

短期禁食改善池塘养殖草鱼的食物品质

张玮岚^{1,2}, 叶元土^{1,2*}, 杜瑞雪^{1,2}, 肖旭全^{1,2},
王卓君^{1,2}, 殷永风³

- (1. 苏州大学基础医学与生物科学学院, 江苏 苏州 215123;
2. 江苏省水产动物营养重点实验室, 江苏 苏州 215123;
3. 江苏华辰水产实业有限公司, 江苏 盐城 224000)

摘要: 为探讨短期禁食提升池塘养殖鱼类食用品质的技术可行性, 以 3 个邻近池塘养殖的商品草鱼为对象, 分别转移至另一个池塘的 3 个网箱中, 进行 21 d 短期禁食。每间隔 7 d 采集 3 个池塘来源的草鱼, 并将鱼体分割为 A、B、C、D 共 4 个身段, 采集其肌肉样品, 对肌肉水分、粗蛋白质、粗脂肪和糖原含量进行定量分析。结果显示, 禁食 7 d 时, 不同身段肌肉营养物质含量即发生改变, 14 d 时粗蛋白含量和粗脂肪含量变化较大, 其中尾部 (C、D 段) 的粗蛋白含量有显著增加的趋势; 而 10 号池塘来源的草鱼 A 段粗脂肪含量在 14 和 21 d 分别比 0 d 减少了 22.60% 和 17.07%, B、D 段分别在 7、14 和 21 d 比 0 d 减少了 7.50%、19.41%、12.61% 和 28.83%、36.68%、13.49%, 17 号池塘来源的草鱼 A、C 和 D 段在 7 d 后显著增加, B 段在 7、14 和 21 d 比 0 d 分别减少了 26.76%、58.41% 和 62.90%, D 段在 7 和 14 d 比 0 d 分别减少了 1.52% 和 22.58%。3 个池塘来源的草鱼肌糖原含量 (C、D 段) 有显著增加的趋势。采集草鱼身体 B 段背部肌肉样品, 测定其肌肉系水力、肌肉质构特性和组织切片, 发现 10 号池塘来源的草鱼在 14 d 时, 背肌的滴水损失率无显著差异, 17 号池塘来源的草鱼背肌的滴水损失率在 14 d 时显著高于 0 d, 18 号池塘来源的草鱼背肌的滴水损失率在 14 d 均有下降趋势。3 个池塘来源的草鱼 B 段肌肉随禁食时间的延长, 硬度下降, 肌肉弹性增加, 咀嚼性在 14 d 前呈逐渐增加趋势, 内聚性则逐渐增加。禁食过程中背部肌纤维 (肌细胞) 密度增加、肌纤维之间的间隙减小, 肌肉硬度随禁食时间的延长逐渐下降, 而弹性、咀嚼性表现为逐渐增加的趋势。研究表明, 短期禁食可以改变草鱼肌肉的食用品质, 综合实验结果以禁食 14 d 的时长为最佳。本研究结果为改善池塘养殖鱼类食用品质提供了科学依据。

关键词: 草鱼; 禁食; 肌肉营养组成; 肌肉系水力; 肌肉质构

中图分类号: S 965

文献标志码: A

池塘养殖是我国主要的淡水养殖方式, 保障和提升池塘养殖鱼类食用质量是现代养殖渔业的重要研究内容。通过短期禁食改善淡水鱼类肌肉

风味和肌肉品质是食用品质提升的方式之一, 如“瘦身鱼”、“吊水鱼”等。商品鱼售卖、屠宰前, 先进行短期饥饿禁食处理, 可以有效减少鱼的难闻

收稿日期: 2023-05-10 修回日期: 2023-07-25

第一作者: 张玮岚 (照片), 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: 1774721892@qq.com

通信作者: 叶元土, 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: yeYT@suda.edu.cn



气味^[1]。Yang 等^[2]在暂养过程中短期饥饿的净化处理能有效改善草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 的肌肉品质, 使品尝口感更佳。吴朝朝等^[3]对鲫 (*Carassius auratus*) 鱼肉品质进行分析, 发现在清水中短期暂养对其质构特性和营养品质有一定的影响, 能够提高鲫风味。肌肉营养成分、肌肉系水力和质构特性是肌肉食用品质的主要指标^[4]。本研究以江苏大丰地区 3 个池塘养殖的草鱼为实验对象, 在清塘售鱼时采集实验鱼, 转移到水质较好的另一个池塘网箱中进行短期 (21 d) 禁食, 间隔 7 d 采集鱼体的肌肉样品, 分析肌肉化学组成和肌肉质构等指标, 探讨短期禁食提升池塘养殖鱼食用质量品质的可行性, 同时获得在池塘网箱禁食过程中鱼体化学组成、肌肉食用品质变化的基础数据。

1 材料与方 法

1.1 实验鱼及饲养管理

实验草鱼来源于盐城市华辰水产实业有限公司的大丰港华垦片区 10 号、17 号和 18 号池塘。池塘养殖数据和实验鱼数据见表 1。

3 个池塘均以草鱼为主养鱼, 混养鲫、鳊 (*Hypophthalmichthys nobilis*) 和鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 的养殖模式, 在 2020 年 9 月放养鱼种, 2021 年 8 月清塘、售鱼, 养殖周期为 11 个月。均投喂华辰公司自产、粗蛋白质 28% 和粗脂肪 6% 的混养硬颗粒饲料。在 3 个池塘清塘售鱼时, 分别随机采集 3 个池塘来源的草鱼, 转入邻近的另一个水面面积为 667 m² 的 3 个池塘网箱中进行禁食实验。禁食期间不投喂饲料, 禁食时间

表 1 3 个池塘养殖数据和实验鱼数据

Tab. 1 Aquaculture data and experimental fish data in three ponds

池塘编号 pond number	面积/hm ² area	投放鱼种 fish fingerling				收获成鱼 harvest adult fish				实验鱼 experimental fish			
		种类 species	重量/kg weight	数量/尾 quantity	均重/ (g/尾) average weight	密度 (/kg/hm ²) density	重量/kg weight	数量/尾 quantity	均重/ (kg/尾) average weight	密度 (/kg/hm ²) density	重量/kg weight	数量/尾 quantity	均重/ (kg/尾) average weight
10	12.93	草鱼 <i>C. idella</i>	51 283.00	98 761	519.30	3 964.50	154 297.00	91 576	1.70	11 929.50	23.20	17	1.40
		鲫 <i>C. auratus</i>	13 273.00	394 751	33.60	1 026.00	44 297.00	212 210	0.20	3 424.50	3.80	26	0.10
		鳊 <i>H. nobilis</i>	5 000.00	11 499	434.80	387.00	20 476.00	11 491	1.80	1 582.50	15.60	11	1.40
		鲢 <i>H. molitrix</i>	600.00	16 800	35.70	46.50	12 416.00	13 795	0.90	960.00	—	—	—
		合计 total	70 155.00	521 811	134.40	5 424.00	231 485.00	329 072	0.70	17 896.50	42.60	54	—
17	3.73	草鱼 <i>C. idella</i>	22 435.00	30 458	736.60	6 009.00	52 488.00	29 086	1.80	14 059.50	28.60	19	1.50
		鲫 <i>C. auratus</i>	3 926.00	113 914	34.50	1 051.50	2 585.00	9 385	0.30	693.00	—	—	—
		鳊 <i>H. nobilis</i>	2 289.00	3 874	590.70	613.50	5 937.00	3 349	1.80	1 590.00	19.00	15	1.30
		鲢 <i>H. molitrix</i>	161.00	4 494	35.70	43.50	3 109.00	4 145	0.80	832.50	—	—	—
		合计 total	28 810.00	152 739	1 397.50	7 717.50	64 119.00	45 966	4.60	17 175.00	47.60	34	—
18	5.20	草鱼 <i>C. idella</i>	29 054.00	40 909	710.20	5 587.50	71 439.00	36 516	2.0	13 738.50	22.10	19	1.20
		鲫 <i>C. auratus</i>	4 364.00	139 632	31.30	838.50	9 364.00	3 691	2.50	1 801.50	6.10	29	0.20
		鳊 <i>H. nobilis</i>	2 347.00	4 605	509.70	451.50	7 570.00	35 439	0.20	1 455.00	20.00	14	1.40
		鲢 <i>H. molitrix</i>	244.00	6 818	35.70	46.50	3 109.00	4 145	0.80	598.50	—	—	—
		合计 total	36 008.00	191 964	1 286.80	6 924.00	91 482.00	79 792	5.50	17 593.50	48.20	62	—

注: — 表示未测量。

Notes: — indicates no measurement.

