



短时间微流水处理对池塘养殖草鱼鱼肉品质的提升作用

陈周¹, 胡杨¹, 安玥琦¹, 吕昊¹,
郭晓东¹, 尤娟¹, 熊善柏^{1,2*}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心, 湖北 武汉 430070;

2. 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, 湖北 武汉 430070)

摘要: 以池塘养殖草鱼为对象, 采用室内微流水系统处理草鱼, 研究处理时间(0、1、4、7和10 d)对草鱼鱼肉基本营养组成、滋味特征和滋味成分、气味特征和气味成分、感官评分的影响, 以评价短时间微流水处理对草鱼鱼肉品质的提升作用。结果显示, 微流水处理对草鱼鱼肉的基本营养成分、滋味成分、气味成分和感官评分均有显著影响。随着微流水处理时间延长, 草鱼鱼肉中脂肪和总糖含量显著下降、灰分含量显著增加, 但鱼肉中蛋白质含量无明显差异。滋味分析仪(电子舌)和气味分析仪(电子鼻)检测结果表明, 微流水处理能显著改变草鱼鱼肉的滋味特征和气味特征。处理后的草鱼鱼肉中IMP、鲜味氨基酸(天冬氨酸和谷氨酸)、甜味氨基酸(丝氨酸和丙氨酸)、苦味氨基酸(亮氨酸和异亮氨酸)含量显著增加, 而其总挥发性盐基氮(TVB-N)、二十二碳六烯酸(DHA)等含量显著减少。微流水处理4 d的草鱼鱼肉气味评分、滋味评分和色泽评分显著高于处理0和1 d的草鱼样品, 而与处理7和10 d的草鱼样品无差异。研究表明, 短时间微流水处理能有效提升草鱼鱼肉品质, 适宜处理时间为4 d, 处理后的草鱼鱼肉腥味明显减弱、鲜味明显增强。

关键词: 草鱼; 鱼肉品质; 营养成分; 风味; 微流水处理

中图分类号: S 954; TS 254.5

文献标志码: A

草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)是中国产量最大的淡水养殖品种, 2018年中国草鱼养殖产量达550.4万t^[1]。草鱼鱼肉因为具有高蛋白、低脂肪, 且必需氨基酸含量较高^[2]等优点, 深受消费者喜爱。但常因养殖密度高、水质差、运输过程中的氨氮等胁迫, 使氮氮化合物在鱼体肌肉中积累, 导致鱼肉风味品质下降^[3-4]。运输前或加工前的微流水暂养处理不仅可以充分排出鱼体内排泄物, 而且可利用清洁水体有效去除鱼肉中土腥素、2-甲基异茨醇^[5-6]、壬醛和己醛^[7-8]等腥味成分。停食暂养过程中, 鱼肉中脂肪含量下降, 鱼肉的硬度和咀嚼性提升^[9-10]; 且长时间停食暂养, 还会因饥饿导致鱼体代谢发生显

著变化, 使鱼肉中IMP和丙氨酸积累显著增加, 从而提升鱼肉的鲜味和甜味^[11]。尽管有研究报道超过20 d的长时间微流水处理可以显著改善养殖草鱼鱼肉的风味品质, 但较长时间的饥饿处理会使草鱼体质量和鱼肉中蛋白质含量显著下降^[7], 同时也会影响草鱼鱼肉的营养价值。因此如何平衡鱼肉风味品质特性与营养价值的关系成为当前草鱼暂养提质的研究重点, 现今关于短时间微流水处理对草鱼鱼肉品质影响的研究尚未见报道。本研究采用室内微流水系统处理池塘养殖草鱼, 测定微流水处理过程中(0~10 d)草鱼鱼肉的主要营养成分、滋味成分、气味成分和感官评定等参数, 考察微流水处理时间对

收稿日期: 2019-10-24 修回日期: 2020-04-18

资助项目: 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)

通信作者: 熊善柏, E-mail: xionsb@mail.hzau.edu.cn

草鱼品质的影响, 以期为开发优质调理水产食品提供技术支撑。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

实验用鱼 将池塘养殖的草鱼成鱼(产地: 湖北钟祥, 平均体质量为1.6~1.7 kg)带水转移至位于湖北兴祥食品有限公司的暂养池中(长×宽×高=4.27 m×3.05 m×0.93 m)(图1), 向池中投入约400 kg草鱼, 池中保持蓄满水, 采用微流水处理草鱼。具体微流水处理方式: 从上方向暂养池内持续通入地下水, 暂养池底部持续流出处理后的水, 使水不断流动和更换, 水流置换量约为48.45 m³/d(约为400%水池水量)。暂养期间不投饵, 并且以池底管道向暂养池充入空气, 暂养池水温为8.5~11.5 °C。以转移入池5 h后的草鱼为对照组, 以微流水分别处理1、4、7和10 d后的草鱼为实验组, 将处理后的草鱼采用敲击头部的方式宰杀, 取其背部肌肉用液氮直接冻结, 之后放入-80 °C冰箱中贮藏。



图1 室内微流水暂养池

箭头方向表示水流方向

Fig. 1 Indoor micro-flow water depuration pool

The direction of the arrow indicates the direction of water flow

主要试剂 氯化钠、硫酸铜、酒石酸钾钠、氢氧化钠、碳酸钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、三氯乙酸等均为分析纯, 购于国药集团化学试剂有限公司; 十一碳酸甘油三酯, 色谱纯, 购于德国Sigma-aldrich公司; ATP及其降解产物标品, 购于上海源叶生物科技有限公司。

1.2 主要设备

AVANTI J-26型高速冷冻离心机, 美国贝克曼公司; FJ-200型高速分散均质机, 上海标本模型厂; E2695型高效液相色谱仪, 美国Waters公

司; 日立L-8900型氨基酸全自动分析仪, 日本Hitachi公司; FOX4000型气味分析仪, 法国Alpha M.O.S公司; ASTREE型滋味分析仪, 法国Alpha M.O.S公司。

1.3 实验方法

鱼肉营养指标的测定 草鱼鱼肉中水分含量依照《食品中水分的测定》^[12]中的直接干燥法(101~105 °C)测定。鱼肉中粗蛋白含量依照《食品中蛋白质的测定》^[13]中凯氏定氮法测定(氮换算为蛋白质的系数, F=6.25)。鱼肉中粗脂肪含量依照《食品中脂肪的测定》^[14]中索氏抽提法测定。鱼肉中灰分含量依照《食品中灰分的测定》^[15]中的方法进行测定。鱼肉总糖含量参考文献^[16]所述方法测定。鱼肉中脂肪酸组成依照《食品中脂肪酸的测定》^[17]中第一法测定。

鱼肉滋味特征分析 草鱼鱼肉滋味特征的测定参考文献^[18]所述方法并作修改。称取背部鱼肉15 g, 加入蒸馏水100 mL, 均质(7 500 r/min, 30 s)后离心(4 °C, 10 000 r/min, 10 min), 取上清液用双圈定性滤纸过滤, 并收集滤液, 然后采用ASTREE滋味分析仪(电子舌)的7个传感器测定响应值, 再运用主成分分析和判别因子分析方法评价鱼肉的风味特征。电子舌参数: 样品延迟时间0 s, 获取时间120 s, 搅拌速率60 r/min。

