合物的质量分数差异明显, 尤其是醛类、酮类和酯类化合物。由于醛类、酮类和酯类化合物的阈值较低,且其有良好的感官特性,因此对发酵鲢鱼的风味贡献较大。

烃类是原料鱼中质量分数最高的挥发性风味成分,经腌制和成熟后,对照组中的烃类化合物质量分数为 31.83%,而接种组中的烃类质量分数降至 9.82%,说明复合菌种对鱼肉蛋白、脂肪和碳水化合物起到了降解作用,生成了新的风味物质而抑制了烃类的积累。

鲢鱼中的酯类化合物的质量分数较低,经过成熟后,醇类与酸类化合物在微生物的作用下生成酯类,因而酯类化合物的质量分数增加,其中接种组中酯类的质量分数发酵结束时的 4.4%增长至成熟后的 12.23%。

表 3 鲢鱼成熟后挥发性风味成分的质量分数

Table 3 Mass fraction of volatile compound in cured –ripening fermented silver carp

化合物名称	质量分数/%		化合物名称	质量分数/%	
	接种组	对照组		接种组	对照组
醇类			10–二十一烯	0.75	0.91
3–甲基–1–丁醇	0.06	2.08	1–二十二烯	0.31	2.00
2–乙基环丁醇	0.04	0.04	螺[2.4]庚–4,6–二烯	0.67	0.21
2,3–丁二醇	0.12	3.05	总量	9.82	31.83
1–戊烯–3–醇	0.30	1.22	酸类		
1–己醇	0.90	2.11	乙酸	1.42	7.73
2–乙基–1–己醇	0.19	0.18	己酸	0.32	1.33
1–庚醇	0.56	0.72	辛酸		0.60
1–辛醇	0.45	1.10	正癸酸	0.58	0.98
1–辛烯–3–醇	1.65	6.85	总量	2.93	10.64
2–辛烯–1–醇		1.46	酮类		
1–十二醇	0.09	0.58	3–羟基–2–丁酮	9.29	3.15
十六烷醇		0.74	2,3–戊二酮	0.60	
总量	4.36	20.13	5–甲基–3–庚酮	0.22	0.24
醛类			3–辛酮	3.04	0.34
3–甲基丁醛	4.09	2.23	2–甲基–3–辛酮	1.12	0.12
己醛	3.51	2.02	2,5–辛二酮	0.29	
庚醛	1.24	2.58	3,5–辛二烯–2–酮	0.60	0.56
Z–2–庚烯醛	3.30	2.41	2–壬酮	0.19	
辛醛	2.43		2–十一烷酮	1.82	0.17
2–辛烯醛	3.74	3.31	总量	17.17	4.58
壬醛	9.52	5.99	酯类		

续表 3

化合物名称	质量分数/%		化合物名称	质量分数/%	
	接种组	对照组		接种组	对照组
反-2-壬烯醛	4.34		十六酸甲酯	1.98	0.56
2,6-壬二烯醛	3.77		十六酸乙酯	0.29	
2-癸烯醛	2.38		苯丙酸乙酯	0.32	
十一烷醛	2.91		正己酸乙烯酯	2.74	2.06
苯甲醛	3.48		3-甲基丁酯	1.44	0.36
十四烷醛	4.01		甲酸庚酯	1.36	1.28
十六醛	3.39	5.97	甲酸辛酯	1.11	0.23
总量	52.11	24.51	邻苯二甲酸二丁酯	0.97	0.89
烃类			邻苯二甲酸庚-3-基异丁基酯	1.53	1.07
罗勒烯	0.27	0.88	邻苯二甲酸庚-4-基异丁基酯	0.15	
3-蒈烯	0.40	0.35	甲酸己酯	0.9	0.04
3-乙基-1,4-己二烯	0.35	0.47	1,2-苯二甲酸二(2-甲基-丙基)酯	2.29	1.77
3-十七烷烯	0.29	0.62	甲酸-2-乙基庚酯	0.05	0.05
8-十七烷烯	3.02	12.11	总量	12.23	8.31
6,9-十七碳二烯	0.49	0.72	萘	0.95	1.62
(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	0.40	0.33	2-戊基呋喃	0.30	0.30
1-十九烯	1.62	11.31			

