

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.14385

## 松浦镜鲤越冬期的形态、组织结构及生化组成变化

于淼<sup>1,2</sup>, 胡雪松<sup>2</sup>, 李池陶<sup>2</sup>, 石连玉<sup>2</sup>

1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院 黑龙江水产研究所 淡水鱼类育种国家与地方联合工程实验室; 农业部淡水水产生物技术与遗传育种重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150070

**摘要:** 利用电子标记跟踪同期孵化、同条件养殖的松浦镜鲤(*Cyprinus carpio* var. *songpu mirror*)在越冬前后的生长过程, 比较实验鱼在 125 d(越冬前)、170 d(结冰初期)及 325 d(越冬后)的形态、组织结构及生化组成变化, 并探讨越冬后鱼体主要供能物质含量与越冬体重损失的关系。结果显示, 鲤 325 d 的体重(BW)、肥满度(CF)、脏体指数(VSI)、肝体指数(HSI)和肠体指数(ESI)均显著低于 125 d( $P<0.05$ ); 与 125 d 相比, 325 d 时的肝和前肠组织结构变化明显, 主要表现在肝细胞体积变小, 细胞界限模糊, 糖原和脂滴丢失。前肠直径、绒毛高度和肌层厚度均显著下降( $P<0.05$ ), 柱状上皮杯状细胞减少, 纹状缘萎缩; 鲤内脏脂肪和肝糖原含量在越冬期各测定时段均显著下降( $P<0.05$ ), 肌肉和全鱼蛋白质含量仅在冰下阶段(170~325 d)下降明显( $P<0.05$ )。越冬后肌肉蛋白质含量与体重损失率呈显著的负相关( $P<0.05$ ), 但内脏脂肪含量与越冬体重损失率无相关( $P>0.05$ )。以上结果表明, 越冬导致鲤体重相关的形体指标显著变化; 越冬长期饥饿引起了肝和前肠组织退化; 越冬期间鲤贮能物质的消耗存在阶段性, 在结冰前阶段(125~170 d), 能量来源以肝糖原和脂肪为主。在冰下阶段(170~325 d), 肝糖原、脂肪和蛋白质共同参与能量代谢。越冬后肌肉蛋白质含量可作为衡量越冬期体重损失程度的参考指标。

**关键词:** 松浦镜鲤; 越冬; 形态; 组织结构; 生化组成

中图分类号: S965

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)03-0460-09

对于高纬地区的温水性鱼类来说, 其生活史中第一个冬季至关重要。在越冬期间, 水温较低, 饵料匮乏, 鱼体代谢率下降, 主要消耗前期贮存的内源能量维持基本生命活动。国外学者关注越冬期野生鱼类初次越冬的能量消耗状况与成活率的关系, 以了解初次越冬对种群动力学的影响。多个研究显示, 大规格的当年鱼种具有更多的脂类贮备, 越冬成活率更高<sup>[1-5]</sup>。在模拟越冬的实验中发现, 饥饿虹鳟脂类贮备随实验时间增加逐步下降, 当下降至湿重的 1% 左右, 开始死亡<sup>[6]</sup>。由此可见, 野生鱼类初次越冬前的脂类贮备是其能否顺利越冬的关键因素。有关

越冬对养殖鱼类影响的研究仅在国内有少量报道, 且不全面。董圣英<sup>[7]</sup>对吉林水库越冬期镜鲤和丰鲤的脂肪酸变化进行过详细研究; 桂远明等<sup>[8]</sup>、吴垠等<sup>[9]</sup>同样在吉林水库对越冬期杂交鲤和镜鲤的血液学指标、代谢率及血清蛋白组分变化进行过系统分析; 最近, 笔者在黑龙江地区鲤的越冬实验中证实, 越冬期鲤体重损失存在个体差异, 并影响二龄生长, 但这种差异的成因仍不清楚<sup>[10]</sup>。中国东北属高纬地区, 鱼类需经历长达约 5 个月的冰下生活, 环境的变化对初次越冬的养殖鱼类产生哪些影响, 鱼体如何适应环境的改变, 相关研究仍十分有限。

收稿日期: 2014-09-15; 修订日期: 2014-11-27.

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46-02); 中央级公益性科研院所基本科研业务费资助项目(HSY201302); 黑龙江省科技攻关计划项目(GC12B708).

作者简介: 于淼(1987-), 男, 硕士研究生, 主要从事鱼类遗传育种研究. E-mail: yumiao153000@163.com

通信作者: 石连玉, 研究员. Email: sly2552@yahoo.com.cn

松浦镜鲤(*Cyprinus carpio* var. *songpu mirror*)是黑龙江水产研究所在德国镜鲤选育系(F<sub>4</sub>)的基础上育成的鲤新品种。该鱼在鳞被、生长以及抗逆、抗病性方面均显著优于镜鲤选育系,已逐步成为中国主要的鲤养殖品种<sup>[11]</sup>。本研究以松浦镜鲤为研究对象,在越冬期不同时段,从形态学、组织学及生化组成等三方面综合分析越冬对鲤生存、生长的影响,探讨鲤越冬期内源能量消耗机制及越冬后鱼体主要供能物质同越冬体重损失的关系,为当年鱼种在北方越冬期及越冬后健康养殖提供科学依据和基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验鱼标记和越冬养殖

实验用松浦镜鲤鱼种来自黑龙江水产研究所松浦实验站,所有个体均为2013年5月同期孵化,同条件养殖。于2013年9月28日,随机挑选规格整齐、体格健壮的个体400尾,测量体重(body weight, BW)、体长(body length, BL),取规格为体重(248.87±15.75) g,体长(18.3±0.64) cm,采用肌肉埋植 PIT 标记(Trovan ID 100A, 英国)的鱼进行实验。将实验鱼置于工厂化车间暂养3 d,未发现死亡个体,浸泡消毒后,转入越冬池(50 m×40 m×3 m)。在越冬期间,实验鱼均停食,室外越冬池水体含氧量不低于4 mg/L,每日记录越冬池底层(水深约2.5 m)水温,实验期水温情况如图1所示。

