

蔡礼彬, 任章睿, 吕昊, 等. 短时间微流水处理对异育银鲫肌肉品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(4): 128-136.

DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.04.018

短时间微流水处理对异育银鲫肌肉品质的影响

蔡礼彬, 任章睿, 吕昊, 杜红英, 刘茹, 熊善柏

华中农业大学食品科学技术学院/长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心/
国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 武汉 430070

摘要 采用微流水系统处理池塘养殖异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*), 测定不同处理时间(0~9 d)鲫肌肉的主要营养成分、滋味特征、气味特征和挥发性成分等参数, 研究微流水处理对鲫肌肉品质的提升作用。结果显示, 微流水处理对养殖鲫肌肉中水分、粗蛋白和粗脂肪含量的影响不大($P>0.05$), 但对鱼肉中灰分、肌糖原和总糖含量及滋味、气味及感官评分有显著影响($P<0.05$)。随着微流水处理时间延长, 鲫鱼肉中肌糖原、总糖含量显著下降, 灰分明显增加($P<0.05$)。电子舌和电子鼻检测结果显示, 微流水处理可显著改变鲫肌肉的滋味特征、气味特征。随着微流水处理时间延长, 鲫肌肉中异味挥发物含量明显减少、鱼肉自身代表性风味物质含量明显增加, 且蒸熟后鱼肉的气味、滋味、质地和总分等评分明显升高, 微流水处理 7 d 的鲫肌肉的感官评分优于 0、1、3、5 d 样品的, 而与微流水处理 9 d 的样品无差异。综上可见, 短时间微流水处理(≤ 7 d)不影响鲫鱼肉中粗蛋白和粗脂肪含量, 但可显著改善养殖鲫肌肉品质, 其适宜处理时间为 7 d。

关键词 微流水处理; 处理时间; 鲫; 肌肉品质; 营养指标; 风味; 滋味

中图分类号 TS 254.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)04-0128-09

鲫是我国淡水鱼主要养殖品种之一, 生长速度快, 肉质细嫩, 营养价值高^[1]。鲫多与其他淡水鱼一起混养, 常因养殖环境中的放线菌、真菌和藻类产生的不良气味物质在鱼体内积累^[2]以及运动性低等原因^[3]导致养殖鲫的鱼肉土腥味较重、消费者可接受性较低^[4]。现有研究表明, 微流水处理可以改善养殖鱼类的肌肉品质, 且不同品种鱼类所需处理时间存在差异。在加工前, 养殖三文鱼需要经微流水处理 90 d 以稳定并提升其品质^[5], 微流水处理莫瑞鳕 12 d 能有效提升鱼肉的感官品质^[6]。采用湖泊微流水处理草鱼的适宜处理时间为 20 d^[7], 而采用室内微流水处理团头鲂则需要 8 d^[8]。尽管张瑞霞^[9]、吴朝朝等^[10]分别研究了降温处理、短期暂养等运前处理对鲫肌肉品质的影响, 但鲫对低氧、拥挤等应激因子的耐受力较强^[11], 适应于较高密度、较小换水量的微流水处理, 而目前尚未见微流水处理对鲫肌肉品质的影响开展研究。鉴于此, 本研究拟采用室内微流水系统处理池塘养殖的商品规格鲫, 测定不同处理时间(0~9 d)下鲫肌肉的主要营养成分、滋

味特征、气味特征和挥发性成分等参数, 研究微流水处理对鲫肌肉品质的影响并确定适宜的处理时间, 为开发高品质调理水产食品提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

异育银鲫, *Carassius auratus gibelio*, 池塘养殖成鱼(规格为: 250~400 g/尾, 产地为湖北省洪湖市)。

硫酸、石油醚、钼酸铵、茚三铜、DNTB、硼酸、氯化钠、焦性没食子酸、三氟化硼等试剂为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 十一碳酸甘油三酯, 德国 Sigma-aldrich 公司; 甲醇, 国药集团化学试剂有限公司, 以上 2 种试剂均为色谱纯。

1.2 仪器与设备

TDL-S-A 型台式离心机, 上海菲恰尔分析仪器有限公司; BS210 型电子分析天平, 德国赛多利斯公司; IKA2000 型高速分散均质机, 德国 IKA 公司; 722 型可见分光光度计, 上海精密科学仪器有限公司。

收稿日期: 2020-03-31

基金项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-45-28); 中央高校基本科研业务费专项(2662017PY021)

蔡礼彬, 硕士研究生. 研究方向: 水产品加工及贮藏工程. E-mail: Charles0618@163.com

通信作者: 熊善柏, 教授. 研究方向: 水产品加工及贮藏工程. E-mail: xionsb@mail.hzau.edu.cn

司;Heracles Neo型气味分析仪(电子鼻)、Astree型滋味分析仪(电子舌),法国Alpha Mos公司;2695型液相色谱仪、7890A型气相色谱仪、5977A型单四级杆质谱仪,美国安捷伦公司。