为 21 d。禁食池塘水体的温度为 $(26.6 \pm 2.0)^\circ\text{C}$ ，水体溶解氧 $\geq 4.7 \text{ mg/L}$ ，pH 值为 7.6，氨氮浓度 $< 0.20 \text{ mg/L}$ ，亚硝酸盐浓度 $< 0.05 \text{ mg/L}$ ，小球藻 8 000 个/mL，隐藻 1 000 个/mL，全天不间断曝气。

1.2 样品采集与分析方法

分别在禁食 0、7、14 和 21 d 进行实验样品采集和分析。每次分别随机选取不少于 3 尾草鱼，带水运回实验室进行取样。敲击头部至晕，用纱布吸干鱼体表面水分后进行称量和测量，用于“肥满度”的计算；随后剪断鳃弓，放血后进行采样。

实验遵守水产动物伦理学规范。

鱼体分段肌肉样品的采集和分析。为了探讨短期禁食对鱼体不同身段肌肉化学组成的影响，按照图 1 所示位置将草鱼分为 A、B、C、D 共 4 个身段，取每一身段的全部肌肉样品。采用冷冻干燥方法测定水分含量、凯氏定氮法 (GB/T 6432—2018) 测定粗蛋白质含量，石油醚抽提法 (GB/T 6433—2006) 测定粗脂肪含量，550 °C 灼烧法 (GB/T 6438—2007) 测定粗灰分含量。采用北京索莱宝科技有限公司试剂盒测定肌糖原含量。

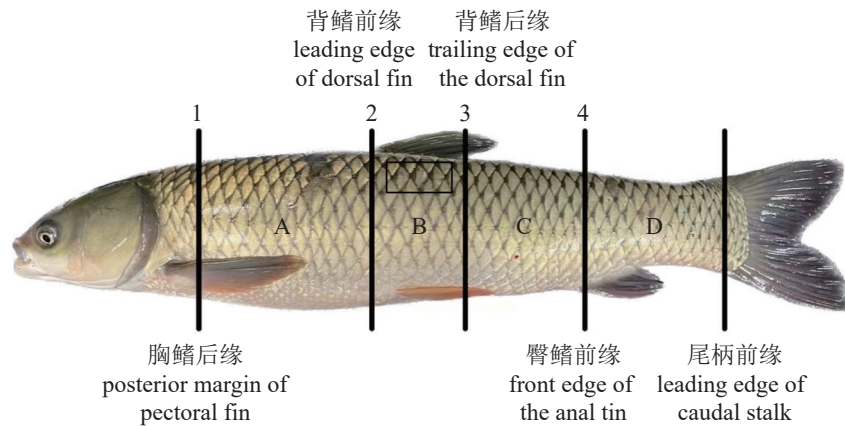


图 1 草鱼鱼体横切面位置示意图

分别在阿拉伯数字的位点切断鱼体，得到 A、B、C、D 共 4 个身段。图中 A 段为胸鳍后缘-背鳍前缘、B 段为背鳍前缘-背鳍后缘、C 段为背鳍后缘-臀鳍前缘、D 段为臀鳍前缘-尾柄前缘。B 段中的“矩形”为实验中“背肌”取样位置。

Fig. 1 Schematic diagram of cross section position of *C. idella*

Cut the body of the fish at the Arabic numerals, respectively, to get A, B, C, D a total of four body. In the figure, segment A is the posterior margin of the pectoral fin - the leading edge of the dorsal fin, segment B is the leading edge of the dorsal fin - the trailing edge of the dorsal fin, segment C is the trailing edge of the dorsal fin - the front edge of the anal fin, and segment D is the leading edge of the anal fin - the leading edge of the caudal stalk. The "Rectangle" in segment B is the sampling position of "dorsal muscle" in the experiment.

实验鱼体背部肌肉质构分析、系水力测定和组织切片观察。肌肉样品采集位置为 B 段鱼体同一侧面、背鳍前缘至背鳍后缘、鱼体侧线上方的肌肉为背部肌肉样品。按照 NYT821-2019 的方法进行背部肌肉系水力测定；每尾实验鱼分别取大小为 1.5 cm^3 的背部肌肉用质构仪 (RapidTA+) 进行肌肉质构特性分析；每尾实验鱼分别取背部肌肉 (规格 $0.5 \text{ cm} \times 0.5 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$) 置于 4% 甲醛溶液中固定，HE 染色后使用光学显微镜观察，并用 Image J 图像处理软件进行肌纤维 (肌细胞) 横截面积测量，每尾鱼选取 20 个肌纤维的横截面积进行测量。

1.3 计算公式

肥满度 (condition factor, CF, g/cm^3) = $(W/L^3) \times 100\%$

式中，W 为鱼体体重 (g)；L 为鱼体体长 (cm)。

1.4 数据分析

实验数据采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA, LSD)，同时利用 Duncan 氏多重比较分析数据，数据均以平均值 \pm 标准差 (mean \pm SD) 表示， $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 草鱼肥满度的变化

在禁食过程中，3 个池塘来源的草鱼肥满度均表现为持续下降趋势 (表 2)。与 0 d 结果相比较，到 21 d 时，10、17 和 18 号池塘来源草鱼的肥满度分别下降了 13.33%、14.12% 和 16.09%。

2.2 草鱼身体不同断面的表现观察

按照图 1 所示鱼体身体位置，将草鱼横切为

表 2 不同禁食时间下草鱼的肥满度

禁食时间/d fasting time	Tab. 2 Coefficient of fullness of <i>C.idella</i> under different fasting times g/cm ³					
	10号池塘 Pond 10	10号池塘与0 d比较/% compared with 0 d	17号池塘 Pond 17	17号池塘与0 d比较/% compared with 0 d	18号池塘 Pond 18	18号池塘 与0 d比较/% compared with 0 d
0	1.80±0.03 ^c		1.70±0.08 ^a		1.74±0.02 ^b	
7	1.73±0.07 ^{bc}	-3.89	1.57±0.07 ^a	-7.65	1.56±0.03 ^a	-10.34
14	1.61±0.01 ^{ab}	-10.56	1.66±0.28 ^a	-2.35	1.58±0.10 ^a	-9.20
21	1.56±0.12 ^a	-13.33	1.46±0.06 ^b	-14.12	1.46±0.12 ^a	-16.09

注: 同列数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Notes: The data in the same column were marked with different small letters ($P<0.05$).

A、B、C、D 共 4 段 (本文称之为鱼体“身段”), 每个身段靠近头部方向一侧的鱼体横切面如图 2 所示。不同身段横切面显示, 肌肉白色纹路图案和肌束 (白色纹理之间或之内的肌肉) 大小有显著差异。白色纹路主要为肌间脂肪组织, 以此将肌肉分为不同肌束。从鱼体头部向尾部方向, 肌肉纹路更为清晰, 肌束大小有明显减小的趋势; 同

时, 背部肌肉的纹理图案与腹部肌肉的纹理图案表观观察差异显著。背部红色肌肉的楔形区在鱼体中部 (B 段) 的面积较大, 前段 (A 段)、后段 (C、D 段) 相对较小; 从头部向尾部方向, 鱼体两侧、侧线鳞下方的红色肉楔形区面积逐渐增加, 表明红色肉数量和分布区域面积逐渐增加。结果表明, 鱼体不同身段肌肉组成和组织结构有明显差异。

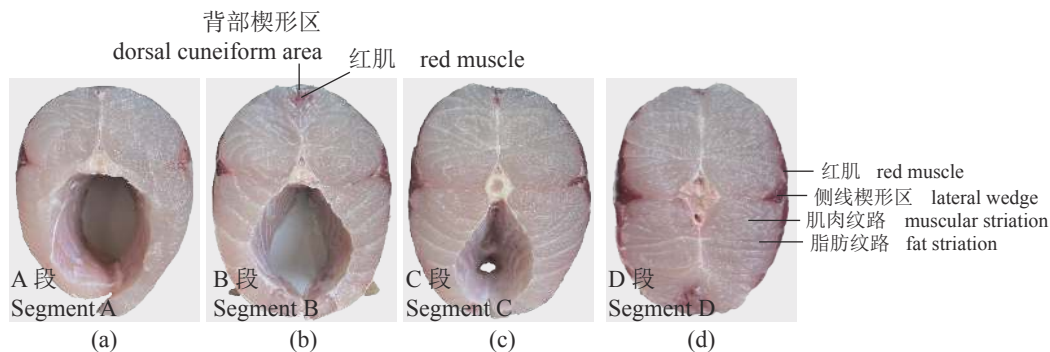


图 2 草鱼不同身段鱼体横切面图

图 (a)、(b)、(c) 和 (d) 分别为 A、B、C、D 身段靠近头部方向的横切面。

Fig. 2 Cross section of *C. idella* with different body segments

Figure (a), (b), (c) and (d) are the cross sections of body segments A, B, C and D in the direction of the head, respectively.