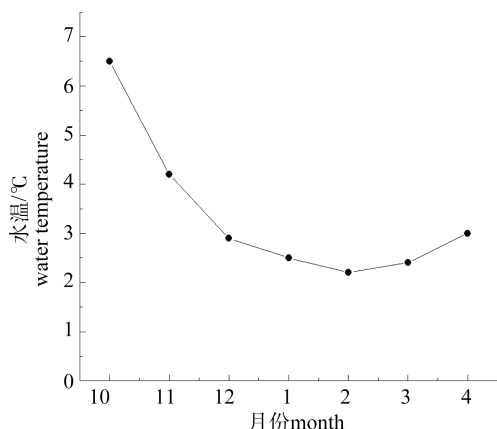


图1 实验期间鲤越冬池底层水温

Fig.1 The monthly average of bottom water temperature in overwintering ponds for *Cyprinus carpio*

### 1.2 样品采集与分析

分别于2013年9月28日(越冬前)、2013年11月11日(结冰初期)和2014年4月25日(越冬后)进行取样。每次随机取50尾,用MS-222麻醉,记录标记号,测量体重和体长。将25尾置于-20℃保存,用于全鱼生化组成测定;将剩余25尾鱼解剖,测内脏重(visceral weight, VW),剥离肝和肠,测肝重(hepatic weight, HW)、肠重(intestin weight, IW)和肠长(intestin length, IL)。取侧线与背鳍之间的肌肉并称重。将上述样本置-20℃保存,用于形态指标及内脏和肌肉的生化组成检测。取肝和肌肉各1 g,迅速置液氮速冻,并转入-80℃保存,用于糖原含量测定。从上述25尾鱼中随机选择10尾,另取肝和前肠(各2小块),各组织分别用Bouin's液和Carnoy's液固定24 h,转置70%乙醇中保存,用于组织学实验。

肝和前肠样本经梯度酒精脱水、二甲苯透明、常规石蜡包埋并切片,制成5 μm连续切片。组织结构分析采用苏木精-伊红(HE)染色,肝糖原分析采用PAS法染色。染色后的切片经脱水透明,用中性树胶封片,置于Carl Zeiss显微镜观察并拍照。利用Motic Images plus 2.0软件对前肠形态指标进行测量。生化组成分别以下述方法检测:粗蛋白采用凯氏定氮法(GB/T6432-1994);粗脂肪采用索氏乙醚抽提法(GB/T6433-1994);水分采用105℃恒温烘干失重法(GB/T6435-1994);粗灰分采用550℃灼烧法(GB/T5009.4-2003);总能量采用XRY-1A弹式热量计(上海)测定;糖原采用肝/肌糖原试剂盒(南京建成生物公司)测定。

### 1.3 数据处理和统计

实验相关参数采用以下公式计算:肥满度(condition factor, CF) (%) =  $100 \times BW / BL^3$ ; 脏体指数(visceral ratio, VSI) (%) =  $100 \times VW / BW$ ; 肝体指数(hepatosomatic ratio, HSI) (%) =  $100 \times HW / BW$ ; 肠体指数(intestinosomatic index, ISI) (%) =  $100 \times IW / BW$ ; 肠长指数(intestinal length index, ILI) (%) =  $100 \times IL / BL$ ; 越冬体重损失率(overwintering body weight loss rate, WLR) (%) =  $100 \times (BW_{325} - BW_{125}) / BW_{125}$ 。式中BW表示体重, BL为体长,

VW 为内脏重, HW为肝重, IW为肠重, IL为肠长,  $BW_{325}$ 和 $BW_{125}$ 分别为越冬后和越冬前体重。WLR参考Bauer等<sup>[12]</sup>提供的方法计算。

利用 SPSS 21.0 和 ORIGIN 8.0 软件进行数据处理和分析, 结果以平均值 $\pm$ 标准误( $\bar{x} \pm SE$ )表示,  $P < 0.05$  时认为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 鲤越冬期形态指标的变化

鲤在越冬不同时段形态指标变化见图 2。由图 2 可见, 与越冬前(125 d)相比, 鲤体重

(BW)(图 2A)、肥满度(CF)(图 2B)、脏体指数(VSI)(图 2C)、肝体指数(HSI)(图 2D)和肠体指数(ESI)(图 2E)均在越冬后(325 d)显著下降( $P < 0.05$ )。其中 VSI 在越冬各测定时段均呈显著下降, 而 BW 和 CF 在结冰前阶段(125 d~170 d)呈显著下降( $P < 0.05$ ), 在冰下阶段(170~325 d)未发生明显降低; HSI 和 ESI 的变化与 BW 和 CF 不同, 二者在结冰前阶段(125~170 d)下降并不明显, 但在冰下阶段(170~325 d)显著下降( $P < 0.05$ )。鲤体长(BL)和肠长指数(ILI)在各检测时段的变化均不显著(图 2F, 图 2G)( $P > 0.05$ )。