1.3 鲫的微流水处理

将位于湖北省洪湖市淡水鱼养殖区的鲫捕捞,再通过运鱼车带水转移至暂养池中(长7 m,宽2 m,高0.8 m,洪湖德炎水产品股份有限公司),整个过程约持续3 h,每池投入鲫130 kg,鱼水质量比为1:30,以地下水为水源从暂养池上方持续小流量更换暂养水,暂养池底部持续流出处理后的水,使水不断流动和更换,处理期间每天每池的换水量 15.6 m^3 ,每天的水置换量约400%(V/V)。微流水处理始于2017年11月10日,持续时间为10 d,处理期间以池底管道向暂养池充入空气,水温为 $(19.0\pm 0.6)\text{ }^\circ\text{C}$ 。微流水处理期间停止投饵。以转移入池4 h后的鲫为对照组,每24 h取样5尾为试验组,试验鱼宰杀后立即使用螺旋式速冻机冷冻,并在 $-80\text{ }^\circ\text{C}$ 下保存待测。

1.4 鲫肌肉营养指标的测定

鲫肌肉中的水分含量依照GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》的直接干燥法($101\sim 105\text{ }^\circ\text{C}$)测定;粗蛋白质含量依照GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》的凯氏定氮法测定($F=6.25$);粗脂肪含量测定依照GB 5009.6—2010《食品中脂肪的测定》进行;灰分含量依照GB 5009.4—2010《食品中灰分的测定》进行测定;总碳水化合物含量采用蒽酮—硫酸比色分析法^[12]测定。

鲫肌肉中水溶性蛋白含量采用福林酚比色法^[13]测定;游离氨基酸含量采用茚三酮比色法^[12]测定;肌肉总酸度采用碱滴定法^[12]测定;K值采用高效液相色谱法^[14]测定;挥发性盐基氮含量采用GB 5009.44—2010《肉与肉制品卫生标准的分析方法》中的半微量蒸馏法测定;羰基含量的测定采用DNTB显色法^[15]测定。

1.5 鲫肌肉滋味特征的测定

鲫肌肉的滋味特征参考韩剑众等^[16]的方法。采用电子舌测定,并进行调整。测定条件:取鲫背部肌肉15 g,添加蒸馏水100 mL后进行均质,离心取上清液,过滤并收集滤液测定。样品延滞时间0 s,测试获取时间120 s,搅拌速度60 r/min。

1.6 鲫肌肉气味特征的测定

鲫肌肉的气味特征参考陈东清^[17]的方法。采

用电子鼻测定,并作适当调整。测试条件:取鲫背部肌肉2.0 g于10 mL顶空瓶中,顶空产生温度 $50\text{ }^\circ\text{C}$,产生时间120 s,振荡速度500 r/min,注射体积2.5 mL,进样针温度 $60\text{ }^\circ\text{C}$,获取时间120 s,延迟时间300 s。

1.7 挥发性成分的测定

参考刘敬科^[18]的方法。先用SPME提取,再使用GC-MS测定鲫背部肌肉中挥发性成分,并利用NIST数据库进行质谱数据的检索和比对。SPME条件:称取背部肌肉5.0 g于15 mL顶空瓶中,萃取头型号CAR/DVB/PDMS,于 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 下萃取40 min,平衡40 min, $250\text{ }^\circ\text{C}$ 解吸3 min。色谱条件:毛细管色谱柱为DB-5ms柱($30\text{ m}\times 0.25\text{ mm}\times 0.25\text{ }\mu\text{m}$),进样口温度 $250\text{ }^\circ\text{C}$,接口温度 $250\text{ }^\circ\text{C}$ 。程序升温:起始温度 $45\text{ }^\circ\text{C}$,保留2 min;以 $4\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升温至 $220\text{ }^\circ\text{C}$,保留5 min;载气为氦气,流速 $1.0\text{ mL}/\text{min}$,不分流。质谱条件:电离方式为EI,电子能量70 eV,灯丝发射电流 $200\text{ }\mu\text{A}$,离子源温度 $200\text{ }^\circ\text{C}$,接口温度 $250\text{ }^\circ\text{C}$,扫描质量范围 m/z 40~500。

1.8 感官评价

感官评价在测评室进行。在评估之前,对参与评估的6名小组成员(3名男性和3名女性)进行品评培训,每位小组成员对不同微流水处理时间的鲫背部肌肉进行感官接受度的评定,评定项目包括气味、滋味、色泽、质地4个方面,评分指标如表1所示,并将总体接受度计算为4项得分的总和,其中较高的分数代表更容易被人接受。

1.9 数据分析

试验数据用SAS 8.0软件和Matlab R2008a进行分析处理,使用Origin 2017软件和GraphPad Prism 8作图,显著性差异检测限 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 微流水处理对鲫肌肉主要营养成分的影响

由表2可知,微流水处理对鲫肌肉中水分、粗蛋白质、粗脂肪含量的影响不大($P>0.05$),但对肌肉中灰分、肌糖原和总糖含量有显著影响($P<0.05$)。在微流水处理过程中,虽然鲫肌肉中水分和粗蛋白质含量轻微增加、粗脂肪含量减少,但考虑到取样过程中鱼体存在个体差异性,根据统计学分析认为微流水处理前后差异不显著($P>0.05$),而肌肉中总糖和肌糖原含量均在处理7 d后显著下降,其中肌糖原含量随处理时间延长逐渐下降,而总糖

