

温度和pH对血鹦鹇(*Amphilophus citrinellus* × *Paraneetroplus synspilus*)肠道和肝胰腺消化酶活力的影响

钱红^{1,2}, 张丹^{1*}, 夏苏东¹, 郭立¹, 高燕², 史雅馨¹, 李茂哲¹, 蒋泽昊¹, 姚学良²

¹天津农学院水产学院, 天津市水产生态及养殖重点实验室, 天津

²天津市水产研究所, 天津

收稿日期: 2022年2月24日; 录用日期: 2022年3月9日; 发布日期: 2022年3月25日

摘要

本实验研究了不同温度和pH对血鹦鹇肠道和肝胰腺蛋白酶、淀粉酶和纤维素酶活力的影响。结果表明, 在设定的温度和pH条件下, 血鹦鹇消化酶活力随温度和pH的增加表现为先升高后下降。肠道和肝胰腺中蛋白酶的最适温度分别为55°C、45°C; 淀粉酶的最适温度分别为35°C、25°C; 肠道纤维素酶的最适温度为45°C。肠道和肝胰腺中蛋白酶的最适pH分别为8.0、10.0; 淀粉酶的最适pH均为7.0; 肝胰腺纤维素酶的最适pH为5.0。在各自最适温度下, 血鹦鹇蛋白酶活力大小为肠道 > 肝胰腺, 淀粉酶活力大小为肝胰腺 > 肠道; 在各自最适pH下, 血鹦鹇蛋白酶活力大小为肝胰腺 > 肠道, 淀粉酶活力大小为肠道 > 肝胰腺。

关键词

血鹦鹇, 肠道, 肝胰腺, 消化酶活力, 温度, pH

Effects of Temperature and pH on Digestive Enzyme Activities in Intestine and Hepatopancreas of Blood Parrot (*Amphilophus citrinellus* × *Paraneetroplus synspilus*)

Hong Qian^{1,2}, Dan Zhang^{1*}, Sudong Xia¹, Li Guo¹, Yan Gao², Yaxin Shi¹, Maozhe Li¹, Zehao Jiang¹, Xueliang Yao²

*通讯作者。

文章引用: 钱红, 张丹, 夏苏东, 郭立, 高燕, 史雅馨, 李茂哲, 蒋泽昊, 姚学良. 温度和 pH 对血鹦鹇(*Amphilophus citrinellus* × *Paraneetroplus synspilus*)肠道和肝胰腺消化酶活力的影响[J]. 水产研究, 2022, 9(1): 26-35.

DOI: 10.12677/ojfr.2022.91004

¹Tianjin Key Laboratory of Aquatic Ecology and Aquaculture, College of Aquatic Products, Tianjin Agricultural University, Tianjin

²Tianjin Fisheries Research Institute, Tianjin

Received: Feb. 24th, 2022; accepted: Mar. 9th, 2022; published: Mar. 25th, 2022

Abstract

The effects of temperature and pH on the activities of protease, amylase and cellulase in intestine and hepatopancreas of blood parrot were studied. The results showed that the digestive enzyme activity of blood parrot increased first and then decreased with the increase of temperature and pH. The optimum temperature of protease was 55°C, 45°C, amylase was 35°C, 25°C, cellulase was 45°C. The optimal pH of protease was 8.0, 10.0, amylase was 7.0, and cellulase was 5.0. Under the optimum temperature, the order of the activity of blood parrot protease was intestine > hepatopancreas, the order of the activity of amylase was hepatopancreas > intestine; under the optimum pH, the order of the activity of blood parrot protease was hepatopancreas > intestine, the order of the activity of amylase was intestine > hepatopancreas.

Keywords

Blood Parrots, Intestinal, Hepatopancreas, Digestive Enzyme Activities, Temperature, pH

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

血鹦鹉，因其体色鲜红，嘴型与鹦鹉嘴型类似而得名，俗称“财神鱼”，寓意财富和健康，受到广大消费者的喜爱，是主要的热带淡水观赏鱼类[1]。血鹦鹉由两种慈鲷科鱼类杂交而成[2]，体型宽厚，体长一般在 15 cm 左右，最长可达 30 cm [3]。作为热带观赏鱼中最大的交易品种，为保持其资源量，满足市场的需求以及探索更加科学和高效的养殖方法，对血鹦鹉生理特征进行更深入的了解和研究就显得尤为重要[4]。