由表 3 可以看出，接种组中醛类化合物的质量分数高达 52.11%，显著高于对照组的 24.51%。醛类化合物主要产生于脂质氧化过程，随着成熟过程的延长，部分醛类化合物会被氧化或还原成相应的酸或醇。醛类物质的阈值较低，并具有脂肪香味，因而对腌腊鱼特征风味的形成具有重要作用。一般的，5-9 个碳原子的醛类化合物会产生令人愉快的香味。对照组和接种组中壬醛(脂肪族醛)的质量分数最高，具有甜香和果香。

酮类阈值较低，因而对风味的形成具有重要贡献。其中，接种组与对照组中酮类化合物的质量分数分别为 17.17%和 4.58%。3-羟基-2-丁酮等甲基酮是腌腊鱼中的代表酮类化合物，由饱和脂肪酸的不完全 β 氧化生成，与酵母菌和葡萄球菌的发酵有关。

接种组和对照组中分别检出了 10 种和 12 种醇类化合物，包括饱和醇和不饱和醇，但对照组中的醇类质量分数高于接种组。直链饱和醇类的阈值较高，因而对腌腊鱼风味的贡献并不大。1-辛烯-3-醇等不饱和醇是风干鲢鱼中的主要醇类，其阈值较低，是风干鲢鱼中的特征风味醇类物质之一。另外，3-甲基-1-丁醇等支链醛一般来自碳水化合物的 EMP 降解或者氨基酸的埃利希降解。

接种组中酸类化合物的质量分数明显低于对照组，其中，乙酸是接种组和对照组中的主要呈酸物质，由乳酸菌和葡萄球菌经脂肪酸丙氨酸代谢产生。

3 结 语

通过接种复合菌种，加快了发酵鲢鱼在成熟过程的蛋白水解速率，提高了总氮和游离氨基酸的质量分数；接种复合菌种也显著提高了成熟后的发酵鲢鱼中的 EPA 和 DHA 的质量分数；接种复合菌对于提高发酵鲢鱼的挥发性风味成分中的醛类、酮类和酯类化合物具有重要作用。由此可知，复合菌种对鲢鱼发酵成熟过程蛋白质的水解、脂质水解和氧化、风味的形成具有重要作用。

参考文献：

[1] ZHANG Min, ZHANG Jun. A research review of low value freshwater fishes processing and their discards utilization[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2006, 25(5): 115-120. (in Chinese)

[2] ZHANG Yihuan, XIA Wenshui. Studies on comparison of gel properties of coventional freshwater fish surimi gel [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2012, 31(6): 654-660. (in Chinese)

[3] TOCHER D R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish[J]. **Reviews in Fisheries Science**, 2003, 11(2): 107-184.

[4] GAO P, WANG W, JIANG Q, et al. Effect of autochthonous starter cultures on the volatile flavour compounds of Chinese traditional fermented fish (Suan yu)[J]. **International Journal of Food Science & Technology**, 2016, 51(7): 1630-1637.

[5] 曾雪峰. 淡水鱼发酵对酸鱼品质影响的研究[D]. 无锡：江南大学，2013.

