

DOI: 10.12264/JFSC2022-0288

草鱼瘦身养殖过程中营养与风味品质变化规律研究

曹英楠¹, 李虹², 杨超³, 马良^{1,4}, 张宇昊^{1,4}

1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715;

2. 重庆市水产技术推广总站, 重庆 400715;

3. 巴南区水产技术推广站, 重庆 401320;

4. 川渝共建特色食品重庆市重点实验室, 重庆 400715

摘要: 为探究瘦身养殖时间(1~24 个月)对鱼肉营养成分、滋味及气味的影响, 以草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)为研究对象, 采用常规生化方法、气相色谱-质谱联用仪及氨基酸自动分析仪检测鱼肉粗蛋白、水分、脂肪酸、氨基酸等成分, 并评价营养价值, 再结合电子鼻进一步对鱼肉的风味成分进行分析。结果显示, 随瘦身养殖时间延长, 鱼肉粗脂肪含量显著下降, 灰分含量显著增加, 粗蛋白和水分含量相对保持稳定; 鱼肉的鲜味氨基酸含量显著增加, 苦味氨基酸含量下降; 单不饱和脂肪酸含量显著上升, 多不饱和脂肪酸含量下降; 气味特征研究表明, 经 8 个月瘦身养殖的草鱼气味特征发生显著变化, 主要腥味物质己醛和 1-辛烯-3-醇含量在前 8 个月养殖过程中显著降低并逐渐趋于稳定, 进一步延长养殖时间, 气味不再发生显著变化。综上, 通过适当时间的瘦身养殖处理可有效提升草鱼鱼肉的营养和风味品质; 瘦身养殖 8 个月后, 草鱼体重继续降低但鱼肉品质不再发生显著变化。

关键词: 草鱼; 瘦身养殖; 营养品质; 风味

中图分类号: S965

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2023)02-0178-16

草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)是中国产量最大的淡水养殖品种, 2020 年我国草鱼养殖产量达 557.11 万 t^[1]。草鱼是优质蛋白来源, 含有丰富的不饱和脂肪酸和必需氨基酸^[2], 深受消费者喜爱。但由于近年来过度投喂饲养、水体环境污染严重等^[3]原因, 导致其品质下降, 鱼肉腥异味加重, 极大限制了草鱼在加工领域的应用^[4]。同时, 我国农业农村部在工作要点中明确“突出抓好长江水生生物保护行动”, 实施长江流域重点水域禁捕, 这一政策使西南地区长江流域地区的高端鱼市场出现了较大缺口。因此, 如何提高养殖草鱼的食用品质以满足市场需求是目前亟需解决的问题。

瘦身养殖是指将常规养成、腹部肥厚的商品成鱼放入优质池水中节食的过程^[5], 在生产中简单易行, 有助于鱼体中不良物质的代谢、降解和排出, 是提高草鱼食用品质和价值的有效方法^[6-7]。目前, 学者对不同鱼种的最佳瘦身养殖时间进行了研究。如王术娥^[8]对罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)进行 12 d 的暂养后, 发现鱼肉营养成分损失不大, 同时腥味物质含量下降, 有利于罗非鱼良好风味的形成。此外, 也有研究发现饥饿可诱导脂肪代谢, 经一定时间处理后, 草鱼鱼肉脂肪含量显著降低, 咀嚼性提高, 其口感得到改善^[9]。目前, 很多消费者认为饥饿养殖时间越长, 鱼肉品质越好^[10]。但较长时间的饥饿处理会使鱼

收稿日期: 2022-09-01; 修订日期: 2022-10-26.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD21001005); 重庆市生态渔产业技术体系项目(4322000102); 重庆市水产科技创新联盟重点科技创新攻关项目(CQFTIO2021012).

作者简介: 曹英楠(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工. E-mail: 1477708124@qq.com

通信作者: 张宇昊, 教授, 研究方向为水产品加工、食品蛋白质资源开发与利用. E-mail: zhy1203@163.com

的健康状况和耐受力降低,导致死亡率增加。同时草鱼体重下降过多,也降低了鱼肉的营养价值^[11]和养殖户的销售收入。现今关于长时间瘦身养殖处理对草鱼鱼肉品质的影响尚未见报道。因此,有必要对草鱼瘦身养殖过程中的鱼肉品质变化进行系统研究,为饲养时间及程序提供科学依据。

本研究以商品规格草鱼为实验材料,探索上市前的瘦身养殖对其营养与风味品质的影响及变化规律,以期为科学饲养时间周期确定提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 实验样品 将相近体重、达到上市规格的成品草鱼分别转移至 13 个完全相同的池塘中进行瘦身养殖(成品草鱼和养殖过程均由重庆市巴南区江塘水产养殖专业合作社提供及进行),13 个池塘分别对应着不同瘦身养殖月份的样本。试验期间,水温为 14~30 ℃,pH 为 7.0~7.5,溶解氧为 6~9 mg/L,处理期间不投饵,采样时间间隔为 1 个月,于瘦身时间 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、24 个月时采样。

1.1.2 样品采集与指标检测 每月从对应的池塘中随机捞取 7 尾体表无任何异常的健康个体,称重后将活鱼充氧带水运输到实验室,重击头部致死(晕)后去头、去鳞、去内脏。从中随机选取 3 尾鱼作为指标测定样品,取背部同一部位的肌肉包装在单独的聚乙烯袋中,用液氮冻结并在-80 ℃环境保存。其中,左侧背肌用于蛋白质、水分等营养成分、氨基酸和脂肪酸的测定,右侧背肌用于挥发性风味物质的测定。

1.1.3 主要试剂 液氮,购于沙坪坝区双流液氮经营部;氯仿、甲醇等均为分析纯,购于重庆川东化工(集团)有限公司;NaCl、无水 Na₂SO₄,购于成都市科龙化工试剂厂。

1.2 主要设备

JA3003B 电子天平,上海精天电子仪器有限公司;MultifugeX3R 高速冷冻离心机,美国赛默飞公司;DGG-9140A 电热恒温鼓风干燥箱,上海齐欣科学仪器有限公司;TA.TOUCH 物性测定仪,上海保圣实业发展有限公司;QP2010 型气相色谱-

质谱联用仪,日本岛津公司。

1.3 实验方法

1.3.1 一般营养成分的测定 水分含量采用常压干燥法^[12],根据 GB 5009.3-2016 进行;灰分采用马弗炉灼烧法^[13]测定,根据 GB 5009.4-2016 进行;粗蛋白采用凯氏定氮法^[14]测定,根据 GB 5009.5-2016 进行;粗脂肪采用索氏抽提法^[15]测定,根据 GB 5009.6-2016 进行。

1.3.2 脂肪酸组成和相对含量测定 脂肪提取:参照 Folch 等^[16]的方法并稍作修改。准确称取冷冻干燥后的样品 10 g,加入体积比 2:1 的氯仿-甲醇溶液 120 mL,45 ℃恒温振荡 2 h 后过滤,向滤液中加入 20 mL 饱和 NaCl 溶液,振荡摇匀,静置分层,下层的氯仿层即为脂肪提取液,在 40 ℃水浴中旋转蒸干,即得到样品粗脂肪。脂肪甲酯化:参考谢盛莉等^[17]的方法进行。

气相色谱(GC)(gas chromatograph, GC)条件:采用 DB-5MS (30 mm×0.25 mm, 0.25 μm)色谱柱。升温程序:初始温度 150 ℃保持 5 min,以 3 ℃/min 升温至 230 ℃保持 10 min,进样口温度 250 ℃。载气为 He,总流速 22 mL/min,分流比 20:1。

质谱(MS)(mass spectrometer, MS)条件:离子源温度:250 ℃;接口温度:250 ℃;溶剂延迟:3 min;检测器电压 0.1 kV。质量扫描范围:40~400 m/z。采集方式为全扫描,由 NIST08 标准质谱图数据库鉴定脂肪酸成分,按峰面积归一化法计算脂肪酸相对含量。

1.3.3 氨基酸组成分析 参照《食品中氨基酸的测定》^[18]进行测定。

1.3.4 电子鼻检测 准确称取 3 g 搅碎的鱼肉样品于 50 mL 气味收集顶空瓶中,密封,室温下静置 30 min 后检测,测试时间为 180 s,清洗时间为 120 s。

1.3.5 挥发性成分测定 准确称取 3 g 搅碎鱼肉置于 40 mL 的螺口顶空样品瓶中,待测时加入 7 mL 的饱和 NaCl 溶液。60 ℃下平衡 15 min 后插入已活化好的 DVB/CAR/PDMS 萃取头,磁力搅拌条件下顶空萃取 45 min。萃取完成后迅速置于 GC-MS 进样口解吸 3 min,进行气质测定。

GC 条件:采用 DB-5MS (30 mm×0.25 mm,

0.25 μm)色谱柱。升温程序: 初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 70 $^{\circ}\text{C}$, 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 120 $^{\circ}\text{C}$, 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 150 $^{\circ}\text{C}$, 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 165 $^{\circ}\text{C}$, 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 210 $^{\circ}\text{C}$, 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 250 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min, 进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$ 。载气(He)总流量 50 mL/min。

MS 条件: 离子源温度: 250 $^{\circ}\text{C}$; 接口温度: 250 $^{\circ}\text{C}$; 溶剂延迟: 2 min; 质量扫描范围: 35~500 m/z。采集方式为全扫描, 所得数据由 NIST08 标准质谱图数据库检索鉴定, 取相似度高于 90% 进行定性鉴定, 利用峰面积归一化法对各成分进行定量分析。