鱼类的消化过程就是通过分泌消化酶将食物消化分解，再运输到组织器官内，以此来获得用于生长繁殖的能量。对消化酶的研究是鱼类消化生理和营养生理上一项重要的内容，这关乎到鱼类养殖业的发展[5] [6]。消化酶活性的影响因素较多，其中温度和 pH 是影响鱼类消化酶活力的两个重要因素。温度对鱼类消化酶活力的影响能够从对北极红点鲑[7]、翘嘴红鲌[8]、对斜带髯鲷[9]、澳洲宝石鱼[10]、洞庭鲂鱼[11]、半滑舌鲷[12]、黑鲷[13]等品种研究的研究中发现；pH 对鱼类消化酶活力的影响能够在对蓝点马鲛鱼仔鱼[14]、大黄鱼[15]和黄金鲈[16]、黑鲷、团头鲂[17]、澳洲宝石鱼、半滑舌鲷等研究中发现。多项试验已证明，温度和 pH 对鱼类消化酶活力影响显著，而在鱼类不同器官中同一消化酶的活力差异显著。如翘嘴红鲌肝脏和肠道蛋白酶最适温度为 50°C，淀粉酶为 30°C [8]。斜带髯鲷肝脏和肠道蛋白酶最适温度为 40°C，淀粉酶为 30°C 和 40°C [9]。澳洲宝石鲈肠道蛋白酶、淀粉酶最适温 and pH 分别为 50°C、30°C，7.5、6.2，肝脏蛋白酶、淀粉酶最适温度和 pH 分别为 50°C、30°C，7.5、6.2 [10]。

目前，国内外对于血鹦鹉的研究主要集中在养殖繁育[18] [19]，营养饲料[20] [21]，体色改良[22]，

疾病预防等方面,而关于血鸚鵡消化酶活力影响因素的研究较少。本实验通过研究不同温度和 pH 条件对血鸚鵡肠道和肝胰腺消化酶活力的影响,揭示血鸚鵡消化酶活力的变化特征,为血鸚鵡以及其它热带观赏鱼高效饲料的开发实验依据,为血鸚鵡的健康养殖提供重要的参考资料。

2. 实验材料与方法

2.1. 实验鱼来源

实验所用的血鸚鵡鱼为同一批次取自天津嘉禾田园观赏鱼养殖厂。

2.2. 养殖方法

本实验在天津农学院循环水养殖实验室进行,取初始体长体长 14.5 ± 0.5 cm, 体重 500.0 ± 20.0 g 血鸚鵡,于 110 cm \times 45 cm \times 38 cm 玻璃水槽中,8 尾为一组,共 3 组,共计 24 尾。养殖水体温度控制在 25°C 。溶氧大于 5 mg/L,光照采用自然光照。投喂商品饲料,约为体重 1%,每天两次(上午 8:30; 下午 17:00),投喂半小时后吸出残饵。试验周期 45 天。养殖结束后空腹 24 h 取样。

2.3. 样品采集及酶液制备

实验前暂停进食 24 h,取出血鸚鵡的肠道和肝胰腺组织,去除多余组织并分别称重,预冷重蒸水 ($0^\circ\text{C}\sim 4^\circ\text{C}$)按质量体积比 1:10 加入后匀浆,于 4°C 离心 15 min (4000 r/min),取其上清液作为酶液,在 $0^\circ\text{C}\sim 4^\circ\text{C}$ 下保存。

2.4. 温度和 pH 条件建立

2.4.1. 温度的设定

反应温度的控制用恒温水浴锅来进行。以 5°C 为一个梯度,在 $0^\circ\text{C}\sim 60^\circ\text{C}$ 共设 13 个梯度来测定蛋白酶和淀粉酶活力;纤维素酶活力测定在 $0^\circ\text{C}\sim 55^\circ\text{C}$ 以 5°C 为一个梯度,设置 12 个梯度,在此基础上增加设置 60°C 、 70°C 、 80°C ,共计 15 个梯度。控制 pH 值为 7.0,重复三遍测定。

2.4.2. pH 值的设定

在 pH 1.0~13.0 范围内共设置 13 个梯度来测定淀粉酶和纤维素酶活力;蛋白酶的测定在此基础上,增加设置 pH 值为 0.5,共 14 个梯度。在 37°C 条件下,测定各 pH 值下的消化酶活力,重复三遍。