2.3 鱼体不同身段肌肉常规营养成分的变化

以 0 d 为参照, 相同身段的鱼体营养成分随禁食时间延长出现差异性变化 (图中差异性标识为小写字母) (表 3)。①肌肉水分含量在 7 d 时出现显著变化, 如 10 号塘草鱼 A、C 段, 17 和 18 号塘草鱼 4 个身段均在 7 d 有明显下降趋势, 之后逐渐升高、并恢复到 0 d 时的含量。②不同身段肌肉粗蛋白质含量在 7 d 时出现不同趋势的差异性变化。如 10 号池塘来源的草鱼 A、B、D 段肌肉粗蛋白质含量在 0~14 d 均表现为逐渐增加的趋势、21 d 均下降; 17 号池塘来源的草鱼 A、B、C、D 均在 7 d 显著下降 ($P<0.05$), 之后逐渐升高; 18 号池塘来源的草鱼 B、D 段在 7 d 呈逐渐增加的

趋势, 而 C 段在 7 d 显著下降 ($P<0.05$), 之后逐渐增加。③肌肉粗脂肪含量的变化较大, 7 d 时不同身段的结果就出现不同趋势性变化。10 号池塘来源的草鱼 A、C 段 7 d 时增加, 之后下降, A 段在 14 d 和 21 d 分别比 0 d 减少了 22.60% 和 17.07%, 而 B、D 段则是在 7 d 开始下降, 分别在 7 d、14 d 和 21 d 比 0 d 减少了 7.50%、19.41%、12.61% 和 28.83%、36.68%、13.49%。17 号池塘来源的草鱼除 B 段外, 其他身段都是在 7 d 开始显著增加。18 号池塘来源的草鱼 B、D 段在 7 d 下降, B 段在 7、14 和 21 d 比 0 d 减少了 26.76%、58.41% 和 62.90%, D 段在 7 和 14 d 比 0 d 减少了 1.52% 和 22.58%, 而 A、C 段在 7 d 时显

表 3 不同禁食时间下草鱼肌肉的常规营养成分
 Tab. 3 Conventional nutrients in muscle of *C. idella* under different fasting times %

池塘编号 pond number	项目 item	肌肉身段 muscle segments	禁食时间/d fasting time			
			0	7	14	21
10号池塘 Pond 10	水分 moisture	A	76.99±0.10 ^{aA}	73.32±10.94 ^{aA}	78.76±2.91 ^{aA}	78.09±3.08 ^{aA}
		B	76.66±0.75 ^{aA}	83.25±7.01 ^{aA}	81.40±5.22 ^{aA}	79.97±3.77 ^{aA}
		C	75.97±3.14 ^{aA}	72.87±2.25 ^{aA}	77.96±2.71 ^{aA}	77.75±3.69 ^{aA}
		D	77.13±0.85 ^{aA}	79.58±2.82 ^{aA}	78.81±2.38 ^{aA}	79.27±2.45 ^{aA}
	粗蛋白 crude protein	A	71.10±0.59 ^{aB}	73.32±0.55 ^{aB}	79.83±2.64 ^{bB}	76.18±5.04 ^{bA}
		B	72.91±2.15 ^{aB}	75.83±0.33 ^{cC}	77.22±1.72 ^{aB}	76.91±3.66 ^{aA}
		C	72.48±0.73 ^{bB}	70.15±0.96 ^{aA}	74.56±1.26 ^{cA}	71.42±0.64 ^{bA}
		D	67.87±1.37 ^{aA}	74.36±0.49 ^{bB}	76.67±0.49 ^{aB}	71.34±0.64 ^{bA}
	粗脂肪 crude lipid	A	14.82±1.33 ^{bA}	15.61±0.56 ^{bC}	11.47±0.34 ^{bB}	12.29±0.46 ^{bB}
		B	12.93±1.23 ^{cA}	11.96±0.27 ^{bC}	10.42±0.10 ^{aA}	11.30±0.03 ^{bA}
		C	13.35±1.26 ^{aA}	17.15±0.27 ^{bD}	14.22±0.31 ^{cC}	13.70±0.30 ^{cC}
		D	18.24±0.65 ^{bB}	12.98±0.35 ^{bB}	11.55±0.16 ^{bB}	15.78±0.23 ^{cD}
	粗灰分 crude ash	A	5.38±0.36 ^{aA}	4.92±0.21 ^{aA}	5.07±0.20 ^{aA}	5.26±0.41 ^{bB}
		B	5.17±0.17 ^{aA}	5.08±0.68 ^{aA}	4.94±0.25 ^{aA}	5.23±0.04 ^{bB}
		C	5.28±0.15 ^{bA}	4.34±0.51 ^{aA}	4.83±0.42 ^{bA}	4.55±0.13 ^{aA}
		D	5.41±0.09 ^{bA}	4.60±0.55 ^{aA}	4.93±0.13 ^{bA}	4.67±0.10 ^{aA}
17号池塘 Pond 17	水分 moisture	A	81.15±0.75 ^{cA}	72.91±1.58 ^{bB}	77.60±2.15 ^{bA}	79.02±0.91 ^{bC}
		B	78.05±6.32 ^{bA}	66.89±3.24 ^{bA}	74.72±4.22 ^{bA}	79.94±2.57 ^{bA}
		C	77.20±4.30 ^{aA}	72.44±2.42 ^{bB}	73.79±3.64 ^{aA}	75.93±3.11 ^{aA}
		D	77.00±3.84 ^{aA}	74.20±2.16 ^{bB}	75.76±4.52 ^{aA}	77.57±3.40 ^{aA}
	粗蛋白 crude protein	A	78.92±0.61 ^{cAB}	73.19±0.85 ^{bB}	76.2±0.57 ^{bA}	86.08±0.58 ^{dD}
		B	80.87±0.49 ^{bC}	77.15±0.97 ^{bC}	84.51±0.38 ^{cD}	84.14±0.36 ^{cC}
		C	80.06±0.22 ^{bBC}	71.15±0.92 ^{aA}	82.75±0.15 ^{cC}	81.68±0.31 ^{cB}
		D	78.06±1.61 ^{bA}	75.63±0.41 ^{cC}	77.78±0.15 ^{bB}	76.14±0.15 ^{aA}
	粗脂肪 crude lipid	A	11.04±0.52 ^{bAB}	15.67±0.27 ^{cC}	17.02±0.25 ^{dD}	5.89±0.29 ^{aA}
		B	10.01±0.44 ^{bA}	9.94±0.38 ^{bA}	7.70±0.26 ^{aA}	7.90±0.19 ^{bB}
		C	10.18±0.46 ^{bA}	16.34±0.03 ^{cD}	8.69±0.51 ^{aB}	10.14±0.15 ^{bC}
		D	11.40±0.87 ^{aB}	12.67±0.21 ^{bB}	13.82±0.56 ^{cC}	15.45±0.27 ^{dD}
	粗灰分 crude ash	A	5.65±1.26 ^{bA}	4.74±0.10 ^{bA}	4.23±0.10 ^{aA}	4.15±0.57 ^{aA}
		B	6.21±0.17 ^{bA}	5.66±0.51 ^{bB}	4.94±0.17 ^{aBC}	4.80±0.48 ^{aA}
		C	7.04±0.56 ^{bA}	4.66±0.01 ^{aA}	5.02±0.26 ^{aC}	4.56±0.19 ^{aA}
		D	7.04±0.56 ^{aA}	5.34±0.16 ^{bB}	4.62±0.22 ^{aB}	4.24±0.38 ^{aA}
18号池塘 Pond 18	水分 moisture	A	79.50±0.80 ^{abA}	77.80±1.07 ^{abB}	77.92±2.24 ^{aA}	78.89±2.06 ^{aA}
		B	79.88±1.50 ^{bbB}	75.31±0.61 ^{abB}	77.00±0.78 ^{aA}	79.98±1.89 ^{bA}
		C	74.32±2.13 ^{abA}	73.41±0.46 ^{abB}	76.57±1.14 ^{bcA}	77.64±2.03 ^{cA}
		D	79.97±0.46 ^{bbB}	74.42±1.58 ^{abB}	75.36±1.05 ^{aA}	78.38±2.04 ^{bA}
	粗蛋白 crude protein	A	82.20±2.01 ^{bbB}	81.41±0.61 ^{abB}	78.77±2.34 ^{aA}	80.06±0.46 ^{abB}
		B	74.87±1.36 ^{aA}	79.21±4.04 ^{bcAB}	81.55±1.69 ^{bcAB}	84.95±0.32 ^{cC}
		C	78.00±0.23 ^{bbB}	75.83±0.46 ^{aA}	83.85±0.59 ^{cB}	77.24±1.82 ^{abA}
		D	78.90±0.21 ^{bA}	80.52±0.27 ^{cB}	83.79±0.45 ^{dB}	76.75±0.41 ^{aA}
	粗脂肪 crude lipid	A	8.56±1.84 ^{aA}	10.62±0.84 ^{bA}	13.59±0.22 ^{cC}	8.76±0.18 ^{abB}
		B	14.50±0.52 ^{cC}	10.62±1.38 ^{bA}	6.03±0.44 ^{aA}	5.38±0.43 ^{aA}
		C	10.19±0.84 ^{abAB}	16.78±0.58 ^{cB}	9.12±0.10 ^{abB}	11.51±0.55 ^{bC}
		D	11.16±0.84 ^{bbB}	10.99±0.60 ^{bA}	8.64±0.13 ^{abB}	13.60±0.18 ^{cD}
	粗灰分 crude ash	A	6.47±0.40 ^{cB}	4.31±0.29 ^{aA}	4.38±0.04 ^{aA}	5.42±0.09 ^{bA}
		B	5.74±0.27 ^{bA}	4.87±0.03 ^{abB}	5.45±0.24 ^{bbB}	5.57±0.16 ^{bA}
		C	8.69±0.26 ^{cC}	4.01±0.24 ^{aA}	5.48±0.31 ^{bbB}	5.34±0.29 ^{bA}
		D	6.50±0.36 ^{bbB}	4.99±0.15 ^{abB}	5.02±0.33 ^{abB}	5.44±0.14 ^{aA}