1.4 数据分析

每组样品随机取 3 尾鱼进行指标测定, 共 3 个平行。采用 SPSS25.0 进行 ANOVA 单因素方差分析及 Duncan 检验($P<0.05$), 以平均值 $\pm$ 标准偏差表示。图表绘制采用 Origin 2021 软件。

2 结果与分析

2.1 养殖时间对草鱼体重的影响

草鱼在瘦身养殖过程中的体重变化如图 1 所示。随瘦身时间延长, 草鱼体重呈持续显著降低趋势($P<0.05$)。其中, 瘦身养殖 24 个月的样品体重仅有初始草鱼的 1/4 倍, 下降了约 77.23%。

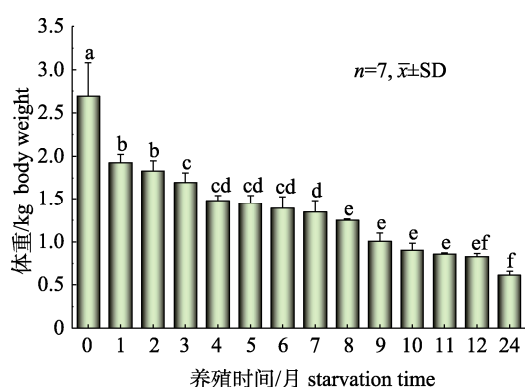


图 1 瘦身养殖过程中草鱼体重的变化
不同小写字母标示存在显著差异($P<0.05$)。

Fig. 1 Changes of weight of grass carp during starvation
Different letters indicate significant difference ($P<0.05$).

2.2 养殖时间对草鱼肌肉营养成分的影响

2.2.1 基础营养组成的变化 不同瘦身时间下草鱼鱼肉营养成分的变化如表 1 所示。随瘦身时间

延长, 鱼肉粗脂肪含量显著降低, 尤其前 8 个月时鱼肉粗脂肪含量下降了 53.72%。饥饿处理可显著增加鱼肉灰分含量($P<0.05$), 鱼肉粗蛋白和水分含量总体随瘦身时间变化不明显。

表 1 瘦身养殖时间对鱼肉基础营养成分的影响

Tab. 1 Effects of starvation time on basic nutrients of grass carp

$n=3; \bar{x} \pm \text{SD}; \%$

养殖时间/月 culture time	水分 moisture	蛋白质 crude protein	脂肪 crude lipid	灰分 ash
0	73.12 $\pm$ 2.43 ^e	70.22 $\pm$ 1.22 ^{bc}	12.38 $\pm$ 2.03 ^a	5.23 $\pm$ 0.08 ^g
1	80.64 $\pm$ 0.61 ^{bc}	76.56 $\pm$ 3.65 ^{ab}	11.82 $\pm$ 0.20 ^{ab}	6.17 $\pm$ 0.10 ^{def}
2	83.48 $\pm$ 1.79 ^a	74.13 $\pm$ 2.25 ^{ab}	11.45 $\pm$ 0.56 ^{ab}	7.03 $\pm$ 0.70 ^{cd}
3	79.70 $\pm$ 0.69 ^{bc}	64.92 $\pm$ 1.39 ^c	10.63 $\pm$ 0.41 ^{bc}	6.30 $\pm$ 0.58 ^{def}
4	79.11 $\pm$ 0.70 ^c	72.91 $\pm$ 2.17 ^{ab}	9.41 $\pm$ 0.10 ^{cd}	6.16 $\pm$ 0.01 ^{def}
5	74.38 $\pm$ 0.79 ^c	73.71 $\pm$ 3.89 ^{ab}	9.36 $\pm$ 0.92 ^{cd}	6.00 $\pm$ 0.43 ^{efg}
6	76.54 $\pm$ 0.71 ^d	77.16 $\pm$ 5.18 ^a	8.16 $\pm$ 0.19 ^{de}	5.79 $\pm$ 0.30 ^{cde}
7	81.36 $\pm$ 0.58 ^b	75.08 $\pm$ 5.33 ^{ab}	7.32 $\pm$ 0.46 ^e	6.77 $\pm$ 0.16 ^{fg}
8	81.16 $\pm$ 0.67 ^{bc}	75.90 $\pm$ 3.15 ^{ab}	5.34 $\pm$ 0.57 ^{fg}	6.82 $\pm$ 1.19 ^{de}
9	82.92 $\pm$ 1.42 ^{bc}	75.86 $\pm$ 1.75 ^{ab}	5.73 $\pm$ 0.68 ^f	7.03 $\pm$ 0.41 ^{cd}
10	76.99 $\pm$ 2.02 ^d	75.86 $\pm$ 7.50 ^{ab}	4.29 $\pm$ 0.13 ^{gh}	7.67 $\pm$ 0.44 ^{bc}
11	78.94 $\pm$ 1.18 ^{bc}	75.76 $\pm$ 2.43 ^{ab}	4.30 $\pm$ 0.27 ^{gh}	7.91 $\pm$ 0.40 ^b
12	81.10 $\pm$ 0.08 ^{bc}	75.73 $\pm$ 1.75 ^{ab}	4.30 $\pm$ 0.27 ^{gh}	7.91 $\pm$ 0.40 ^b
24	82.30 $\pm$ 1.22 ^{bc}	74.37 $\pm$ 1.48 ^{ab}	2.05 $\pm$ 0.86 ^h	8.99 $\pm$ 0.20 ^a

注: 同列数据上的不同字母表示存在显著性差异($P<0.05$)。

Note: Different letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

2.2.2 脂肪酸组成和含量的变化 瘦身鱼在饥饿过程中脂肪酸组成和相对含量的变化如图 2 和表 2 所示。鱼肉中主要检测到 25 种脂肪酸, 分布范

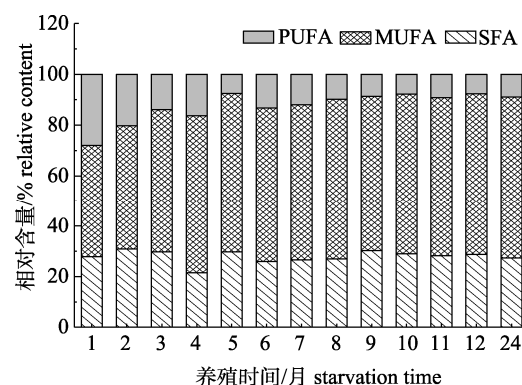


图 2 养殖过程中鱼肉饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)含量的变化

Fig. 2 Changes of saturated fatty acid (SFA), monounsaturated fatty acid (MUFA) and polyunsaturated fatty acid (PUFA) of grass carp during starvation

表 2 瘦身养殖时间对鱼肉脂脂肪酸组成和含量的影响
Tab. 2 Effects of starvation time on fatty acid composition and content of fish