2.5. 蛋白酶活力测定

向离心管中加入 2 mL 0.5% 干酪素溶液,0.1 mL 0.04 M EDTA-2Na, 0.8 mL 0.1 M 设定 pH 的缓冲液和 0.6 mL 酶液,混匀(总体积为 3.5 mL);在设定温度水浴 30 min,用 1 mL 30% 三氯乙酸终止反应;离心 15 min (4000 r/min),取 1 mL 上清液加入 5 mL 0.55 M 碳酸钠溶液,1 mL 福林试剂, 37°C 水浴显色 15 min;用分光光度计在波长 680 nm 下测定。

当温度为变量时,缓冲液 pH 为 7.0,按顺序于不同温度 ($0^\circ\text{C}\sim 60^\circ\text{C}$) 下水浴。当 pH 为变量时,按标号顺序分别加入不同 pH (0.5, 1.0~13.0) 的缓冲液,在 37°C 下水浴。

2.6. 淀粉酶活力测定

将离心管标号并加入 1 mL 1% 淀粉溶液,1 mL 0.1 M 设定 pH 缓冲液,0.5 mL 待测酶液摇匀,于设定温度下水浴 8 min,再加 2 mL DNS 指示剂,加盖沸水浴 15 min 停止反应;快速冷却后加 4.5 mL 蒸馏水,用分光光度计在波长 550 nm 比色测定。

当温度为变量,缓冲液 pH 为 7.0,按顺序置于不同温度 ($0^\circ\text{C}\sim 60^\circ\text{C}$) 下水浴。当 pH 为变量时,按标号

顺序分别加入不同 pH (1.0~13.0)的缓冲液, 在 37℃下水浴。

2.7. 纤维素酶活力测定

将 0.5%羧甲基纤维素钠溶液、0.1 M 设定 pH 的缓冲液以及待测酶液各 1 mL 加入离心管中并标号, 混匀后在设定温度下进行 30 min 的水浴糖化; 再加入 2 mL DNS 显色剂, 沸水浴 15 min 显色; 冷却后加 4 mL 蒸馏水, 摇匀后在波长 550 nm 下测定其吸光度。

当温度为变量时, 加入 pH 为 7.0 的缓冲液, 按顺序将 15 个离心管置于不同温度(0℃~80℃)下水浴。当 pH 为变量时, 按标号顺序将 13 个离心管分别加入不同 pH 值(1.0~13.0)的缓冲液, 置于 37℃下水浴。

2.8. 数据计算与分析

实验数据的分析处理采用 Excel 2019 及 SPSS25.0 进行。数据用平均值 \pm 标准误(means \pm S.E.)表示, 用 Excel 2019 进行数据绘图。使用 ANOVA 单因素方差分析和 Duncan 多重比较对实验结果进行显著性检验, 以 $P < 0.05$ 标志差异显著水平。

3. 结果与分析

3.1. 蛋白酶活性

3.1.1. 不同温度对血鸚鵡蛋白酶活力的影响

如表 1 所示, 血鸚鵡肠道和肝胰腺蛋白酶活力随温度升高而升高, 超过一定温度后开始下降, 呈先升高后下降的趋势。在 55℃时, 血鸚鵡肠道蛋白酶活力最大, 高于其他温度下的蛋白酶活力($P < 0.05$)。肝胰腺蛋白酶活力在 45℃时最高, 在 40℃与 45℃之间的活力差异显著($P < 0.05$), 45℃与 50℃的活力差异也显著($P < 0.05$)。由此可见, 血鸚鵡肠道和肝胰腺蛋白酶的最适温度分别是 55℃, 45℃。

Table 1. Effects of different temperatures on specific protease activity in intestine and hepatopancreas of blood parrot

表 1. 不同温度下血鸚鵡肠道和肝胰腺蛋白酶的活力

反应温度(℃)	肠道蛋白酶活力(%)	肝胰腺蛋白酶活力(%)
0	30.67 \pm 0.58 ^k	3.33 \pm 0.58 ^j
5	33.00 \pm 1.73 ^{jk}	3.49 \pm 0.89 ^j
10	35.33 \pm 0.58 ^j	18.50 \pm 0.87 ^h
15	43.55 \pm 2.51 ⁱ	20.27 \pm 0.47 ^g
20	81.00 \pm 1.73 ^h	25.37 \pm 0.64 ^f
25	122.91 \pm 0.87 ^g	26.88 \pm 0.21 ^e
30	161.89 \pm 1.55 ^f	27.49 \pm 0.85 ^e
35	178.78 \pm 1.35 ^e	34.28 \pm 0.48 ^c
40	184.85 \pm 5.94 ^d	51.66 \pm 0.55 ^c
45	206.75 \pm 3.19 ^b	45.49 \pm 0.59 ^a
50	209.43 \pm 1.69 ^b	32.33 \pm 0.85 ^b
55	213.87 \pm 1.19 ^a	4.68 \pm 0.57 ^d
60	130.90 \pm 73.64 ^c	25.27 \pm 0.55 ⁱ