[6] ZENG X,XIA W,WANG J,et al. Technological properties of Lactobacillus plantarum strains isolated from Chinese traditional low salt fermented whole fish[J]. **Food Control**,2014,40(2):351-358.
[7] ZENG X,XIA W,JIANG Q,et al. Chemical and microbial properties of Chinese traditional low-salt fermented whole fish product Suan yu[J]. **Food Control**,2013,30(2):590-595.
[8] ZENG X,XIA W,JIANG Q,et al. Biochemical and sensory characteristics of whole carp inoculated with autochthonous starter cultures[J]. **Journal of Aquatic Food Product Technology**,2015,24(1):52-67.
[9] ZHANG Huifang,LI Tingting,JIN Gaowei,et al. Volatile component change in sliver carp slices during cold storage analyzed by headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry[J]. **Food Science**,2014,(24):130-135.(in Chinese)
[10] 张娜. 低盐度腌腊鱼生产中几个安全指标的变化及评价[D]. 武汉:华中农业大学,2010.
[11] LUCKE F,HECHELMANN H. Starter cultures for dry sausages and raw ham composition and effect [J]. **Fleischwirtschaft**,1987,67(3):307-314.
[12] BEN-GIGIREY B,DE SOUSA J V B M,VILLA T G,et al. Histamine and cadaverine production by bacteria isolated from fresh and frozen albacore(Thunnus alalunga)[J]. **Journal of Food Protection**,1999,62(8):933-939.
[13] GANDEMER G,MOVRVAN-MAHI B,MEYNIER A,et al. Quantitative and qualitative analysis of free fatty acids in meat and meat products[C]. Proceedings of the International Congress of Meat Science and Technology,1991,37(3):1139-1142.
[14] NOUT M. Ecology of accelerated natural lactic fermentation of sorghum-based infant food formulas[J]. **International Journal of Food Microbiology**,1991,12(2-3):217-224.
[15] VISESSANGUAN W,BENJAKULl S,RIEBROY S,et al. Changes in lipid composition and fatty acid profile of Nham a Thai fermented pork sausage,during fermentation[J]. **Food chemistry**,2006,94(4):580-588.
[16] ABABOUCH L,SOUIBRI L,Rhaliby K,et al. Quality changes in sardines (Sardina pilchardus) stored in ice and at ambient temperature[J]. **Food Microbiology**,1996,13(2):123-132.
[17] BENJAKUL S,VISESSANGUAN W,RIEBROY S,et al. Gel-forming properties of surimi produced from bigeye snapper, Priacanthus tayenus and P macracanthus,stored in ice [J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**,2002,82(13):1442-1451.
[18] CHANG C,REGENSTEIN J. Textural changes and functional properties of cod mince proteins as affected by kidney tissue and cryoprotectants[J]. **Journal of Food Science**,1997,62(2):299-304.
[19] AMEZQUITA,BRASHEARS M. Competitive inhibition of Listeria monocytogenes in ready-to-eat meat products by lactic acid bacteria[J]. **Journal of Food Protection**,2002,65(2):316-325.
[20] O'SULLIVAN L,ROSS R,HILL C. Potential of bacteriocin-producing lactic acid bacteria for improvements in food safety and quality[J]. **Biochimie**,2002,84(5):593-604.
[21] BOVER-CID S,MIGUELEZ-ARRIZADO M J,VIDAL-CAROU M C. Biogenic amine accumulation in ripened sausages affected by the addition of sodium sulphite[J]. **Meat Science**,2001,59(4):391-396.
[22] JAYATHILAKAN K,SULTANA K,RADHAKRISHNA K,et al. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries:a review[J]. **Journal of Food Science and Technology**,2012,49(3):278-293.
[23] BAKA A M,PAPAVERGOU E J. Effect of selected autochthonous starter cultures on processing and quality characteristics of Greek fermented sausages[J]. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**,2011,44(1):54-61.
[24] 谭汝成. 腌腊鱼制品生产工艺优化及其对风味影响的研究[D]. 湖北:华中农业大学,2004.
[25] BENITO M A J,RODRIGUEZ M,MARTI N A,et al. Effect of the fungal protease EPg222 on the sensory characteristics of dry fermented sausage "salchichó n" ripened with commercial starter cultures[J]. **Meat Science**,2004,67(3):497-505.
[26] BERIAIN M,HORCADA A,PURROY A,et al. Characteristics of lacha and rasa aragonesa lambs slaughtered at three live weights[J]. **Journal of Animal Science**,2000,78(12):3070-3077.
[27] UDDIN K,ISLAM A,ISLAM M,et al. Quality and shelf Life of salt treated solar tunnel dried silver jewfish(pennahia argentata) during storage[M]. Bangladesh Research Publications Journal. 2014,9(4):265-271.
[28] BARRIERE C,CENTENO D,LEBERT A,et al. Roles of superoxide dismutase and catalase of Staphylococcus xylosus in the inhibition of linoleic acid oxidation[J]. **FEMS Microbiology Letters**,2001,201(2):181-185.