

太湖梅梁湾生物控藻围栏内鲢、鳙比肠长和比肝重的动态变化

柯志新¹, 谢平², 过龙根², 徐军², 周琼³

(1. 中国科学院南海海洋研究所海洋生物资源可持续利用重点实验室, 广东 广州 510301;
2. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072; 3. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:为了解滤食性鱼类的消化生理指标及其生态适应性, 2005年1-10月, 调查了太湖梅梁湾生物控藻围栏中鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)在不同生长阶段的比肠长和比肝重指数的动态变化, 分析了比肠长和比肝重与温度、体长、体重以及饵料组成的关系。结果表明, 鲢、鳙比肠长和比肝重的季节变化都非常明显, 比肠长均值分别为9.66和5.73, 夏季的比肠长均明显增大。总的来看, 鲢的比肠长和季节变化幅度均大于鳙, 表明在滤食和消化浮游植物上, 鲢具有更强的环境适应能力; 鲢、鳙的比肠长与水温显著正相关(鲢 $P < 0.01$; 鳙 $P < 0.05$), 而与体长、体重以及饵料组成的相关性不显著; 温度导致的摄食强度变化应是鲢、鳙比肠长季节变化的主要原因。鲢、鳙的比肝重均值分别为1.57%和1.91%, 鳙的比肝重明显大于鲢, 这可能与鳙摄食更多的浮游动物有关; 鲢、鳙的比肝重与温度、体长、体重以及饵料组成均有显著的相关性($P < 0.05$), 表明生物个体的形态特征与其所利用的资源环境有非常紧密的联系。

关键词:比肠长; 比肝重; 鲢; 鳙; 太湖

中图分类号:Q142 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2012)03-0009-05

近年来, 由于湖泊富营养化状况的加剧, 越来越频繁的蓝藻水华爆发成为困扰众多湖泊和水库的一个严重问题(Carmichael, 2001)。放养鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)被认为是控制蓝藻水华的有效措施之一, 并在很多水体得到了应用(谢平, 2003)。关于鲢、鳙的生态学研究很多, 一般都是关注其食性组成和控藻效果(陈少莲, 1982; Dong & Li, 1994; Xie, 1999); 目前, 对鲢、鳙消化生理、消化器官的特征及其变化的报道还较少。

环境条件的差异会导致生物体各组织器官产生相应的可塑性变化, 生物体的这些表型可塑性能力被认为与其环境适应能力有关(Relyea & Auld, 2004)。鱼类的比肝重和比肠长是对长期和短期营养方式都很敏感的指标(尾崎久雄, 1983)。肝脏是鱼类中间代谢的主要器官, 在糖类、脂类、蛋白质和维生素等营养物质的代谢中发挥着重要作用; 同时,

肝脏还是鱼类重要的营养储存所, 在营养不良或营养过剩时, 肝脏的重量会发生显著变化。一般硬骨鱼类的比肝重指数为1%~2%, 监控比肝重指数的变化可以更好地了解鱼体的营养状况。比肠长指数被认为是鱼类中使用最广泛、最实用的消化道参数之一(Elliott & Bellwood, 2003), 反映鱼类食性的主要特征。比肠长的大小实际上从一个侧面反映了食物消化的难易程度, 肉食性鱼类的肠较短, 为体长的1/3~3/4, 草(藻)食性和杂食性鱼类的肠道较长, 可达体长的2~5倍, 甚至达15倍(尾崎久雄, 1983; 童裳亮, 1988)。同一种类的比肠长随饵料质量和生活环境也会产生较大的差异, 如敞水区生活的河鲈(*Perca fluviatilis*)比沿岸带生活的具有更流线型的体型和更长的消化道系统(Svanbäck & Eklöv, 2003; Olsson et al, 2007)。研究鱼类组织器官的可塑性变化与环境因子的联系, 对了解其环境适应机制和生物进化有非常重要的意义。

滤食性鲢、鳙的食物组成常随水体中饵料资源变化而变化, 食物生态位较宽(陈少莲, 1982; Dong & Li, 1994; Ke et al, 2008); 目前尚无关于不同环境和食物资源下鲢、鳙的比肠长和比肝重变化趋势研究。本次试验调查了2005年太湖梅梁湾控藻围栏内鲢、鳙的比肠长和比肝重的动态变化, 探讨这些特征与体长和饵料质量的关系, 旨在为了解滤食性鱼类的消化生理特征及其生态适应性提供帮助。