注: 表中所标字母不同表示差异显著($P < 0.05$), 字母相同表示差异不显著($P > 0.05$)。

3.1.2. 不同 pH 值对血鸚鵡蛋白酶活力的影响

由表 2 可以看出, 血鸚鵡肠道和肝胰腺蛋白酶活力随 pH 值的增加先上升后下降, 血鸚鵡肠道蛋白酶活力在 pH 为 8.0 时最高, 并且在 pH 为 7.0 和 8.0 之间蛋白酶活力差异显著($P < 0.05$), 在 pH 为 8.0 和 9.0 之间差异也显著($P < 0.05$)。血鸚鵡肝胰腺蛋白酶活力在 pH 为 10.0 时最高, 活性显著高于其他 pH ($P < 0.05$)。因此, 血鸚鵡肠道和肝胰腺蛋白酶的最适 pH 分别为 8.0, 10.0。

Table 2. Effects of different pH on specific protease activity in intestine and hepatopancreas of blood parrot

表 2. 不同 pH 下血鸚鵡肠道和肝胰腺蛋白酶的活力

pH	肠道蛋白酶活力(%)	肝胰腺蛋白酶活力(%)
1	23.54 ± 0.50 ^j	2.68 ± 0.55 ^h
2	33.67 ± 0.58 ⁱ	4.81 ± 0.33 ^h
3	61.28 ± 0.48 ^h	8.81 ± 0.33 ^h
4	64.38 ± 1.07 ^h	41.27 ± 0.64 ^g
5	66.29 ± 0.62 ^h	42.67 ± 0.58 ^g
6	117.09 ± 3.39 ^g	44.67 ± 0.58 ^g
7	242.00 ± 7.00 ^e	75.70 ± 0.52 ^f
8	299.44 ± 0.96 ^a	131.78 ± 1.95 ^e
9	292.63 ± 2.47 ^b	311.43 ± 9.87 ^c
10	282.82 ± 3.02 ^c	428.59 ± 5.91 ^a
11	279.17 ± 3.89 ^c	374.63 ± 6.63 ^b
12	264.69 ± 1.55 ^d	283.02 ± 4.37 ^d
13	177.33 ± 10.26 ^f	125.33 ± 4.04 ^e

注: 表中所标字母不同表示差异显著($P < 0.05$), 字母相同表示差异不显著($P > 0.05$)。

3.2. 淀粉酶活性

3.2.1. 不同温度对血鸚鵡淀粉酶活力的影响

如表 3 所示, 血鸚鵡肠道淀粉酶的活力随温度的升高先上升后下降; 肝胰腺淀粉酶活力随温度升高变化较为平稳, 但总体上呈现先上升后下降的趋势。血鸚鵡肠道淀粉酶活力在 35℃ 时最大, 显著高于其他温度($P < 0.05$)。血鸚鵡肝胰腺淀粉酶活力在 25℃ 时最大, 在 20℃ 与 25℃ 之间的活力差异显著($P < 0.05$), 25℃ 与 30℃ 的活力差异也显著($P < 0.05$)。因此, 血鸚鵡肠道和肝胰腺淀粉酶的最适温度分别为 35℃, 25℃。

3.2.2. 不同 pH 值对血鸚鵡淀粉酶活力的影响

如表 4 所示, 血鸚鵡肠道和肝胰腺淀粉酶活力随着 pH 的增加表现出明显地先上升后下降的趋势。可以看出, 血鸚鵡肠道和肝胰腺淀粉酶活力均在 pH 为 7.0 时最大, 并且在 pH 为 6.0 和 7.0 之间蛋白酶活力差异显著($P < 0.05$), 在 pH 为 7.0 和 8.0 之间差异也显著($P < 0.05$)。因此, 血鸚鵡肠道和肝胰腺淀粉酶的最适 pH 均为 7.0。

Table 3. Effects of different temperatures on specific amylase activity in intestine and hepatopancreas of blood parrot**表 3.** 不同温度下血鸚鵡肠道和肝胰腺淀粉酶的活力

