

温度和蛋白质水平对德国镜鲤消化酶活性的影响*

王洋^{1, 2}, 徐奇友^{1**}, 许红¹, 王常安¹, 尹家胜¹

1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 哈尔滨 150070; 2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306

摘要:以鱼粉、玉米蛋白粉和豆粕为蛋白源, 饲喂体质量为(165.24±8.07) g/尾的德国镜鲤(*Cyprinus carpio* L. *minor*)60 d, 研究不同温度(18、22、26℃)下不同蛋白质水平(29、31、34、38、40%)对德国镜鲤肠道和肝胰脏消化酶活力的影响。结果表明:温度和蛋白水平对淀粉酶活性无显著影响, 而主要影响蛋白酶以及肝胰脏和中肠脂肪酶的活性。脂肪酶的最适温度因不同部位而有所不同, 随着温度的升高肝胰脏脂肪酶活性在高蛋白质水平时活性比较高。18℃时, 29%和31%蛋白质组的肝胰脏脂肪酶、34%蛋白质组中肠脂肪酶、40%蛋白质组前肠蛋白酶、29%和31%蛋白质组中肠蛋白酶、38%蛋白质组后肠蛋白酶活性最大; 22℃时, 34%蛋白质组的肝胰脏脂肪酶、40%蛋白质组中肠脂肪酶、38%蛋白质组肝胰脏蛋白酶、34%蛋白质组的后肠蛋白酶活性最大; 26℃时, 38%蛋白质组肝胰脏脂肪酶、34%蛋白质组肝胰脏蛋白酶、38%蛋白质组前肠蛋白酶、31%蛋白质组后肠蛋白酶活性最大。各个部位的蛋白酶活力均随着温度的升高而增大, 消化道各部位蛋白酶活力为中、后肠>前肠>肝胰脏; 肝胰脏淀粉酶活力最高, 但肝胰脏的脂肪酶活力低于肠道脂肪酶活性。随着温度的升高, 低蛋白质组的蛋白酶活性较高蛋白质组的活性高。

关键词: 鲤鱼; 温度; 蛋白质水平; 消化酶

中图分类号: S965.116

文献标识码: A

文章编号: 1000-5684(2011)

DOI:

网络出版地址:

Effects of Different Temperature and Protein Levels on Digestive Enzymes Activities of *Cyprinus carpio* L. *minor*

WANG Yang^{1,2} · Xu Qi-you¹ · XU Hong¹ · WANG Chang-an¹ · YIN Jia-sheng¹

1. Laboratory for Animal Nutrition, Heilongjiang River Fishery Research Institute, Haerbin 150070, China;

2. College of Fisheries and Life science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Sixty-day feeding experiment was conducted on (165.24±8.07) g/*Cyprinus carpio* L. *minor*. With fishmeal as animal protein sources, corn gluten and soybean meal as plant protein sources, the effects of feed with different protein levels (29,31,34,38 and 40%) under different water temperature (18,22 and 26℃) on digestive enzyme activities of intestine and hepatopancreas were studied. The result showed, in general, different protein levels under each temperature had significant effect on activity of protease and lipase in hepatopancreas and midgut, but not amylase activity. The activity of lipase in different parts of intestine and hepatopancreas had different optimal temperature, and was raised somewhat with the increase of temperature and dietary protein level. Under 18℃ water temperature, the activities of lipase in hepatopancreas at 29% and 31% protein level and midgut at 34% protein level were the highest ($P<0.05$); the activities of protease in foregut at 40% protein level, midgut at 29% and 31% protein level and hindgut at 38% protein level were the highest. Under 22℃ water temperature, the activities of lipase in hepatopancreas at 34% protein level and midgut at 40% protein level were the highest; the activities of protease in hepatopancreas at 38% protein level and hindgut at 34% protein level were the highest ($P<0.05$). Under 26℃ water temperature, the activities of lipase in hepatopancreas at 38% protein level were the highest; the activities of protease in hepatopancreas at 34% protein level and midgut at 31% protein level were the highest. The activity of protease in hepatopancreas and different parts of the intestinal was enhancing with environmental temperature increasing, and the order of protease activity was midgut and hindgut>foregut> hepatopancreas. In hepatopancreas the activity of amylase was the highest

* 基金项目: 农业部现代农业产业技术体系建设专项资金(Nycytx-49-10), 黑龙江水产研究所基本科研专项(2009HSYZX-YZ-01), 国家公益性行业科研专项(201003055)

作者简介: 王洋, 女, 硕士, 研究方向: 水生动物营养学。

收稿日期: 2010-05-13

网络出版时间:

** 通讯作者

but the activity of lipase was comparatively lower than that of intestine. The specific activity of the protease of intestine and hepatopancreas was raised somewhat with the increase of temperature and the decrease of dietary protein level.