注: 同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); 同列数据肩标不同大写字母表示差异显著($P<0.05$).

Notes: There was a significant difference in the number of small letters in the shoulder mark of peer data ($P<0.05$); The data in the same column were marked with different capital letters ($P<0.05$).

著增加 ($P < 0.05$)。综上所述, 3 个池塘来源的草鱼 D 段肌肉粗脂肪含量在 21 d 时均表现为显著增加的趋势。④不同池塘来源、鱼体不同身段肌肉粗灰分含量变化也表现为不同的变化趋势, 如 10 号池塘的草鱼粗灰分含量无显著性变化 ($P > 0.05$); 17、18 号池塘的草鱼 4 个身段均表现为逐渐下降的趋势, 且 0 d 时均显示为尾部如 C、D 段肌肉粗灰分含量较高。

在相同时间点, 鱼体不同“身段”肌肉营养组成中, 水分差异不明显, 肌肉粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分含量差异较大(表中差异性标识为大写字母); 尤其是粗脂肪和粗灰分含量差异更大。表明鱼体不同身段肌肉在化学组成上有较大的差异。

2.4 鱼体不同身段肌肉肌糖原含量的变化

不同禁食时间、草鱼不同身段肌肉肌糖原含量见图 3。3 个池塘来源的草鱼, 从头部向尾部方向, 肌肉糖原含量呈逐渐增加的趋势, 在 14 d 时已经有较大的变化, 尤其是禁食 21 d 时变化最为显著、且均以 D 段鱼体肌糖原含量为最高, 这可能与鱼体不同身段的运动能力对糖原能量的需求有关。随禁食时间的增加, 同一身段肌糖原含量呈增加的趋势, 尤其以 C、D 身段肌糖原含量增加较为显著。如 10 号池塘来源的草鱼, 除 B 段肌糖原含量在第 7 天显著下降 ($P < 0.05$), 其余身段在 7 d 前无显著差异 ($P > 0.05$); D 段在禁食第 21 天肌肉肌糖原含量显著增加 ($P < 0.05$)。17 号池塘来源的草鱼 A、B 段的肌糖原含量呈逐渐增加的趋势, 第 7 天开始趋于稳定, C、D 段的肌糖原在第 21 d 达到最大值; 18 号池塘来源的草鱼各身段的肌糖原含量均呈先下降后增加的趋势, 其中 D 段在禁食第 21 天肌糖原含量显著增加 ($P < 0.05$)。

鱼体不同“身段”肌糖原含量的比较。10 号池塘的草鱼在禁食 7 d 后, 各身段的肌糖原含量随禁食时间的增加逐渐增加, 17 和 18 号池塘的草鱼在禁食第 7、14 和 21 天时, D 段肌糖原含量均达到最大值。

2.5 鱼体 B 段背部肌肉系水力的变化

以鱼体 B 段的背部肌肉为实验材料, 在不同禁食时间测定肌肉的系水力, 结果见表 4。与 0 d 比较, 10 号池塘来源的草鱼在 14 d 时, 背肌的滴水损失率和蒸煮损失率均无显著差异 ($P > 0.05$), 但在 21 d 时滴水损失率显著增加 ($P < 0.05$), 蒸煮损失率显著降低 ($P < 0.05$)。冷冻渗出率和离心损

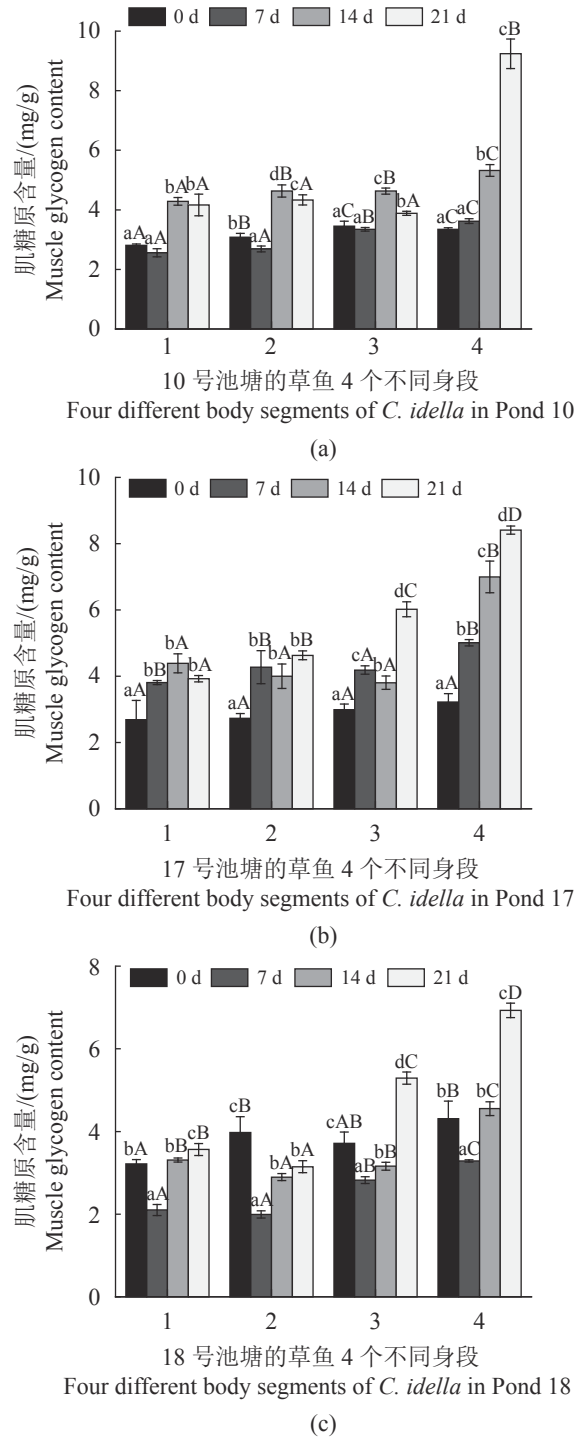


图 3 不同禁食时间、不同身段草鱼肌糖原含量

图中横坐标的 1、2、3、4 分别为 A、B、C、D 段; 图中不同小写字母表示组内之间差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示组间之间差异显著 ($P < 0.05$)。

Fig. 3 Muscle glycogen content of *C. idella* at different fasting time and different body segments

1, 2, 3 and 4 of the abscissa in the figure are sections A, B, C and D respectively; different small letters in the figure indicate significant differences within the group ($P < 0.05$); there were significant differences between groups with different capital letters ($P < 0.05$).