收稿日期: 2012-01-07

基金项目: 国家863科技计划(2002AA601011); 国家973科技计划项目(2008CB418006-4); 国家自然科学基金(41006066); 中国科学院南海海洋研究所青年人才基金项目(SQ200907)。

通讯作者: 谢平。E-mail: xieping@ihb.ac.cn

作者简介: 柯志新, 1976年生, 男, 博士, 主要从事水生生态学方面的研究。E-mail: kzx@scsio.ac.cn

1 材料与方法

1.1 研究地点

梅梁湾位于太湖北部,面积约为 100 km²,水深 1.8~2.3 m;不仅是无锡市的主要水源地,而且是一个重要的旅游景点。在过去的 20 年,微囊藻水华在这个水域频繁暴发,目前已经成为太湖污染最严重的水域(秦伯强等,2007)。为了控制蓝藻水华的发生,3 个放养鲢、鳙的大型围栏被设置在太湖梅梁湾充山自来水厂取水口前方的水域(图 1),该工程也是梅梁湾水源地生态修复工程的一部分。每个养鱼围栏的面积约为 0.36 km²,围栏的网目规格是 2 cm。2005 年初鲢、鳙鱼种的投放密度约为 14 g/m³,到年底捕捞时,鲢、鳙的总密度达到 60 g/m³,鲢与鳙的放养比例接近 7:3(Ke et al, 2007)。

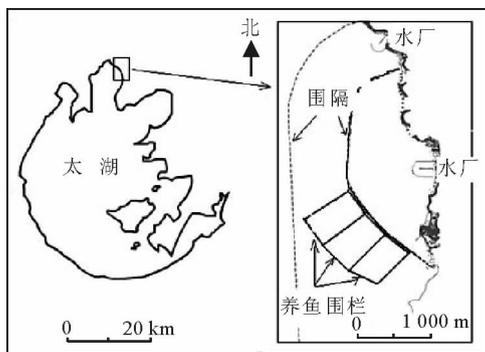


图 1 太湖梅梁湾控藻围栏地形示意

Fig. 1 The sketch of Lake Taihu and the location of fish pens in Meiliang Bay

1.2 采样方法

采样时间为 2005 年 1-10 月,每月采集鱼的样本 1 次,每次从中间围栏内用丝网捕捞鲢、鳙各 20~100 尾,现场测定并记录体长、体重参数;随机选取鲢、鳙各 5 尾,放入加有冷冻冰块的便携式冰箱中带回实验室作解剖用。在每月鱼类采样的同时,用温度计测定围栏内的水温。在实验室测量鱼的体长

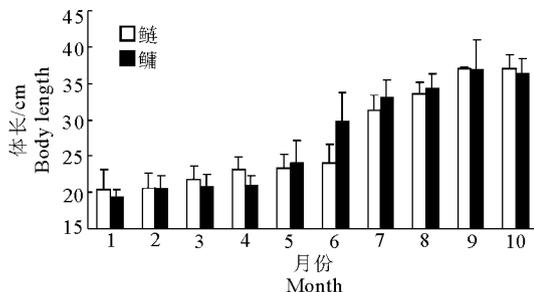


图 3 2005 年 1-10 月围栏内鲢、鳙的体长和体重

和体重,解剖取出肠道,测量整个肠道的长度,分离出肝胰腺并称量。由于鲢、鳙均属无胃鱼类,肠道长度的测量是从食道以后至肛门的距离。比肠长指数用下列公式计算:比肠长 = 肠道总长 (cm) / 鱼的标准体长 (cm)。比肝重指数是指鱼类的肝胰腺重与体重之比,计算公式为:比肝重 = (肝胰腺重 / 体重) × 100%。鲢、鳙肠含物组成的数据来自 Ke 等 (2007)。

2 结果

2.1 水温与鲢、鳙的生长

2005 年 1-10 月围栏内的平均水温为 19℃,1 月水温最低,然后逐渐升高,8 月达到最高水温 31.2℃,之后开始逐渐下降(图 2)。围栏内的鲢、鳙都表现出了较快的生长速度。放养时鲢、鳙体长为 20 cm 左右,到 10 月份体长已经将近增加了 1 倍。鲢、鳙的体重在放养时不到 200 g,而在 10 月则普遍超过了 1 100 g,鱼体增重在 5 倍以上(图 3)。从体长、体重变化趋势来看,5-9 月是鲢、鳙生长的高速期,其中鲢在 6-7 月的生长速度最快,鳙在 5-6 月的生长速度最快。整体来看,鳙的生长速度比鲢略快,10 月围栏内鲢、鳙的平均体重分别达到 1 113 g 和 1 245 g。