鱼肉滋味成分的测定 草鱼鱼肉中水溶性蛋白含量参考文献^[19]中福林酚比色法测定。草鱼鱼肉中游离氨基酸含量参考文献^[20]所述方法测定。

草鱼鱼肉中ATP及其降解产物的测定参考文献^[21]所述方法并作修改。称取5.00 g样品置于离心管中, 加入20 mL预先冷却的5%高氯酸溶液, 用高速分散均质机匀浆2次(10 000 r/min, 2×20 s); 用同浓度的高氯酸10 mL洗涤分散均质机的刀具1次, 洗液并入离心管中, 离心(4 °C, 10 000 r/min, 10 min)后吸取上清液; 沉淀物用10 mL同浓度的高氯酸洗涤、离心, 合并两次上清液后用10 mol/L和1 mol/L NaOH调节pH至6.4; 用超纯水定容至50 mL, 然后取1 mL经0.45 μm滤膜过滤, 滤液供HPLC上机分析。

HPLC主要条件 色谱柱为XBridge BEH C₁₈柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm), 柱温: 室温; 进样量: 10 μL; 流动相为0.02 mol/L磷酸盐缓冲液(pH=6.4), 流速0.7 mL/min, 检测波长为254 nm。

鱼肉气味特征分析 草鱼鱼肉气味特征

测定参考文献 [22] 所述方法。称取绞碎后的鱼肉 2 g 于 10 mL 顶空瓶中, 然后采用气味分析仪(电子鼻)的 18 个传感器测定响应值, 运用主成分分析和判别因子分析方法评价鱼肉气味特征。电子鼻条件: 产生时间 120 s, 顶空产生温度 50 °C, 振荡速率 500 r/min, 顶空注射体积 2.5 mL, 注射针温度 60 °C, 测试获取时间 120 s, 延滞时间 300 s。

鱼肉蛋白羰基含量和挥发性盐基氮含量的测定 草鱼鱼肉中蛋白羰基含量参考文献 [23] 所述方法测定; 鱼肉中挥发性盐基氮含量采用《食品中挥发性盐基氮的测定》[24] 中的半微量定氮法测定。

感官评定 草鱼鱼肉在蒸柜中蒸 15 min 后进行感官评定。感官评定由 6 位品评员 (3 男、3 女) 对草鱼鱼肉进行评价。感官评价详见表 1。

1.4 数据分析

实验数据采用 SPSS 22 软件进行方差分析, 显著性差异检测限 $P < 0.05$, 应用 Origin 9.0 软件作图。电子鼻和电子舌数据采用仪器自带软件 Alpha Soft V14 分析。实验结果用平均值 \pm 标准差表示, 样品数量 $n=5$ 。

2 结果

2.1 微流水处理对草鱼鱼肉主要营养成分的影响

微流水暂养处理会显著降低草鱼鱼肉中的蛋白质和脂肪含量^[7]。为了解短时间微流水处理对草鱼鱼肉的主要营养成分含量的影响, 测定了微流水处理 0、1、4、7 和 10 d 的草鱼鱼肉中的水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分和总糖含量。

短时间微流水处理的时间对草鱼鱼肉中粗脂肪、总糖和灰分含量有显著影响 ($P < 0.05$), 但对粗蛋白含量无明显影响 ($P > 0.05$) (表 2)。随着处理时间延长, 草鱼鱼肉中粗脂肪含量显著下降, 处理 4 d 时鱼肉中粗脂肪含量下降 38.8%。微流水处理可显著增加鱼肉中灰分含量, 但处理 1、4、7 和 10 d 的草鱼鱼肉中灰分含量无显著差异 ($P > 0.05$)。草鱼鱼肉中总糖含量则随微流水处理时间延长而呈现先降后升的变化趋势 ($P < 0.05$), 草鱼鱼肉中总糖含量从处理 0 d 的 0.41 g/100 g 降至处理 4 d 时的 0.37 g/100 g, 随后增加, 处理 10 d 时草鱼鱼肉中总糖含量又增加至 0.41 g/100 g。由此可见, 短时间微流水处理会使草鱼鱼肉中

表 1 感官评分标准

Tab. 1 Sensory evaluation criteria

感官指标 sensory index	评价标准和评分 evaluation criteria and ratings				
	100~81	80~61	60~41	40~21	20~1
气味 odour	鱼肉香气浓郁	鱼肉香气淡, 无鱼腥味	鱼肉香气淡, 鱼腥味淡	鱼肉香气消失, 鱼腥味浓	鱼腥味难以接受
滋味 taste	鱼肉固有的鲜味浓, 回味甘甜	鱼肉固有的鲜味较浓, 有回味	鲜味淡, 有土腥味, 无明显回味	无鲜味, 腥异味较重, 无回味	无鲜味, 腥异味难接受, 无回味
色泽 colour	鱼片色泽白或透明, 断面光泽自然	鱼肉色泽白, 断面光泽淡	鱼肉色泽暗淡, 断面无光泽	鱼肉呈灰色、淡黄色或淡红色	鱼肉呈暗灰色、黄色或红色
质地 texture	鱼肉嫩滑、纤维紧致, 口感细腻有弹性	鱼肉纤维较紧致, 有弹性	鱼肉纤维粗糙或松散, 弹性弱	鱼肉较硬或软烂, 无弹性	鱼肉过硬或呈渣状

表 2 微流水处理时间对草鱼鱼肉主要营养成分的影响

Tab. 2 Effect of micro-flow water treatment time on nutrition composition in *C. idella* flesh

处理时间/d treatment time	水分/% moisture	粗蛋白/% crude protein	粗脂肪/% crude lipid	灰分/% ash	总糖/(g/100 g) total sugar
0	79.03 \pm 0.38 ^a	17.77 \pm 0.86 ^a	1.03 \pm 0.06 ^a	1.01 \pm 0.06 ^b	0.41 \pm 0.01 ^a
1	78.82 \pm 0.20 ^{ab}	18.22 \pm 1.37 ^a	0.67 \pm 0.05 ^b	1.16 \pm 0.02 ^a	0.38 \pm 0.02 ^{bc}
4	79.13 \pm 0.16 ^a	17.21 \pm 0.93 ^a	0.63 \pm 0.04 ^{bc}	1.11 \pm 0.06 ^a	0.37 \pm 0.02 ^c
7	78.65 \pm 0.22 ^b	17.80 \pm 1.23 ^a	0.57 \pm 0.06 ^c	1.13 \pm 0.07 ^a	0.40 \pm 0.02 ^{ab}
10	79.02 \pm 0.17 ^a	17.53 \pm 0.62 ^a	0.42 \pm 0.03 ^d	1.12 \pm 0.06 ^a	0.41 \pm 0.02 ^a

注: 同列中不同的字母表示有显著性差异 ($P < 0.05$)

Notes: different letters in the same column represent significant differences ($P < 0.05$)

粗脂肪、总糖含量显著减少,增加鱼肉中灰分含量,但草鱼鱼肉中蛋白质含量变化不明显。

2.2 微流水处理对草鱼鱼肉脂肪酸组成的影响

草鱼鱼肉中共检测出了19种脂肪酸,包括6种饱和脂肪酸、3种单不饱和脂肪酸、8种多不饱和脂肪酸和2种反式脂肪酸(表3)。微流水处理对草鱼鱼肉多不饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的相对含量