表 4 不同禁食时间下草鱼 B 段背部肌肉的系水力

Tab. 4 Hydraulic system of back muscle of *C. idella* under different fasting periods % (%)

池塘编号 pond number	禁食时间/d fasting time	项目 item			
		滴水损失率 drip loss rate	冷冻渗出率 freezing seepage rate	离心损失率 centrifugal loss rate	蒸煮损失率 cooking loss rate
10号池塘 Pond 10	0	1.33±0.49 ^a	4.74±0.74 ^{ab}	11.09±1.85 ^a	21.49±1.62 ^b
	7	3.49±2.24 ^a	6.23±0.53 ^b	16.09±1.99 ^b	21.11±1.99 ^b
	14	1.18±0.16 ^a	4.14±0.88 ^a	19.45±1.08 ^c	19.62±3.57 ^b
	21	8.13±1.48 ^b	11.36±1.17 ^c	21.11±1.99 ^c	11.43±3.76 ^a
17号池塘 Pond 17	0	4.74±1.49 ^a	5.25±0.64 ^a	24.62±1.10 ^c	16.92±1.63 ^a
	7	3.97±0.80 ^a	3.79±1.73 ^a	12.80±0.81 ^a	15.15±0.87 ^a
	14	8.36±1.21 ^b	10.74±3.21 ^b	14.45±1.26 ^a	28.27±0.59 ^b
	21	4.35±1.06 ^a	5.02±1.02 ^a	17.34±0.82 ^b	28.24±0.76 ^b
18号池塘 Pond 18	0	3.31±0.10 ^b	5.39±0.62 ^{ab}	14.70±1.11 ^{ab}	16.63±4.56 ^a
	7	1.31±0.14 ^a	4.38±0.60 ^a	14.83±2.41 ^{ab}	12.43±1.39 ^a
	14	0.62±0.46 ^a	3.68±0.16 ^a	12.22±1.59 ^a	23.03±1.87 ^b
	21	6.18±1.12 ^c	6.44±1.67 ^b	17.52±2.01 ^b	24.81±2.47 ^b

注: 同列数据不同肩标字母表示差异显著($P<0.05$), 下同。

Notes: The data in the same column with different shoulder letters showed significant differences ($P<0.05$), the same below.

失率均在 21 d 显著高于 0 d。17 号池塘来源的草鱼背肌的滴水损失率、冷冻渗出率和蒸煮损失率在 14 d 时均显著高于 0 d ($P<0.05$), 离心损失率在 7 d 显著降低 ($P<0.05$)。18 号池塘来源的草鱼背肌的滴水损失率、冷冻渗出率和离心损失率在 14 d 均有下降趋势, 在 21 d 显著增加 ($P<0.05$)。蒸煮损失率在 21 d 显著高于 0 d ($P<0.05$)。结果表明, 禁食时间对草鱼背部肌肉系水力有显著影响, 在 14 d 时就有较为显著的变化, 禁食至 21 d 时变化更为显著。

2.6 鱼体 B 段背部肌肉质构参数的变化

与 0 d 相比, 随禁食时间的延长, 10 号池塘来源的草鱼 B 段背部肌肉硬度逐渐下降, 弹性、咀嚼性和内聚性均在第 14 d 显著增加 ($P<0.05$), 分别比 0 d 增加了 20.97%、62.49%、16.13% (表 5)。17 号池塘来源的草鱼背部肌肉硬度逐渐下降, 弹性无显著差异 ($P>0.05$), 咀嚼性和内聚性均随禁食时间的延长呈先上升后下降的趋势。18 号池塘来源的草鱼背部肌肉硬度随时间变化逐渐下降,

表 5 不同禁食时间下草鱼 B 段背部肌肉质构参数

Tab. 5 Texture parameters of back muscle of *C. idella* under different fasting time

池塘编号 pond number	禁食时间/d fasting time	项目 item			
		硬度/g hardness	弹性 elasticity	咀嚼性/g chewability	内聚性 cohesion
10号池塘 Pond 10	0	1 619.60±74.21 ^d	0.62±0.01 ^a	282.68±46.80 ^a	0.62±0.01 ^a
	7	1 166.43±56.49 ^c	0.62±0.05 ^a	329.96±14.62 ^a	0.59±0.04 ^a
	14	999.50±22.95 ^b	0.75±0.03 ^b	459.33±43.58 ^b	0.72±0.01 ^b
	21	755.30±85.04 ^a	0.70±0.04 ^b	291.79±39.00 ^a	0.69±0.03 ^b
17号池塘 Pond 17	0	760.87±56.90 ^c	0.61±0.08 ^a	246.19±16.25 ^a	0.65±0.01 ^a
	7	586.07±51.52 ^b	0.63±0.01 ^a	583.79±150.91 ^b	0.67±0.02 ^b
	14	461.97±13.12 ^a	0.63±0.01 ^a	252.11±67.39 ^a	0.70±0.00 ^c
	21	437.83±38.00 ^a	0.68±0.02 ^a	150.99±7.01 ^a	0.63±0.00 ^a
18号池塘 Pond 18	0	2 062.37±880.71 ^b	0.52±0.02 ^a	370.31±30.57 ^a	0.58±0.08 ^a
	7	1 038.30±115.67 ^a	0.74±0.04 ^b	369.36±25.34 ^a	0.72±0.03 ^b
	14	933.30±66.96 ^a	0.69±0.03 ^b	415.43±46.29 ^a	0.69±0.04 ^b
	21	942.23±211.58 ^a	0.70±0.04 ^b	383.46±31.41 ^a	0.67±0.01 ^{ab}

咀嚼性无显著差异 ($P > 0.05$), 弹性和内聚性均在第 7 d 显著高于 0 d ($P < 0.05$)。

草鱼 B 段背肌质构数据结果表明, 随禁食时间延长, 肌肉硬度均表现为下降趋势, 肌肉弹性表现为逐渐增加的趋势, 咀嚼性在 14 d 前均表现为逐渐增加的趋势, 至 21 d 时为显著下降, 内聚性呈逐渐增加的趋势, 在 14 d 时增加较为显著。

2.7 鱼体 B 段背部肌肉组织形态的变化

草鱼 B 段背部肌肉肌纤维 (肌细胞) 随禁食时间延长的变化结果见图版。在相同倍数视野下, 可以观察到草鱼背部横切 (图版中的 1~12) 的肌纤维中, 肌细胞形态没有明显差异, 均为不规则形状, 细胞核明显。在禁食开始时, 肌纤维排列松散, 肌纤维间隙较大; 随禁食时间的延长, 肌纤维间隙逐渐变小, 肌纤维间排列逐渐紧密, 其中在第 14 天 (图版中的 3、7 和 11) 肌纤维变化最为明显。从表 6 中可知, 10、17 和 18 号池塘的草鱼背肌肌纤维 (肌细胞) 横截面积呈逐渐减少的趋势。

从背肌纵切图 (图版中的 13~24) 中可以观察到, 肌细胞呈长梭形。随禁食时间的延长, 与 0 d 相比, 草鱼肌纤维排列由疏松到整齐, 横纹逐渐清晰明显, 其中在 14 d 时肌纤维排列最为紧密。