脂肪酸 fatty acid	养殖时间/月 culture time														n=3; $\bar{x} \pm SD$; %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24		
C10:0	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
C12:0	0.10±0.02	0.06±0.01	0.06±0.04	0.06±0.02	0.23±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.07±0.03	0.09±0.01	0.07±0.02	0.09±0.00	0.11±0.02		
C14:0	2.04±0.58	2.12±0.22	1.52±0.25	1.74±0.37	2.93±0.56	1.27±0.05	1.19±0.32	1.20±0.06	1.83±0.24	3.77±0.52	4.32±0.36	1.92±0.62	ND		
C15:0	0.28±0.08	0.30±0.05	0.22±0.03	0.29±0.11	0.49±0.01	0.18±0.04	0.19±0.04	0.17±0.02	0.21±0.03	0.41±0.00	0.33±0.13	0.35±0.01	0.19±0.07		
C16:0	18.29±0.33	17.88±1.46	14.87±2.88	15.13±1.79	18.89±1.24	17.13±3.94	16.65±4.87	16.73±3.36	20.86±2.13	22.94±2.16	21.63±3.47	18.12±1.13	18.58±2.27		
C17:0	0.29±0.05	0.47±0.19	0.37±0.05	0.29±0.22	0.28±0.04	0.18±0.09	0.32±0.05	0.31±0.02	0.04±0.01	ND	ND	0.28±0.02	ND		
C18:0	5.35±0.39	6.01±0.89	6.20±1.14	6.47±0.37	5.86±0.32	5.67±0.89	6.41±1.90	6.93±0.66	10.72±0.73	6.13±0.41	5.99±0.83	7.53±0.45	7.54±1.12		
C19:0	0.37±0.26	0.56±0.18	0.98±0.10	1.28±0.03	0.42±0.04	0.60±0.03	0.72±0.18	0.49±0.54	ND	ND	ND	ND	ND		
C21:0	0.85±1.17	0.02±0.01	0.04±0.00	0.05±0.02	0.05±0.01	0.03±0.00	0.04±0.00	0.04±0.01	ND	ND	ND	ND	ND		
C22:0	0.09±0.01	0.10±0.03	0.16±0.01	0.25±0.00	0.29±0.01	0.32±0.29	0.17±0.04	0.19±0.05	ND	ND	ND	ND	ND		
C23:0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.04±0.01	0.04±0.00	ND	ND	ND	ND	ND		
C24:0	ND	ND	ND	ND	ND	0.09±0.07	0.06±0.02	0.07±0.01	ND	ND	ND	ND	ND		
Σ SFA	27.34±0.16 ^{ab}	27.47±2.65 ^{ab}	24.28±4.32 ^b	25.42±0.62 ^{ab}	29.32±1.64 ^{ab}	25.16±4.84 ^{ab}	25.78±7.46 ^{ab}	26.17±4.72 ^{ab}	29.73±3.12 ^a	28.34±3.15 ^{ab}	27.35±4.27 ^{ab}	28.29±1.62 ^{ab}	26.17±2.36 ^{ab}		
C14:1	0.06±0.04	0.07±0.01	0.06±0.03	0.07±0.02	1.18±0.30	0.04±0.02	0.03±0.01	0.03±0.00	ND	0.10±0.00	0.16±0.05	ND	ND		
C16:1	6.95±2.43	6.88±0.94	0.82±0.18	6.21±0.24	7.69±0.09	5.79±0.25	4.53±0.77	4.68±1.53	5.23±0.67	7.43±0.82	6.99±1.38	7.60±2.44	6.58±1.68		
C20:1	1.74±1.37	3.01±0.99	3.59±2.62	3.96±2.64	2.80±0.20	6.00±0.80	5.35±0.00	5.80±0.40	5.59±0.35	2.16±1.15	4.16±0.97	2.74±0.45	2.32±0.79		
C18:1n ^{9c}	34.58±1.86	33.47±1.31	39.96±7.31	43.81±0.93	50.61±0.08	47.19±10.60	49.46±14.23	50.51±11.33	49.18±5.12	49.53±6.17	50.39±3.50	51.38±2.36	53.89±9.53		
Σ MUFA	43.33±3.55 ^c	43.44±2.91 ^c	45.89±4.12 ^{bc}	54.04±1.80 ^{ab}	61.68±0.47 ^a	59.01±9.56 ^a	59.36±13.45 ^a	61.02±10.21 ^a	60.00±4.13 ^a	61.79±6.21 ^a	60.71±4.78 ^a	62.70±5.78 ^a	61.23±6.57 ^a		
C18:2n ^{6c}	17.59±3.15	6.86±10.87	0.82±0.18	0.58±0.10	0.69±0.01	0.63±0.19	0.61±0.28	1.84±1.75	ND	2.10±0.56	3.22±1.36	ND	ND		
C18:3n ⁶	0.87±0.13	1.03±0.22	0.95±0.31	1.62±0.61	0.58±0.07	0.73±0.27	1.06±0.01	0.96±0.45	0.34±0.03	0.24±0.10	0.26±0.02	0.16±0.17	ND		
C20:4n ⁶	4.28±0.47	4.74±0.27	4.83±0.49	2.96±1.90	3.80±0.21	6.58±1.48	5.38±2.50	3.33±3.40	5.98±2.21	4.36±0.19	3.64±0.45	4.88±1.89	4.93±0.21		
C20:3n ⁶	1.71±0.09	2.18±0.50	1.35±1.46	5.46±3.37	1.87±0.12	2.10±0.30	2.38±0.60	2.23±0.37	2.81±0.56	1.17±0.28	1.34±1.12	1.30±0.38	2.67±0.01		
C20:2	1.04±0.07	1.57±0.41	ND	1.28±1.37	0.14±0.00	1.94±0.00	1.12±1.38	ND	ND	ND	0.06±0.00	ND	0.42±0.21		
C20:5n3 (EPA)	0.52±0.12	0.43±0.06	0.91±0.00	0.54±2.27	0.24±0.00	0.06±0.02	0.04±0.01	0.03±0.00	0.33±0.01	0.53±0.00	0.43±0.02	0.29±0.02	0.28±0.01		
C22:6n3 (DHA)	1.33±0.03	1.38±0.44	1.22±0.12	2.60±1.08	1.68±0.24	1.44±0.45	1.10±0.49	1.20±0.16	2.03±0.12	2.03±0.06	1.31±0.13	0.97±0.21	0.78±0.15		
Σ PUFA	27.35±3.68 ^a	18.04±9.63 ^b	11.38±1.22 ^{bcd}	15.45±1.12 ^{bc}	7.46±0.71 ^d	12.82±3.45 ^{bcd}	11.68±4.72 ^{bcd}	9.57±6.11 ^{cd}	8.49±3.20 ^{cd}	7.68±2.17 ^d	8.82±2.55 ^{cd}	7.60±2.44 ^d	8.56±1.49 ^{cd}		
Σ n-3 PUFAs	1.86±0.12	1.66±0.68	1.68±0.52	4.96±1.91	0.80±0.06	1.50±0.47	1.14±0.51	1.21±0.14	3.15±0.34	2.16±0.37	1.63±0.18	1.26±0.16	1.06±0.29		
Σ n-6 PUFAs	24.45±3.57	14.80±10.48	9.70±0.69	9.63±2.84	6.60±0.75	10.35±1.61	9.43±2.83	8.36±5.97	9.13±1.57	8.87±1.74	8.34±1.10	6.34±1.23	8.02±2.16		
Σ n-9 PUFAs	34.58±1.86	33.47±1.31	39.96±7.31	58.81±0.93	50.61±0.08	47.19±10.60	49.46±14.23	50.51±11.33	49.18±5.12	49.53±6.17	50.39±3.50	51.38±2.36	53.89±9.53		
EPA+DHA	1.86±0.12 ^b	1.66±0.68 ^b	1.68±0.52 ^b	1.96±1.91 ^{ab}	1.86±0.01 ^{ab}	1.50±0.47 ^b	1.14±0.51 ^b	1.21±0.14 ^b	2.36±0.33 ^a	1.76±0.56 ^{ab}	1.39±0.77 ^b	1.26±0.24 ^b	1.06±0.29 ^b		

注: ND 表示样品中未检测到该物质, 同行中不同字母代表存在显著性差异 ($P<0.05$).

Note: ND represents not detected in the samples, different letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

围为 C10~C24, 其中饱和脂肪酸共 12 种, 单不饱和脂肪酸共 4 种, 多不饱和脂肪酸共 7 种。总体而言, 瘦身养殖对鱼肉中饱和脂肪酸含量影响不大($P>0.05$)。随时间延长, 鱼肉中单不饱和脂肪酸含量显著增加($P<0.05$), 而多不饱和脂肪酸含量则呈下降趋势($P<0.05$), 但 EPA 和 DHA 总量基本无显著变化($P>0.05$)。

2.2.3 氨基酸组成和含量的变化 草鱼经瘦身养殖后的氨基酸组成结果如表 3 所示。不同瘦身养殖时间下的草鱼均包含 16 种氨基酸, 其中谷氨酸、天冬氨酸和亮氨酸等含量较高。总体而言, 瘦身养殖对鱼肉中氨基酸总量和必需氨基酸含量影响不大($P>0.05$)。从 FAO/WHO 对优秀氨基酸组成的理想模式角度分析^[19], 瘦身养殖过程并不影响鱼肉蛋白的营养品质。

鲜味氨基酸是香味形成所必需的前体氨基酸^[20], 鱼肉的鲜美程度主要取决于 Asp、Glu、Gly 和 Ala 的含量。在养殖 5~8 个月期间, 鱼肉中鲜味氨基酸总量显著上升($P<0.05$), 并在 8 个月时达到最大值, 此时增长了约 3.79%。同时蛋氨酸、亮氨酸等苦味氨基酸总量在养殖 3~8 个月间显著下降($P<0.05$), 此后随时间延长, 含量变化并不显著。说明瘦身养殖可显著提升鱼肉的滋味品质。

2.3 养殖过程中的风味变化

2.3.1 电子鼻分析 不同瘦身养殖时间下鱼肉电子鼻响应值的 PCA 和 LDA 分析如图 3 所示。由图 3a 可知, PC1 和 PC2 的贡献率分别为 94.59%和 4.10%, 总贡献率为 98.69%, 可充分反映样品的

整体气味特征^[21]。PCA 分析图中, 瘦身 8~24 个月的样品位于最右侧, 与其他样品的线性距离最远, 说明其气味显著区别于其他样品。由图 3b 可知, 第 1 线性判别因子和第 2 线性判别因子的贡献率分别为 98.86%和 0.53%, 总贡献率大于 85%, 表明电子鼻的 LDA 分析可以有效识别样品间的气味差异。M1 沿横坐标轴距离与 M8-M24 较远, 表明瘦身养殖 8 个月过程中鱼肉风味发生了明显变化。但瘦身 8~24 个月的草鱼样品距离较近, 说明其风味差异小。

2.3.2 挥发性成分分析 草鱼在瘦身养殖过程中挥发性化合物种类和相对含量变化如表 4 所示。经 HS-SPME-GC-MS 测定分析, 共检测出 106 种化合物。其中, 醛类(65.97%~32.55%)、醇类(16.64%~21.25%)和酮类(9.67%~21.41%)物质的占比最大, 对鱼肉整体风味有一定贡献作用。随时间延长, 鱼肉醛类物质总量显著降低, 在养殖 8 个月时趋于稳定。其中, 对鱼腥味有较大贡献的己醛、辛醛、壬醛和 1-辛烯-3-醇等物质均有不同程度降低, 在养殖 8 个月, 其变化并不显著。

3 讨论

3.1 瘦身养殖对草鱼肌肉营养成分的影响

草鱼在饥饿过程中由于被剥夺了食物, 因此会利用自身储存的营养物质来维持生命活动^[22]。在本研究中, 瘦身鱼在长期饥饿过程中的代谢情况可被归结为 3 个阶段。第一阶段为 M0-M2, 在此期间, 鱼肉粗蛋白和脂肪含量变化不明显, 推