均无显著影响($P>0.05$)。处理4d后顺-4,7,10,13,16-二十二碳五烯酸相对含量显著上升($P<0.05$),而在处理1d后顺-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸和 ω -3脂肪酸相对含量显著下降($P<0.05$),其他脂肪酸相对含量随着处理时间的延长无显著变化。

2.3 微流水处理下草鱼鱼肉滋味特征

分别称取处理0、1、4、7和10d的草鱼鱼肉,加蒸馏水后混匀、均质、离心并过滤,取

表3 微流水处理对草鱼鱼肉脂肪酸组成的影响

脂肪酸 fatty acid	含量 content					%
	0 d	1 d	4 d	7 d	10 d	
豆蔻酸 C14:0	1.01±0.09 ^a	0.98±0.02 ^a	0.93±0.14 ^a	1.12±0.11 ^a	1.11±0.08 ^a	
棕榈酸/软脂酸 C16:0	18.20±0.80 ^a	18.24±0.63 ^a	18.10±0.28 ^a	18.47±0.42 ^a	18.07±0.32 ^a	
十七碳酸 C17:0	0.47±0.06 ^a	0.13±0.23 ^b	-	0.11±0.19 ^b	-	
硬脂酸 C18:0	4.69±0.29 ^a	4.04±0.31 ^a	4.35±0.58 ^a	4.22±0.25 ^a	4.13±0.25 ^a	
花生酸 C20:0	-	0.12±0.21 ^a	0.25±0.22 ^a	0.12±0.21 ^a	-	
二十二碳酸 C22:0	0.20±0.34 ^a	-	0.11±0.19 ^a	-	-	
顺-9-十六碳一烯酸 C16:1-9c	3.97±0.18 ^a	4.25±0.49 ^a	3.87±0.94 ^a	4.02±0.28 ^a	3.93±0.35 ^a	
油酸 C18:1-9c	32.76±1.65 ^a	34.44±1.22 ^a	34.61±2.54 ^a	35.08±1.42 ^a	33.68±0.13 ^a	
顺-11-二十碳一烯酸 C20:1-11c	1.18±0.17 ^{ab}	1.2±0.13 ^{ab}	1.15±0.05 ^b	1.28±0.05 ^{ab}	1.37±0.07 ^a	
亚油酸 C18:2-9c,12c	21.68±1.62 ^a	20.33±1.10 ^a	20.75±0.64 ^a	19.85±0.85 ^a	19.65±0.66 ^a	
α -亚麻酸 C18:3(ALA)-9c,12c,15c	2.06±0.23 ^a	1.84±0.14 ^a	1.88±0.05 ^a	1.90±0.23 ^a	1.74±0.10 ^a	
顺-11,14-二十碳二烯酸 C20:2-11c,14c	1.95±0.32 ^a	1.96±0.32 ^a	1.65±0.33 ^a	1.86±0.37 ^a	2.16±0.16 ^a	
顺-8,11,14-二十碳三烯酸 C20:3-8c,11c,14c	1.24±0.13 ^a	1.38±0.02 ^a	1.39±0.07 ^a	1.28±0.04 ^a	1.37±0.10 ^a	
花生四烯酸 C20:4-5c,8c,11c,14c	3.37±0.67 ^a	3.67±0.14 ^a	3.91±0.57 ^a	3.44±0.25 ^a	3.98±0.53 ^a	
顺-13,16-二十二碳二烯酸 C22:2-13c,16c	3.21±0.71 ^a	3.47±1.25 ^a	2.92±1.67 ^a	3.59±1.68 ^a	4.65±0.92 ^a	
顺-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸 C22:6-4c,7c,10c,13c,16c,19	1.94±0.28 ^a	1.03±0.04 ^b	1.16±0.24 ^b	1.00±0.12 ^b	1.14±0.20 ^b	
反十八碳一烯酸 C18:1t	0.40±0.35 ^a	0.55±0.10 ^a	0.52±0.20 ^a	0.52±0.15 ^a	0.55±0.11 ^a	
反十八碳二烯酸 C18:2t	0.39±0.34 ^a	0.65±0.12 ^a	0.56±0.16 ^a	0.45±0.04 ^a	0.63±0.15 ^a	
顺-4,7,10,13,16-二十二碳五烯酸 C22:5-4c,7c,10c,13c,16c	1.28±0.31 ^b	1.73±0.10 ^{ab}	1.88±0.49 ^a	1.69±0.11 ^{ab}	1.82±0.17 ^{ab}	
ω -3 脂肪酸 ω -3 FA	4.00±0.17 ^a	2.87±0.18 ^b	3.04±0.24 ^b	2.90±0.35 ^b	2.88±0.28 ^b	
饱和脂肪酸 SFA	24.57±1.45 ^a	23.52±0.58 ^a	23.75±0.42 ^a	24.04±0.48 ^a	23.32±0.57 ^a	
不饱和脂肪酸 UFA	75.43±1.45 ^a	76.48±0.58 ^a	76.25±0.42 ^a	75.96±0.48 ^a	76.68±0.57 ^a	
单不饱和脂肪酸 MUFA	38.31±1.90 ^a	40.43±1.70 ^a	40.15±3.26 ^a	40.91±1.32 ^a	39.54±0.42 ^a	
多不饱和脂肪酸 PUFA	37.12±1.41 ^a	36.06±1.37 ^a	36.1±2.86 ^a	35.05±0.85 ^a	37.14±0.40 ^a	

注:“-”表示样品中未检测到该物质;同行中不同的字母表示有显著性差异($P<0.05$)

Notes:“-”represents not detected in the samples, different letters in the same row represent significant differences ($P<0.05$)

滤液，用电子舌的 7 个传感器测定响应值，再运用判别因子分析方法评价鱼肉的滋味特征。判别分析因子 DF1 贡献率为 97.83%，DF2 贡献率为 1.68%，总贡献率达 99.51%，能反映鱼肉的整体滋味信息 (图 2)。可知微流水处理能显著改变草鱼鱼肉的滋味特征，各处理组草鱼鱼肉的滋味特征有明显差异。

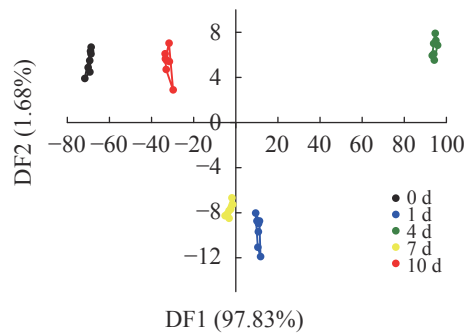


图 2 不同微流水处理时间下草鱼鱼肉滋味特征的判别因子分析

Fig. 2 Discriminant factor analysis of e-tongue signal of *C. idella* flesh

2.4 不同微流水处理时间的草鱼鱼肉水溶性蛋白和 ATP 及其降解产物含量

微流水处理对草鱼鱼肉中水溶性蛋白、IMP、AMP 和 HxR 含量有显著影响 ($P<0.05$)，但对 ADP 含量无显著影响 ($P>0.05$) (表 4)。随着处理时间延长，草鱼鱼肉中水溶性蛋白、AMP 含量呈先下降后上升的变化趋势，其值分别在处理 4 d 和 1 d 时最小，而 IMP 和 HxR 含量则呈现先上升后下降的变化趋势，其值分别在处理 4 d 和 1 d 时最大。IMP 是鱼肉中重要的呈鲜味物质^[25]，并且能提供核糖参与美拉德反应，也是重要的风味