3 讨论

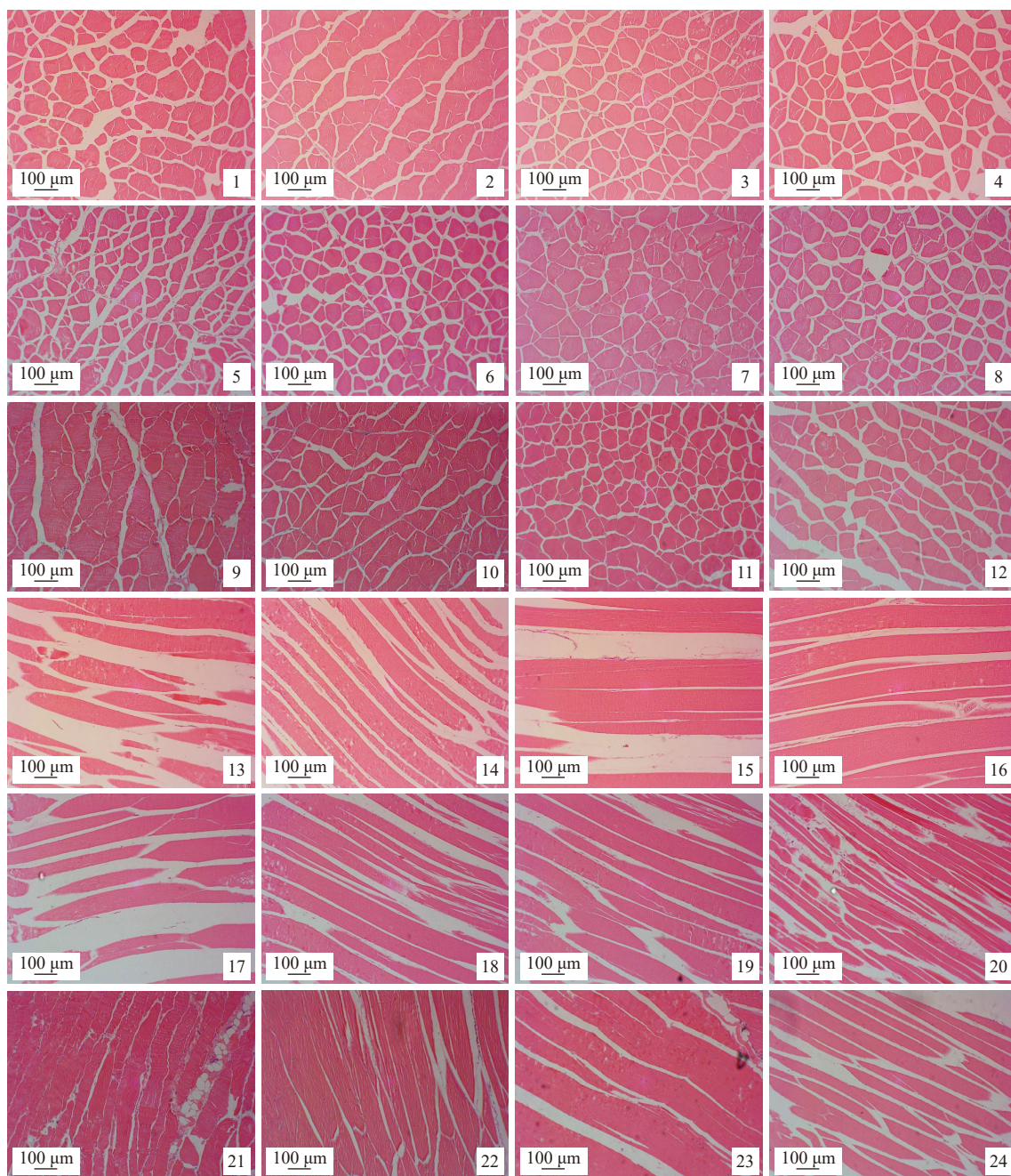
3.1 3 个池塘来源的草鱼肌肉品质及其在禁食过程中的变化有差异

本实验结果表明, 3 个池塘来源的草鱼转移到另一个池塘网箱中禁食 21 d, 一是在相同禁食时间点, 3 个池塘来源草鱼肌肉的营养成分含量、肌肉滴水损失和质构特性等有差异, 应该是 3 个池塘养殖过程中所带来的差异。二是随禁食时间延长, 肌肉品质的变化趋势和变化量有差异。如 17 号池塘来源的草鱼不同身段肌肉的水分、粗蛋白质含量在禁食过程中无明显的改变, 粗脂肪、粗灰分则在禁食过程发生显著改变。相应地, 10 号、18 号池塘来源的草鱼肌肉的水分、粗蛋白质、粗脂肪在禁食 7 d 开始就出现明显的变化。再如, 在禁食过程中, 10 号池塘来源的草鱼肌肉粗灰分几乎没有变化, 而 17 号、18 号池塘来源的草鱼肌肉粗灰分均出现降低的趋势。这可能与 3 个池塘养殖过程中的环境差异有关, 如 10 号、17 号和 18 号池塘面积分别为 12.93、3.73 和 5.20

hm²。虽然 3 个池塘在地理位置上临近, 所用的饲料也相同, 鱼种放养模式基本一致, 但是草鱼在原有池塘中的活动空间有差异 (如摄食距离), 草鱼的活动能力也有差异; 同时, 3 个池塘水体理化因素、生物因素 (浮游生物) 等也有一定的差异。这些因素导致 3 个池塘来源草鱼肌肉营养物质含量有差异; 当转移到另一个池塘网箱中开始禁食、鱼体处于饥饿条件下后, 其鱼体肌肉营养物质含量的变化出现差异。因此, 如果采用短期禁食改善池塘养殖草鱼的食用品质, 原有池塘养殖环境对草鱼的品质有重要影响, 需要针对性、灵活性采取不同技术方案, 如可采用不同的禁食时间。

3.2 鱼体不同身段肌肉品质及其在禁食过程中的变化有明显差异

本实验中, 将草鱼身体横切为 A、B、C、D 共 4 个身段, 对其肌肉的水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和糖原含量分别进行了定量分析。从身段横切面观察结果看, 从鱼体头部向尾部方向, 侧线鳞下方红色肉分布为主的楔形区域面积逐渐增加, 肌肉纹理、肌束大小也出现明显改变。10 号、18 号池塘来源的草鱼不同身段、不同禁食时间点肌肉的水分、粗蛋白质、粗脂肪和糖原含量出现明显差异, 而 17 号、18 号池塘来源的草鱼肌肉粗灰分含量也出现明显差异。随禁食时间的延长, C 段、D 段鱼体肌肉化学组成变化最为明显, 如糖原含量出现显著增加的趋势, 粗脂肪在 7 d 显著增加、14 d 显著下降。鱼体不同身段肌肉化学组成的差异可能是与其生理、生态功能相适应, 如鱼体尾部 (C、D 身段) 在维持鱼体游泳、保持在水体中姿态等方面具有重要作用, 相应的对肌肉能量需求量、肌肉氧气需求量较身体前部肌肉 (A、B 身段) 更高。红色肉中血管网分布密度更大、肌红蛋白含量更高, 从鱼体横切面观察的侧线下方红色肉楔形区面积的大小分布由前向后逐渐增多也证实这点。同时, 也提示我们, 依据研究目标、有针对性地采集鱼体不同身段肌肉样品进行比较分析非常重要。例如, 要进行不同实验组之间的相互比较研究, 则需要采集鱼体同一身段、相同部位的肌肉样品。依据本实验结果, 对于研究鱼体肌肉品质、或者探索建立鱼体肌肉品质标准, 以选择鱼体 B 段肌肉较为适宜, 其化学组成、肌肉组织结构相对稳定 (受禁食等影响相对较小)。



图版 不同禁食时间下草鱼 B 段背部肌肉组织切片横切、纵切观察图 (100×)

图中 1-12 为背肌横切、13-24 为背肌纵切;图 1-4 和图 13-16 为 10 号池塘;图 5-8 和图 17-20 为 17 号池塘;图 9-12 和图 21-24 为 18 号池塘;图片从左到右依次为 0 d、7 d、14 d 和 21 d。

Plate Observation of cross section and longitudinal section of muscle tissue section of B segment of back of *C. idella* under different fasting time

In the figure, 1-12 is the transverse section of the dorsal muscle and 13-24 is the longitudinal section of the dorsal muscle; figure 1-4 and figure 13-16 show Pond 10; figure 5-8 and figure 17-20 show Pond 17; figure 9-12 and figure 21-24 show Pond 18; the images from left to right were 0 d, 7 d, 14 d and 21 d respectively.