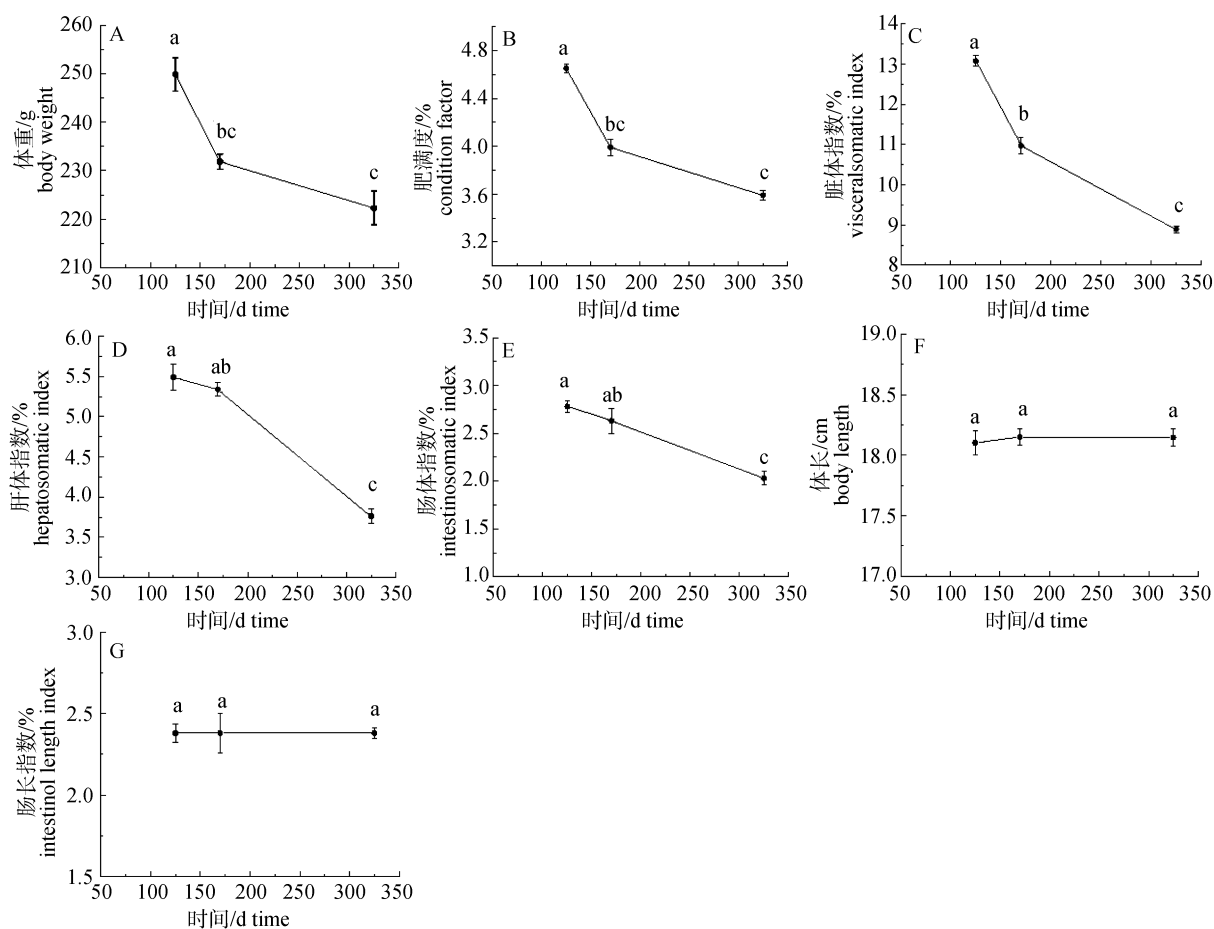


图 2 鲤越冬期形态指标的变化

A. 鲤越冬期体重的变化; B. 鲤越冬期肥满度的变化; C. 鲤越冬期脏体指数的变化; D. 鲤越冬期肝体指数的变化; E. 鲤越冬期肠体指数的变化; F. 鲤越冬期体长的变化; G. 鲤越冬期肠长指数的变化。字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Fig.2 The change of morphological indexes during overwintering period in *Cyprinus carpio*

A. The change of body weight during overwintering period in *Cyprinus carpio*. B. The change of condition factor during overwintering period in *Cyprinus carpio*. C. The change of visceralsomatic index during overwintering period in *Cyprinus carpio*. D. The change of hepatosomatic index during overwintering period in *Cyprinus carpio*. E. The change of intestinosomatic index during overwintering period in *Cyprinus carpio*. F. The change of body length during overwintering period in *Cyprinus carpio*. G. The change of intestinal length index during overwintering period in *Cyprinus carpio*. Different letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

## 2.2 鲤越冬期肝和前肠的组织结构的变化

鲤越冬期不同时间段的肝组织学结构见图 3(A~F)。由图 3A 可见, 在越冬前(125 d), 鲤肝细胞排列整齐、密集, 细胞边界清晰。细胞内含大量脂质颗粒, 细胞核位于细胞一侧。肝细胞内糖原含量丰富(图 3D)。与越冬前相比, 在结冰初期(170 d), 鲤肝细胞排列疏松, 少部分开始萎缩, 但结构完整。细胞内仍有较多脂质颗粒, 细胞核仍位于细胞一侧(图 3B)。细胞内糖原含量明显减少(图 3E); 越冬后(325 d)的肝细胞体积明显缩小, 大部分细胞膜破裂, 胞质丢失, 细胞间界限模糊。

细胞内脂质颗粒明显减少, 核移至中位(图 3C)。细胞内糖原消耗殆尽(图 3F)。

鲤越冬期不同时间段的的前肠组织学结构见图 3(G~I)。由图 3G 可见, 在越冬前(125 d), 肠黏膜柱状上皮较高, 纹状缘排列整齐, 上皮细胞中分布有一定数量的杯状细胞; 与越冬前相比(125 d), 在结冰初期(170 d), 柱状上皮变矮, 纹状缘开始萎缩, 杯状细胞数量明显减少且变小(图 3H); 在越冬后(325 d), 柱状上皮萎缩程度加剧, 纹状缘退化严重, 杯状细胞消失(图 3I)。鲤越冬期前肠组织学部分指标的变化见表 1。由表 1 可见, 越冬期不