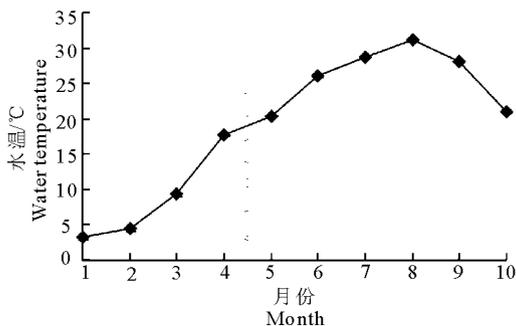


图 2 2005 年 1-10 月围栏内的水温变化

Fig. 2 Seasonal dynamics of water temperature in fish pens from January to October in 2005

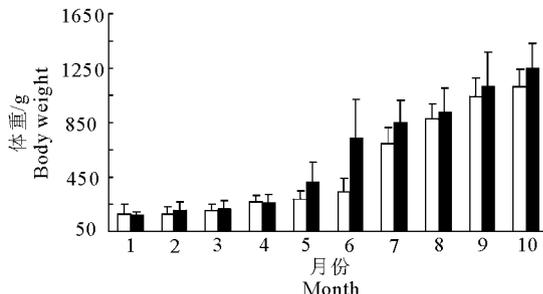


Fig. 3 Body length and body weight of silver carp and bighead carp in fish pens from January to October in 2005

2.2 鲢、鳙比肠长的变化

研究期间,鲢、鳙的比肠长随时间和鱼类的生长发生了明显的规律性变化。1-3月鲢、鳙的比肠长较小,然后逐渐增加,夏季达到最大值,然后又逐渐减小(图4)。2种鱼比肠长的季节变化规律相似,但鳙的比肠长变动幅度和规律性远不如鲢。1-10月鲢的比肠长指数平均为9.66,鳙的比肠长指数平均为5.73。鲢的比肠长远大于鳙,平均为鳙比肠长的1.67倍,二者的差别在8月最大,达到2.08倍。鲢、鳙最大的比肠长比均发生在6月,分别为13.45和6.83;最小的比肠长均发生在2月,分别为6.82和4.84。

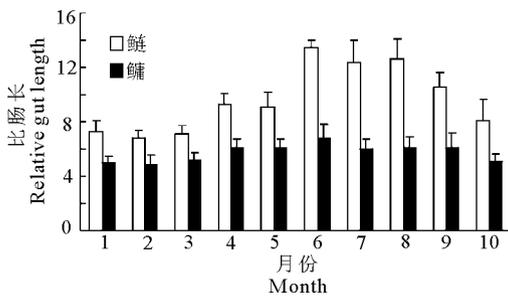


图4 2005年1-10月围栏内鲢、鳙比肠长的变化

Fig. 4 Relative gut length of silver carp and bighead carp in fish pens from January to October in 2005

2.3 鲢、鳙比肝重的变化

研究期间,鲢、鳙的比肝重指数随时间均呈现出相似的规律性变化,1-3月,比肝重指数逐渐增加;3-8月比肝重指数呈逐渐减小的趋势;在8月达到最低值后又开始增加(图5)。鲢的比肝重指数平均为1.57%,鳙的比肝重指数平均为1.91%。在大多数月份,鳙的比肝重指数大于鲢。鲢、鳙的最大比肝重都发生在3月,分别为2.16%和3.48%;最小的比肝重都发生在8月,分别为1.16%和0.96%。

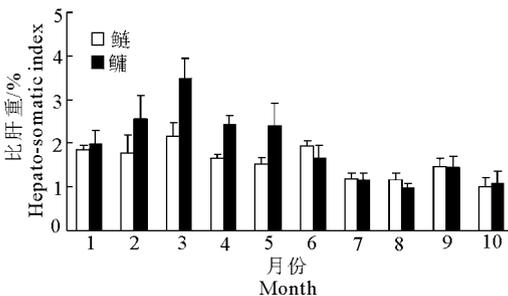


图5 2005年1-10月围栏内鲢、鳙比肝重指数的变化

Fig. 5 Seasonal dynamics of hepato-somatic indexes of silver carp and bighead carp from January to October in 2005