反应温度(°C)	肠道淀粉酶活力(%)	肝胰腺淀粉酶活力(%)
0	2741.00 ± 35.93 ⁱ	3911.67 ± 11.50 ^e
5	2776.67 ± 8.50 ^h	3976.00 ± 8.19 ^d
10	2883.67 ± 11.55 ^g	4056.67 ± 10.02 ^c
15	2998.33 ± 2.89 ^f	4074.67 ± 6.66 ^{bc}
20	3418.00 ± 5.20 ^d	4108.72 ± 3.94 ^b
25	3433.00 ± 18.19 ^d	4186.83 ± 42.73 ^a
30	3595.67 ± 7.51 ^c	4001.67 ± 2.08 ^d
35	3976.33 ± 40.99 ^a	4006.67 ± 12.42 ^d
40	3683.33 ± 28.87 ^b	4013.67 ± 27.14 ^d
45	3698.33 ± 2.89 ^b	3982.00 ± 5.57 ^d
50	3409.67 ± 16.74 ^d	3760.33 ± 5.69 ^f
55	3205.33 ± 9.24 ^e	3034.33 ± 49.44 ^g
60	2804.00 ± 6.93 ^h	3016.67 ± 39.72 ^g

注：表中所标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)，字母相同表示差异不显著($P > 0.05$)。

Table 4. Effects of different pH on specific amylase activity in intestine and hepatopancreas of blood parrot**表 4.** 不同 pH 下血鸚鵡肠道和肝胰腺淀粉酶的活力

pH	肠道淀粉酶活力(%)	肝胰腺淀粉酶活力(%)
1	424.00 ± 13.86 ^j	533.67 ± 10.50 ⁱ
2	476.67 ± 68.06 ^{ij}	551.33 ± 13.80 ⁱ
3	558.00 ± 13.08 ^{hi}	1031.17 ± 28.53 ^g
4	569.67 ± 5.51 ^h	2568.67 ± 5.69 ^e
5	4406.00 ± 53.02 ^d	2859.33 ± 121.82 ^d
6	11,610.00 ± 58.97 ^b	3099.33 ± 24.01 ^c
7	13,133.30 ± 115.47 ^a	5429.33 ± 8.33 ^a
8	9944.33 ± 59.79 ^c	5237.33 ± 30.01 ^b
9	2861.33 ± 12.70 ^e	1693.00 ± 15.72 ^f
10	863.33 ± 25.54 ^f	1021.67 ± 37.53 ^g
11	658.33 ± 17.90 ^g	883.67 ± 11.59 ^h
12	554.00 ± 10.54 ^{hi}	549.00 ± 15.87 ⁱ
13	525.00 ± 12.12 ^{hi}	522.00 ± 21.52 ⁱ

注：表中所标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)，字母相同表示差异不显著($P > 0.05$)。

Table 5. Effects of different temperatures on intestinal cellulase specific activity of blood parrot
表 5. 不同温度下血鸚鵡肠道纤维素酶的活力

反应温度(°C)	肠道纤维素酶活力(%)
0	7.67 ± 0.58 ^l
5	9.26 ± 0.45 ^k
10	11.78 ± 0.39 ^j
15	12.93 ± 0.13 ^h
20	15.26 ± 0.45 ^g
25	21.33 ± 0.58 ^f
30	24.07 ± 0.13 ^e
35	24.93 ± 0.13 ^d
40	31.63 ± 0.64 ^c
45	36.63 ± 0.64 ^a
50	35.67 ± 0.58 ^b
55	35.44 ± 0.51 ^b
60	12.67 ± 0.58 ^{hi}
70	12.00 ± 0.00 ^{ji}
80	12.37 ± 0.64 ^{hij}

注：表中所标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)，字母相同表示差异不显著($P > 0.05$)。

Table 6. Effects of different pH values on hepatopancreas cellulase specific activity of blood parrot
表 6. 不同 pH 下血鸚鵡肝胰腺纤维素酶的活力

pH	肝胰腺纤维素酶活力(%)
1	24.87 ± 0.81 ⁱ
2	29.13 ± 0.81 ⁱ
3	90.09 ± 0.16 ^{fg}
4	97.90 ± 0.17 ^e
5	298.13 ± 3.23 ^a
6	191.87 ± 3.23 ^b
7	70.58 ± 4.70 ^h
8	85.90 ± 1.90 ^g
9	92.58 ± 0.73 ^{ef}
10	156.00 ± 5.60 ^c
11	153.00 ± 2.65 ^c
12	140.58 ± 6.01 ^d
13	135.33 ± 6.66 ^d

注：表中所标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)，字母相同表示差异不显著($P > 0.05$)。