含量在处理 7 d 后趋于稳定。以上结果表明,在短 为能量来源,而对蛋白质和脂肪的分解代谢作用时间微流水处理期间鲫主要将肌肉中糖类物质作 不强。

表 1 鲫肌肉的感官评分标准

Table 1 Grading criteria for sensory evaluation of crucian carp flesh

感官指标 Sensory index	评价标准和得分 Grading criteria and scores				
	21~25	16~20	11~15	6~10	0~5
气味 Odour	鱼肉气味浓 Strong flavor of fish	鱼肉香味清淡, 无腥味 Weak flavor of fish and no fishy odour	鱼肉香气淡, 鱼腥味淡 Weak flavor of fish and weak fishy odour	鱼肉香气消失, 鱼腥味浓 Weak flavor of fish and strong fishy odour	鱼腥味难以接受 Unaccepted fishy odour
滋味 Taste	鱼肉固有的鲜味浓, 回味甘甜 Strong inherent freshness of fish and sweet aftertaste	鱼肉固有的 鲜味较浓,有回味 Slightly strong freshness of fish and acceptable aftertaste	鲜味淡,有土腥味, 无明显回味 Weak freshness of fish and weak aftertaste	无鲜味,腥异味 较重,无回味 No freshness of fish and no aftertaste	无鲜味,腥异味 难接受,无回味 No freshness of fish, unaccepted fishy odour and no aftertaste
色泽 Color and luster	鱼片色泽白或透明, 断面光泽自然 White or transparent flesh and natural luster	鱼肉色泽白, 断面光泽淡 White flesh and pale luster	鱼肉色泽暗沉, 断面光泽消失 Dim flesh and no luster	鱼肉呈灰色、 微黄色或粉色 Grey, light yellow and pink flesh	鱼肉呈暗灰色、 黄色或红色 Dark grey, yellow or red flesh
质地 Texture	鱼肉嫩滑、纤维紧致, 口感细腻有弹性 Smooth and tight flesh and elastic mouthfeel	鱼肉纤维较紧致, 有弹性 Slightly tight flesh, elastic mouthfeel	鱼肉纤维粗糙 或松散,弹性弱 Rough or loose flesh and weak elastic mouthfeel	鱼肉较硬或 软烂,无弹性 Hard or soft flesh and no elastic mouthfeel	鱼肉过硬或呈渣状 Fairly hard or minced flesh

表 2 微流水处理时间对鲫肌肉主要营养成分的影响

Table 2 Effect of micro-flowing water treatment time on nutrition composition in crucian carp muscle

处理时间/d Treatment time	水分/% Moisture	粗蛋白质/% Crude protein	粗脂肪/% Crude fat	灰分/% Ash	肌糖原/(g/100 g) Muscle glycogen	总糖/(g/100 g) Total sugar
0	75.82±1.60a	18.72±0.64a	2.56±0.25ab	1.03±0.07d	0.37±0.04ab	1.33±0.03a
1	76.10±1.55a	18.66±0.89a	2.58±0.56ab	1.07±0.09cd	0.39±0.03a	1.26±0.02a
3	76.20±0.59a	18.88±0.41a	2.74±0.18ab	1.16±0.11bc	0.33±0.01b	0.91±0.02b
5	76.26±0.40a	18.88±0.49a	2.94±0.36a	1.08±0.09cd	0.21±0.01c	0.75±0.06c
7	75.38±0.91a	19.64±1.09a	2.76±0.36ab	1.30±0.07a	0.18±0.03c	0.89±0.09b
9	76.30±0.44a	19.24±0.76a	2.30±0.30b	1.26±0.09ab	0.17±0.01c	0.83±0.06bc

注:平均值±偏差, $n=5$; 同列中不同字母表示具有显著差异, $P<0.05$ 。Note: Values were means ± SEM of five replicates; distinct differences signified by different letters in the same column, $P<0.05$.

2.2 微流水处理对鲫肌肉滋味的影响

由图 1 可知,微流水处理对鲫肌肉中水溶性蛋白、游离氨基酸等滋味成分含量和 K 值均有显著影响,但对鲫肌肉的总酸度影响不大。随着处理时间延长,鲫肌肉的总酸度与对照组相比略有下降,但通过统计学分析得出总酸度变化并不显著 ($P>0.05$),鲫肌肉中水溶性蛋白含量呈先下降后上升的

趋势,而游离氨基酸则与之相反,呈先上升后下降的趋势,其中鲫肌肉中水溶性蛋白含量在处理 7 d 后达到最低值,较处理前下降 0.97 mg/g;游离氨基酸含量在处理 5 d 后达到最高值,较处理前上升 0.34 mg/g。鲫肌肉的 K 值随微流水处理时间的延长而逐渐降低,在处理 5 d 后显著低于微流水处理前,在处理 7 d 后达到最低值,为 9.89%,随后其水平相对稳定。