2.4 比肠长和比肝重与温度等因子的相关关系

Ke等(2007)在2005年对本控藻围栏内的鲢、

鳙的肠含物组成每月进行了监测,本次用于相关分析的鲢、鳙肠含物数据便来自于该研究。相关分析表明,鲢、鳙的月平均比肠长与温度均呈显著的正相关,与体长体重以及饵料组成的相关性均没有达到显著水平(表1),但鲢的月平均比肠长与肠含物中浮游植物的比例正相关性接近显著水平($P=0.056$)。鲢、鳙月平均比肝重与温度、体长、体重以及饵料中浮游植物的比例均呈负相关关系,并且多数达到极显著水平;鲢、鳙的月平均比肝重与肠含物中浮游动物的比例呈显著的正相关(表1)。

表1 鲢、鳙月均比肠长、比肝重与温度等因子的相关系数

Tab. 1 Correlation coefficients among relative gut length, hepato-somatic index of silver carp and bighead carp and environmental factors

鱼名	项目	温度	体长	体重	肠中浮游植物	肠中浮游动物
鲢	比肠长	0.875 **	0.428	0.386	0.620	-0.534
	比肝重	-0.623 *	-0.817 **	-0.820 **	-0.711 **	0.733 **
鳙	比肠长	0.764 *	0.371	0.312	0.499	-0.268
	比肝重	-0.710 *	-0.843 **	-0.835 **	-0.894 **	0.702 *

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

3 讨论

3.1 鲢、鳙比肠长的可塑性变化

消化系统的构造和食物质量之间存在着强烈的关联性(Sibly, 1981)。当食物质量在时间或空间上发生变化时,动物的消化器官就也会产生一些相应的可塑性变化(童裳亮, 1988; Hammond, 1993)。Ke等(2007)对2005年本控藻围栏内每月的鲢、鳙肠含物组成分析发现,鲢、鳙的食物质量在不同月份差异很大;春季,鲢、鳙肠道内均以浮游动物占多数,在夏季水华发生后,则都以浮游植物占多数(图6)。对比分析发现,在7-8月,鲢、鳙大量摄食微囊藻时,其比肠长达到最大,而比肝重最小。理想摄食理论认为,个体消化系统会随着饵料消化功能的需要而发生相应的进化(Sibly, 1981; Starck, 1999)。例如,当食物纤维质含量升高或摄食量增加的情况下,鸟类会发展出更长的肠长来适应这种变化(Batlevym & Piersma, 2005)。Olsson等(2007)通过对河鲈的野外观察和室内实验后指出,它们在摄食低质难消化的食物时往往能发展出更长的肠道系统。动物的消化道长度总是能在食物的消化需要和发展消化器官所需的能量之间找到一种平衡(Sibly, 1981)。鱼类的肠道长度一般是植食性大于杂食性,而杂食性又大于肉食性(尾崎久雄, 1983);本次研究结果印证了这些理论,以摄食浮游动物为主的

鳊的比肠长显著小于以摄食浮游植物为主的鲢。浮游植物的营养价值远低于浮游动物,而且浮游植物细胞壁和胶被的存在使其很难被鱼类消化。延长的肠道增加了食物在鱼体内的消化时间,提高了食物的利用效率。特别在激烈的竞争环境中,这样的肠道可塑性能力对最佳利用饵料资源以适应环境变化是很重要的。

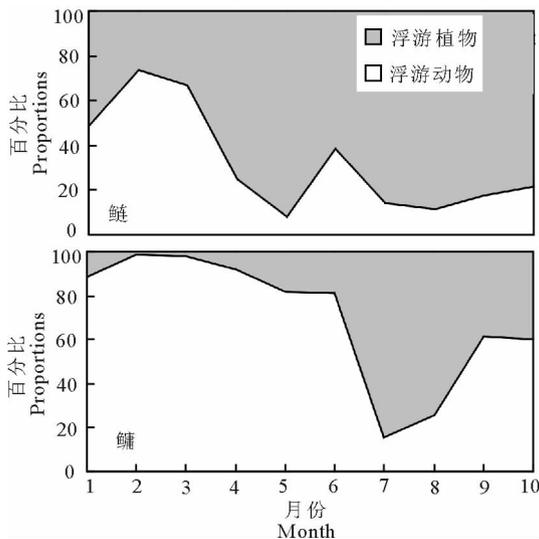


图6 2005年1-10月鲢、鳊肠含物中浮游动物和浮游植物的比例(改自Ke et al,2007)