3.3. 纤维素酶活性

3.3.1. 不同温度对血鸚鵡纤维素酶活力的影响

如表 5 所示, 随着温度的升高, 血鸚鵡肠道纤维素酶活力表现出先升高后下降的趋势, 血鸚鵡肠道纤维素酶活力在 45℃ 时最大, 在 40℃ 与 45℃ 之间的活力差异显著 ($P < 0.05$), 45℃ 与 50℃ 的活力差异也显著 ($P < 0.05$)。由此可见, 血鸚鵡肠道纤维素酶的最适温度为 45℃。

3.3.2. 不同 pH 值对血鸚鵡纤维素酶活力的影响

由表 6 可知, 随着 pH 的升高, 血鸚鵡肝胰腺纤维素酶活力先升高后下降。血鸚鵡肝胰腺纤维素酶活力在 pH 为 5.0 时, 血鸚鵡肝胰腺纤维素酶活力最大, 并且在 pH 为 4.0 和 5.0 之间差异显著 ($P < 0.05$), 在 pH 为 5.0 和 6.0 之间差异也显著 ($P < 0.05$)。由此可见, 血鸚鵡肝胰腺纤维素酶的最适 pH 为 5.0。

4. 讨论

4.1. 温度与血鸚鵡消化酶活力的关系

温度是影响消化酶活力的众多因素之一。血鸚鵡不同消化酶的活性受不同温度的影响不同, 其最适温度也不同。实验发现血鸚鵡肠道和肝胰腺中蛋白酶、淀粉酶和纤维素酶这三种消化酶活力随温度的升高先上升后下降。齐红莉等[9]报道, 由于温度的升高, 斜带髯鲷消化酶活力表现为先升高后下降; 韩庆等[11]对洞庭鲢鱼的研究以及姜永华对中国龙虾[23]的研究中均发现这一现象。在一定范围内, 随水温上升提高投饵量, 使鱼类生长速度加快, 从而降低成本。本实验表明, 血鸚鵡肠道蛋白酶的最适温度为 55℃, 肝胰腺为 45℃; 淀粉酶分别在 35℃、25℃ 时活性最高; 肠道纤维素酶的最适温度为 45℃。由这些数据可以看出, 血鸚鵡消化酶最适反应温度蛋白酶大于淀粉酶和纤维素酶。陈进树[24]在神仙鱼的研究中也发现, 淀粉酶的最适温度为 40℃, 蛋白酶的最适温度为 45℃, 蛋白酶的最适温度高于淀粉酶的最适温度。沈文英等[10]在对澳洲宝石鱼的研究中报道了其蛋白酶最适温度为 50℃, 淀粉酶为 30℃。李代金等[25]表明这一现象同样出现在加州鲈鱼中。与试验结果不同, 丁贤等[26]对异育银鲫消化酶活力的研究发现, 其淀粉酶的最适温度高于蛋白酶和纤维素酶的最适温度。异育银鲫和血鸚鵡均属于杂食性淡水鱼类, 可能由于两者的生活习性不同, 导致消化酶最适环境条件存在差异, 具体的原因需要更深一步研究。

4.2. pH 与血鸚鵡消化酶活力的关系

随着 pH 条件的变化, 血鸚鵡消化酶活力也受到不同的影响, 不同消化酶的最适 pH 也不同。血鸚鵡肠道和肝胰腺中蛋白酶、淀粉酶和纤维素酶的活力在一定范围内随 pH 的增加而逐渐上升, 但当 pH 升到一定值后, 消化酶活力逐渐下降。同类型的报道在蓝点马鲛鱼仔鱼[14]、黄金鲈[16]、驼背鲈[27]等鱼类中也有出现。本研究表明, 血鸚鵡肠道蛋白酶最适 pH 为 8.0, 肝胰腺为 10.0, 淀粉酶为 7.0, 肝胰腺纤维素酶为 5.0。由此可见, 血鸚鵡在 pH 为中性或弱碱性时其蛋白酶和淀粉酶活性最高, 而在 pH 为酸性时纤维素酶活性最高。与实验结果相似, 姜永华等[28]对中国龙虾的研究发现, 其蛋白酶和淀粉酶的最适 pH 为中性或弱碱性, 纤维素酶的最适 pH 为酸性。梅景良等[13]对黑鲷的研究以及刘江华[27]等对驼背鲈的研究均有相似报道。M. Pavasovic 等[29]在 pH 为 7.0 时观察到锯缘青蟹蛋白酶和淀粉酶的最适活性。张弢等[30]研究发现公子小丑鱼在 pH 为 6.0 时肝脏淀粉酶显示最高活性, 其最适 pH 为酸性; 而其余各部位消化酶的最适 pH 为 7.0~8.0。但李俊辉等[31]发现, 马氏珠母贝在 pH 为 5.0 时, 其肝胰腺淀粉酶和纤维素酶显示最大活性。导致鱼类各消化酶的最适 pH 的差异, 可能是生活环境或食性的不同造成的。