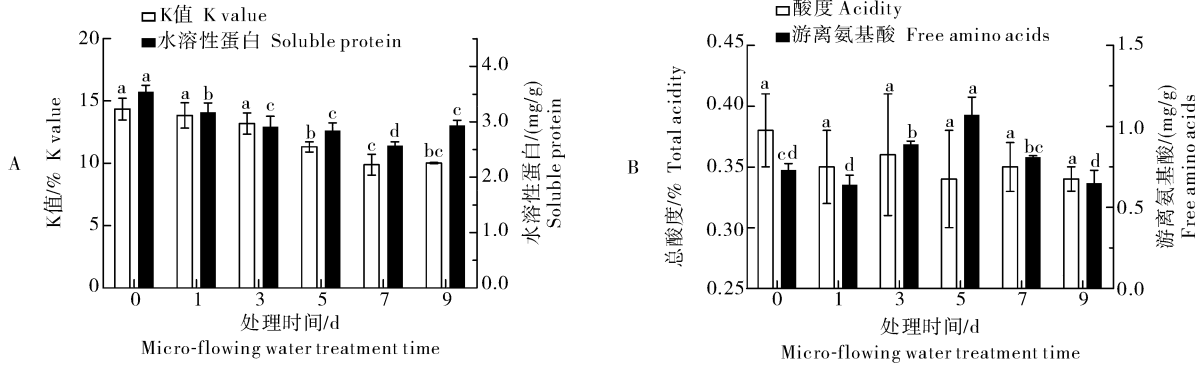
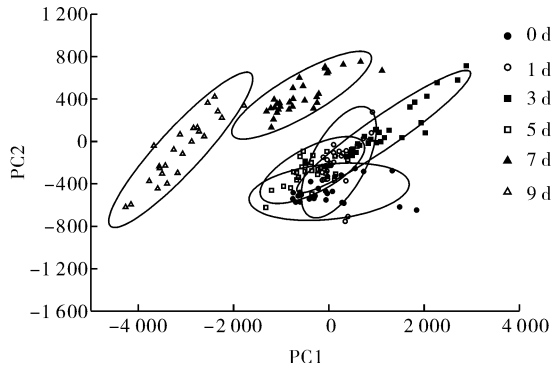


图 1 微流水处理时间对鲫肌肉 K 值(A)和总酸度(B)的影响

Fig.1 Effect of micro-flowing water treatment time on K value (A) and total acidity (B) taste components in crucian carp muscle

微流水处理可以改变鲫肌肉的滋味特征。通过电子舌测定微流水处理前后鲫肌肉在 7 个滋味传感器下的响应值并对其进行主成分分析,结果见图 2。处理 7 d 和 9 d 后的鲫肌肉的滋味特征与处理 0~5 d 的样本有显著差异,且处理 9 d 鲫肌肉的滋味特征与处理 7 d 的样品也有明显差异,而处理时间为 1、3 和 5 d 的鲫肌肉的滋味特征与对照组相似,区分度较低。



椭圆表示同组样本的置信区间(P<0.05)。下同。Ellipses represent confidential interval for each group of samples (P< 0.05).The same as below.

图 2 不同微流水处理时间下鲫鱼肌肉滋味特征的主成分分析

Fig.2 Principle component analysis on etongue signal of crucian carp muscle after different treatment durations

2.3 不同微流水处理时间下鲫肌肉氨氮和羰基含量

从图 3 可知,鲫肌肉中氨氮含量随微流水处理时间延长而显著下降,在 9 d 后达到最低值。由于高密度的养殖环境及饲料投喂模式,养殖水体中氨氮含量较处理水体高,而微流水处理后鲫肌肉中积累的氨氮逐渐排出,表现为肌肉氨氮含量的降低。鲫肌肉羰基含量随微流水处理时间延长而下降,处

理 3 d 后显著低于对照组,且在处理 9 d 时到达最低值。

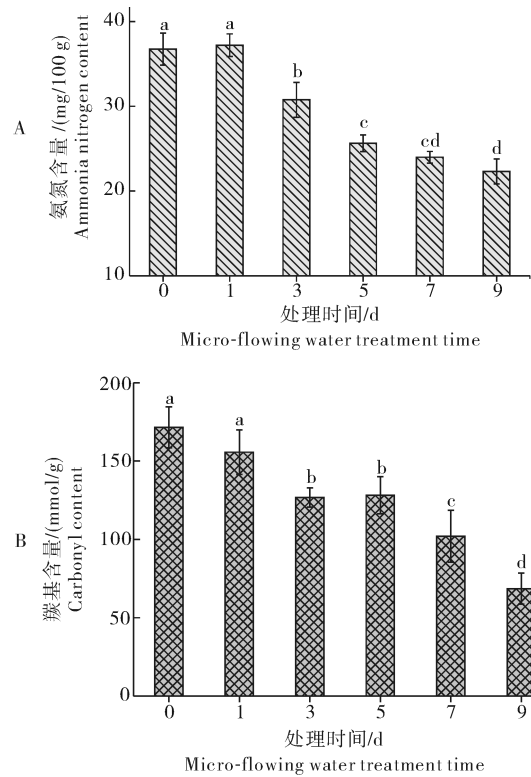


图 3 微流水处理时间对鲫肌肉氨氮(A)及羰基含量(B)的影响

Fig.3 Effect of micro-flowing water treatment time on content of ammonia(A) and carbonyl(B) in crucian carp muscle

2.4 不同微流水处理时间下鲫肌肉的气味特征

微流水处理可以显著改变鲫肌肉的气味特征,采用电子鼻测定微流水处理后鲫肌肉在 18 个气味传感器下的信号并对其进行判别因子分析,结果见图 4。微流水处理显著改变了鲫肌肉的气味特征,处理 1 d 的鲫肌肉气味特征显著区别于对照组;处