3.3 短期禁食可以改善草鱼肌肉化学组成

在禁食过程中, 鱼体基本处于饥饿状态。鱼体为了维持生命活动需要消耗体内的能量, 并引起鱼体化学组成和肌肉品质的改变。实际生产中

也正是利用这个原理, 希望能够通过短期禁食改善养殖鱼体肌肉食用质量。有研究报道, 何庆国等^[5]对尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)、金鑫等^[6]对刀鲚 (*Coilia ectenus*) 以及 Bosworth 等^[7]对

表 6 不同禁食时间下草鱼 B 段背肌肌纤维横截面积 (μm^2)Tab. 6 Cross sectional area of muscle fiber of dorsal muscle of *C. idella* under different fasting time

禁食时间/d fasting time	10号池塘 Pond 10	10号池塘与0 d比较/% compared with 0 d	17号池塘 Pond 17	17号池塘与0 d比较/% compared with 0 d	18号池塘 Pond 18	18号池塘与0 d比较/% compared with 0 d
0	14 381.03±3 416.29 ^d		4 320.75±1 285.48 ^c		8 463.17±3 475.68 ^c	
7	11 474.53±1 864.19 ^e	-20.21	4 069.82±1 018.44 ^{ab}	-5.81	5 776.19±2 476.50 ^b	-31.75
14	8 533.42±1 824.86 ^b	-40.66	3 961.57±1 024.63 ^{ab}	-8.31	3 318.45±1 014.80 ^a	-60.79
21	6 584.11±2 140.58 ^a	-54.22	3 341.20±1 128.16 ^a	-22.67	2 961.50±826.57 ^a	-65.01

注: 同列数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Notes: The data in the same column were marked with different small letters ($P<0.05$).

上市斑点叉尾鲴(*Ictalurus punctatus*)进行短暂饥饿处理的研究中,均得出肥满度有明显下降的结论。本实验结果表明,在短期禁食(21 d)过程中,草鱼肥满度均呈逐渐下降的趋势,与上述结果相同,表明鱼体在禁食过程中排空肠道内容物、消耗腹部脂肪。重要的问题是鱼体肌肉化学组成、食用品质的变化是否更适合人类对食用鱼体肌肉的需要,并选择适宜的禁食时间。

有研究表明,异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)上市前禁食可降低肌肉脂肪含量^[8];钟金香等^[9]在研究短期饥饿20 d对斑点叉尾鲴肌肉品质的影响中得出,肥满度、肌肉粗蛋白、粗脂肪含量随饥饿时间的延长逐渐下降,水分含量呈增加趋势,粗灰分含量呈先减少后增加的趋势。黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)^[10]的白肌脂肪含量在饥饿2 d后开始下降,白肌蛋白质含量在15 d后才显著降低。草鱼^[11]在饥饿15 d后,肌肉脂类含量显著降低。鲑类(*Oncorhynchus spp.*)^[12]在饥饿期间,肝糖原和脂肪含量明显下降,蛋白质消耗较少。本实验结果显示,在短期禁食期间,鱼体肌肉粗蛋白、粗脂肪和粗灰分变化较大。如10号池塘来源的草鱼A、B、D段肌肉粗蛋白含量均在禁食14 d前为增加趋势,在21 d均显著下降,17号池塘来源的草鱼A、B、C、D肌肉粗蛋白含量均在7 d显著下降,之后逐渐升高,18号池塘来源的草鱼B、D段在7 d时为逐渐增加的趋势,C段在7 d显著下降,之后逐渐增加,与上述文献研究结果有相似之处。尾部如C、D身段的粗脂肪、粗灰分和糖原含量变化更为显著。因为禁食导致鱼体处于饥饿生理状态下,鱼体会优先利用体内的糖原、脂肪作为能量来源,引起机体代谢生理的相应变化,并消耗体内、包括肌肉的脂肪酸和肌糖原。鱼体尾部肌肉粗灰分含量的显著下降可能是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等参与能量代谢被消耗的结果。

池塘养殖的淡水鱼如果要通过禁食改变鱼体肌肉化学组成,首先在禁食时间上应该以短期禁食为主,避免造成鱼体肌肉蛋白质、氨基酸含量的下降;其次,短期禁食条件下鱼体排空肠道内容物,消耗一定量的脂肪等,可以适当改变鱼体的化学组织并有利于保持或提升鱼体肌肉食用品质。本实验中,鱼体在禁食14 d时的水分、粗蛋白质、粗脂肪、糖原含量已经有较为明显的变化,到21 d时变化更为显著,结合到肌肉系水力、质构和组织结构的结果,综合分析以禁食14 d较为合适,因为在21 d部分指标有“反弹”的变化趋势。

3.4 短期禁食可以改善草鱼背部肌肉系水力和肌肉质构特性

系水力的变化也是肌肉化学组成和组织结构改变的结果,不仅影响肌肉的风味、多汁性、嫩度等食用品质,而且会直接影响肉食品的经济效益^[13]。就肌肉食用品质如口感、咀嚼性等而言,保持一定量的肌肉水分是有利的。本实验结果显示,在禁食的7 d开始,3个池塘来源草鱼肌肉的系水力就开始下降,到14 d时具有显著性的下降趋势,在21 d时系水力又有部分身段表现为增加的趋势。这与肌肉化学组成、尤其是肌肉脂肪含量、水分含量在禁食过程中的变化有较大关系。

肌肉质构特性是在一定压力下测定肌肉硬度、弹性、咀嚼性和内聚力的参数值,主要反应肌肉在口腔摄食和咀嚼过程中,人体通过舌、口腔黏膜、牙齿等的感觉,均有一定的合适范围值,目前缺乏鱼肉质构适宜的参数标准值。钟金香^[9]发现在上市前对斑点叉尾鲴进行20 d的短期停食处理,可使鲴鱼肌肉硬度下降,内聚性和咀嚼性增加,鱼肉变紧致且口感更好,郭晓冬^[14]的研究中得出,净水暂养团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)8 d可使肌肉硬度下降,弹性和咀嚼性增加。本实验结果显示,在禁食过程中,3个池塘来源

草鱼 B 段背肌的硬度均表现为下降的趋势, 而弹性、咀嚼性表现出逐渐增加的趋势, 与上述研究有相似结论。禁食 7 d 时肌肉质构特性就有一定的变化, 14 d 时变化较为明显。

3.5 短期禁食引起草鱼背部肌肉组织结构改变

肌纤维横截面积是描述肌肉组织形态结构的重要参数^[15]。在不受其他外界条件影响的情况下, 机体随体重的增加, 肌纤维横截面积逐渐增大, 肌纤维密度降低^[16-17]。本实验中, 3 个池塘来源的草鱼肥满度均为持续下降趋势, 且从背肌组织切片观察结构分析, 随着禁食时间的延长, 均表现为肌纤维(肌细胞)横截面积减小、肌细胞内肌原纤维排列更为紧密, 肌纤维之间的结缔组织面积减少、肌纤维之间的间隙更小。这可能是引起背部肌肉硬度下降、弹性、咀嚼性增加的主要原因。从禁食时间进程分析, 在 14 d 时变化更为显著, 过长时间的禁食可能会导致肌肉的口感产生不利变化。

4 结论

本实验分析了不同禁食时间, 鱼体相同身段或相同禁食时间不同身段对草鱼不同身段肌肉粗蛋白质、粗脂肪、肌糖原等成分的变化; 背部肌肉系水力, 背部肌肉硬度、弹性、咀嚼性等质构特性指标的变化, 以及背肌组织结构的变化等, 发现随禁食时间延长, 可有效改变鱼体肌肉理化性质和质构特性, 增强鱼肉品质。综合本研究结果, 草鱼在池塘网箱中禁食 14 d 较为适宜, 改善草鱼肌肉品质是可行的; 同时也证实了短期禁食可改变鱼体不同身段肌肉的化学组成和质构。

需要关注的是, 不同池塘来源的草鱼在禁食过程中, 鱼体肌肉品质变化有一定差异, 提示在采取禁食提升池塘养殖鱼类肌肉品质时需要针对性地选择技术对策。同时, 在建立鱼体肌肉食用质量标准, 或进行相关研究时, 肌肉材料的取材部位需要一致, 即需要在鱼体相同身段、相同部位进行取样和分析, 否则会因为取材部位的差异导致实验结果的差异。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] Ginés R, Palicio M, Zamorano M J, *et al.* Starvation before slaughtering as a tool to keep freshness attributes

in gilthead sea bream (*Sparus aurata*)[J]. *Aquaculture International*, 2002, 10(5): 379-389.