4.3. 不同消化器官消化酶活力的差异

血鸚鵡不同消化器官中的消化酶活力各不同, 并且不同消化器官中消化酶对温度和 pH 的敏感程度

也有所差异。血鸚鵡蛋白酶对温度的敏感程度肠道大于肝胰腺,而肠道淀粉酶对温度的敏感程度小于肝胰腺。在最适温度下,血鸚鵡肠道蛋白酶的活力高于肝胰腺蛋白酶的活力,肠道淀粉酶的活力低于肝胰腺淀粉酶的活力。与本实验结果相似,范镇明等[32],杨媪等[16]分别报道,河鲈和黄金鲈在各自最适温度下,其肠道蛋白酶活力高于肝胰脏,而淀粉酶相反。梅景良等[13]对黑鲷以及韩庆等[11]对洞庭鲂鱼的研究中也有相似的发现。另有研究表明,草鱼胰脏蛋白酶活性微弱,而肠道蛋白酶活力高[33]。

血鸚鵡肠道蛋白酶对 pH 的敏感程度小于肝胰腺,而淀粉酶对 pH 的敏感程度肠道大于肝胰腺。血鸚鵡肠道蛋白酶在最适 pH 下的活力小于肝胰腺,而肝胰腺淀粉酶的活力小于肠道。这与姜永华等在对中国龙虾的实验结果相符。同样地,刘江华等[27]在对驼背鲈的研究中发现,在最适 pH 下,其肠道淀粉酶的活力大于肝胰腺。但在王琨等[34]对鳗鱼研究中得出其蛋白酶和淀粉酶活性大小分别为肠道 > 肝胰脏、肝胰腺 > 肠道,这与本实验的结论并不一致。由此可见,不同消化器官中消化酶活性存在差异,可能由于器官的功能特性不同,但仍需要更深一步的研究。

5. 结论

本文结果显示温度和 pH 对血鸚鵡肝胰脏、肠道有显著影响。

1) 血鸚鵡肝脏蛋白酶、淀粉酶最适温度为 45℃ 和 25℃。肠道蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶最适温度为 55℃、35℃ 和 45℃。肝脏蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶最适 pH 分别为 10.0、7.0 和 5.0,肠道蛋白酶、淀粉酶最适温度分别为 8.0 和 7.0。

2) 在各自最适温度下,血鸚鵡蛋白酶活力大小为肠道 > 肝胰腺,淀粉酶活力大小为肝胰腺 > 肠道;在各自最适 pH 下,血鸚鵡蛋白酶活力大小为肝胰腺 > 肠道,淀粉酶活力大小为肠道 > 肝胰腺。

基金项目

国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项(2020YFD0900705)及天津市淡水养殖产业技术体系创新团队(ITFRS2021000-001)。

参考文献

- [1] 何丽,陈再忠,李伟纯. 血鸚鵡的形态特征与核型[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(6): 752-756.
- [2] 施振宁. 杂交观赏鱼血鸚鵡的繁育与养殖技术[J]. 科学养鱼, 2016(10): 79-80.
- [3] 刘万学. 鸚鵡鱼的饲养及日常管理[J]. 黑龙江水产, 2008(3): 35-36.
- [4] 胡玉花,季延滨,郭永军,等. 血鸚鵡的池塘养殖试验[J]. 河北渔业, 2014(9): 35-39.
- [5] 陈进树. 温度对神仙鱼(*Pterophyllum scalare*)主要消化酶活力及呼吸频率的影响[D]: [硕士学位论文]. 厦门: 厦门大学, 2007.
- [6] 杨代勤. 黄鳝营养需要与消化酶的研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2002.
- [7] 刘克明,钱红,夏苏东,等. 温度对北极红点鲑体成分和消化酶活力指标的影响[J]. 经济动物学报, 2017, 21(1): 29-32.
- [8] 寿建昕,沈文英,吴颖芳,等. 温度对翘嘴红鲌消化酶活力的影响[J]. 水利渔业, 2006(2): 6-7+25.
- [9] 齐红莉,王睿睿,王晓梅,等. 反应温度对斜带髯鲷消化酶活力的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(3): 1293-1296.
- [10] 沈文英,祝尧荣,钱科亮. 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(2): 189-192.
- [11] 韩庆,刘良国,张建平,等. 温度和 pH 对洞庭鲂鱼消化酶活性的影响[J]. 水生生物学报, 2011, 35(1): 22-29.
- [12] 任晓伟. 环境因子和营养水平对半滑舌鲷消化酶活性的影响[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [13] 梅景良,马燕梅. 温度和 pH 对黑鲷主要消化酶活性的影响[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2004(3): 226-230.
- [14] 陈健,郑春静,桑卫国. 温度和 pH 对不同日龄蓝点马鲛鱼仔鱼消化酶活性的影响[J]. 宁波大学学报(理工版),