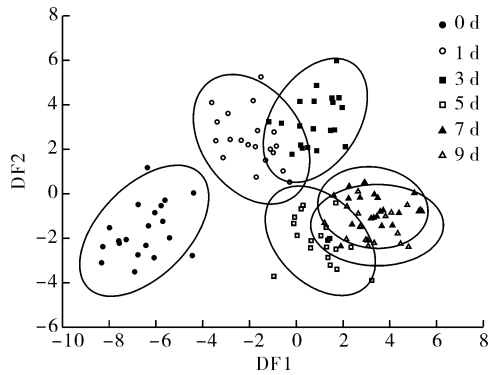


图 4 不同微流水处理时间下鲫肌肉
气味特征的判别因子分析

Fig.4 Discriminant factor analysis on enose signal
of crucian carp muscle after different treatment durations

理 7 d 和 9 d 样本的信号分布相近并同时与对照组有区分度最高的显著性差异。试验中观察到更长时间微流水处理后的鲫肌肉气味特征差异更明显,且在较长时间下(处理 7~9 d)鲫肌肉气味特征趋于稳定。

2.5 微流水处理对鲫肌肉挥发性成分的影响

采用顶空固相微萃取和 GC-MS 对未处理和处理 9 d 后的鲫肌肉挥发性成分进行提取和分析(表 3),结果表明共有 32 种挥发性成分的含量在处理前后发生显著变化,包括 6 种烷烃、1 种烯烃、2 种醛类化合物、4 种醇类化合物、2 种有机酸、6 种酯类化合物、4 种芳香族化合物和 7 种胺类化合物。微流水处理后的鲫肌肉挥发性成分含量变化较大,1-辛烯-3-醇

表 3 微流水处理对鲫肌肉挥发性气味成分的影响

Table 3 Effect of micro-flowing water treatment on volatile flavor components in crucian carp muscle $\mu\text{g}/100\text{ g}$

类别 Types	挥发性成分 Volatile components	含量 Content	
		未处理 Control	处理 9 d 后 9 d after treatment
烷烃 Alkane	十三烷 Tridecane	0.31±0.10	0.23±0.01
	十四烷 Tetradecane	0.93±0.17	0.50±0.01*
	十五烷 Pentadecane	0.47±0.08	0.25±0.01**
	二甲基壬烷 4,5-Dimethyl-nonane	0.11±0.01***	—
	十七烷 Heptadecane	0.69±0.15	0.07±0.02**
	三十一烷 Hentriacontane	0.07±0.01	0.07±0.05
	二十烷 Eicosane	—	0.07±0.01***
	三甲基十二烷 2,6,10-Trimethyl-dodecane	0.21±0.03	0.15±0.02
烯烃 Alkene	十二烷 Dodecane	0.60±0.18	0.27±0.02*
	长叶烯 Longifolene	0.35±0.12	0.17±0.05
酮类 Ketone	雪松烯 Alpha-Cedrene	0.12±0.03**	—
	苯乙酮 Acetophenone	0.14±0.01	0.13±0.01
醛类 Aldehyde	壬醛 Nonanal	0.79±0.09	0.49±0.02**
	癸醛 Decanal	0.27±0.05	0.15±0.04*
醇类 Alcohol	苯乙醇 Benzyl alcohol	0.07±0.01***	—
	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	—	0.49±0.18**
	壬醇 1-Nonanol	0.45±0.10	1.63±0.08***
	庚醇 1-Heptanol	—	0.25±0.02***
酸类 Amino acid	N-甲基赖氨酸 N(Epsilon)-methyl-l-lysine	0.07±0.04*	—
	精氨酸 Arginine	—	0.06±0.01***
酯类 Ester	十四烷酸甲酯 Methyl tetradecanoate	0.05±0.02	0.02±0.01*
	辛酸甲酯 Octanoic acid, methyl ester	0.69±0.20	0.14±0.02**
	壬酸甲酯 Nonanoic acid, methyl ester	—	0.09±0.03**
	己酸甲酯 Hexanoic acid, methyl ester	0.06±0.01***	—
	十六烷酸甲酯 Hexadecanoic acid, methyl ester	0.07±0.03	0.04±0.01
	癸酸甲酯 Decanoic acid, methyl ester	0.93±0.30**	—
	癸烯酸甲酯 4-Decenoic acid, methyl ester	0.48±0.18*	—

续表 3 Continued Table 3

类别 Types	挥发性成分 Volatile components	含量 Content	
		未处理 Control	处理 9 d 后 9 d after treatment
芳香族 Arene	甲基萘 2-Methyl-naphthalene	0.32±0.09	0.24±0.04
	二甲基萘 2,3-Dimethyl-naphthalene	—	0.05±0.02**
	萘 Naphthalene	0.79±0.25	0.29±0.05*
	乙苯 Ethylbenzene	—	0.35±0.06***
	丁基羟甲苯 Butylated hydroxytoluene	0.12±0.02***	—
	羟基苯丙胺 p-Hydroxyamphetamine	0.09±0.01	0.08±0.01
	乙基羟胺 O-Ethylhydroxylamine	0.19±0.09*	—
胺类 Amine	二甲胺 Dimethylamine	2.06±0.45	0.56±0.11*
	氰基乙酰胺 2-Cyano-acetamide	0.03±0.01	0.01±0.00
	氯-N-甲基丙胺 3-Chloro-N-methylpropylamine	0.05±0.03*	—
	亚氨基二丙胺 3,3'-Iminobispropylamine	0.04±0.02*	—
	丙烯酰胺 2-Propenamide	0.09±0.04	0.06±0.00
	甲基己胺 5-Methyl-2-hexanamine	—	0.01±0.00*
	二甲基苯丙胺 2,4-Dimethylamphetamine	0.04±0.02	0.01±0.00
	十七烷胺 1-Heptadecanamine	—	0.03±0.02*
	N-甲基丙二胺 N-Methyl-1,3-propanediamine	0.02±0.01*	—