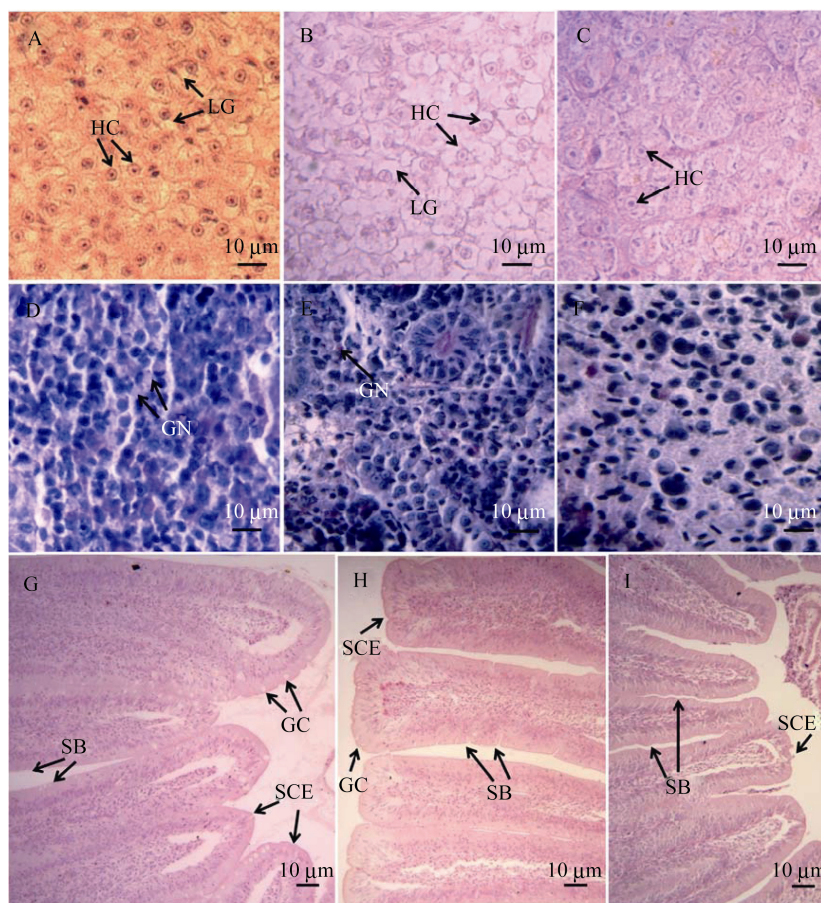


图 3 鲤越冬期肝和前肠的组织结构变化

A, B, C 分别代表 125 d(越冬前), 170 d(结冰初期), 325 d(越冬后)鲤肝组织学结构; D, E, F 分别代表 125 d, 170 d, 325 d 鲤肝糖原组织学结构; G, H, I 分别代表 125 d, 170 d, 325 d 鲤前肠组织学结构. HC: 肝细胞; LG: 脂质颗粒; GN: 糖原; SCE: 单层柱状上皮; GC: 杯状细胞; SB: 纹状缘。

Fig.3 The changes of the histological structure of liver and foregut during overwintering period in *Cyprinus carpio*

A, B, and C represent histology of liver at 125 d (before overwintering), 170 d (freezing beginning) and 325 d (after overwintering), respectively; D, E, and F represent histology of hepatic glycogen at 125 d, 170 d and 325 d, respectively; G, H, and I represent histology of foregut at 125 d, 170 d and 325 d, respectively. HC: hepatic cell; LG: lipid granule; GN: glycogen; SCE: simple columnar epithelium; SB: striated border.

表 1 鲤越冬期前肠组织学部分指标的变化

Tab. 1 The changes of partial indexes for foregut histology during overwintering period in *Cyprinus carpio*

组织结构 histological structure	越冬前 before overwintering	结冰初期 freezing beginning	越冬后 after overwintering
	125 d	170 d	325 d
肠直径/ $\mu\text{m}$ intestinal diameter	$5970.46\pm9.36^a$	$4830.45\pm11.67^b$	$3730.89\pm10.23^c$
肠绒毛高度/ $\mu\text{m}$ villus height	$1678.4\pm10.65^a$	$1384.3\pm9.61^b$	$1048.87\pm10.61^c$
肠肌层厚度/ $\mu\text{m}$ muscle layer thickness	$190.2\pm7.39^a$	$192.47\pm7.25^{ab}$	$105.26\pm8.39^c$

注：同行上标字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Values with different letters in the same line are significantly different ( $P<0.05$ ).

同检测时段，肠直径和绒毛高度均显著下降( $P<0.05$ )，125 d 和 170 d 的肠肌层厚度无明显差异，但二者均显著高于 325 d 的检测结果( $P<0.05$ )。

2.3 鲤越冬期主要生化组成的变化

鲤在越冬不同时段的主要生化组成变化如图 4 所示。由图 4A 可见，肌肉和全鱼蛋白质含量在结冰前阶段(125~170 d)无明显变化( $P>0.05$ )，但在冰下阶段(170~325 d)显著下降( $P<0.05$ )；内脏

蛋白质含量在越冬各检测时段均无显著变化( $P>0.05$ )。在 125~170 d，全鱼、肌肉和内脏脂肪含量均显著下降( $P<0.05$ )，在 170~325 d，仅内脏脂肪下降明显( $P<0.05$ ，图 4B)。全鱼水分含量在各测定时段均显著上升( $P<0.05$ )，但肌肉和内脏水分含量仅在 125~170 d 上升显著( $P<0.05$ ，图 4C)。内脏、肌肉和全鱼灰分均在 125~170d 显著上升( $P<0.05$ ，图 4D)，在 170~325 d 变化不明显