前体物质^[26]。微流水处理后草鱼鱼肉中 IMP 含量显著上升，有利于提升草鱼鱼肉的鲜味。

2.5 不同微流水处理时间的草鱼鱼肉游离氨基酸含量

为确定微流水处理对草鱼鱼肉中游离氨基酸含量的影响，采用氨基酸自动分析仪测定了处理 0、1、4、7 和 10 d 的草鱼鱼肉中游离氨基酸的含量，结果见表 5。

在不同微流水处理时间的草鱼鱼肉中未检出游离的色氨酸 (表 5)。在处理过程中，草鱼背肌中天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、精氨酸、脯氨酸等游离氨基酸含量有显著变化 ($P<0.05$)，而苏氨酸、胱氨酸、缬氨酸、组氨酸的含量变化不明显 ($P>0.05$)。微流水处理时间对草鱼鱼肉游离氨基酸中总量、鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸、酸味氨基酸含量有显著影响 ($P<0.05$)。随着微流水处理时间的延长，草鱼鱼肉中游离的丝氨酸、丙氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、精氨酸含量显著上升 ($P<0.05$)，其中蛋氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸含量均在处理 1 d 时显著上升 ($P<0.05$)，丝氨酸、亮氨酸、赖氨酸、精氨酸含量均在处理 4 d 时显著上升 ($P<0.05$)，丙氨酸含量在处理 10 d 时显著上升 ($P<0.05$)。草鱼鱼肉中游离的天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸含量则随微流水处理时间延长呈现先升后降的变化趋势 ($P<0.05$)，其值分别在处理 7、1 和 4 d 时最大。草鱼鱼肉中游离的脯氨酸含量随微流水处理时间延长逐渐下降 ($P<0.05$)，其值在处理 10 d 时达到最低。随着微流水处理时间的延长，草鱼鱼肉中游离氨基酸的总量、甜味氨基酸、苦

表 4 微流水处理时间对草鱼鱼肉水溶性蛋白和 ATP 及其降解产物含量的影响

Tab. 4 Effect of micro-flow water treatment time on water soluble protein content and ATP-related compounds in *C. idella* flesh

处理时间/d treatment time	水溶性蛋白/(mg/g) water soluble protein	IMP/($\mu\text{mol/g}$)	ADP/($\mu\text{mol/g}$)	AMP/($\mu\text{mol/g}$)	HxR/($\mu\text{mol/g}$)
0	56.94 \pm 2.34 ^a	6.06 \pm 0.12 ^b	0.48 \pm 0.20 ^a	0.44 \pm 0.17 ^a	0.29 \pm 0.04 ^{bc}
1	52.58 \pm 3.27 ^b	6.58 \pm 0.07 ^a	0.23 \pm 0.01 ^a	0.09 \pm 0.01 ^c	0.51 \pm 0.03 ^a
4	50.36 \pm 2.56 ^b	6.60 \pm 0.10 ^a	0.23 \pm 0.00 ^a	0.21 \pm 0.05 ^{bc}	0.29 \pm 0.03 ^{bc}
7	51.34 \pm 2.03 ^b	6.55 \pm 0.12 ^a	0.23 \pm 0.00 ^a	0.16 \pm 0.01 ^{bc}	0.26 \pm 0.01 ^c
10	50.62 \pm 2.91 ^b	5.96 \pm 0.33 ^b	0.45 \pm 0.20 ^a	0.32 \pm 0.09 ^{ab}	0.33 \pm 0.02 ^b

注：同列中不同的字母表示有显著性差异 ($P<0.05$)

Notes: different letters in the same column represent significant differences ($P<0.05$)

表5 微流水处理对草鱼鱼肉游离氨基酸含量的影响
 Tab.5 Effect of micro-flow water treatment time on content of free amino acids in *C. idella* flesh mg/100 g

氨基酸 amino acid	含量 content				
	0 d	1 d	4 d	7 d	10 d
天冬氨酸 Asp	1.32±0.43 ^b	3.12±0.65 ^{ab}	3.91±2.33 ^a	4.56±0.77 ^a	2.21±0.98 ^{ab}
苏氨酸 Thr	12.82±1.11 ^a	14.46±1.05 ^a	13.85±0.77 ^a	13.61±0.74 ^a	13.36±0.67 ^a
丝氨酸 Ser	7.81±0.65 ^b	7.43±1.27 ^b	11.55±1.28 ^a	11.36±1.74 ^a	13.31±1.93 ^a
谷氨酸 Glu	1.24±0.11 ^c	5.43±1.72 ^a	3.10±0.78 ^b	3.57±0.04 ^b	2.38±0.44 ^{bc}
甘氨酸 Gly	117.07±5.87 ^{ab}	125.11±8.73 ^{ab}	130.50±8.37 ^a	127.79±7.90 ^{ab}	114.24±6.03 ^b
丙氨酸 Ala	33.53±3.64 ^b	36.98±1.55 ^b	35.02±1.56 ^b	38.79±5.00 ^b	45.82±2.55 ^a
胱氨酸 Cys	1.46±0.06 ^a	1.37±0.19 ^a	1.41±0.19 ^a	1.28±0.11 ^a	1.50±0.13 ^a
缬氨酸 Val	12.25±1.98 ^a	13.62±5.85 ^a	16.02±0.78 ^a	14.74±2.04 ^a	16.12±5.96 ^a
蛋氨酸 Met	2.72±0.49 ^b	4.51±0.16 ^a	5.63±0.85 ^a	5.17±0.66 ^a	5.74±1.16 ^a
异亮氨酸 Ile	5.41±0.57 ^{ab}	4.29±0.41 ^b	7.59±1.04 ^a	5.30±0.92 ^{ab}	7.65±2.23 ^a
亮氨酸 Leu	11.56±0.94 ^b	13.51±0.91 ^{ab}	18.27±3.10 ^a	15.28±1.42 ^{ab}	18.64±4.66 ^a
酪氨酸 Tyr	10.76±1.22 ^c	16.10±1.26 ^b	19.30±1.17 ^a	18.86±0.56 ^a	20.56±1.47 ^a
苯丙氨酸 Phe	3.65±0.36 ^c	12.00±0.66 ^b	14.01±1.49 ^{ab}	14.77±0.95 ^a	15.23±1.89 ^a
赖氨酸 Lys	17.08±2.62 ^c	16.51±2.53 ^c	24.00±1.32 ^b	23.78±1.35 ^b	31.50±3.46 ^a
组氨酸 His	189.87±45.73 ^a	240.01±13.23 ^a	238.54±12.61 ^a	229.12±5.53 ^a	226.82±33.10 ^a
色氨酸 Trp	-	-	-	-	-
精氨酸 Arg	4.37±0.27 ^c	4.56±0.33 ^c	7.58±0.56 ^b	7.26±1.75 ^b	10.49±2.64 ^a
脯氨酸 Pro	20.94±3.54 ^a	17.42±1.56 ^{ab}	17.95±3.49 ^{ab}	16.86±4.00 ^{ab}	12.40±2.55 ^b
氨基酸总量 TFAA	453.85±57.27 ^b	536.42±6.12 ^a	568.24±17.38 ^a	552.11±12.96 ^a	557.96±12.49 ^a
鲜味氨基酸 UMAA	2.56±0.53 ^c	8.55±1.54 ^a	7.01±2.54 ^{ab}	8.13±0.81 ^a	4.59±1.41 ^{bc}
甜味氨基酸 SWAA	209.25±10.35 ^b	217.90±7.33 ^{ab}	232.87±6.31 ^a	232.19±12.10 ^a	230.62±6.14 ^a
苦味氨基酸 BIAA	240.57±46.98 ^b	308.60±8.67 ^a	326.94±21.07 ^a	310.50±9.77 ^a	321.25±19.74 ^a
酸味氨基酸 SOAA	192.43±46.12 ^b	248.56±14.07 ^a	245.55±15.12 ^a	237.26±4.77 ^{ab}	231.40±31.70 ^{ab}