注:“—”表示样品中未检测到该物质;上标表示数据经 *t* 检验的差异水平,“*”: $P<0.05$;“**”: $P<0.01$;“***”: $P<0.001$ 。Note: “—” represented no detection in the samples. Superscript indicated the significant level of data,“*”: $P<0.05$,“**”: $P<0.01$,“***”: $P<0.001$.

的相对含量上升,而十四烷等烷烃含量共减少约 52%、辛酸甲酯等酯类化合物含量共减少约 88%、癸醛等醛类化合物含量共减少约 39%以及胺类化合物含量共减少约 70%。

2.6 感官评价

由表 4 可知,微流水处理能够显著改善鲫肌肉的气味、滋味、质地及总体感受程度,但对鲫肌肉色泽的影响较小。鲫肌肉滋味的可接受度在微流水处理 3 d 后显著升高,处理 7 d 的样本评分明显高于处

理 5 d 的样本,表现为经 7 d 微流水处理后的鲫肌肉鲜味、甜味增强;鲫肌肉质地的可接受程度在微流水处理 7 d 后显著高于未处理的样本,表现在处理 7 d 后的鲫肌肉硬度和咀嚼度较好。总体而言,微流水处理 3 d 即能明显改善鲫肌肉的感官评分,且微流水处理 7 d 的样品感官评分优于 0、1、3、5 d 样品的,但与微流水处理 9 d 样品无差异。依据感官评价的结果,室内微流水处理 7 d 最适于鲫品质的提升。

表 4 不同微流水处理时间下鲫肌肉的感官评定

Table 4 Sensory evaluations of crucian carp muscles after different treatment durations

处理时间/d Treatment time	气味 Odour	滋味 Taste	色泽 Color and luster	质地 Texture	总分 Total score
0	15.0±2.1c	13.7±2.7c	22.1±1.7a	12.7±2.5b	63.5±6.4c
1	16.3±3.3bc	14.7±2.5c	23.1±0.5a	14.3±2.1b	68.4±7.1bc
3	20.0±2.4ab	18.0±3.2b	23.0±0.8a	14.5±2.0b	75.5±6.6b
5	23.0±3.9a	19.5±2.1b	22.4±1.0a	16.3±2.5ab	81.2±6.0ab
7	22.5±2.3a	22.3±2.4a	23.3±0.9a	18.0±2.7a	86.1±4.6a
9	23.2±3.1a	23.0±3.8a	22.9±1.1a	17.7±2.5a	86.8±7.1a

注:较高的分数说明接受程度较高,每列中不同字母说明具有显著差异, $P<0.05$ 。Note: Higher scores indicated higher acceptance of sensory. Different letters in the same column represented significant differences, $P<0.05$.

3 讨 论

本研究结果显示,在微流水处理 3 d 后肌糖原和总糖含量出现显著下降,而在微流水处理 9 d 内鲫肌肉中水分、粗蛋白、粗脂肪含量无显著变化。鲫肌肉中的肌糖原含量及其下降程度与施氏鲟和虹鳟的结果相符,表明在饥饿条件下肌糖原的代谢较强^[19],而鲫肌肉中蛋白质和脂质的含量变化趋势与大西洋鲑的试验结果一致^[20],表明蛋白质和脂肪不是鲫在短时间微流水处理过程的主要能量来源。此外,鲫肌肉主要营养成分的变化还可能与鱼类机体中脂肪的利用顺序有关,研究表明在饥饿状态下鱼体优先利用内脏中的贮存脂肪,随后利用腹部和消化道外周的脂肪,最后利用肌肉中的脂质储备^[21]。

微流水处理期间,鲫肌肉的 K 值呈下降趋势,鲫肌肉中水溶性蛋白含量在处理 7 d 后达到最低值,游离氨基酸含量则呈先上升后下降趋势并在处理 5 d 后达到最高值。游离氨基酸因为自身的呈味及在热加工中参与美拉德反应所以会对肉类的风味产生影响。鲫肌肉 K 值的变化与在微流水处理下草鱼肌肉 K 值的变化趋势相似^[7],说明微流水处理对不同淡水鱼肌肉中核酸类物质的影响类似,其鲜味增强机制可能相同。