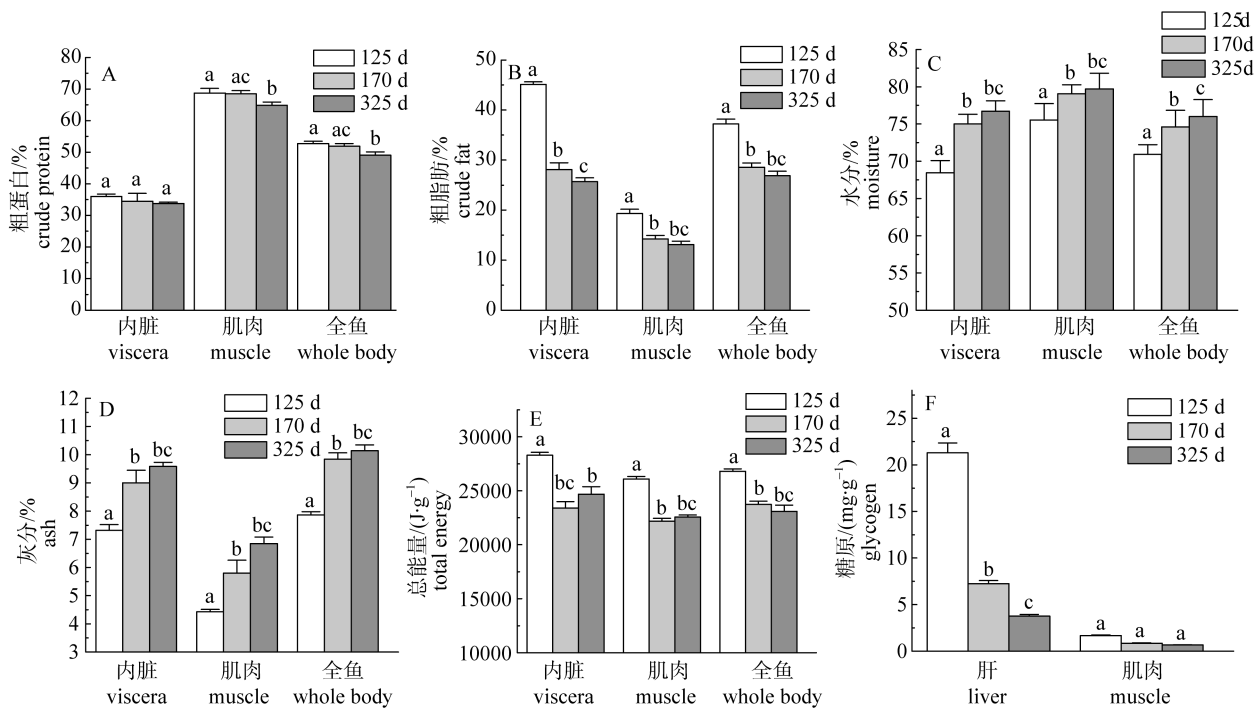


图 4 鲤越冬期生化组成的变化

A. 鲤越冬期粗蛋白含量的变化; B. 鲤越冬期粗脂肪含量的变化; C. 鲤越冬期水分含量的变化; D. 鲤越冬期灰分含量的变化; E. 鲤越冬期总能量的变化; F. 鲤越冬期糖原含量的变化。柱上字母不同表示不同时段间差异显著( $P<0.05$ )。

Fig. 4 The changes of biochemical composition during overwintering period in *Cyprinus carpio*

A. The change of crude protein content during overwintering in *Cyprinus carpio*; B. The change of crude fat content during overwintering in *Cyprinus carpio*; C. The change of moisture content during overwintering in *Cyprinus carpio*; D. The change of ash content during overwintering in *Cyprinus carpio*; E. The change of total energy content during overwintering in *Cyprinus carpio*; F. The change of glycogen content during overwintering in *Cyprinus carpio*. Bars with different letters indicate significant difference between different stages ( $P<0.05$ ).



( $P>0.05$ )。内脏、肌肉和全鱼总能量在 125~170 d 均呈显著下降( $P<0.05$ ), 在 170~325 d 无明显变化( $P>0.05$ , 图 E)。在越冬各检测时段, 肝糖原含量均显著下降( $P<0.05$ ), 但肌糖原含量均无明显变化( $P>0.05$ , 图 4F)。

2.4 鲤越冬后主要供能物质同越冬体重损失率的关系

鲤越冬后(325 d)主要供能物质与体重损失率的关系见图 5 和表 2。鲤越冬后肌肉蛋白质含量与体重损失率呈显著负相关( $P<0.05$ ), 越冬后内脏脂肪含量与体重损失率无显著关联( $P>0.05$ )。

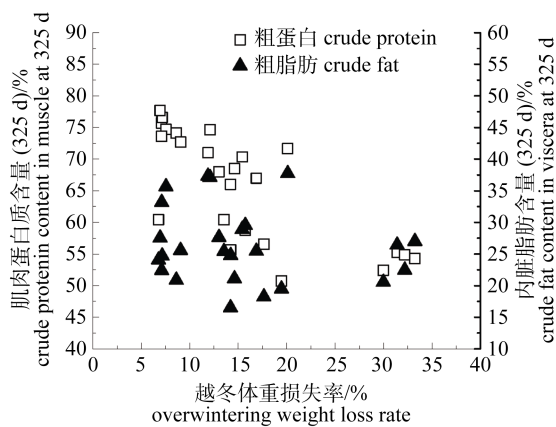


图 5 鲤越冬后(325 d)主要供能物质与越冬体重损失率的相关分析

Fig.5 Correlation analysis between major energetic materials after overwintering (325 d) and overwintering weight loss rate in *Cyprinus carpio*

表 2 鲤越冬后主要供能物质与越冬体重损失率的相关系数  
Tab.2 Correlation coefficient between major energetic materials after overwintering and overwintering weight loss rate in *Cyprinus carpio*

越冬后供能物质 energetic materials after overwintering	越冬体重损失率 overwintering weight loss rate
肌肉蛋白含量 crude protein content in muscle	-0.775*
内脏脂肪含量 crude fat content in viscera	-0.184

注: \*表示显著相关( $P<0.05$ ).  
Note: \* indicates significant correlation ( $P<0.05$ ).