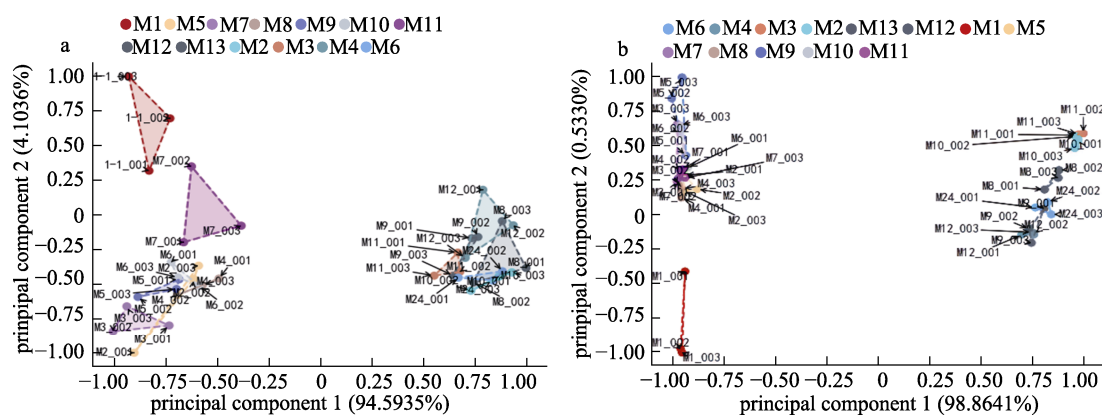


图 3 不同养殖时间鱼肉电子鼻响应值的 PCA (a)和 LDA (b)分析

Fig. 3 PCA (a) and LDA (b) analysis of electronic nose response of fish at different culture time

表 3 瘦身养殖时间对鱼肉氨基酸组成和含量的影响
Tab. 3 Effects of starvation time on amino acid composition and content of fish

氨基酸种类 amino acid	养殖时间/月 culture time														n=3; $\bar{x} \pm SD$; %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24		
天冬氨酸 Asp	10.66±0.13	10.73±0.04	10.78±0.09	10.57±0.05	10.61±0.01	10.60±0.09	10.62±0.02	10.69±0.04	10.28±0.19	10.71±0.02	10.73±0.06	10.68±0.09	10.71±0.06		
苏氨酸 Thr	5.10±0.03	5.16±0.02	5.20±0.03	5.17±0.04	5.21±0.01	5.08±0.05	5.10±0.03	5.17±0.01	4.57±0.04	5.08±0.02	4.57±0.03	4.56±0.03	5.05±0.03		
丝氨酸 Ser	4.14±0.04	4.14±0.01	4.37±0.01	4.35±0.03	4.19±0.02	4.22±0.08	4.16±0.01	4.32±0.02	4.13±0.03	4.33±0.02	4.15±0.02	4.18±0.06	4.33±0.05		
谷氨酸 Glu	14.29±0.17	14.49±0.03	14.30±0.10	14.52±0.06	14.73±0.04	14.79±0.12	14.84±0.01	14.63±0.03	15.56±0.23	14.34±0.04	15.97±0.12	15.52±0.09	14.50±0.07		
甘氨酸 Gly	4.94±0.39	4.75±0.06	5.16±0.16	5.58±0.40	4.97±0.04	5.69±0.11	5.53±0.13	5.50±0.06	5.34±0.57	5.12±0.17	4.90±0.22	5.20±0.42	5.43±0.43		
丙氨酸 Ala	6.11±0.13	6.14±0.03	6.38±0.04	6.45±0.13	6.00±0.02	6.35±0.02	6.38±0.06	6.52±0.08	6.18±0.15	6.19±0.07	6.06±0.09	6.20±0.12	6.32±0.15		
半胱氨酸 Cys	0.36±0.03	0.33±0.03	0.48±0.01	0.48±0.01	0.47±0.02	0.40±0.01	0.41±0.04	0.46±0.03	0.39±0.05	0.46±0.08	0.33±0.09	0.31±0.04	0.51±0.03		
缬氨酸 Val	4.51±0.05	4.57±0.03	4.31±0.03	4.25±0.06	4.41±0.02	4.38±0.02	4.44±0.02	4.27±0.03	4.99±0.05	4.42±0.04	5.03±0.01	5.05±0.02	4.37±0.07		
蛋氨酸 Met	3.04±0.04	3.07±0.02	2.79±0.10	2.93±0.12	3.05±0.03	2.96±0.01	3.01±0.01	2.95±0.07	2.99±0.14	3.02±0.05	3.06±0.04	3.03±0.05	3.00±0.05		
异亮氨酸 Ile	4.73±0.07	4.80±0.05	4.33±0.06	4.29±0.06	4.74±0.02	4.51±0.02	4.58±0.03	4.37±0.04	4.65±0.11	4.55±0.07	4.79±0.06	4.72±0.05	4.45±0.11		
亮氨酸 Leu	8.97±0.14	9.11±0.09	8.86±0.11	8.80±0.07	9.15±0.03	8.70±0.02	8.81±0.02	8.93±0.12	8.81±0.16	8.90±0.04	8.99±0.10	8.81±0.13	8.80±0.11		
酪氨酸 Tyr	3.65±0.11	3.59±0.06	3.45±0.08	3.33±0.03	3.54±0.05	3.60±0.05	3.51±0.04	3.30±0.04	3.75±0.17	3.67±0.03	3.76±0.05	3.66±0.08	3.62±0.05		
苯丙氨酸 Phe	4.44±0.04	4.51±0.08	4.52±0.08	4.49±0.06	4.46±0.05	4.28±0.05	4.31±0.08	4.46±0.07	4.68±0.19	4.47±0.02	4.71±0.03	4.71±0.04	4.32±0.17		
赖氨酸 Lys	9.44±0.17	9.56±0.06	9.18±0.06	9.15±0.11	9.21±0.04	9.10±0.03	9.14±0.04	9.20±0.01	9.67±0.19	9.47±0.04	9.92±0.04	9.84±0.11	9.28±0.10		
组氨酸 His	3.59±0.00	3.20±0.03	3.54±0.11	3.28±0.06	3.55±0.06	3.55±0.04	3.29±0.15	3.06±0.10	2.68±0.02	3.09±0.03	2.68±0.06	2.71±0.00	2.85±0.01		
精氨酸 Arg	6.21±0.04	6.23±0.02	6.25±0.05	6.37±0.11	6.14±0.01	6.14±0.04	6.18±0.05	6.33±0.04	6.40±0.06	6.13±0.04	6.22±0.08	6.24±0.03	6.28±0.05		
脯氨酸 Pro	4.27±0.27	4.28±0.23	4.64±0.29	4.79±0.03	4.22±0.12	4.40±0.06	4.42±0.08	4.61±0.20	3.72±0.26	4.76±0.08	3.05±0.31	3.48±0.13	4.89±0.08		
氨基酸总量 TFAA	98.45±0.16 ^c	98.65±0.06 ^{abc}	98.53±0.41 ^{bc}	98.81±0.04 ^{ab}	98.65±0.05 ^{abc}	98.75±0.03 ^{ab}	98.75±0.12 ^{ab}	98.78±0.18 ^{ab}	98.76±0.20 ^{ab}	98.70±0.04 ^{abc}	98.92±0.04 ^c	98.91±0.01 ^a	98.72±0.01 ^{abc}		
鲜味氨基酸 UMAA	36.01±0.25 ^f	36.11±0.03 ^{ef}	36.62±0.19 ^{de}	37.12±0.41 ^{bc}	36.30±0.06 ^{ef}	37.30±0.20 ^{abc}	37.37±0.19 ^{abc}	37.43±0.10 ^{abc}	37.12±0.41 ^{abc}	36.35±0.19 ^{ef}	37.67±0.24 ^c	37.59±0.44 ^{ab}	36.96±0.45 ^{cd}		
苦味氨基酸 BIAA	39.13±0.43 ^a	39.07±0.22 ^a	38.04±0.17 ^{bc}	37.74±0.24 ^{bc}	39.04±0.14 ^a	38.12±0.12 ^{bc}	38.14±0.20 ^{bc}	37.67±0.16 ^c	39.20±0.47 ^a	38.25±0.16 ^b	39.24±0.23 ^a	38.94±0.30 ^a	37.70±0.46 ^c		
必需氨基酸 EAA	37.18±0.48 ^{bc}	37.69±0.29 ^{ab}	36.40±0.27 ^{de}	36.15±0.36 ^c	37.19±0.13 ^{bc}	36.05±0.03 ^e	36.39±0.09 ^{de}	37.41±0.13 ^{bc}	37.70±0.60 ^{bc}	36.89±0.20 ^{cd}	38.02±0.21 ^a	37.70±0.36 ^{ab}	36.27±0.54 ^e		
非必需氨基酸 NEAA	61.27±0.39	60.95±0.23	60.13±0.28	62.66±0.40	61.47±0.18	62.70±0.01	62.36±0.11	62.37±0.06	61.06±0.62	61.81±0.17	60.90±0.18	61.21±0.37	62.45±0.53		
EAA/TFAA	37.77±0.45	38.21±0.27	36.94±0.19	36.59±0.38	37.69±0.15	36.51±0.02	36.85±0.08	37.86±0.06	38.17±0.61	37.38±0.19	38.43±0.20	38.11±0.37	36.74±0.54		
EAA/NEAA	60.70±1.15	61.84±0.71	58.58±0.47	57.70±0.93	58.30±0.17	57.50±0.04	58.34±0.20	60.50±0.40	61.74±1.56	59.69±0.48	62.43±0.52	61.59±0.97	58.10±1.36		

注: 鲜味氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸; 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; 同行中的不同字母表示不同饥饿时间下的同一种氨基酸之间存在显著性差异 ($P<0.05$).