氨氮积累对淡水鱼肌肉的气味特征有显著影响,氨及胺类常被认为是动物性产品中不良气味的来源物质之一。本研究中鲫肌肉氨氮含量和羰基含量在微流水处理过程中呈下降趋势,这与比目鱼、鲷在氨氮胁迫恢复的结果类似,表明机体中积累的氨氮在由高氨氮环境转入清洁水体后会逐渐排出^[22]。说明室内微流水处理能够有效缓解或消除养殖环境或运输过程中由高密度和水质恶劣导致的淡水鱼肌肉氨氮积累。肌肉羰基含量反映了肌肉蛋白质和脂质的氧化程度,而对照组和微流水初期鲫肌肉羰基含量高,可能是捕捞、转运等处理使鱼体产生一定程度的应激反应,在微流水处理后得到缓解^[23]。此外,1-辛烯-3-醇作为鱼类风味的主要代表成分之一,在较高水温(25~30℃)下鲫停饵暂养过程中该成分的相对含量显著升高,同时伴随其他烯醇类物质如 3-壬烯-1-醇等含量的上升^[24],而癸醛、壬醛等以及胺类则被认为具有不良气味^[25-26]。本研究的挥发

性成分分析结果表明,室内微流水处理能够减少鲫肌肉中的不良风味并增强鱼肉自身代表性气味。然而土腥素和 2-甲基异茨醇作为水产品中异味的来源之一^[27],在本研究中未从鲫鱼肉中检测出两者,主要原因包括异味物质在鱼肉中的富集程度不高和异味物质的来源微生物在原料鱼的养殖环境中繁殖程度较低,因此,微流水处理对养殖淡水鱼土腥素和 2-甲基异茨醇的脱除效果有待进一步研究。

微流水处理与短期暂养处理相比,显著降低鲫肌肉的不良风味,提高了鲫肌肉的滋味及质地^[10]。综上,短时间微流水处理可显著改善养殖鲫肌肉品质,其适宜处理时间为 7 d。

参考文献 References

- [1] GUI J F, ZHOU L. Genetic basis and breeding application of clonal diversity and dual reproduction modes in polyploid *Carassius auratus gibelio*[J]. Science China (life sciences), 2010, 53(4): 409-415.
- [2] PIEDRAHITA R H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation[J]. Aquaculture, 2003, 226(1): 35-44.
- [3] FUNENTES A, FERNÁNDEZ-SEGOVIA I, SERRA J A, et al. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality[J]. Food chemistry, 2010, 119(4): 1514-1518.
- [4] 苏建, 罗煜, 焦晓磊, 等. 池塘生态养殖技术对鲫鱼肌肉品质的影响[J]. 水产养殖, 2017, 38(4): 22-25. SU J, LUO Y, JIAO X L, et al. Effect of the ecological fish farming technique on the muscle quality of crucian carp (*Carassius auratus*) [J]. Journal of aquaculture, 2017, 38(4): 22-25 (in Chinese with English abstract).
- [5] PALMERI G, TURCHINI G M, MARRIOT P J, et al. Biometric, nutritional and sensory characteristic modifications in farmed Murray cod (*Maccullochella peelii*) during the purging process[J]. Aquaculture, 2009, 287(3/4): 354-360.
- [6] PALMERI G, TURCHINI G M, CAPRINO F, et al. Biometric, nutritional and sensory changes in intensively farmed Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*, Mitchell) following different purging times[J]. Food chemistry, 2008, 107(4): 1605-1615.
- [7] LYU H, XU W J, YOU J, et al. Classification of freshwater fish species by linear discriminant analysis based on near infrared reflectance spectroscopy[J]. Journal of near infrared spectroscopy, 2017, 25(1): 54-62.
- [8] 郭晓东, 吕昊, 刘茹, 等. 加工前净化处理对团头鲂肌肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(12): 1-7. GUO X D, LYU H,