3 讨论

笔者在黑龙江鲤、德国镜鲤选育系及荷包红鲤抗寒品系的越冬实验中发现, 3 个鲤品种(系)在

越冬前后体重均会发生不同程度的下降, 且在种内个体间存在较大差异, 但对体重损失规律并不清楚<sup>[10]</sup>。本研究以松浦镜鲤新品种为研究对象, 根据东北地区的鲤越冬生产习惯, 在结冰前和结冰后分别进行检测。松浦镜鲤体重和肥满度在结冰前阶段(125~170 d)显著下降, 在冰下阶段(170~325 d)变化不明显, 说明越冬初期对鲤体重的影响较大。这可能由于在结冰前阶段, 已停止投喂, 而该阶段温度是逐步下降的过程, 鱼体处于适应期, 活动相对较多, 因此贮能物质消耗较大。在结冰后, 水温较低且恒定, 在此期间鱼体基础代谢率维持较低水平, 活动较少, 能量消耗减少。这提示在将鱼种转入越冬池后, 应监测水温变化并酌情投喂, 直至池水结冰。在本研究中, 鲤脏体指数、肝体指数和肠体指数均在越冬前后发生了不同程度的变化。其中脏体指数在越冬不同时段(170d、325d)均显著低于越冬前(125 d), 而肝体指数和肠体指数均在 125~170 d 阶段变化不明显, 在 170~325 d 显著下降。这表明内脏贮能物质是鲤越冬期间重要能量来源, 在 125~170 d 阶段, 鱼体可能主要以消耗肠壁、性腺、肝、肠等器官外部沉积的脂肪来提供能量; 在 170~325 d 阶段, 肝、肠内部的贮能物质参与代谢供能。

在鱼体停止摄入外源营养后, 消化道失去食物刺激, 必然引起消化器官不同程度的退化或损伤。鱼类饥饿后, 通常肝和肠最先受到影响, 其次是胃和骨骼肌<sup>[13]</sup>。对于无胃鱼来说, 前肠起到有胃鱼胃的作用, 能够临时贮存食物, 是食物消化和吸收的主要部位, 因此受饥饿的影响最大<sup>[14]</sup>。本研究重点分析了越冬期饥饿对肝和前肠的组织结构的影响, 鲤肝组织结构的显著变化(脂滴丢失, 肝细胞溃散, 核仁解体等)发生于越冬前后(125~325 d), 在结冰前阶段(125~170 d)的变化并不明显。这与常温状态下南方鲇(*Silurus meridionalis*)<sup>[15]</sup>和银鲳(*Pampus argenteus*)<sup>[16]</sup>的短期饥饿即引起肝组织的明显损伤不一致, 说明饥饿对鱼类肝的影响可能与温度有关。将鲤肝在越冬不同阶段进行组织学切片, 可观察到鲤肝糖原明显减少。尽管本研究未进行肌糖原的组织学分析, 但

测量结果显示,肌糖原在各检测时期未发生明显变化。这与邓会山等在镜鲤<sup>[17]</sup>越冬过程中(11—4月)的研究结果一致。以上结果表明,越冬对鲤肝组织的影响更多体现在肝内主要供能物质即肝细胞内脂肪颗粒和糖原的消耗。与肝不同,越冬饥饿对鲤前肠的影响在不同阶段均十分明显,特别是对肠直径、绒毛高度和肌层厚度,这与在常温条件下,短期饥饿的南方鲇<sup>[15]</sup>和银鲈<sup>[16]</sup>的结果类似。由此可见,在不同温度条件下,鱼类饥饿对前肠的影响比对肝的影响更明显。鲤越冬期肝和肠的组织学结构改变支持在此期间肝体指数和肠体指数的变化趋势。

在越冬过程中,鱼体长期处于低温环境(4℃以下)和饥饿状态。目前,有关温水性养殖鱼类内源营养在越冬期利用规律方面的研究尚未见报道。在常温(20℃以上)条件下,不同鱼类在饥饿期间利用贮能物质供能的策略存在差异。草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)在短期饥饿(15 d)期间,主要利用肝糖原、肌糖原和脂肪,其次利用蛋白质<sup>[18]</sup>;大鳍鲃(*Mystus macropterus*)在12 d的饥饿状态下,主要利用肝糖原、肌糖原及蛋白质,其次是脂肪<sup>[19]</sup>;真鲷(*Pagrosomus major*)经15 d饥饿处理后,仅利用蛋白质供能<sup>[20]</sup>;幼鲤在短期饥饿(15 d)过程中,最先动用肝糖原和脂肪,然后是肌糖原,最后是蛋白质<sup>[21]</sup>。在本研究中,鲤在越冬期始终动用肝糖原和脂肪提供能量,未动用肌糖原,而蛋白质仅在冰下阶段(170~325 d)参与代谢供能。鲤越冬期贮能物质动员次序与同科的草鱼<sup>[18]</sup>和同属的幼鲤<sup>[21]</sup>短期饥饿结果相似,但与鲇形目的大鳍鲃<sup>[19]</sup>和鲈形目的真鲷<sup>[20]</sup>不同,说明温水性鱼类在饥饿状态下的供能方式与种类有关。另外,越冬期鲤并未动用肌糖原,且蛋白质动用的时间较晚(170 d后),这种能量供应方式与草鱼<sup>[18]</sup>和幼鲤<sup>[21]</sup>饥饿实验的报道不同。与肝糖原不同,肌糖原不能分解为血糖,只在鱼体需要大量能量而又供氧不足时通过糖酵解来满足肌肉对能量的需要。本研究中鲤在越冬期未动用肌糖原的原因可能在于越冬期的低水温使鱼体活动相对较少,肌肉不存在短时间内较大的能量需求;另外,在整个越冬期间,池水保持足够的溶氧,糖酵解作用受到

抑制。鲤在越冬期蛋白质动用规律可能是在长期进化过程中形成的越冬适应性策略之一。针对总能量的测定结果不难发现,鲤越冬前积累的能量主要在前期(125~170 d)消耗。在170~325 d,尽管内脏脂肪、肌肉和全鱼蛋白质及肝糖原均有明显下降,但总能量变化不显著。这一方面可能由于上述供能物质在此阶段的下降程度不足以带来总能量的显著改变。另一方面原因可能在于越冬后出池水温达到了10℃以上,鲤能摄取底泥中残留的营养物质,这会导致总能的微小变化。