Notes: Umami amino acids are Asp, Glu, Gly and Ala; bitterness amino acids are Met, Val, Leu, Ile, Phe, Tyr, His, Arg and Try; Different letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

表 4 瘦身养殖时间对鱼肉挥发性成分相对含量的影响
Tab. 4 Effects of starvation time on volatile components of fish

化合物名称 volatile component	养殖时间/月 culture time														n=3; $\bar{x}$ $\pm$ SD; %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24		
醛类 aldehyde															
戊醛 pentanal	3.04 $\pm$ 1.11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
己醛 hexanal	46.00 $\pm$ 6.94	43.60 $\pm$ 12.47	40.81 $\pm$ 8.13	35.71 $\pm$ 9.68	38.43 $\pm$ 4.13	34.90 $\pm$ 6.27	36.46 $\pm$ 3.59	19.64 $\pm$ 10.83	21.33 $\pm$ 3.82	23.16 $\pm$ 3.17	20.59 $\pm$ 1.92	21.71 $\pm$ 1.82	19.95 $\pm$ 10.44		
庚醛 heptanal	3.35 $\pm$ 0.66	1.83 $\pm$ 0.93	1.48 $\pm$ 1.48	0.91 $\pm$ 0.54	0.99 $\pm$ 0.63	0.57 $\pm$ 0.07	0.76 $\pm$ 0.45	ND	ND	0.48 $\pm$ 0.10	ND	ND	1.24 $\pm$ 0.52		
2-庚烯醛 2-heptenal	0.28 $\pm$ 0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
苯甲醛 benzaldehyde	0.91 $\pm$ 0.26	ND	ND	ND	1.87 $\pm$ 0.39	1.29 $\pm$ 1.42	0.54 $\pm$ 0.21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
辛醛 octanal	3.35 $\pm$ 0.25	2.34 $\pm$ 0.58	0.90 $\pm$ 0.33	5.19 $\pm$ 6.43	1.56 $\pm$ 0.23	1.29 $\pm$ 0.22	1.34 $\pm$ 0.12	0.56 $\pm$ 0.17	0.48 $\pm$ 0.17	1.65 $\pm$ 0.57	0.89 $\pm$ 0.35	2.03 $\pm$ 0.37	2.15 $\pm$ 1.67		
反-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	0.24 $\pm$ 0.01	ND	0.58 $\pm$ 0.03	0.50 $\pm$ 0.17	0.91 $\pm$ 0.17	0.82 $\pm$ 0.08	0.67 $\pm$ 0.14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
壬醛 nonanal	6.62 $\pm$ 1.49	6.13 $\pm$ 2.21	4.06 $\pm$ 0.26	5.32 $\pm$ 1.33	4.97 $\pm$ 1.29	4.46 $\pm$ 0.91	4.61 $\pm$ 0.00	4.04 $\pm$ 0.24	3.24 $\pm$ 0.24	3.98 $\pm$ 0.32	4.01 $\pm$ 0.53	3.56 $\pm$ 0.14	2.78 $\pm$ 0.03		
2-壬烯醛 2-nonenal	ND	ND	ND	ND	0.31 $\pm$ 0.07	0.28 $\pm$ 0.05	0.26 $\pm$ 0.07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
(Z)-癸-2-烯醛 2-decenal	ND	ND	ND	0.24 $\pm$ 0.07	0.17 $\pm$ 0.04	ND	0.17 $\pm$ 0.09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
反-4-癸烯醛 4-trans-decenal	0.17 $\pm$ 0.02	ND	ND	ND	ND	0.13 $\pm$ 0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
癸醛 decanal	0.30 $\pm$ 0.10	0.38 $\pm$ 0.30	ND	0.23 $\pm$ 0.01	0.36 $\pm$ 0.18	0.28 $\pm$ 0.01	0.30 $\pm$ 0.04	0.21 $\pm$ 0.05	1.21 $\pm$ 0.05	0.60 $\pm$ 0.01	0.34 $\pm$ 0.03	0.91 $\pm$ 0.02	0.48 $\pm$ 0.19		
2,4-二甲基苯甲醛 2,4-dimethyl-benzaldehyd	ND	ND	ND	ND	0.21 $\pm$ 0.03	0.31 $\pm$ 0.26	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
反式-2,4-癸二烯醛 trans,trans-2,4-decadien-1-al	ND	ND	ND	ND	0.29 $\pm$ 0.12	0.32 $\pm$ 0.05	0.14 $\pm$ 0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal	ND	ND	ND	ND	0.58 $\pm$ 0.16	0.57 $\pm$ 0.06	0.45 $\pm$ 0.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
反,反-2,4-十二碳二烯醛 (E,E)-2,4-dodecadialenal	ND	ND	0.39 $\pm$ 0.07	0.39 $\pm$ 0.13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
反-2-十二烯醛 2-dodecenal	0.05 $\pm$ 0.00	ND	ND	ND	0.37 $\pm$ 0.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
2-十三(碳)烯醛 (E)-2-tridecenal	ND	ND	ND	ND	ND	0.36 $\pm$ 0.04	0.32 $\pm$ 0.10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
十二醛 dodecanal	0.31 $\pm$ 0.10	0.12 $\pm$ 0.09	ND	0.09 $\pm$ 0.03	ND	0.15 $\pm$ 0.06	0.15 $\pm$ 0.09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
十三醛 tridecanal	0.33 $\pm$ 0.19	0.16 $\pm$ 0.10	0.19 $\pm$ 0.04	0.09 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.01	ND	ND	ND	0.06 $\pm$ 0.01	0.18 $\pm$ 0.05	0.12 $\pm$ 0.01	0.29 $\pm$ 0.16	ND	ND	
十四醛 tetradecanal	0.30 $\pm$ 0.09	0.35 $\pm$ 0.51	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
十五醛 pentadecanal	0.41 $\pm$ 0.07	0.19 $\pm$ 0.24	ND	ND	0.12 $\pm$ 0.07	0.07 $\pm$ 0.02	0.06 $\pm$ 0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

(待续 to be continued)

(续表 4 Tab. 4 continued)

化合物名称 volatile component	养殖时间/月 culture time											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
十六醛 hexadecanal	0.23±0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
十八醛 octadecanal	ND	ND	0.18±0.06	0.22±0.18	ND	0.16±0.08	0.47±0.37	0.12±0.02	ND	0.24±0.01	0.35±0.07	0.42±0.12
(Z)-十八碳-9-烯醛	ND	ND	1.21±0.25	1.96±0.59	0.05±0.04	0.05±0.02	ND	0.94±0.47	ND	ND	ND	ND
(Z)-octadec-9-enal												
(Z)-9-十六碳烯醛	ND	ND	1.24±0.22	1.87±0.61	5.60±2.37	6.75±0.70	4.39±2.32	1.17±0.54	ND	2.34±0.52	3.01±0.67	ND
9z-hexadecenal												
合计 total	65.97±7.49	56.02±9.80	49.58±6.52	50.12±11.08	55.02±4.10	53.16±8.15	49.46±1.66	36.73±20.20	32.01±6.10	31.78±3.21	30.29±2.11	35.87±12.07
醇类 alcohol												
3-丁炔-1-醇 3-Butyne-1-ol	0.27±0.03	0.53±0.16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.12±0.01	ND	ND
正己醇 hexan-1-ol	2.62±2.11	8.89±2.07	ND	12.08±2.47	8.35±1.31	7.77±0.73	11.53±1.35	13.85±5.08	9.83±0.61	9.11±1.15	10.76±1.32	11.16±4.07
正庚醇 1-heptanol	0.77±0.16	0.58±0.33	ND	ND	0.55±0.11	ND	ND	ND	0.03±1.35	0.65±0.12	0.86±0.01	ND
1-辛烯-3-醇 Octen-3-ol	8.93±0.47	6.58±0.70	5.37±0.48	4.46±0.29	7.11±1.81	6.27±0.26	5.58±0.34	3.84±1.32	5.88±0.21	4.95±0.98	2.32±0.34	1.13±0.66
3-辛醇 3-octanol	0.17±0.05	0.33±0.21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2-乙基己醇 2-ethylhexanol	ND	ND	0.53±0.24	0.60±0.23	ND	ND	0.81±0.24	0.29±0.14	ND	0.12±0.10	ND	ND
2,4-二甲基环己醇	0.48±0.57	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,4-dimethylcyclohexanol												
苯甲醇 benzyl alcohol	ND	ND	ND	ND	ND	0.62±0.18	ND	ND	ND	ND	ND	ND
(2Z)-2-辛烯-1-醇	0.73±0.02	0.39±0.11	0.48±0.16	0.36±0.11	0.77±0.27	ND	ND	ND	ND	ND	0.87±0.32	1.19±0.42
(2Z)-2-octen-1-ol												0.52±0.30
反-2-壬烯-1-醇	ND	ND	ND	ND	ND	0.80±0.19	0.77±0.27	0.39±0.18	0.19±0.02	0.93±0.12	0.29±0.01	ND
trans-2-nonen-1-ol												
辛醇 octanol	1.11±0.02	1.24±0.88	0.58±0.17	0.56±0.17	0.70±0.25	0.59±0.14	1.06±0.06	0.73±0.01	0.76±0.02	1.56±0.22	1.76±0.33	3.44±0.67
2-甲基-1-辛醇	ND	ND	0.17±0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2-methyloctan-1-ol												
2-丙基-1-庚醇	ND	ND	0.28±0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3.30±1.52
2-propylheptan-1-ol												
正壬醇 1-nonanol	0.22±0.18	0.80±0.95	0.25±0.13	0.23±0.04	0.38±0.15	0.23±0.06	0.31±0.02	0.52±0.43	0.63±0.15	4.11±0.35	3.96±0.21	3.92±0.46
十二醇 1-dodecanol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.21±0.19	ND	ND	ND	ND	ND