Key words: *Cyprinus carpio*; temperature; protein level; digestive enzyme activity

德国镜鲤(*Cyprinus carpio* L. *minor*)是20世纪80年代我国从德国引进的一个鲤鱼品种,由于其生长快、食性杂、耐低温、适应环境能力强、易饲养、起捕率高等特点,已被全国水产良种审定委员会审定适合在我国推广的水产优良养殖品种。在黑龙江地区(生产期120 d)当年可育成规格达150 g的鱼种,2龄商品鱼规格大于1 kg。饲养成活率约98%,越冬成熟率达96%。现已成为我国东北地区主要的鲤鱼养殖品种之一。

鱼类消化酶活力是反应鱼类消化机能的一项重要指标,鱼类消化酶的研究一直是鱼类消化生理的重要研究内容。鱼类消化酶的分泌受到多种因素的影响,其中饲料的营养组成和饲养的环境温度是研究者比较关注的因子^[1]。消化酶活性的提高,可以促进鱼类对营养物质的消化吸收,进而促进鱼类的生长,因此鱼类消化酶的研究也是配合饲料研制的科学依据。关于鲤鱼消化酶^[2-3]和蛋白质水平方面的研究已有较多报道,姜巨峰等^[4]在蛋白水平对鲢(*Cirrhinus molitorella*)消化酶活性的影响的研究中发现,肠和胰腺的蛋白酶活性随着饲料蛋白水平的增加而增加,而淀粉酶和脂肪酶的活性随饲料蛋白水平的增加略有下降。赵东海^[5]报道在20~45℃,黄鳝肠道内的蛋白酶和淀粉酶的活性随温度升高而增加。不同温度下不同蛋白质水平对鲤鱼消化酶影响的研究极少。Singh^[6]研究表明胡子鲶(*Clarias batrachus*)不同温度下饲以4种不同蛋白水平日粮时,32℃时投喂36%蛋白质试验组的增重率最大;饲料效率随着蛋白水平的增加而降低,且在低温时较高。由于我国东北地区气温变化较大,因此根据消化酶随水温的变化情况适当

地调整饵料营养组成以提高饲料的利用率的研究具有重要意义。本试验分别测定了德国镜鲤肠道、肝胰脏中的蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶的活性,并就不同温度、不同蛋白质水平对消化酶活力的影响进行研究,旨在为德国镜鲤配合饲料研制及优化养殖提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料的配制

以鱼粉为动物蛋白质源,玉米蛋白质和豆粕为植物蛋白质源,鱼油和豆油为脂肪源,调节次粉、鱼粉、鱼油添加比例,配成5种蛋白质含量分别为29%、31%、34%、38%、40%的饵料。原料经粉碎过60目筛,按配方(表1)称量后,混合均匀,挤压成直径2.5 mm的颗粒,晒干后置于-4℃冰柜中保存备用。

1.2 试验鱼及其饲养管理

试验期间水温设为18℃、22℃、26℃,每个温度对应5种蛋白质水平,试验前挑选体质健壮、规格整齐的德国镜鲤630尾,选择健康无伤病的体质量为(165.24±8.07)g的鲤鱼,随机分为15个组别,每组别设3个平行,每缸14尾,饲养于黑龙江水产研究所养殖车间的控温单循环系统中,暂养7 d后,分别投喂不同蛋白质水平的试验饲料,养殖60 d,每天按试验鱼体质量的3%投喂饲料。每10 d称一次总质量,及时调整投饵量,每天各试验池水体的交换量为30%以保持良好水质,溶解氧(OD)维持在6.89~8.09 mg/L,日投饵2次。

表1 试验的饲料配方及营养成分分析

Table 1. Diet formulation and nutritional components analysis of the test diets

项目 Item	饲料中蛋白质的质量分数 Percentage of protein in diet				
	29%	31%	34%	38%	40%
	日料组成% Diet ingredients				
小麦面筋粉	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
豆粕	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
次粉	40.00	36.00	31.50	27.00	24.20
鱼粉	8.00	13.00	18.50	24.00	27.50
菜粕	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
棉粕	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
玉米蛋白粉	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
豆油	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
鱼油	2.50	2.20	1.80	1.50	1.20
磷酸二氢钠	1.50	1.20	0.60	0.20	0.00
预混剂	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
α-纤维素	2.37	1.97	1.97	1.67	1.47
羧甲基纤维素钠	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