- 2015, 28(3): 9-12.
- [15] 朱爱意, 褚学林. 大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)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]. 海洋与湖沼, 2006(6): 561-567.
- [16] 杨嫫, 邢秀苹, 黄权, 等. 温度和 pH 对黄金鲈消化酶活力的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(10): 1-6.
- [17] 郭娟, 李秀娟, 李英文. 温度、pH 值对团头鲂肝脏主要消化酶活性的影响[J]. 河北渔业, 2009(10): 20-22.
- [18] 汪学杰, 牟希东, 胡隐昌, 等. 血鸚鵡鱼的池塘养殖技术[J]. 中国水产, 2010(3): 39-40.
- [19] 王甘翔, 潘亚均. 血鸚鵡苗种繁育技术[J]. 科学养鱼, 2009(2): 72-73+85.
- [20] 史东杰, 孙向军, 梁拥军, 等. 几种增艳物质对血鸚鵡增艳效果的影响[J]. 科学养鱼, 2014(3): 67-68.
- [21] 张晓红, 吴锐全, 王海英, 等. 虾青素与螺旋藻对血鸚鵡体色的影响[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(1): 79-82.
- [22] 牟春艳, 郑曙明, 任胜杰, 等. 不同体色血鸚鵡鱼的色素细胞种类、数量及色素含量[J]. 水产科学, 2015, 34(8): 497-501.
- [23] 姜永华, 颜素芬. 反应温度对中国龙虾消化酶活力的影响[J]. 集美大学学报: 自然科学版, 2009, 14(1): 6.
- [24] 李雅敏, 刘艳莉, 石勇, 等. 三丁酸甘油酯对草鱼幼鱼体成分与形体指标及肠道消化酶的影响[J]. 现代农业科技, 2019(24): 185-187+189.
- [25] 李代金. 温度、pH 对加州鲈鱼消化酶活性的研究[C]//中国水产学会. 2012 年中国水产学会学术年会论文摘要集. 2012: 152.
- [26] 丁贤, 李卓佳, 陈永青. 温度和 pH 对异育银鲫消化酶稳定性及其活力的影响[J]. 海洋水产研究, 2008(4): 46-51.
- [27] 刘江华, 区又君, 李加儿, 等. 温度和 pH 对驼背鲈消化酶活力的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2014, 53(3): 95-100.
- [28] 姜永华, 颜素芬. pH 值对中国龙虾消化酶活力的影响[J]. 动物学报, 2008(2): 317-322.
- [29] Pavasovic, M., Richardson, N.A., Anderson, A.J., et al. (2004) Effect of pH, Temperature and Diet on Digestive Enzyme Profiles in the Mud Crab, *Scylla serrata*. *Aquaculture*, **242**, 641-654. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.08.036>
- [30] 张弢, 蔡生力, 鞠晨曦. 温度和 pH 对公子小丑鱼幼鱼消化酶活性的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(3): 131-135.
- [31] 李俊辉, 王庆恒, 杜晓东, 等. 温度和 pH 对马氏珠母贝肝脏消化酶活力的影响[J]. 水产科学, 2011, 30(2): 115-117.
- [32] 范镇明, 钱龙, 王咏星. 温度和 pH 值对河鲈消化酶活性的影响[J]. 淡水渔业, 2008(2): 36-39.
- [33] Das, K.M. and Tripathi, S.D. (1991) Studies on the Digestive Enzymes of Grass Carp, *Ctenopharyngodon idella* (Val.). *Aquaculture*, **92**, 21-32. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90005-R](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90005-R)
- [34] 王琨, 叶继丹. 不同温度、pH 值对鳗鱼消化道蛋白酶和淀粉酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2007(33): 10727-10729.