(待续 to be continued)

(续表 4 Tab. 4 continued)

化合物名称 volatile component	养殖时间/月 culture time													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24	
十三醇 tridecanol	0.24±0.10	0.10±0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
十五醇 pentadecanol	0.12±0.08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
叶绿醇 phytol	ND	0.25±0.32	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
合计 total	16.64±1.28	17.90±0.97	12.68±7.68	18.17±3.50	18.68±2.45	16.27±1.15	20.82±1.50	17.79±5.53	16.87±4.15	18.94±2.35	17.16±1.21	21.45±5.59	19.85±7.35	
烃类 hydrocarbon														
2-氨基十一烷	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.47±0.09	ND	ND	ND	ND	ND	
2-undecanamine														
环辛四烯 cyclooctatetraene	ND	ND	7.31±3.96	ND	ND	0.62±0.07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
2-萜烯 α-pinene	ND	0.33±0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
十一烷 undecane	0.14±0.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
2-甲基十二烷	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
2-methyldodecane														
2,2,4,4-四甲基辛烷	ND	ND	0.40±0.17	0.16±0.06	0.15±0.03	0.24±0.00	ND	ND	ND	ND	ND	0.86±0.24	ND	
2,2,4,4-tetramethyloctane														
d-柠檬烯 (±)-limonene	ND	ND	0.90±0.24	ND	2.51±2.76	3.67±0.37	0.78±0.21	ND	ND	0.45±0.01	ND	ND	ND	
3,7-二甲基癸烷	0.57±0.28	ND	0.83±0.18	1.08±0.60	0.76±0.21	ND	ND	1.47±0.54	0.67±0.23	0.75±0.04	1.01±0.02	0.35±0.09	0.81±0.46	
3,7-dimethyldecane														
4,7-二甲基十一烷	ND	ND	ND	0.65±0.23	ND	ND	0.13±0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
4,7-dimethylundecane														
3,7-二甲基十一烷	ND	ND	ND	1.56±1.56	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
3,7-dimethylundecane														
3-甲基十一烷	ND	ND	0.28±0.11	0.37±0.17	0.81±0.38	0.88±0.17	ND	0.82±0.60	ND	ND	ND	ND	ND	
3-methylundecane														
3-亚甲基十一烷	ND	ND	ND	ND	0.23±0.07	0.24±0.05	1.15±0.90	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
3-methylundecane														
正十二烷 dodecane	0.46±0.37	0.92±0.49	ND	1.81±0.20	0.93±1.08	3.03±0.75	1.15±0.90	1.80±0.49	3.58±0.21	1.48±0.14	2.03±0.17	ND	ND	
5-(1-甲基丙基)-壬烷														
nonane,5-(1-methylpropyl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.38±0.10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

(待续 to be continued)

(续表 4 Tab. 4 continued)

化合物名称 volatile component	养殖时间/月 culture time													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24	
6-甲基十八烷	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.11±0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
6-methyloctadecane	ND	0.19±0.01	0.52±0.11	ND	ND	ND	0.23±0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
十三烷 tridecane	0.17±0.03	ND	ND	ND	0.15±0.07	0.14±0.02	ND	0.28±0.18	ND	ND	ND	ND	ND	
4-甲基十二烷	ND	ND	ND	ND	0.87±0.42	2.00±0.21	0.12±0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
4-methyldodecane	0.18±0.02	0.16±0.04	0.52±0.05	0.31±0.08	ND	ND	ND	0.49±0.21	ND	ND	ND	ND	ND	
2,6,11-三甲基十二烷	ND	ND	ND	0.61±0.54	0.87±0.42	2.00±0.21	0.12±0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
2,6,11-trimethyldodecane	0.18±0.02	0.16±0.04	0.52±0.05	0.31±0.08	ND	ND	ND	0.49±0.21	ND	ND	ND	ND	ND	
5-丁基壬烷 5-butylnonan	ND	ND	ND	ND	0.17±0.05	0.78±0.10	0.17±0.11	ND	0.32±0.11	0.21±0.11	0.26±0.01	0.30±0.05	0.39±0.34	
5-(2-甲基丙基)壬烷	1.05±0.41	0.58±0.27	0.65±0.38	1.76±0.82	1.39±0.24	3.01±0.82	1.10±0.66	0.60±0.50	1.27±0.50	0.87±0.31	1.56±0.12	ND	0.45±0.14	
5-(2-methylpropyl)nonane	ND	ND	0.31±0.03	ND	ND	0.77±0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
正十四烷 tetradecane	0.44±0.01	0.34±0.12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.35±0.22	0.21±0.01	ND	ND	ND	
己基环戊烷 ethylcyclopentane	ND	ND	ND	ND	ND	0.41±0.09	0.15±0.13	ND	0.18±0.03	0.30±0.05	0.21±0.02	0.85±0.91	ND	
十五烷 pentadecane	ND	0.21±0.10	ND	ND	0.12±0.07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
3-甲基十五烷	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
3-methylpentadecane	0.55±0.29	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.29±0.08	
2,6,10-三甲基十五烷	ND	ND	ND	ND	0.17±0.18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
2,6,10-trimethylpentadecane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
姥鲛烷 pristane	1.66±0.04	3.25±2.70	2.45±2.57	2.42±1.45	ND	ND	ND	1.25±0.97	2.33±0.32	ND	ND	ND	ND	
癸基环戊烷	ND	0.47±0.07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
decyl-cyclopentan	ND	0.47±0.07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
十九烷 nonadecane	0.33±0.00	0.06±0.04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.73±0.45	ND	
7-甲基十七烷	ND	0.10±0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
7-methylheptadecane	ND	0.10±0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
8-己基十五烷	2.58±1.37	1.27±1.20	0.51±0.15	0.87±0.28	0.84±0.52	1.91±0.13	0.56±0.48	0.73±0.32	1.69±0.12	2.25±0.15	3.21±0.13	3.36±1.10	1.57±0.12	
8-methylpentadecane	ND	0.10±0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
3-甲基十七烷	ND	0.10±0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
3-methylheptadecane	2.58±1.37	1.27±1.20	0.51±0.15	0.87±0.28	0.84±0.52	1.91±0.13	0.56±0.48	0.73±0.32	1.69±0.12	2.25±0.15	3.21±0.13	3.36±1.10	1.57±0.12	
正二十烷 icosane	ND	0.10±0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

(待续 to be continued)

(续表 4 Tab. 4 continued)

化合物名称 volatile component	养殖时间/月 culture time													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24	
10-甲基二十烷 10-methylcosane	ND	ND	0.39±0.15	0.87±0.28	1.29±0.27	3.12±0.31	1.45±0.57	1.91±2.34	1.26±0.72	1.31±0.21	ND	ND	ND	
2-甲基十七烷 2-methylheptadecane	0.06±0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
7-己基二十烷 7-methylcosane	ND	ND	ND	0.08±0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.12±0.01	0.32±0.14	1.26±0.49	
海松-8(14),15-二烯 (3β,13α)-pimara-8(14),15-dien	0.06±0.02	0.04±0.02	ND	ND	0.01±0.01	ND	0.02±0.00	ND	ND	ND	ND	0.39±0.11	ND	
(zz)-十七碳-1,8,11-三烯 heptadeca-1,8,11-triene	ND	ND	ND	ND	1.90±1.81	11.19±1.12	0.79±0.34	14.05±5.8	10.11±2.1	13.56±1.70	12.56±2.06	14.79±10.98	17.41±2.28	
合计 total	9.67±1.09	9.84±4.27	23.12±4.66	15.55±2.18	14.35±4.42	12.86±3.80	8.95±1.03	14.05±5.82	14.73±2.34	15.01±1.78	13.78±2.21	16.79±10.98	21.41±2.28	
酯类 lipids														
正己酸乙酯 ethyl hexanoate	ND	ND	0.46±0.20	ND	0.70±0.04	0.59±0.22	0.44±0.02	ND	ND	ND	ND	22.85±11.58	5.26±0.00	
丁二酸二甲酯 dimethyl succinate	ND	ND	0.39±0.02	0.97±0.66	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
戊二酸二甲酯 2-isocyanatoxane	ND	0.27±0.11	2.59±0.79	4.57±2.82	ND	ND	ND	6.97±4.72	3.21±1.22	1.56±0.32	2.45±0.26	ND	ND	
己二酸二甲酯 dimethyl adipate	ND	ND	0.88±0.76	0.93±0.63	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
二乙基二硫代氨基甲酸甲酯 methyl n,n-diethylcarbamod	ND	ND	1.35±0.52	ND	ND	ND	ND	2.24±0.46	ND	ND	ND	ND	ND	
2,2,4-三甲基戊二醇异丁酯 1,3-pentanediol,2,2,4-trimethy	ND	0.22±0.17	0.34±0.07	0.67±0.22	0.44±0.21	ND	0.38±0.17	0.60±0.05	0.78±0.02	0.45±0.01	ND	ND	ND	
肉豆蔻酸异丙酯 isopropyl myristate	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03±0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
邻苯二甲酸二异丁酯 diisobutyl phthalate	0.90±0.34	0.71±0.41	0.90±0.22	1.55±0.63	0.95±0.54	0.77±0.12	1.01±0.51	1.23±0.55	3.98±0.23	1.56±0.12	4.76±0.21	3.11±0.07	ND	
3,3,5-三甲基环己烷水杨酸酯 homosalate	ND	ND	0.17±0.05	0.29±0.13	ND	ND	ND	0.24±0.11	0.36±0.03	0.25±0.02	0.30±0.01	0.36±0.13	ND	
棕榈酸甲酯 methyl hexadecanoate	0.06±0.01	0.06±0.05	ND	ND	0.05±0.02	0.06±0.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