根据以往的报道,鲤越冬期间体重损失率在个体间存在差异,越冬体重损失差异可能是造成个体间越冬后生长差异的原因之一<sup>[10]</sup>。为了解越冬后鲤生化组成与越冬体重损失的关系,本研究分析了越冬后鱼体主要供能物质,内脏脂肪含量和肌肉蛋白质含量与越冬体重损失率的关系。结果发现,越冬后肌肉蛋白质含量与越冬体重损失率(WLR)呈显著的负相关,而内脏脂肪与WLR无明显关联。作为越冬期主要能量来源,越冬后鲤可用于燃烧供能的脂肪已处于较低水平,个体间差异较小。与内脏脂肪不同,肌肉蛋白质含量仅在冰下阶段开始消耗,且在此期间,脂肪和糖原供能并未停止,个体间肌肉蛋白质的消耗可能存在一定的差异。越冬后肌肉蛋白质含量与WLR的关系说明越冬体重损失较大的个体可能动用了更多肌肉蛋白质供能,这是否会影响到越冬后的恢复进而导致越冬后个体间的生长差异仍有待进一步研究。但要指出,在越冬初期鲤体重下降剧烈,此时肌肉蛋白质并未参与供能,因此二者的真实关联需要扩大样本深入研究。

综上所述,在东北池塘养殖条件下,鲤在越冬期的形体、组织结构及生化组成均发生了不同程度的变化。与体重相关的形体指标在越冬前后均显著下降;越冬期鲤肝贮能物质消耗显著,前肠明显发生了不同程度的退化和损伤;在整个越冬期,脂肪和糖原持续供能,而肌肉蛋白质在冰下阶段开始消耗;越冬后肌肉蛋白水平能体现越冬期体重损失程度。

参考文献:

- [1] Garvey J E, Wright R A, Stein R A. Overwinter growth and

- survival of age-0 largemouth bass (*Micropterus salmoides*): Revisiting the role of body size[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1998, 55: 2414–2424.
- [2] Fullerton A H, Garvey J E, Wright R A, et al. Overwinter growth and survival of largemouth bass: Interactions among size, food, origin, and winter severity[J]. Trans Am Fish Soc, 2000, 129(1): 1–12.
- [3] Connolly P J, Petersen J H. Bigger is not always better for overwintering young-of-year steelhead[J]. Trans Am Fish Soc, 2003, 132(2): 262–274.
- [4] Shoup D E, Wahl D H. The effect of largemouth bass predation on overwinter survival of two size-classes of age-0 bluegills[J]. Trans Am Fish Soc, 2008, 137(4): 1063–1071.
- [5] Siddon E C, Heintz R A, Mueter F J. Conceptual model of energy allocation in walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) from age-0 to age-1 in the southeastern Bering Sea[J]. Deep Sea Res Part II, 2013, 94(1): 140–149.
- [6] Biro P A, Morton A E, Post J R, et al. Over-winter lipid depletion and mortality of age-0 rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2004, 61: 1513–1519.
- [7] Tong S Y. Changes of fatty acid composition in carp during winter[J]. Journal of Fisheries of China, 1997, 21(4): 373–379. [童圣英. 四种鲤科鱼类越冬时脂肪酸组成的变化[J]. 水产学报, 1997, 21(4): 373–379.]
- [8] Gui Y M, Wu Y, Zhu G Q, et al. Changes on physiological and biochemical index for Chinese carps in winter I-Blood index and energy metabolism[J]. Journal of Dalian Fisheries College, 1994, 9(3): 15–27. [桂远明, 吴垠, 祝国芹, 等. 几种养殖鱼类越冬生理生化指标的变化 I: 血液指标及代谢率[J]. 大连水产学院学报, 1994, 9(3): 15–27.]
- [9] Wu Y, Zheng F, Gui Y M, et al. Changes on physiological and biochemical index for Chinese carps in winter III-Serum protein composition[J]. Journal of Dalian Fisheries College, 1995, 10(4): 19–26. [吴垠, 张峰, 桂远明, 等. 几种养殖鱼类越冬生理生化指标的变化 III-血清蛋白组分[J]. 大连水产学院学报, 1995, 10(4): 19–26.]
- [10] Hu X S, Li C T, Xu W, et al. The preliminary study on growth performance and overwintering weight loss of Heilongjiang carp, selective line of German mirror carp and the cold-resistant line of Hebao red carp[J]. Journal of Fisheries of China, 水产学报, 2010, 34 (8): 1182–1189. [胡雪松, 李池陶, 徐伟, 等. 黑龙江鲤, 德国镜鲤选育系与荷包红鲤抗寒品系生长及越冬体重损失的初步研究[J]. 水产学报, 2010, 34 (8): 1182–1189.]
- [11] Li C T, Zhang Y Y, Jia Z Y, et al. Comparative studies on measurable characters and the number of scales in Songpu mirror carp and German mirror carp selection strain (F<sub>4</sub>)[J]. Chinese Journal Fisheries, 2009, 22(2): 53–61. [李池陶, 张玉勇, 贾智英, 等. 松浦镜鲤与德国镜鲤选育系(F<sub>4</sub>)的可量性状、鳞片数比较[J]. 水产学杂志, 2009, 22(2): 53–61.]
- [12] Bauer C, Schlott G. Overwintering of farmed common carp (*Cyprinus carpio* L.) in the ponds of a central European aquaculture facility-measurement of activity by radio telemetry[J]. Aquaculture, 2004, 241(1–4): 301–317.
- [13] Hu L, Wu T X. Effects of starvation on physiology and biochemistry[J]. Reservoir Fisheries, 2007, 27(1): 7–9. [胡麟, 吴天星. 饥饿对鱼类生理生化的影响[J]. 水利渔业, 2007, 27(1): 7–9.]
- [14] Du J, Xu G F, Han Y, et al. Research progress in the histology of the digestive tract of fish[J]. Chinese Journal Fisheries, 2009, 22(4): 56–64. [杜佳, 徐革锋, 韩英, 等. 鱼类消化道组织学研究进展[J]. 水产学杂志, 2009, 22(4): 56–64.]
- [15] Song Z B, He X F. Effects of starvation on morphology and histology of digestive system in larval and juvenile *Silurus meridionalis* Chen[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2000, 24(2): 155–160. [宋昭彬, 何学福. 饥饿对南方鲇仔稚鱼消化系统的形态和组织学影响[J]. 水生生物学报, 2000, 24(2): 155–160.]
- [16] Gu J W. Effects of starvation on biochemical composition and digestive system histology in juvenile *Pampus argenteus*[D]. Ningbo: Ningbo University, 2011: 33–41. [谷江稳. 饥饿胁迫对银鲳幼鱼体成分及消化系统组织学的影响[D]. 宁波: 宁波大学, 2011: 33–41.]
- [17] Deng H S, Wang J Q, Zhang X C. The changes in biochemical constituents in serum, liver and muscular tissues of German mirror carp under different periods of starvation[J]. Journal of Dalian Fisheries College, 1993, 8(4): 57–61. [邓会山, 王吉桥, 张喜昌. 饥饿不同时间德国镜鲤 (*Cyprinus carpio*)血清、肝及肌组织生化成分的变化[J]. 大连水产学院学报, 1993, 8(4): 57–61.]
- [18] Shen W Y, Lin H R, Zhang W M. Effects of starvation and refeeding on biochemical composition of grass carp (*Ctenopharyngodon Inellus*) fingerling[J]. Acta Zoologica Sinica, 1999, 45(4): 404–412. [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.]
- [19] Ma S, Jiang H B, Yao J J. Biochemical composition, amino acid and fatty acid composition of *Mystus macropterus* under short-term starvation[J]. Journal of Hydroecology, 2010, 3(2): 61–65. [马珊, 姜海波, 姚俊杰. 短期饥饿对大鳍鱮生化组成、氨基酸和脂肪酸组成的影响[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(2): 61–65.]
- [20] Zhang B, Sun Y, Tang Q S. The effects of starvation on