	合计	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
营养成分/%	粗蛋白质	29.12	31.46	34.49	38.17	40.13
Nutritional components	粗脂肪	6.34	6.38	6.44	6.52	6.41
	粗灰分	8.04	7.90	8.34	8.77	9.17
	总能 Total energy kJ/g	16.25	16.45	16.63	16.85	16.95

1.3 样品的收集与测定

1.3.1 粗酶液的制备 生长试验结束后停食 24 h，每缸活体解剖 3 尾鱼。取出肝胰脏和肠道，并去除脂肪、肠系膜，用滤纸吸干。肠道第一个回折点以前为前肠，最后一个回折点以后为后肠，中间为中肠。将样品分别称质量，加入 9 倍体积的 0.86% 的生理盐水匀浆，置于低温高速匀浆机以 4℃，4 000 r/min 离心 10 min，取上清液为粗酶液，-20℃ 冰箱保存待测。

1.3.2 消化酶活力的测定 (1) 采用 Folin-酚试剂法^[7]测定蛋白酶活性。以质量分数 0.5% 干酪素溶液作为底物与酶反应，在 680 nm 波长下测定反应液的吸光度值。蛋白酶活性定义：在 pH 值 7.4、温度(28±1)℃ 条件下，酶液每 1 min 催化生成 1 μg 酪氨酸的酶量为一个酶活力单位。本试验中蛋白酶的活性单位则为每 1 g 组织的酶活性。

(2) 采用碘-淀粉比色法^[8]测定淀粉酶活力。淀粉酶活性定义：以淀粉为底物，在 pH 值 7.4、温度(28±1)℃ 条件下，1 h 催化生成 1 mg 葡萄糖的酶量为一个酶活力单位。本试验中淀粉酶的活性单位则为每 1 g 组织的酶活性。

(3) 采用以聚乙醇烯橄榄油为底物的标准氢氧化钠溶液滴定法^[9]测定脂肪酶活力。脂肪酶活性定义：在 pH 值 7.4、温度(28±1)℃ 条件下，脂肪酶水解脂肪每 1 min 产生 1 μg 脂肪酸的酶量定为一个活力单位。本试验中脂肪酶的活性单位则为每 1 g 组织的酶活性。

1.4 数据分析

试验数据用 SPSS15.0 统计软件进行方差分析(LSD)及 Duncan 多重比较^[10]，以 $P < 0.05$ 为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 不同温度和蛋白水平对蛋白酶活性的影响

由表 2 可见，18℃ 时，29% 与 31% 蛋白质组中肠蛋白酶活性显著大于 38% 与 40% 蛋白质组 ($P < 0.05$)，与 34% 蛋白质组差异不显著 ($P > 0.05$)；38% 蛋白质组后肠蛋白酶活性显著大于 29% 与 34% 蛋白质组；40% 蛋白质组前肠蛋白酶显著大于 34% 蛋白质组。22℃ 时，34% 蛋白质组的后肠蛋白酶活性显著大于 29% 与 40% 蛋白质组 ($P < 0.05$)；38% 的肝胰脏蛋白酶活性显著大于 29% 蛋白质组 ($P < 0.05$)。26℃ 时，31% 蛋白质组的后肠蛋白酶活性显著大于 29% 蛋白质组 ($P < 0.05$)；34% 与 31% 蛋白质组的肝胰脏蛋白酶活性差异不显著，显著大于其他 3 组 ($P < 0.05$)，38% 蛋白质组的前肠蛋白酶显著大于 29% 与 31% 蛋白质组，与 34% 与 40% 蛋白质组差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 不同温度和蛋白质水平对蛋白酶活性的影响

Table 2. Effects of different temperature and protein levels on protease activities