(待续 to be continued)

(续表 4 Tab. 4 continued)

化合物名称 volatile component	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24
邻苯二甲酸二丁酯 dibutyl phthalate	0.05±0.01	0.54±0.40	0.22±0.10	0.44±0.33	0.07±0.02	0.09±0.04	0.28±0.22	0.19±0.10	1.01±0.23	2.78±0.12	1.79±0.24	1.36±0.46	9.09±0.00
缩水甘油基肉豆蔻酸酯 glycidyl myristate	ND	ND	ND	0.07±0.00	ND	0.32±0.11	0.12±0.05	ND	0.21±0.01	0.56±0.04	0.43±0.04	0.41±0.40	3.96±0.00
三反油酸甘油酯 trielaidin	ND	ND	0.10±0.04	0.24±0.06	ND	2.29±0.57	0.89±0.31	ND	ND	ND	ND	ND	ND
合计 total	1.02±0.32	2.16±1.96	6.93±2.28	9.52±5.43	3.01±2.26	4.40±1.18	4.70±1.68	12.73±9.21	9.78±1.72	8.35±1.01	8.51±0.34	20.70±0.37	14.54±0.00
酮类 ketone													
2-庚酮 2-heptanon	0.40±0.06	0.43±0.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.14±0.09	0.49±0.00
1-辛烯-3-酮 oct-1-en-3-one	0.20±0.04	0.24±0.01	0.92±0.02	ND	0.34±0.01	0.52±0.10	ND	0.19±0.10	0.21±0.02	0.19±0.01	0.10±0.01	ND	ND
2,5-辛二酮 2,5-octanedione	6.02±0.00	10.55±0.22	2.31±0.31	ND	8.56±1.67	ND	10.86±0.96	ND	ND	ND	ND	ND	ND
香叶基丙酮 geranylacetone	0.06±0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	25.77±12.49	20.94±0.00
1-环十二烷基-乙酮 1-cyclododecylethanone	ND	ND	ND	ND	ND	0.05±0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
(Z)-氧代环十七碳-8-烯-2-酮 7-keto-undecanolid	ND	ND	ND	ND	ND	7.02±2.41	3.36±2.39	3.02±1.03	5.12±2.01	3.12±1.12	ND	ND	0.19±0.10
合计 total	6.48±1.02	11.23±0.35	3.25±0.02	ND	8.80±1.44	7.49±2.28	11.93±4.41	4.21±1.28	6.31±0.72	7.01±1.45	9.12±1.23	20.86±4.96	21.32±4.12
其他 others													
2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚 butylated hydroxytoluene	ND	1.21±0.36	1.83±0.59	2.48±0.21	ND	ND	ND	10.69±0.24	ND	ND	ND	ND	ND
2,4-二叔丁基酚 2,4-Di-t-butylphenol	ND	1.36±0.23	2.11±0.66	3.51±2.12	0.14±0.08	0.16±0.09	0.67±0.73	4.63±2.74	ND	2.34±1.45	1.98±0.45	ND	ND
十五烷酸 pentadecanoic acid	0.24±0.21	0.24±0.12	0.12±0.01	0.36±0.11	ND	0.75±0.01	0.57±0.37	0.21±0.11	2.12±0.34	2.78±0.34	3.17±0.23	3.36±2.39	3.02±1.03
亚麻酸 linolelaidic acid	ND	ND	ND	0.47±0.18	ND	5.15±0.24	2.60±1.60	0.22±0.10	0.12±0.02	0.23±0.34	0.22±0.04	1.93±4.41	3.21±1.28
17-十八烯酸 17-octadecynoic acid	ND	ND	ND	ND	ND	2.52±1.90	0.94±0.16	ND	ND	0.56±0.04	ND	ND	0.69±0.24
十八烷酸 cis-vaccenic acid	ND	ND	0.21±0.02	0.56±0.16	ND	0.66±0.21	ND	0.39±0.23	1.02±0.56	0.78±0.23	1.48±0.35	0.67±0.73	0.43±2.74
合计 total	0.24±0.21	2.82±2.20	4.26±0.73	6.57±1.15	0.14±0.08	7.24±1.13	3.60±2.37	15.49±4.40	3.45±1.02	3.78±0.97	4.95±1.97	4.57±0.37	4.21±0.11

注: ND 表示样品中未检测到该物质。
Note: ND represents not detected in the samples.

测其主要消耗糖原^[23]。第二阶段为 M3-M6, 这时, 鱼肉脂肪含量显著下降, M6 粗脂肪含量较 M3 下降约 31.14%, 而蛋白含量在此期间变化不明显, 表明此阶段主要动用脂肪供能。当养殖期超过 8 个月, 脂肪消耗幅度明显降低, 而蛋白含量开始呈下降趋势, 表明蛋白质开始作为辅助能量来源。现有研究表明, 鱼类在饥饿过程中首先利用机体中的糖类, 而后消耗脂肪, 当饥饿时间进一步延长则开始代谢蛋白质^[24-25], 这与本研究中的变化趋势相似。

脂肪酸在动物代谢活动中有十分重要的作用。在饥饿条件下, 鱼体对脂肪酸的利用情况因鱼种等存在一定差异^[26]。在养殖 3~8 个月期间, 鱼肉中单不饱和脂肪酸含量显著上升, 多不饱和脂肪酸含量显著下降, 这说明瘦身养殖过程中, 在以脂肪为主要能量来源阶段, 多不饱和脂肪酸被更多地消耗。从营养品质分析, 我国目前饮食脂肪摄入偏高, 因此鱼肉脂肪含量下降, 符合消费者营养需求; 从不饱和脂肪酸提供的角度分析, EPA 和 DHA 在人体免疫缺陷、心脑血管疾病等方面有较好的调节和预防作用, 是对人体有重要作用的不饱和脂肪酸^[27], 瘦身养殖虽造成了多不饱和脂肪酸的消耗, 但 EPA 和 DHA 的含量随时间延长基本无显著变化。综合而言, 瘦身养殖处理对草鱼鱼肉的营养价值影响不大, 但若时间过长, 便会使其营养学特性降低。

3.2 瘦身养殖对草鱼肌肉风味的影响

鱼肉的风味品质主要包括滋味和气味这两个重要指标。鱼肉中氨基酸含量较高, 其组成和含量对鱼肉的滋味品质会产生一定贡献。天冬氨酸、谷氨酸呈鲜味, 甘氨酸和丙氨酸呈甜味, 蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、组氨酸等则呈现苦味^[28]。在养殖 3~8 个月期间, 鱼肉鲜味氨基酸含量显著提高, 苦味氨基酸含量下降, 这说明瘦身养殖处理对鱼肉滋味有一定的改善作用。

醛类物质主要来自于脂质的氧化降解, 因其相对含量最高, 且感觉阈值较低, 是鱼肉呈现腥味的主要物质, 对整体风味有重要影响^[29]。随时间延长, 醛类物质总量呈下降趋势, 在 M8 时显

著降低并逐渐趋于稳定, 此时下降率为 44.32%。低级的饱和直链醛通常具有令人不愉快的气味, 如酸败味、鱼腥味或脂肪味, 其中己醛对这类气味的贡献最大^[30]。饥饿处理后, 己醛的相对含量由 M1 的 46.00% 减少到 M8 的 19.64%, 下降了 57.30%。此外, 庚醛、辛醛、壬醛、癸醛也被证实是鱼类产生腥味的典型物质^[31]。随时间延长, 辛醛、壬醛和癸醛的相对含量均呈下降趋势, 在 8 个月时趋于稳定。因此, 通过瘦身养殖处理可显著降低草鱼鱼肉中醛类物质的含量, 减弱鱼腥味。醇类物质为含量仅次于醛类物质的挥发性化合物, 其中, 不饱和醇类物质对鱼肉风味有较大贡献。1-辛烯-3-醇是鉴定得到的主要不饱和醇类物质, 呈泥土味和蘑菇味, 因其感觉阈值较低, 对草鱼的土腥味有较大贡献^[32]。随时间延长, 其相对含量在养殖 8 个月时显著降低, 此时下降了约 57.00%。同样说明通过瘦身养殖处理来降低鱼腥味的效果明显。此外, 烃类化合物的种类虽最多, 主要包含烷烃、烯烃和芳香烃等, 这些物质可能是通过烷基自由基的脂质氧化或断裂生成^[33]。但烃类物质的感觉阈值较高, 对鱼肉整体风味的贡献小。酮类和酯类物质因其相对含量较低且感觉阈值高, 所以对鱼肉整体风味影响不大^[34]。其中, 瘦身鱼中检测到的酮类物质主要为 2,5-辛二酮, 虽其相对含量不高, 但对鱼肉的腥味呈现有增强作用^[35]。随时间延长, 2,5-辛二酮总体呈波动性变化, 但在 8 个月时完全消失。