注:“-”表示样品中未检测到该物质;鲜味氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸;甜味氨基酸包括甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、苏氨酸、赖氨酸、脯氨酸;苦味氨基酸包括蛋氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、组氨酸、精氨酸、色氨酸;酸味氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸、组氨酸^[27-29];同行中不同的字母表示有显著性差异($P<0.05$)

Notes:“-”represents not detected in the samples. Umami amino acids are Asp and Glu; sweetness amino acids are Gly, Ala, Ser, Thr, Lys and Pro; bitterness amino acids are Met, Val, Leu, Ile, Phe, Tyr, His, Arg and Trp; sourness amino acids are Asp, Glu and His^[27-29]; different letters in the same row represent significant differences ($P<0.05$)

味氨基酸、酸味氨基酸含量显著上升 ($P<0.05$), 其中游离氨基酸的总量、苦味氨基酸、酸味氨基酸含量均在处理 1 d 时显著上升 ($P<0.05$), 甜味氨基酸含量在处理 4 d 时显著上升 ($P<0.05$)。草鱼鱼肉中游离的鲜味氨基酸含量则随微流水处理时间延长呈现先升后降的变化趋势 ($P<0.05$), 其值在处理 1 d 时达到最大。

味道强度值 (taste active value, TAV) 为呈味物质的含量与其味道阈值之比, 当氨基酸 TAV ≥ 1

时, 说明该氨基酸对滋味贡献明显^[20]。从表 6 结果可以看出, 草鱼鱼肉中对整体滋味贡献较大的游离氨基酸有天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、组氨酸和精氨酸。微流水处理对游离的组氨酸含量影响不显著 ($P>0.05$), 但呈鲜味的天冬氨酸和谷氨酸含量分别在处理 4 和 1 d 后显著上升 ($P<0.05$), 呈甜味的甘氨酸含量在处理 4 d 后达到最大, 而呈苦味的精氨酸含量直到处理 10 d 时才大于其味觉阈值, 且精氨酸对鱼肉滋味有

积极影响^[30]。综上,微流水处理时间为4 d时,量,显著提升鱼肉的滋味品质。可显著提高草鱼鱼肉中游离的鲜甜味氨基酸含

表6 微流水处理对草鱼鱼肉游离氨基酸味道强度值(TAV)的影响

Tab. 6 Effect of micro-flow water treatment time on TAV of free amino acids in *C. idella* flesh

氨基酸 amino acid	阈值/(mg/100 g) threshold ^[27]	味道强度值 taste active value				
		0 d	1 d	4 d	7 d	10 d
天冬氨酸 Asp	3.00	0.44±0.14 ^b	1.04±0.22 ^{ab}	1.30±0.78 ^a	1.52±0.26 ^a	0.74±0.33 ^{ab}
谷氨酸 Glu	5.00	0.25±0.02 ^c	1.09±0.34 ^a	0.62±0.16 ^b	0.71±0.01 ^b	0.48±0.09 ^{bc}
甘氨酸 Gly	110.00	1.06±0.05 ^{ab}	1.14±0.08 ^{ab}	1.19±0.08 ^a	1.16±0.07 ^{ab}	1.04±0.05 ^b
组氨酸 His	20.00	9.49±2.29 ^a	12.00±0.66 ^a	11.93±0.63 ^a	11.46±0.28 ^a	11.34±1.65 ^a
精氨酸 Arg	10.00	0.44±0.03 ^c	0.46±0.03 ^c	0.76±0.06 ^b	0.73±0.18 ^b	1.05±0.26 ^a

注:同行中不同的字母表示有显著性差异($P<0.05$)

Notes: different letters in the same row represent significant differences ($P<0.05$)

2.6 微流水处理下草鱼鱼肉气味特征

分别称取处理0、1、4、7和10 d的草鱼鱼肉于顶空瓶中,采用气味分析仪测定18个传感器的响应值,再运用判别因子分析方法评价鱼肉的气味特征。判别因子DF1贡献率为72.64%,DF2贡献率为24.99%,总贡献率为97.63%,能很好地反映鱼肉的整體气味信息(图3)。

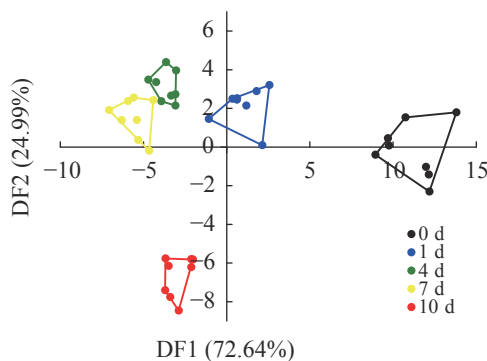


图3 不同微流水处理时间下草鱼鱼肉气味特征的判别因子分析

Fig. 3 Discriminant factor analysis of e-nose signal of *C. idella* flesh

各处理组的草鱼样品在电子鼻传感器响应值的判别因子分析图中有很好的区分度,说明不同处理时间草鱼鱼肉的气味特征存在显著差异,且处理1 d的草鱼鱼肉气味特征与未处理样品相比有明显差异,处理4和7 d后的草鱼鱼肉气味特征差异相对较小,而处理10 d的草鱼鱼肉的气味特征与处理1、4和7 d的草鱼样品有显著差异(图3)。郭晓东等^[31]研究短期暂养处理

对鱼肉风味的影响时发现,不同处理时间均能改变鱼肉的气味特征。感官评分结果(表7)也表明,随微流水处理时间的延长,草鱼鱼肉气味评分显著上升,处理10 d的草鱼鱼肉气味评分最高,其变化趋势与电子鼻实验结果一致。微流水处理能显著改善草鱼鱼肉的气味特征。

2.7 不同微流水处理时间的草鱼鱼肉羰基含量和挥发性盐基氮含量

挥发性盐基态氮(TVB-N)是指具有挥发性的氨、伯氨及叔氨等碱性化合物的总称^[32],TVB-N含量越高,气味品质越差。高密度养殖、养殖饲料的降解等因素常会导致鱼肉氨氮含量上升^[33]。羰基含量反映了鱼肉蛋白的氧化程度,高密度养殖、捕捞、转运等因素易导致鱼体氧化应激^[34]。