Fig. 6 Proportions of phytoplankton and zooplankton in the gut contents of silver carp and bighead carp from January to October in 2005 (Cited from Ke et al, 2007)

研究表明,鲢比肠长的季节变化幅度要远大于鳊,表明鲢肠长的可塑性能力比鳊强;鱼类器官的表现型可塑性是其适应环境变化的一个重要机制(Mittelbach et al,1999)。鲢主要靠滤食水中的浮游植物为食,饵料资源的变动很大。在长时间的进化中,鲢的肠道长度获得了随食物质量作出快速变化的能力以便有效地利用饵料资源。鲢的比肠长在6月达到13.45后,10月就能回复到8.13;这种能力提高了鲢在饵料资源质量和丰度极度不稳定水生境中的生存适应能力。Ke等(2008)对鲢、鳊食性生态位宽度的研究表明,鲢比鳊具有更宽的食性生态位,表明在滤食和消化浮游植物上,鲢均比鳊具有更强的环境适应能力。

3.2 鲢、鳊比肝重指数比较

鲢、鳊的比肝重与体长、体重以及肠含物中浮游动植物的比例均达到了显著相关性,表明该指数与生长阶段以及饵料质量都有非常紧密的关系。肝胰腺是鱼类重要的营养储存器官,在营养变动时,肝胰腺的重量会发生显著变化(尾崎久雄,1983)。鳊的

比肝重明显大于鲢,这可能与鳊摄食更多的浮游动物有关。动物的肝脏在消化机能上主要是分泌胆汁来乳化食物中的脂肪,在肠道中配合胰脂肪酶将脂肪裂解成甘油与脂肪酸。浮游动物含有更多的脂肪,本次研究在对鲢、鳊的肠含物进行烘干处理时也发现鳊肠含物的油脂含量比鲢高,往往同一批采集的肠含物样品,鲢肠含物烘干到最后变得非常干枯,而鳊的则变得十分油腻。研究结果显示,鲢、鳊的比肝重与肠含物中浮游动物的比例均呈显著的正相关,大的肝体比可能有助于消化含油脂含量更高的饵料。

影响鱼类比肠长和比肝重的因子较多,比肠长和比肝重的季节变化可能是由个体发育阶段的不同或者不同季节的环境导致表型发生可塑性变化的结果(Svanbäck & Eklöv,2003;Mittelbach et al,1999)。本次研究结果表明,鲢、鳊比肠长的季节变化与温度的关系更加密切,与体长、体重的相关性不显著。一般来说,鱼类的摄食强度会随着温度的升高而增加,摄食强度的变化应该是影响鲢、鳊比肠长季节变化的最主要因素;而鲢、鳊的比肝重与温度、体长、体重以及饵料组成均显著相关,但要区分何种因素在鲢、鳊比肝重的季节变化中占据主导作用,尚需要设计对比试验开展进一步的研究。

参考文献

- 陈少莲. 1982. 东湖放养鲢、鳊鱼种的食性分析[J]. 水库渔业, (3): 21-26.
- 秦伯强, 胡维平, 刘正文, 等. 2007. 太湖水源地水质净化的生态工程试验研究[J]. 环境科学学报, 27(1): 5-12.
- 童裳亮. 1988. 鱼类生理学[M]. 北京: 科学出版社.
- 尾崎久雄. 1983. 鱼类消化生理学[M]. 上海: 科技出版社.
- 谢平. 2003. 鲢、鳊与水华控制[M]. 北京: 科学出版社.
- Battleym P F, Piersma T. 2005. Adaptive interplay between feeding and ecology and features of the digestive tract in birds. In: Starck J M, Wang T (eds) Physiological and ecological adaptations to feeding in vertebrates[M]. Science Publishers Inc., Enfield: 201-208.
- Carmichael W W. 2001. Health effects of toxin-producing cyanobacteria: "the CyanoHABs"[J]. Human and Ecological Risk Assessment, 7: 1393-1407.
- Dong S L, Li D S. 1994. Comparative studies on the feeding selectivity of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* and bighead carp *Aristichthys nobilis*[J]. Journal of Fish Biology, 44: 621-626.
- Elliott J P, Bellwood D R. 2003. Alimentary tract morphology and diet in three coral reef fish families[J]. Journal of Fish