4 结论

本研究以草鱼为研究对象, 探讨瘦身养殖处理对其营养和风味品质的影响。结果显示, 随瘦身时间延长, 鱼肉脂肪含量显著下降, 灰分含量显著增加, 粗蛋白和水分含量相对保持稳定。瘦身养殖过程中, 鱼肉的鲜味氨基酸含量显著增加而苦味氨基酸含量下降。同时, 对腥味贡献较大的己醛和 1-辛烯-3-醇含量随时间延长显著降低。综上, 草鱼的最佳瘦身养殖时间为 8 个月, 处理后的草鱼鱼肉营养价值得到提升, 且风味得到明显改善。

参考文献:

- [1] 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 2020[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020 (in Chinese). [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. 2020 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.]
- [2] Cheng H L, Jiang F, Peng Y X, et al. Comparison of nutrient composition of muscles of wild and farmed grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Food Science, 2013, 34(13): 266-270. [程汉良, 蒋飞, 彭永兴, 等. 野生与养殖草鱼肌肉营养成分比较分析[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 266-270.]
- [3] Piedrahita R H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation[J]. Aquaculture, 2003, 226(1-4): 35-44.
- [4] Grass carp industry development report[J]. China Fisheries, 2021, (2): 27-37. [草鱼产业发展报告[J]. 中国水产, 2021, (2): 27-37.]
- [5] Chen C, Lu S H, Gao Y Y. Problems and key technologies of marketable fish slimming processing and breeding[J]. South China Agriculture, 2021, 15(7): 31-35. [陈畅, 卢生华, 高雅英. 商品成鱼瘦身加工养殖现状及关键技术[J]. 南方农业, 2021, 15(7): 31-35.]
- [6] 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.
- [7] Zajic T, Mraz J, Sampels S, et al. Fillet quality changes as a result of purging of common carp (*Cyprinus carpio* L.) with special regard to weight loss and lipid profile[J]. Aquaculture, 2013, 400-401: 111-119.
- [8] Wang S E. Study of nutritional composition, volatile compound and texture property of *Tilapia*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010. [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.]
- [9] 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. [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.]
- [10] Mei H Q, Jiang M J, Liu X H. Aquaculture xinqiqi fitness fish[J]. Fishery Guide to Be Rich, 2019(10): 24-27. [梅会清, 蒋明健, 刘小华. 水产养殖新奇葩 瘦身鱼[J]. 渔业致富指南, 2019(10): 24-27.]
- [11] 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. [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.]
- [12] [National food safety standard —Determination of moisture in food: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 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.
- [13] [National food safety standard —Determination of ash in foods: GB 5009.4—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 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.
- [14] 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). [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: GB5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [15] 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). [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: GB5009.6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [16] Folch J, Lees M, SLOANE STANLEY G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J]. The Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [17] Xie S L, Zhang Y H, Ma L, et al. Compositions of silkworm pupa oil and protein and potential allergen distribution[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(1): 31-37. [谢盛莉, 张宇昊, 马良, 等. 蚕蛹油和蚕蛹蛋白组成及潜在过敏原分布研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(1): 31-37.]
- [18] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of amino acid in foods: GB 5009.124-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese). [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 食品中氨基酸的测定: GB5009.124-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [19] Pellet P L, Yong V R. Nutritional evaluation of protein foods[J]. Food & Nutrition Research, 1980, 56(3): 146-150.
- [20] Wu F F, Lin W L, Li L H, et al. Quality change of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) muscle during crisping process[J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(4): 70-77. [伍芳芳, 林婉玲, 李来好, 等. 草鱼脆化过程中肌肉品质变化[J]. 南方水产科学, 2014, 10(4): 70-77.]
- [21] Pereira R N, Martins R C, Vicente A A. Goat milk free fatty acid characterization during conventional and ohmic heating pasteurization[J]. Journal of Dairy Science, 2008, 91(8): 2925-2937.
- [22] 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.
- [23] Bar N. Physiological and hormonal changes during prolonged starvation in fish[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2014, 71(10): 1447-1458.
- [24] Palmeri G, Turchini G M, Marriott P J, et al. Biometric, nutritional and sensory characteristic modifications in farmed Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*) during the purging process[J]. Aquaculture, 2009, 287(3-4): 354-360.
- [25] Lv 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.
- [26] Zhong J X, Li J W, Xie X Y, et al. Effects analysis of starvation on morphology and muscle nutrients composition of *Aristichthys nobilis*[J]. Genomics and Applied Biology, 2019, 38(8): 3515-3520. [钟金香, 李俊伟, 颜晓勇, 等. 饥饿处理对鳊鱼形态和肌肉营养成分的影响分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38(8): 3515-3520.]
- [27] Liu M H, Luo H Z, Fu R B, et al. Biochemical composition, amino acid and fatty acid composition in juvenile of *Miichthys miiuy* under short-time starvation[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(2): 230-235. [柳敏海, 罗海忠, 傅荣兵, 等. 短期饥饿胁迫对鳊鱼生化组成、脂肪酸和氨基酸组成的影响[J]. 水生生物学报, 2009, 33(2): 230-235.]
- [28] Chen Z, Hu Y, An Y Q, et al. Quality improvement of short-time micro-flow water treatment on the flesh of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) cultured in a pond[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(7): 1198-1210. [陈周, 胡杨, 安玥琦, 等. 短时间微流水处理对池塘养殖草鱼鱼肉品质的提升作用[J]. 水产学报, 2020, 44(7): 1198-1210.]
- [29] Mansur M A, Bhadra A, Takamura H, et al. Volatile flavor compounds of some sea fish and prawn species[J]. Fisheries Science, 2003, 69(4): 864-866.
- [30] Thiansilakul Y, Benjakul S, Richards M P. Effect of myoglobin from Eastern little tuna muscle on lipid oxidation of washed Asian seabass mince at different pH conditions[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(2): C242-C249.
- [31] Zhou X X, Chong Y Q, Ding Y T, et al. Determination of the effects of different washing processes on aroma characteristics in silver carp mince by MMSE-GC-MS, e-nose and sensory evaluation[J]. Food Chemistry, 2016, 207: 205-213.
- [32] Zhang H M, Wu D, Huang Q L, et al. Adsorption kinetics and thermodynamics of yeast β -glucan for off-odor compounds in silver carp mince[J]. Food Chemistry, 2020, 319: 126232.
- [33] Guichard E. Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception[J]. Food Reviews International, 2002, 18(1): 49-70.
- [34] MacLeod G, Seyyedain-Ardebili M, Chang S S. Natural and simulated meat flavors (with particular reference to beef)[J]. C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1981, 14(4): 309-437.
- [35] 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.

Study of the changes of nutrition and flavor quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) during lean culture

CAO Yingnan¹, LI Hong², YANG Chao³, MA Liang^{1,4}, ZHANG Yuhao^{1,4}

1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Fisheries Technology Extension Center, Chongqing 400715, China;

3. Banan District Fisheries Technology Extension Center, Chongqing 401320, China;

4. Chongqing Key Laboratory of Speciality Food Co-Built by Sichuan and Chongqing, Chongqing 400715, China

Abstract: Grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) is widely distributed in freshwater areas of China. It has the advantages of rich nutrition and delicious taste, which are favored by consumers. However, in the past few decades, the rapid development of aquaculture has brought many problems such as the deterioration of quality and limited application in the processing field of grass carp. Lean culture is an effective method to improve the edibility, quality, and value of grass carp. To explore the effect of culture time (1–24 months) on the nutritional composition, taste, and flavor of muscle, conventional biochemical methods were employed to detect the protein, water, and other nutritional components. An amino acids analyzer and gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS) were used to analyze the content of amino acids and fatty acids and, combined with an electronic nose, to further analyze volatile flavor compounds in the muscle. The results showed that with prolonged time, the content of fat decreased significantly and the content of ash increased significantly, but the contents of crude protein and water remained relatively stable. During the process of lean culture, the content of umami amino acids increased while the content of bitter amino acids decreased, and the content of monounsaturated fatty acids increased significantly while the content of polyunsaturated fatty acids decreased. The study of odor characteristics showed that the grass carp cultured for eight months changed significantly. Specifically, the contents of hexanal and 1-octen-3-ol, which contribute to the flavor, were significantly reduced and gradually become stable. In conclusion, the nutrition and flavor quality of grass carp can be effectively improved by lean culture for an appropriate time. However, after eight months the weight of grass carp continues to decrease, but the quality does not change significantly. The above results provide a reference for the appropriate time and procedure for cultivating grass carp under lean culture conditions and have practical value for application.

Key words: *Ctenopharyngodon idellus*; lean culture; nutrition quality; flavor

Corresponding author: ZHANG Yuhao. E-mail: zhy1203@163.com.