微流水处理对草鱼鱼肉蛋白羰基含量无显著影响($P>0.05$)(表8)。草鱼鱼肉中TVB-N含量随微流水处理时间延长而显著下降($P<0.05$),在处理7 d时,草鱼鱼肉中TVB-N含量降至最低,其值为3.22 mg/100 g,与未处理草鱼鱼肉样品相比下降了48.23%。说明微流水处理可使草鱼鱼肉中氨氮逐渐排出^[35],从而使鱼肉氨氮含量降低。

2.8 感官评价

按照感官评分标准(表1)对各处理组草鱼鱼肉的气味、滋味、色泽和质地进行感官评价,结果显示,微流水处理能显著提高草鱼鱼肉的气味、滋味和色泽评分($P<0.05$)(表7)。随着微流水处理时间的延长,草鱼鱼肉的气味和色泽评分显著上升($P<0.05$),且处理4 d的草鱼鱼肉的

表 7 草鱼鱼肉在不同微流水处理时间下的感官评价

Tab. 7 Sensory evaluation of *C. idella* flesh at different micro-flow water treatment time

处理时间/d treatment time	气味 odour	滋味 taste	色泽 colour	质地 texture
0	63.00±4.47 ^a	74.00±3.69 ^c	73.83±7.36 ^b	72.00±13.21 ^{ab}
1	72.00±7.62 ^{bc}	77.00±8.63 ^{bc}	79.50±8.09 ^{ab}	65.40±9.37 ^b
4	75.00±10.56 ^{ab}	87.50±5.24 ^a	84.20±3.96 ^a	74.80±3.56 ^{ab}
7	77.83±8.84 ^{ab}	83.00±4.47 ^{ab}	88.33±2.58 ^a	70.20±9.23 ^{ab}
10	83.50±7.58 ^a	80.00±3.54 ^{bc}	84.17±9.70 ^a	79.00±7.42 ^a

注: 同列中不同的字母表示有显著性差异($P<0.05$)

Notes: different letters in the same column represent significant differences ($P<0.05$)

气味和色泽评分显著高于未处理样品 ($P<0.05$), 但与处理 7 和 10 d 草鱼鱼肉的气味和色泽评分无显著差异 ($P>0.05$)。草鱼鱼肉的滋味评分随微流水处理时间的延长呈现先升后降的变化趋势, 其值在处理 4 d 后达到最大, 继续延长处理时间,

草鱼鱼肉的滋味评分下降。草鱼鱼肉质地评分在处理过程中有所波动, 但总体来看, 草鱼鱼肉的质地评分随着微流水处理时间的延长呈上升趋势。综上, 微流水处理 4 d 可有效提升草鱼鱼肉的感官评分。

表 8 微流水处理对草鱼鱼肉中羰基化合物和挥发性盐基氮含量的影响

Tab. 8 Effect of micro-flow water treatment time on content of carbonyl and total volatile base nitrogen in *C. idella* flesh

气味成分 odor components	处理时间/d treatment time				
	0	1	4	7	10
羰基含量/(mmol/mg prot) content of carbonyl	2.41±0.33 ^a	2.70±0.29 ^a	2.52±0.62 ^a	2.15±0.33 ^a	2.28±0.28 ^a
挥发性盐基氮/(mg/100 g) total volatile base nitrogen	6.22±2.21 ^a	4.74±2.18 ^{ab}	4.64±0.87 ^{ab}	3.22±0.66 ^b	4.29±0.45 ^{ab}

注: 同行中不同的字母表示有显著性差异($P<0.05$)

Notes: different letters in the same row represent significant differences ($P<0.05$)

3 讨论

3.1 短时间微流水处理对草鱼营养成分的影响

鱼体肌肉是鱼类主要的食用部位, 其营养成分和含量对鱼肉的营养品质起着重要作用^[36]。池塘养殖淡水鱼在捕获后, 结合暂养进行微流水处理可以显著提高其鱼肉品质^[7, 31]。淡水鱼在微流水处理过程中, 因未投饵料而处于饥饿状态, 会利用体内的糖类、脂肪及蛋白来维持基本生命活动, 从而影响鱼体的营养成分及其含量^[37]。草鱼在微流水处理过程中, 鱼肉中脂肪和总糖含量下降, 表明草鱼通过消耗肌肉中的糖类和脂肪维持基本生命活动, 这与周敏等^[38]研究短期饥饿过程中草鱼鱼肉营养成分消耗情况的结果类似。处理后灰分含量增加, 这与鱼体在处理过程中汲取水中的矿物质以及鱼肉中糖类和粗脂肪含量下降有关^[31]。现有研究表明, 鱼类在短期饥饿过程中首先代谢机体中的糖类物质, 而后消耗脂肪^[38-40], 当饥饿时间进一步延长(约

10 d) 则会通过消耗蛋白质维持生命活动^[7, 41-42]。Lü等^[7]研究表明, 在湖泊微流水处理条件下, 处理 20 d 可显著提高草鱼鱼肉质构和风味品质, 但较长时间的饥饿可导致草鱼鱼肉中粗蛋白、粗脂肪含量显著下降, 处理 20 d 后, 草鱼背肌中粗蛋白、粗脂肪含量(湿重)比对照组草鱼样品分别下降 1.29%和 0.11%。而草鱼经短时间的微流水处理(4 d), 尽管会引起其鱼肉中粗脂肪和糖类含量下降, 但草鱼肌肉中粗蛋白含量变化不大, 游离氨基酸和灰分含量显著增加, 且微流水处理 4 d 后, 草鱼背肌中粗脂肪、总糖含量仅比对照组草鱼样品分别下降 0.40%和 0.04%(表 2), 可见短时间微流水处理不会对草鱼鱼肉营养价值造成较大影响。

3.2 短时间微流水处理对草鱼鱼肉风味的影响

滋味和气味是评价鱼肉风味品质的两个重要指标。鱼肉滋味品质取决于其游离氨基酸、核苷酸、有机酸、小分子肽类、矿物质等含量和组成^[43-44]。鱼肉中游离氨基酸和核苷酸含量较