- Biology, 63: 1598 – 1609.
- Hammond K A. 1993. Seasonal changes in gut size of the wild prairie vole (*Microtus ochrogaster*) [J]. Canadian Journal of Zoology, 71: 820 – 827.
- Ke Z X, Xie P, Guo L G. 2008. In situ study on effect of food competition on diet shifts and growth of silver and bighead carps in biomanipulation fish pens in Meiliang Bay, Lake Taihu [J]. Journal of Applied Ichthyology, 24: 263 – 268.
- Ke Z X, Xie P, Guo L G, et al. 2007. In situ study on the control of toxic *Microcystis* blooms using phytoplanktivorous fish in the subtropical Lake Taihu of China: A large fish pen experiment [J]. Aquaculture, 265: 127 – 138.
- Mittelbach G G, Osenberg C W, Wainwright P C. 1999. Variation in feeding morphology between pumpkinseed populations: phenotypic plasticity of evolution? [J]. Evolutionary Ecology Research, 1: 111 – 128.
- Olsson J, Quevedo M, Colson C, et al. 2007. Gut length plasticity in perch: into the bowels of resource polymorphisms [J]. Biological Journal of the Linnean Society, 90: 517 – 523.
- Relyea R A, Auld J R. 2004. Having the guts to compete: how intestinal plasticity explains costs of inducible defences [J]. Ecology letters, 7: 869 – 875.
- Svanbäck R, Eklöv P. 2003. Morphology dependent foraging efficiency in perch: a trade-off for ecological specialization? [J]. Oikos, 102: 273 – 284.
- Sibly R M. 1981. Strategies of digestion and defecation. In: Physiological Ecology: An Evolutionary Approach to Resource Use (eds Townsend, C R and Calow P) [M]. Blackwell, Oxford.
- Starck J M. 1999. Phenotypic flexibility of the avian gizzard: rapid, reversible and repeated changes of organ size in response to changes in dietary fibre content [J]. Journal of Experimental Biology, 202: 3171 – 3179.
- Xie P. 1999. Gut contents of silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, and the disruption of a centric diatom, *Cyclotella*, on passage through the esophagus and intestine [J]. Aquaculture, 180: 295 – 305.

(责任编辑 万月华)

Relative Gut Length and Hepato-somatic Index of Silver and Bighead Carp in the Biomanipulation Fish Pens in Meiliang Bay of Lake Taihu

KE Zhi-xin¹, XIE Ping², GUO Long-gen², XU Jun², ZHOU Qiong³

- (1. Key Laboratory of Marine Bio-resource Sustainable Utilization, South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou 510301, P. R. China;
2. Institute of Hydrobiology, CAS, Wuhan 430072, P. R. China;
3. Fisheries College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, P. R. China)

Abstract: The relative gut length and hepato-somatic index of silver and bighead carp were investigated in the biomanipulation fish pens in Meiliang Bay of Lake Taihu during January to October 2005. Our results showed that the relative gut length and hepato-somatic index of silver and bighead carp greatly changed over time. The average relative gut length of silver and bighead carp was respectively 9.66 and 5.73, which significantly increased in summer. The variation of gut length of silver carp was more significant than that of bighead carp, suggesting a stronger ability of feeding phytoplankton. There were significant positive correlations between the relative gut length of silver and bighead carp and water temperature, while, no significant correlations were found between the relative gut length and bogy length, bogy weight and food composition. Relative gut length of silver and bighead carp should mainly be influenced by the temperature-controlled feeding intensity. The average hepato-somatic index of silver and bighead carp was 1.57% and 1.91%, respectively. Bighead carp usually had a higher hepato-somatic index than silver carp, which maybe attribute to more zooplankton in its diet. Hepato-somatic index of silver and bighead carp were significantly correlated with temperature, bogy length, bogy weight and food composition. Environmental variation can induce dramatic changes in the traits of organisms.

Key words: relative gut length; hepato-somatic index; silver carp; bighead carp; Lake Taihu