温度/℃	蛋白水平/%	肝胰脏(U·g ⁻¹)	前肠(U·g ⁻¹)	中肠(U·g ⁻¹)	后肠(U·g ⁻¹)
Temperature	Protein level	Hepatopancreas	Foregut	Midgut	Hindgut
18	29	88.61±6.33	97.33±1.67 ^{ab}	126.36±1.56 ^c	112.74±2.21 ^a
	31	89.25±0.27	97.37±1.41 ^{ab}	126.04±0.35 ^c	114.31±1.95 ^{ab}
	34	92.51±3.63	95.33±0.36 ^a	121.32±0.98 ^{bc}	112.33±1.92 ^a
	38	86.81±5.07	98.29±1.69 ^{ab}	106.76±1.59 ^a	130.42±9.44 ^b
	40	94.61±4.53	101.96±0.47 ^b	117.17±2.05 ^b	129.00±2.49 ^{ab}
22	29	88.48±0.86 ^a	108.13±2.87	121.46±1.68	114.96±0.90 ^{ab}
	31	93.24±6.23 ^{ab}	109.43±0.06	114.75±3.04	122.31±3.60 ^{bc}
	34	93.28±1.93 ^{ab}	107.72±3.50	122.07±6.61	127.81±5.51 ^c
	38	93.92±0.21 ^b	106.28±1.16	122.43±0.99	121.24±1.36 ^{bc}
	40	91.04±0.06 ^{ab}	106.90±1.31	123.41±0.27	106.50±0.05 ^a
26	29	94.73±1.59 ^{ab}	103.19±0.75 ^a	125.62±1.18	118.27±0.96 ^a
	31	101.32±3.13 ^{bc}	133.63±4.06 ^b	136.13±2.10	134.31±3.43 ^b
	34	104.80±1.31 ^c	137.81±2.05 ^{bc}	117.16±6.70	121.26±6.63 ^{ab}

38	94.47±4.10 ^{ab}	141.91±0.32 ^c	130.59±5.83	128.34±0.95 ^{ab}
40	87.24±2.11 ^a	136.13±0.72 ^{bc}	138.73±2.74	121.70±7.72 ^{ab}

2.2 不同温度和蛋白水平对脂肪酶活性的影响

由表3可见, 18℃时, 29%与31%蛋白质组的肝胰脏脂肪酶活性显著大于34%和40%蛋白质组 ($P<0.05$)。34%蛋白质组的中肠脂肪酶活性最大, 与38%蛋白质组差异不显著 ($P>0.05$); 22℃时, 34%

蛋白质组的肝胰脏脂肪酶活性最大, 40%蛋白质组最小; 40%蛋白质组的中肠脂肪酶活性显著大于其他各组 ($P<0.05$); 26℃时, 38%的肝胰脏脂肪酶活性最大, 40%蛋白质组最小。

表3 不同温度和蛋白质水平对脂肪酶活性的影响
Table 3. Effects of different temperature and protein levels on lipase activities

温度/℃ Temperature	蛋白水平/% Protein level	肝胰脏(U·g ⁻¹) Hepatopancreas	前肠(U·g ⁻¹) Foregut	中肠(U·g ⁻¹) Midgut	后肠(U·g ⁻¹) Hindgut
18	29	3.93±0.55 ^c	4.00±1.22	3.00±0.00 ^a	2.20±0.72
	31	4.10±0.62 ^c	4.40±2.03	3.80±0.40 ^a	2.20±0.20
	34	1.77±0.32 ^a	2.60±0.53	6.80±1.22 ^b	3.00±1.59
	38	3.40±0.42 ^{bc}	2.00±0.87	5.20±0.40 ^{ab}	2.40±1.20
	40	2.47±0.43 ^{ab}	2.60±1.71	3.00±1.51 ^a	3.40±0.53
22	29	3.63±0.20 ^b	2.80±0.80	2.60±0.87 ^a	3.40±1.44
	31	3.93±0.24 ^b	3.80±0.72	1.60±0.53 ^a	4.40±1.40
	34	5.23±0.22 ^c	5.40±2.40	3.00±1.20 ^a	1.60±0.40
	38	3.47±0.37 ^b	3.40±1.22	2.20±0.80 ^a	4.00±1.40
	40	2.30±0.15 ^a	4.00±0.20	6.00±1.04 ^b	3.00±0.92
26	29	1.63±0.26 ^b	4.00±1.56	4.20±1.83	6.80±3.29 ^a
	31	2.33±0.18 ^c	1.80±0.35	3.40±0.72	4.60±1.97 ^a
	34	2.17±0.09 ^{bc}	3.80±1.11	5.20±1.91	2.60±0.72 ^a
	38	4.73±0.18 ^d	2.80±1.31	2.40±0.92	3.80±1.00 ^a
	40	0.93±0.18 ^a	2.00±0.72	2.40±0.34	2.00±1.70 ^{ab}