高,其自身呈现不同滋味,甘氨酸、丙氨酸能产生甜味,天冬氨酸和谷氨酸单钠盐呈咸味和鲜味,蛋氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、丝氨酸、酪氨酸、组氨酸能产生苦味,而肌苷酸(IMP)、鸟苷酸(GMP)等核苷酸则为鱼肉贡献鲜味^[27,44]。长时间停食暂养还会因饥饿导致鱼体代谢发生显著变化,使鱼肉中IMP和丙氨酸显著积累,从而提升鱼肉的鲜味和甜味^[11]。池塘养殖的草鱼经较短时间微流水处理后,鱼肉中IMP以及游离的丝氨酸、丙氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸和精氨酸含量显著上升,游离的天冬氨酸、谷氨酸和甘氨酸含量呈先上升后下降的变化趋势,而游离的脯氨酸含量则逐渐下降($P<0.05$) (表4,表5)。从游离氨基酸TAV值分析,微流水处理后草鱼肌肉中天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、组氨酸和精氨酸的TAV值显著增加,分别在微流水处理7、1、4、1和10d达到最大值,其TAV值显著高于未处理组草鱼(表6)。鱼肉的气味品质与鱼肉中羰基化合物、挥发性盐基氮以及2-甲基异莰醇、土腥素、小分子醛酮化合物含量有关^[34,45-46],其中2-甲基异莰醇和土腥素由养殖环境中的蓝藻菌和放线菌产生,通过鱼鳃呼吸和鱼皮进入鱼体^[3,47],而醛酮类化合物主要由鱼体内多不饱和脂肪酸在脂肪氧合酶作用下降解产生^[47-48]。池塘养殖草鱼经微流水处理0~10d,鱼肉中羰基化合物含量变化不大,但挥发性盐基氮含量显著减少。感官评价结果表明,经微流水处理4~7d的草鱼鱼肉的滋味和气味评分显著高于对照组样品。这可能是因为微流水暂养处理促进了池塘养殖草鱼鱼肉中土腥素、2-甲基异莰醇、壬醛和己醛等腥味成分的脱出^[5-8]。微流水处理后,草鱼鱼肉中游离氨基酸和呈味核苷酸含量显著上升,这可能与微流水处理过程中,饥饿导致鱼肉代谢途径变化有关。研究表明,鱼类因饥饿胁迫导致肌肉细胞ATP水平下降,诱导肌肉嘌呤代谢路径发生显著变化,由次黄嘌呤向IMP方向的合成增加,导致IMP含量显著增加,且微流水处理过程中肌肉氨基酸的分解程度大于其合成程度,并造成丙氨酸在肌肉中大量积累^[11]。草鱼鱼肉气味品质的提升可能是微流水作用的结果,研究表明,鱼类在环境中积累的异味物质可通过暂养时的清洁水体脱除^[5-6],导致鱼腥味的醛类物质在微流水暂养处理后其

含量也会显著下降^[7,49]。

4 结论

短时间微流水处理能有效提升草鱼鱼肉品质。随着微流水处理时间的延长,草鱼鱼肉中粗脂肪和总糖含量显著下降、灰分显著增加,但鱼肉中蛋白质含量无明显差异。微流水处理能显著改变草鱼鱼肉的滋味特征和气味特征。处理后的草鱼鱼肉中IMP、鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸含量显著增加,而其TVB-N、DHA等含量显著减少。随着微流水处理时间的延长,草鱼鱼肉的气味、滋味和色泽的感官评分显著增加,其适宜的微流水处理时间为4~7d,处理后的草鱼鱼肉腥味明显减弱,鲜味明显增强。

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会. 2019中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2019.
Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2019[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019 (in Chinese).
- [2] 王航. 草鱼贮藏过程中品质变化规律及特定腐败菌的研究[D].北京:中国农业大学,2016.
Wang H. Quality changes and the specific spoilage organisms of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during storage[D]. Beijing: China Agricultural University, 2016 (in Chinese).
- [3] Saadoun I, Schrader K K, Blevins W T. Identification of geosmin as a volatile metabolite of *Anabaena* sp.[J]. *Journal of Basic Microbiology*, 2001, 41(1): 51-55.
- [4] 王琨. 氨氮对鲤 (*Cyprinus carpio* Linnaeus) 幼鱼部分组织及血液指标的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2007.
Wang K. Effects of ammonia on some tissue and haematological parameters of juvenile carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus)[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2007 (in Chinese).
- [5] 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, 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- 50: 28-36.
- [6] Davidson J, Schrader K, Ruan E, *et al.* Evaluation of depuration procedures to mitigate the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol from Atlantic salmon *Salmo salar* raised to market-size in recirculating aquaculture systems[J]. *Aquacultural Engineering*, 2014, 61: 27-34.
- [7] Lü H, Hu W H, Xiong S B, *et al.* Depuration and starvation improves flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. *Aquaculture Research*, 2018, 49(9): 3196-3206.
- [8] 王术娥. 罗非鱼营养、挥发性成分及质构特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- Wang S E. Study of nutritional composition, volatile compound and texture property of tilapia[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010 (in Chinese).
- [9] 胡芬. 淡水鱼营养综合评价体系的建立 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- Hu F. Research progress in comprehensive nutritional evaluation of freshwater fish[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011 (in Chinese).
- [10] 夏耘, 余德光, 谢骏, 等. 短期饥饿对草鱼肌肉质构的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(9): 102-107.
- Xia Y, Yu D G, Xie J, *et al.* Influence of short-term starvation on the muscle quality of commercial-sized grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(9): 102-107(in Chinese).
- [11] Du H Y, Lü H, Xu Z R, *et al.* The mechanism for improving the flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) following the micro-flowing water treatment using a UPLC-QTOF/MS based metabolomics method[J]. *Food Chemistry*, 2020: 126777.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of moisture in foods: GB 5009.3-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of protein in foods: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of lipid in foods: GB 5009.6-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of ash in foods: GB 5009.4-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [16] DuBois M, Gilles K A, Hamilton J K, *et al.* Colorimetric method for determination of sugars and related substances[J]. *Analytical Chemistry*, 1956, 28(3): 350-356.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定: GB 5009. 168-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of fatty acids in foods: GB 5009. 168-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [18] 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 U, *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).
- [19] Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L, *et al.* Protein