- [2] Yang W, Shi W, Qu Y, *et al.* Research on quality changes of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) during short-term starvation[J]. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8(2): 1150-1161.

- [3] 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 C C, Chen L L, Yuan M L, *et al.* Effect of short-term temporary culture on meat quality of crucian carp (*Carassius auratus*)[J]. *Food industry science and technology*, 2015, 36(15): 334-337 (in Chinese).

- [4] 刘旭. 鱼类肌肉品质综合研究 [D]. 厦门大学, 2007.

Liu X. *Comprehensive Study on Fish Muscle Quality*[D]. Xiamen University, 2007(in Chinese).

- [5] 刘波, 何庆国, 唐永凯, 等. 饥饿胁迫对吉富罗非鱼生长及生理生化指标的影响[J]. *中国水产科学*, 2009, 16(02): 230-237.

Liu B, He Q G, Tang Y K, *et al.* Effects of starvation stress on growth, physiological and biochemical indexes of Jifu Tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Chinese Fisheries Science*, 2009, 16(02): 230-237 (in Chinese).

- [6] 金鑫, 徐钢春, 杜富宽, 等. 饥饿胁迫对刀鲚形体、体成分及血液生化指标的影响[J]. *动物学杂志*, 2014, 49(06): 897-903.

Jin X, Xu G C, Du F K, *et al.* The effect of starvation stress on the body shape, body composition, and blood biochemical indicators of *Coilia ectenus*[J]. *Journal of Zoology*, 2014, 49(06): 897-903 (in Chinese).

- [7] 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.

- [8] 李海燕, 朱晓鸣, 韩冬, 等. 上市前限喂对池塘养殖异育银鲫生长及品质的影响[J]. *水生生物学报*, 2014, 38(03): 525-532.

Li H Y, Zhu X M, Han D, *et al.* The effect of pre market restriction on the growth and quality of *Carassius auratus gibelio* in pond aquaculture[J]. *Journal of Aquatic Biology*, 2014, 38(03): 525-532 (in Chinese).

- [9] 钟金香, 李俊伟, 颜晓勇, 等. 短期饥饿对斑点叉尾鲷形态、肌肉品质构成及营养组成的影响[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(02): 90-95.

- Zhong J X, Li J W, Jie X Y, *et al.* The effect of short-term hunger on the morphology, muscle quality composition, and nutritional composition of *Ictalurus punctatus*[J]. *South Fisheries Science*, 2018, 14(02): 90-95 (in Chinese).
- [10] 邓利, 张为民, 林浩然. 饥饿对黑鲟血清生长激素、甲状腺激素以及白肌和肝脏脂肪、蛋白质含量的影响[J]. *动物学研究*, 2003(02): 94-98.
- Deng L, Zhang W M, Lin H R. Effects of starvation on serum growth hormone, Thyroid hormones, white muscle and liver fat and protein content of *Sparus macrocephalus*[J]. *Zoology Research*, 2003(02): 94-98 (in Chinese).
- [11] 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(04): 404-412.
- Shen W Y, Lin H R, Zhang W M. Effects of hunger and refeeding on the biochemical composition of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) species[J]. *Current Zoology*, 1999(04): 404-412 (in Chinese).
- [12] 易军, 岳秀英, 冯健. 饥饿对太平洋鲑鱼生长及生化组成的影响[J]. *四川畜牧兽医*, 2005(04): 29-30.
- Yi J, Yue X Y, Feng J. Effects of starvation on growth and biochemical composition of *Oncorhynchus spp.*[J]. *Sichuan Livestock and Veterinary Medicine*, 2005(04): 29-30 (in Chinese).
- [13] 孟丽云, 张文广, 高爱琴等. 畜禽肉质特性研究进展[J]. *中国畜牧兽医*, 2011, 38(09): 143-148.
- Meng L Y, Zhang W G, Gao A Q, *et al.* Research progress on meat quality characteristics of livestock and poultry[J]. *Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2011, 38(09): 143-148 (in Chinese).
- [14] 郭晓东. 循环水暂养处理对团头鲂肌肉品质的提升作用[D]. 华中农业大学, 2019.
- Guo X D. Effect of temporary raised circulating water treatment on muscle quality of *Megalobrama amblycephala*[D]. Huazhong Agricultural University, 2019(in Chinese).
- [15] Johnston IA, Alderson R, Sandham C, *et al.* Patterns of muscle growth in early and latematuring populations of Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. *Aquaculture*, 2000, 189(3-4): 307-333.
- [16] Johnston IA, Alderson R, Sandham C, *et al.* Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. *Aquaculture*, 2000, 189(3-4): 335-349.
- [17] 秦召, 康相涛, 李国喜. 肌纤维组织学特性与肌肉品质的关系[J]. *安徽农业科学*, 2006(22): 5872-5873+5878.
- Qin Z, Kang X T, Li G X. The relationship between histological characteristics of muscle fibers and muscle quality[J]. *Agricultural science*, 2006(22): 5872-5873+5878 (in Chinese).

Short-term fasting and improvement the food quality of pond cultured grass carp(*Ctenopharyngodon idella*)

ZHANG Weilan^{1,2}, YE Yuantu^{1,2*}, DU Ruixue^{1,2}, XIAO Xuquan^{1,2},
WANG Zhuojun^{1,2}, YIN Yongfeng³

(1. School of Biology & Basic Medical Sciences, Soochow University, Suzhou 215123, China;

2. Key Laboratory of Aquatic Animal Nutrition, Suzhou 215123, China;

3. Hua Cheng Aquatic Industry Co., Ltd, Yancheng 224000, China)

Abstract: The demand for aquatic products has grown recently, and consumers are more concerned with the safety and quality of fish meat for consumption. This paper will explore the technical feasibility of short-term fasting to improve the food quality of pond cultured fish, commercial *Ctenopharyngodon idella* cultured in three adjacent ponds were taken as the objects and transferred to three cages in another pond for 21 days of short-term fasting. *C. idella* from three ponds were collected every seven days, and the fish body was divided into four body segments A, B, C and D muscle samples were collected for quantitative analysis of muscle moisture, crude protein, crude lipid and glycogen content. The results showed that the nutrient content of muscle of different body segments changed after fasting for 7 days, and the crude protein content and crude lipid content changed significantly after fasting for 14 days, and the crude protein content of tail (C and D segments) increased significantly; The crude lipid content of a segment of *C. idella* from No.10 pond was 22.60% and 17.07% lower than that of 0 d on 14 and 21 days, respectively. The crude lipid content of B and D segments was 7.50%, 19.41%, 12.61% and 28.83%, 36.68%, 13.49% lower than that of 0 d on 7, 14 and 21 days, respectively. The crude lipid content of A, C and D segments of *C. idella* from No.17 pond was significantly increased after 7 days. The crude lipid content of B segment was 26.76%, 58.41% and 62.90% lower than that of 0 d on 7, 14 and 21 days, respectively. The crude lipid content of D segment was 1.52% and 22.58% lower than that of 0 d on 7 and 14 days, respectively. The glycogen content (C, D segments) of *C. idella* muscle from three ponds showed a significant increase trend. The back muscle samples of *C. idella* were collected, and the water power, muscle texture characteristics and tissue sections of the muscle system were measured. It was found that there was no significant difference in the drip loss rate of the back muscle of *C. idella* from pond 10 on day 14, the drip loss rate of the back muscle of *C. idella* from pond 17 on day 14 was significantly higher than that of day 0, and the drip loss rate of the back muscle of *C. idella* from pond 18 on day 14 had a downward trend. With the extension of fasting time, the hardness of the B segment muscle of *C. idella* from three ponds decreased, and the muscle elasticity increased. Chewiness increased gradually before 14 days, while cohesion increased gradually. During fasting, the density of back muscle fibers (muscle cells) increased, the gap between muscle fibers decreased, and the muscle hardness gradually decreased with fasting time, while the elasticity and chewiness showed a gradual increase trend. The results showed that short-term fasting could change the eating quality of *C. idella* muscle, and the best experimental result was fasting for 14 days. The results of this study provide a scientific basis for improving the food quality of pond cultured fish.

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; fasting; muscle nutrient composition; muscle hydrodynamics; muscular texture

Corresponding author: YE Yuantu. E-mail: yeyt@suda.edu.cn