2.3 不同温度和蛋白水平对淀粉酶活性的影响

由表4可见, 除了22℃时38%与40%蛋白质组前肠淀粉酶活性显著小于其他3组外 ($P<0.05$), 各

温度条件下蛋白水平对淀粉酶活性均没有显著地影响。

表4 不同温度和蛋白质水平对淀粉酶活性的影响
Table 4. Effects of different temperature and protein levels on amylase activities

温度/℃ Temperature	蛋白水平/% Protein level	肝胰脏(U·g ⁻¹) Hepatopancreas	前肠(U·g ⁻¹) Foregut	中肠(U·g ⁻¹) Midgut	后肠(U·g ⁻¹) Hindgut
18	29	38.88±0.21	37.06±0.58	36.57±0.24	37.46±0.33
	31	38.85±0.19	37.06±0.51	36.31±0.61	36.93±0.52
	34	38.52±0.52	36.11±0.37	36.34±0.84	37.00±0.33
	38	38.67±0.23	36.03±0.94	36.32±0.41	36.60±0.47
	40	38.84±0.17	36.40±0.50	36.62±0.46	37.68±0.01
22	29	38.72±0.23	37.56±0.17 ^b	37.04±0.24	37.17±0.17
	31	39.00±0.13	37.42±0.16 ^b	36.95±0.16	37.47±0.19
	34	38.71±0.07	37.47±0.27 ^b	37.17±0.38	37.72±0.19
	38	38.92±0.07	36.26±0.26 ^a	36.78±0.21	37.15±0.46
	40	39.04±0.05	36.36±0.33 ^a	36.84±0.37	37.78±0.10
26	29	38.64±0.07	37.48±0.20	37.06±0.11	37.42±0.23
	31	38.90±0.05	36.28±0.66	37.64±0.45	37.32±0.55
	34	38.68±0.25	37.13±0.02	36.57±0.70	37.44±0.25
	38	38.94±0.09	34.58±2.69	36.77±0.23	36.95±0.32
	40	39.02±0.16	36.94±0.53	36.27±0.29	37.60±0.80

2.4 不同温度下不同部位消化酶活性的比较

脂肪酶的最适温度因不同部位而不同。后肠脂肪酶活性在 18℃时最大，中肠脂肪酶活性在 26℃时最大。各温度条件下肝胰脏淀粉酶活力均显著大于肠道

($P<0.05$)。18℃和 22℃是蛋白酶活力大小顺序为中、后肠>前肠>肝胰脏，在 26℃时肠道内的蛋白酶活性显著大于肝胰脏 ($P<0.05$)。

表 5 不同温度对不同部位消化酶活性的影响
Table 5. Effects of different temperature on enzyme activities

温度/℃ Temperature	器官 Organ	脂肪酶 Lipase	淀粉酶 Amylase	蛋白酶 Protease
18	肝胰脏 Hepatopancreas	2.00±0.26 ^a	38.75±0.12 ^c	90.36±1.76 ^a
	前肠 Foregut	2.32±0.37 ^a	36.53±0.26 ^a	98.06±0.84 ^b
	中肠 Midgut	2.64±0.37 ^a	36.43±0.21 ^a	118.27±2.33 ^c
	后肠 Hindgut	5.11±0.68 ^b	37.14±0.18 ^b	119.76±3.13 ^c
22	肝胰脏 Hepatopancreas	3.71±0.27	38.84±0.07 ^b	92.11±0.79 ^a
	前肠 Foregut	3.88±0.54	37.01±0.18 ^a	107.75±0.91 ^b
	中肠 Midgut	3.08±0.54	36.86±0.20 ^a	120.88±1.42 ^c
	后肠 Hindgut	3.28±0.52	37.35±0.19 ^a	118.81±2.40 ^c
26	肝胰脏 Hepatopancreas	3.13±0.29 ^{ab}	38.87±0.06 ^c	96.51±2.21 ^a
	前肠 Foregut	3.12±0.58 ^{ab}	36.48±0.55 ^a	128.05±4.93 ^b
	中肠 Midgut	4.36±0.52 ^c	36.96±0.11 ^{ab}	128.27±2.91 ^b
	后肠 Hindgut	2.64±0.39 ^a	37.46±0.12 ^b	124.53±2.19 ^b