- growth and biochemical composition in *Pagrosomus major*[J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(3): 206–210. [张波, 孙耀, 唐启升. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(3): 206–210.]
- [21] Kong J. Effects of starvation and re-feeding on biochemical composition in *Cyprinus carpio* juveniles[Z]. Chinese Science Paper Online, <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/200704-550>. [孔翦. 饥饿和再投喂对鲤鱼幼鱼生化组成的影响[Z]. 中国科技论文在线. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/200704-550>.]

## Changes in morphology, histological structure, and biochemical composition during overwintering in Songpu mirror carp, *Cyprinus carpio* var. *songpu mirror*

YU Miao<sup>1,2</sup>, HU Xuesong<sup>2</sup>, LI Chitao<sup>2</sup>, SHI Lianyu<sup>2</sup>

1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, National and Local United Engineering Laboratory for Freshwater Fish Breeding, Key Laboratory of Freshwater Aquatic Biotechnology and Genetic Breeding, Ministry of Agriculture, Harbin 150070, China

**Abstract:** Common carp(*Cyprinus carpio*) is the main fish species cultured in ponds at high latitudes in northern China, where there are long and cold winters. Common carp reaches market size after a 5-month overwintering period in northeast China. Thus, it is critical to understand the effects of overwintering on the survival and growth of cultured fish. In this study, the growth of Songpu mirror carp (*Cyprinus carpio* var. *songpu mirror*) was monitored using passive integrated transponders before and after overwintering. All fish were hatched at the same time and cultured under the same conditions. Morphological indices, liver and foregut histological structure, and biochemical composition of the viscera, muscle, and whole body were analyzed at 125 d (before overwintering), 170 d (beginning of freezing), and 325 d (after overwintering). Furthermore, the correlation between major energetic material at 325 d and overwintering body weight loss rate (WRL) was evaluated. The results showed that body weight (BW), condition factor (CF), visceral-somatic index (VSI), hepatosomatic index (HIS), and intestine-somatic index (ISI) decreased significantly over the entire overwintering period (125–325 d) ( $P<0.05$ ). Significant degeneration of histological structures for the hepatic and foregut was observed during 125–325 d. Hepatic cells shrank, and the boundaries between hepatic cells were blurred. The abundant hepatic glycogen and lipid stores present before winter disappeared after winter. Foregut diameter, villus height, and muscle layer thickness decreased significantly after winter compared with those before winter ( $P<0.05$ ), and the striated borders of the foregut were clearly atrophied. Visceral fat and hepatic glycogen contents were significantly attenuated at each sampling period ( $P<0.05$ ). However, whole-body and muscle protein contents only decreased significantly during 170–325 d ( $P<0.05$ ). In addition, a significant negative correlation was detected between muscle protein content at 325 d and WRL ( $P<0.05$ ), but no association was found between visceral fat at 325 d and WRL( $P>0.05$ ). Taken together, these results suggest that overwintering led to significant changes in the morphological indices based on common carp BW. Degeneration of the hepatic and foregut histological structures resulted from chronic hunger during the winter. The stages of consuming endogenous energy during the winter varied. Hepatic glycogen and fat were used initially during 125–170 d, whereas hepatic glycogen, fat, and protein were used for energy expenditure during 170–325 d. Muscle protein content after the winter could be useful as a reference indicator for WRL.

**Key words:** *Cyprinus carpio* var. *songpu mirror*; overwintering; morphology; histological structure; biochemical composition

**Corresponding author:** SHI Lianyu. E-mail: sly2552@yahoo.com.cn