- measurement with the Folin phenol reagent[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1951, 193(1): 265-275.
- [20] 马海建, 施文正, 宋洁, 等. 超高压处理对草鱼鱼肉风味物质的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(8): 204-212.
- Ma H J, Shi W Z, Song J, *et al.* Effects of ultra-high-pressure treatment on flavor substances in grass carp[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(8): 204-212(in Chinese).
- [21] Song Y L, Liu L, Shen H X, *et al.* Effect of sodium alginate-based edible coating containing different antioxidants on quality and shelf life of refrigerated bream (*Megalobrama amblycephala*)[J]. *Food Control*, 2011, 22(3-4): 608-615.
- [22] 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 prepared grass carp fillets and changes of quality during storage[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015 (in Chinese).
- [23] 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*, 2017, 10(2): 370-378.
- [24] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定: GB 5009.228-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of total volatile base nitrogen in foods: GB 5009.228-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [25] Itoh R, Kimura K. Occurrence of IMP-GMP 5'-nucleotidase in three fish species: a comparative study on *Trachurus japonicus*, *Oncorhynchus masoumasou* and *Triakis scyllium*[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2002, 132(2): 401-408.
- [26] Vani N D, Modi V K, Kavitha S, *et al.* Degradation of inosine-5'-monophosphate (IMP) in aqueous and in layering chicken muscle fibre systems: effect of pH and temperature[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2006, 39(6): 627-632.
- [27] Kato H, Rhue M R, Nishimura T. Role of free amino acids and peptides in food taste[M]//Teranishi R, Buttery R G, Shahidi F. *Flavor chemistry*. Washington, DC: ACS Publications, 1989: 158-174.
- [28] Schoenberger C, Krottenthaler M, Back W. Sensory and analytical characterization of nonvolatile taste-active compounds in bottom-fermented beers[J]. *Technical Quarterly*, 2002, 39(4): 210-217.
- [29] 马睿. 营养与养殖大黄鱼品质之间关系的初步研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- Ma R. Preliminary study on relationship between nutrition and fish quality of farmed large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014 (in Chinese).
- [30] Dermiki M, Phanphensophon N, Mottram D S, *et al.* Contributions of non-volatile and volatile compounds to the umami taste and overall flavour of shiitake mushroom extracts and their application as flavour enhancers in cooked minced meat[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(1): 77-83.
- [31] 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, Lü 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).
- [32] 洪惠. 鳙脂肪酸组成及贮藏过程中品质变化规律与控制技术的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- Hong H. Fatty acid profile, quality changes and controlling techniques of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) during storage[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015 (in Chinese).
- [33] Barbieri E, Bondioli A C V. Acute toxicity of ammonia in Pacu fish (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887) at different temperatures levels[J]. *Aquaculture Research*, 2015, 46(3): 565-571.
- [34] Reyes-Cerpa S, Vallejos-Vidal E, Gonzalez-Bown M J, *et al.* Effect of yeast (*Xanthophyllomyces dendrorhous*) and plant (Saint John's wort, lemon balm, and rosemary) extract based functional diets on antioxidant and immune status of Atlantic salmon (*Salmo salar*) subjected to crowding stress[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2018, 74: 250-259.
- [35] Carneiro P C F, Da Silva Kaiseler P H, Swarofsky E D A 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- C, *et al.* Transport of jundiá *Rhamdia quelen* juveniles at different loading densities: Water quality and blood parameters[J]. *Neotropical Ichthyology*, 2009, 7(2): 283-288.
- [36] 程辉辉, 谢从新, 李大鹏, 等. 种青养鱼模式下的草鱼肌肉营养成分和品质特性[J]. 水产学报, 2016, 40(7): 1050-1059.
- Cheng H H, Xie C X, Li D P, *et al.* The study of muscular nutritional components and fish quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) in ecological model of cultivating grass carp with grass[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(7): 1050-1059(in Chinese).
- [37] Bosworth B G, Wolters W. Effects of short - term feed restriction on production, processing and body shape traits in market-weight channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque)[J]. *Aquaculture Research*, 2005, 36(4): 344-351.
- [38] 周敏, 陈丽丽, 袁美兰, 等. 短期暂养对草鱼肉质和挥发性风味的影响[J]. 食品工业, 2016, 37(11): 139-143.
- Zhou M, Chen L L, Yuan M L, *et al.* Research on the effects of short term starvation to the grass carp meat quality and volatile flavor[J]. *The Food Industry*, 2016, 37(11): 139-143(in Chinese).
- [39] 柳敏海, 罗海忠, 傅荣兵, 等. 短期饥饿胁迫对鲢鱼生化组成、脂肪酸和氨基酸组成的影响[J]. *水生生物学学报*, 2009, 33(2): 230-235.
- Liu M H, Luo H Z, Fu R B, *et al.* Biochemical composition, amino acid and fatty acid composition in juvenile of *Miichthys miui* under short-time starvation[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(2): 230-235(in Chinese).
- [40] Kim M K, Lovell R T. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds[J]. *Aquaculture*, 1995, 135(4): 285-293.
- [41] 沈文英, 林浩然, 张为民. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响[J]. *动物学报*, 1999, 45(4): 404-412.
- Shen W Y, Lin H R, Zhang W M. Effect of starvation and refeeding on biochemical composition of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fingerling[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1999, 45(4): 404-412(in Chinese).
- [42] Barclay M C, Dall W, Smith D M. Changes in lipid and protein during starvation and the moulting cycle in the tiger prawn, *Penaeus culentus* Haswell[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1983, 68(3): 229-244.
- [43] Grigorakis K. Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: a review[J]. *Aquaculture*, 2007, 272(1-4): 55-75.
- [44] 张文兵, 马睿, 孙瑞健, 等. 养殖鱼类品质评价指标体系的研究进展[J]. 饲料工业, 2017, 38(24): 1-10.
- Zhang W B, Ma R, Sun R J, *et al.* Research advance in evaluation indexes for fish quality[J]. *Feed Industry*, 2017, 38(24): 1-10(in Chinese).
- [45] Selli S, Rannou C, Prost C, *et al.* Characterization of aroma-active compounds in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eliciting an off-odor[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(25): 9496-9502.
- [46] Hirano T, Zhang C H, Morishita A, *et al.* Identification of volatile compounds in ayu fish and its feeds[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1992, 58(3): 547-557.
- [47] 付湘晋. 白鲢鱼脱腥及其低盐鱼糜制备的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- Fu X J. Removing the off-flavor of silver carp and the preparation of low salt surimi[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009(in Chinese).
- [48] 杨玉平. 鲢体内土腥物质鉴定及分析方法与脱除技术的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- Yang Y P. Studies on identify, analysis and removal technologies of off-odors in silver carp[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010(in Chinese).
- [49] 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]. *Journal of Food Biochemistry*, 2017, 41(3): e12375.

Quality improvement of short-time micro-flow water treatment on the flesh of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) cultured in a pond

CHEN Zhou¹, HU Yang¹, AN Yueqi¹, LÜ Hao¹,
GUO Xiaodong¹, YOU Juan¹, XIONG Shanbai^{1,2*}

(1. National R & D Branch Center For Conventional Freshwater Fish Processing,

College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Engineering Research Center of Green Development for Conventional Aquatic Biological Industry in
the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to improve the quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) flesh, *C. idella* cultured in a pond was treated by a micro-flow water system. The effects of treatment time (0, 1, 4, 7 and 10 d) on the nutrient composition, flavor and sensory quality of *C. idella* flesh were investigated. The results showed that micro-flow water treatment could significantly influence the nutrient composition, taste compounds, volatile odor compounds and sensory quality of *C. idella* flesh. With the prolonged micro-flow water treatment time, the content of fat and total sugar in the *C. idella* flesh decreased significantly, and the content of ash increased significantly, but the content of protein showed no significant difference. Taste and odor characteristics of *C. idella* flesh were obviously changed by micro-flow water treatment according to the results of electronic tongue (e-tongue) and electronic nose (e-nose). In addition, micro-flow water treatment significantly increased the content of IMP (inosine monophosphate), umami amino acids (Asp and Glu), sweet amino acids (Ser and Ala) and bitter amino acids (Leu and Ile) in *C. idella* flesh, but significantly decreased the content of total volatile base nitrogen (TVB-N) and docosahexaenoic acid (DHA). The odor score, taste score and color score of *C. idella* flesh at treated 4 d were significantly higher than those of *C. idella* samples treated at 0 d and 1 d, but had no significant difference with *C. idella* samples treated at 7 and 10 d. Short-term micro-flow water treatment can effectively improve the flesh quality of *C. idella*. The suitable treatment time is 4 days. The treated *C. idella* flesh not only has no fishy odor, but also has higher umami taste.

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; flesh quality; nutrient composition; flavor; micro-flow water treatment

Corresponding author: XIONG Shanbai. E-mail: xiongsb@mail.hzau.edu.cn

Funding projects: China Agriculture Research System (CARS-45-28); Fundamental Research Funds for the Central Universities (2662017PY021)