3 讨论

各个部位的蛋白酶活力均随着温度的升高而增大，但是随着温度的升高，低蛋白质组的蛋白酶的活性反而较高蛋白质组的活性高。脂肪酶的最适温度因不同部位而有所不同，随着温度的升高肝胰脏脂肪酶活性在高蛋白质水平时活性比较高。温度与蛋白质水平对淀粉酶活性均无显著影响。

3.1 温度和蛋白质水平对消化酶的影响

消化酶是维持机体正常代谢的生命活性物质，对生物体内的各种化学变化起催化作用，提高消化酶活性，可以促进鱼类对营养物质的消化吸收，进而促进鱼类的生长^[11]。环境温度条件的改变对鱼类的生理活动的影响是多方面的，可以引起鱼体本身的生长和内分泌机能的状态发生变动，如肠道的蠕动和由此引起的空胃率都取决于温度，同时也引起消化酶活力和组成发生一定的改变^[12]。饲养水温除了直接影响酶的活性外，还通过调节机体的代谢，改变体内的离子浓度、pH等，从而间接影响酶活性。鱼类摄食后，饲料的营养成分构成消化酶的作用底物，会影响到消化酶的分泌和活力。以往的研究多集中于温度或饲料蛋白质水平对消化酶的独立影响，关于不同温度和蛋白质水平组合对其活性的影响少见报道。

3.1.1 温度和蛋白质水平对蛋白酶活性的影响 本试验结果表明，温度对德国镜鲤的蛋白酶活性影响较大。各个部位的蛋白酶活力均随着温度的升高而增大，王辉等^[13]研究对不同温度对奥尼罗非鱼的影响时发现，胃蛋白酶、胰蛋白酶随温度升高而升高，这与本试验结果基本相似。但是随着温度的升高，低蛋白

质组的蛋白酶的活性反而较高蛋白质组的活性高。这可能是因为在一定温度范围内，随温度升高，鱼体内各细胞中酶活性随之增强，各种生理、生化反应加快，新陈代谢作用增强^[14]。John^[15]认为鱼类消化酶最适温度为 30-50℃。从消化酶的最适温度与环境温度比较来看，水体环境的温度一般都低于酶所需要的最适温度，消化酶的活化分子较少，酶促反应呈现饱和状态，因此随着蛋白水平的增加体内可能会摄入过多的蛋白质，通过体内的代谢，会产生较多的有毒的含氮废物抑制其体内消化酶的活性^[16]。

3.1.2 温度和蛋白质水平对脂肪酶活性的影响 本试验结果表明，脂肪酶的最适温度因不同部位而有所不同，这与王海英^[17]研究的不同水体温度下大菱鲂各酶活力的变化结果相似。随着温度的升高肝胰脏脂肪酶活性在高蛋白质水平时活性比较高，这与李瑾^[18]等在不同饲料对幼鳊消化系统内脂肪酶活力的影响的研究结果相反，这可能因为脂肪是肌肉运动所必须的能量来源，糖原与脂类结合，形成糖脂复合体贮存于肝脏中，当鱼进入高温环境中，运动强度增加，能量消耗增大，肝脏内糖原减少，脂肪的合成与积累停止，并且肝脏内蓄存的脂肪开始分解，可能高水平蛋白质提供机体更多的蛋白质合成脂肪酶，使得在适当的高水平蛋白质组中脂肪酶活性较高。

3.1.3 温度和蛋白质水平对淀粉酶活性的影响 本试验表明除 22℃时的前肠淀粉酶外，温度与蛋白质水平对淀粉酶活性均无显著影响($P>0.05$)，这与邵庆均等^[19]在饲料蛋白质水平对宝石鲈胃肠道消化酶活性影响的研究结果一致。这可能由于本试验所设定的温度范围小，并不足以诱导淀粉酶分泌量的改变，并且