- LIU R, et al. Effect of depuration treatment before processing on the flesh quality of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*)[J]. Meat research, 2018, 32(12): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张瑞霞. 运前处理对鲫鱼生化特性及肉质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008. ZHANG R X. Effects of treatment before transportation on biochemical properties and meat qualities of crucian carp[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008 (in Chinese with English abstract).
- [10] 吴朝朝, 陈丽丽, 袁美兰, 等. 短期暂养对鲫鱼肉质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(15): 334-337. WU Z Z, CHEN L L, YUAN M L, et al. Research of the effect of short term starvation to the crucian meat quality[J]. Science and technology of food industry, 2015, 36(15): 334-337 (in Chinese with English abstract).
- [11] WILKIE M P, STECYK J A W, COUTURIER C S, et al. Reversible brain swelling in crucian carp (*Carassius carassius*) and goldfish (*Carassius auratus*) in response to high external ammonia and anoxia[J]. Comparative biochemistry and physiology part A: molecular & integrative physiology, 2015, 184: 65-75.
- [12] 谢笔钧, 何慧. 食品分析[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 111-207. XIE B J, HE H. Food analysis[M]. Beijing: Science Press, 2009: 111-207 (in Chinese).
- [13] 刘茹, 尹涛, 熊善柏, 等. 鱼肉和猪肉的微观结构与基本组成的比较研究[J]. 食品科学, 2012, 33(13): 49-52. LIU R, YIN T, XIONG S B, et al. Comparative studies on microstructure and basic components of fish and pork[J]. Food science, 2012, 33(13): 49-52 (in Chinese with English abstract).
- [14] KUDA T, FUJITA M, GOTO H, et al. Effects of retort conditions on ATP-related compounds in pouched fish muscle[J]. LWT - food science and technology, 2008, 41(3): 469-473.
- [15] JIANG W X, HE Y F, XIONG S B, et al. Effect of mild ozone oxidation on structural changes of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) myosin[J]. Food and bioprocess technology, 2016, 10(2): 370-378.
- [16] 韩剑众, 黄丽娟, 顾振宇, 等. 基于电子舌的鱼肉品质及新鲜度评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 141-144. HAN J Z, HUANG L J, GU Z Y, et al. Evaluation of fish quality and freshness based on the electronic tongue[J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 2008, 24(12): 141-144 (in Chinese with English abstract).
- [17] 陈东清. 草鱼片调理处理及其贮藏过程中的品质变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015. CHEN D Q. Study on the processing technology of prepares grass carp fillets and changes of quality during storage[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [18] 刘敬科. 鲢鱼风味特征及热历史对鲢鱼风味的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009. LIU J K. Flavor character of silver carp and the influence of heating history on the silver carp flavor [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [19] FURNÉ M, MORALES A E, TRENZADO C E, et al. The metabolic effects of prolonged starvation and refeeding in sturgeon and rainbow trout[J]. Journal of comparative physiology B-biochemical systemic and environmental physiology, 2012, 182(1): 63-76.
- [20] BURR G S, WOLTERS W R, SCHRADER K K, et al. Impact of depuration of earthy-musty off-flavors on fillet quality of Atlantic salmon, *Salmo salar*, cultured in a recirculating aquaculture system[J]. Aquacultural engineering, 2012, 50: 28-36.
- [21] REGOST C, ARZEL J, CARDINAL M, et al. Fat deposition and flesh quality in seawater reared, triploid brown trout (*Salmo trutta*) as affected by dietary fat levels and starvation.[J]. Aquaculture, 2001, 193(3): 325-345.
- [22] RUYET J P L, BOEUF G, INFANTE J Z, et al. Short-term physiological changes in turbot and seabream juveniles exposed to exogenous ammonia [J]. Comparative biochemistry and physiology, part A, 1998, 119(2): 511-518.
- [23] NADERI M, KEYVANSHOKOOH S, SALATI A P, et al. Effects of chronic high stocking density on liver proteome of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Fish physiology and biochemistry, 2017, 43(5): 1373-1385.
- [24] JIANG Y, ZHAO L, YUAN M L, et al. Identification and changes of different volatile compounds in meat of crucian carp under short-term starvation by GC-MS coupled with HS-SPME [J/OL]. Journal of food biochemistry, 2017, 41: e12375 [2020-03-30]. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfbc.12375>.
- [25] LIU S Y, LIAO T, MCCRUMMEN S T, et al. Exploration of volatile compounds causing off-flavor in farm-raised channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillet[J]. Aquaculture international, 2016, 25: 413-422.
- [26] 王润萍, 陆凤霞, 金敏, 等. 龙须菜寡糖对罗非鱼脂肪酸和挥发性腥味物质组成的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(2): 770-781. WANG R P, LU F X, JIN M, et al. Effects of gracilaria lemaneiformis oligosaccharides on fatty acid and volatile odor substance compositions of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) [J]. Chinese journal of animal nutrition, 2018, 30(2): 770-781 (in Chinese with English abstract).
- [27] TUCKER C S. Off-flavor problems in aquaculture[J]. Reviews in fisheries science, 2010, 8(1): 45-88.

Effects of short-term micro-flowing water treatment on flesh quality of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*)

CAI Libin, REN Zhangrui, LYU Hao, DU Hongying, LIU Ru, XIONG Shanbai

*College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/
Engineering Research Center of Green Development for Conventional Aquatic
Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education/
National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan),
Wuhan 430070, China*

Abstract To study the effects of micro-flowing water treatment on the crucian carp flesh quality, the main nutritional components, taste characteristics, odour characteristics, and volatile components of the pond-cultured crucian carp (*Carassius auratus gibelio*) flesh processed by the micro-flowing system were measured after different treatment durations (0-9 d). The results showed that the micro-flowing water treatment hardly influenced the moisture, crude protein and crude fat contents in cultured crucian carp flesh ($P > 0.05$), whereas it had significant effects on the ash, muscle glycogen, total sugar content in fish flesh as well as on the taste, odour and sensory scores ($P < 0.05$). With the extension of micro-flowing water treatment time, the glycogen and total sugar contents significantly decreased while the ash content significantly increased ($P < 0.05$). According to the results of electronic tongue and electronic nose detection, the micro-flowing water treatment can significantly change the taste and odour characteristics of crucian carp flesh. As the micro-flowing water treatment time extended, the content of odour volatiles in the flesh of the crucian carp significantly decreased, and the representative flavor substance in the fish significantly increased. Meanwhile, the odour, taste, texture, and the sum scores of steamed fish were also greatly raised. The sensory score of the crucian carp flesh processed for 7 d was higher than that of samples processed for 0 d, 1 d, 3 d, and 5 d. However, there was no difference between the samples processed for 7 d and 9 d with micro-flowing water treatment. In summary, the short-time micro-flowing water treatment (≤ 7 d) hardly affected the crude protein and crude fat contents of crucian carp flesh, but it could remarkably improve the flesh quality of crucian carp with the most suitable treatment duration (7 d).

Keywords micro-flowing water treatment; treatment time; crucian carp; flesh quality; nutritional index; flavor; taste

(责任编辑:赵琳琳)