鲤鱼淀粉酶对饲料组成具有明显的适应性。

3.2 不同部位的消化酶活力

鱼类的食性与其消化器官结构和消化机能相适应,并且与消化酶活力有直接关系。消化器官不同,所承担的消化机能不同,因而消化酶的活力也不相同。同种鱼类不同消化器官敏感程度亦存在差异。本试验研究发现,德国镜鲤的蛋白酶活力较大,中、后肠>前肠>肝胰脏。这与朱爱意^[20]的研究结果基本一致。理论上,肝胰脏主要分泌蛋白酶原并无活性,下行至肠道中被肠致活酶所激活,且鱼类肠壁也能分泌消化酶,因此肠道蛋白酶活性较高,需肠道内肠致活酶激活才能发挥对食物蛋白质的消化作用,因此肝胰脏的蛋白酶活力弱或没有活力^[21]。鲤鱼的脂肪酶活力较低尤其是肝胰脏,这与沈文英^[22]对澳洲宝石鱼的研究结果相似。淀粉酶的活性因鱼种类、消化器官不同而异且活力较低。本试验结果显示,鲤鱼的肝胰脏淀粉酶活力最高,说明肝胰脏是淀粉酶产生的主要器官。这与梅景良等^[23]报道的结果一致。但本试验未对饲料蛋白质、脂类和淀粉的消化率进行测定,对于德国镜鲤的消化能力还有待进一步深入研究。

参考文献:

[1] 黎军胜,李建林,吴婷婷. 饲料成分与环境温度对奥尼罗非鱼消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2004, 11(6): 585.
[2] 李广丽,王义强. 草鱼、鲤鱼肠道、肝胰脏消化酶活性的初步研究[J]. 湛江水产学院学报, 1994, 14(1): 34-40.
[3] 倪寿文,桂远明,刘焕亮. 草鱼、鲤、鲢、尼罗罗非鱼肝胰脏和肠道蛋白酶活性的初步探讨[J]. 动物学报, 1993, 39(2): 160-168.
[4] 姜巨峰,张殿昌,林黑着,等. 不同蛋白水平对鲢消化酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2008,36(16):6784-6786.
[5] 赵东海. 黄鳝消化酶活性与温度的关系[J]. 河北大学学报, 2005,25(3):323-325.
[6] R.K.Singh,A.S.Desai,S.L.Chavan,et al.Effect of water temperature on

dietary protein requirement, growth and body composition of Asiancatfish, *Clarias batrachus* fry[J]. *Thermal Biology*,2009,(34):8-13.
[7] 中山大学生物系中山大学生物系微生物教研室.[M].北京:人民教育出版社,1978.52-54.
[8] 朱俭,曹凯鸣,周润琦,等.生物化学试验[M].上海:上海科学技术出版社,1981.192-193.
[9] 上海市医学化验所.临床生化检验[M].上海:上海科学技术出版社,1979.366-367.
[10] 蔡一林,岳永生.水产生物统计[M].中国农业出版社,2004:86-91.
[11] 向泉,周兴华,等.动植物蛋白质比对鲤鱼消化酶活性的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2008, 7: 37-39.
[12] 陈苏维,吉红,等.温度对泥鳅消化酶活性影响的研究[J].水产科学, 2009,28(9):529
[13] 王辉,强俊.温度对奥尼罗非鱼仔稚鱼生长、饲料利用和消化酶活力的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 28(6): 14.
[14] 尾崎久雄.鱼类消化生理[M].上海:上海科学技术出版社, 1985.
[15] John E H.Fish nutrition[M].California:Academic Press Inc.1987:332-423.
[16] Das K M , Tripathi S D. Studies on the digestive enzymes of grasscarp, *ctenopharyngodon idella* (Va1.)[J]. *Aquaculture*, 1991, 92: 21-32.
[17] 王海英.大菱鲆主要消化酶—蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶的研究[D].青岛:中国海洋大学水产品贮藏与加工系, 2004.
[18] 李瑾,何瑞国,等.不同饲料对幼鳊消化系统内脂肪酶活性的影响[J].科学养鱼, 2002, (12):53-54.
[19] 邵军均,苏小凤.饲料蛋白质水平对宝石鲈增重和胃肠道消化酶活性影响[J].浙江大学学报, 2004, 30(5): 553-556.
[20] 朱爱意,褚学林.大黄色消化道不同部位两种消化酶的活力分布及其受温度 pH 的影响[J].海洋和湖沼, 2006, 37(6): 561-566.
[21] 田相利,任晓伟.温度和盐度对半滑舌鲷幼鱼消化酶活性的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(6):898-900.
[22] 沈文英,祝绕荣等.温度和 pH 对澳洲宝石鱼消化酶活性的影响[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(2):190.
[23] 梅景良,马燕构,张红星,等.夏、冬两季黑鲟消化酶活力的比较及反应温度和 pH 值对酶活力的影响[J].海洋学报, 2006, 28(4):167-171