

中华倒刺鲃幼鱼饲料蛋白质需求量的研究

林小植^{1,2} 谢小军¹ 罗毅平¹

(1. 西南大学淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 韩山师范学院生物系, 潮州 521041)

摘要: 以白鱼粉为蛋白源, 设计了 6 个不同蛋白质含量 (20.49%、26.48%、34.20%、41.02%、49.94% 和 55.86%, 分别表示为 D1、D2、D3、D4、D5 和 D6) 的等能饲料, 采用室内循环水养殖系统, 在水温为 $(27.5 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 的条件下对中华倒刺鲃幼鱼进行 10 周的养殖实验, 探讨中华倒刺鲃幼鱼对饲料蛋白质的需求量。每个处理设 4 个重复, 每个重复 12 尾鱼。结果显示: 干物质摄食率 (FR_{dm}) 随饲料蛋白质含量升高呈先降低然后稳定的趋势; 蛋白质摄食率 (FR_p) 与饲料蛋白质含量呈正相关关系 ($r = 0.982$, $p < 0.01$)。干物质表观消化率随饲料蛋白质含量增加而降低, 蛋白质消化率在各组间无显著差异。随饲料蛋白质含量由 D1 逐渐增加至 D4, 体重特定生长率 (SGR_w)、能量特定生长率 (SGR_e) 和饲料效率 (FE) 均显著增高 ($p < 0.05$), 而 D4、D5 和 D6 组间无显著差异, 其中 D4 组的三个指标值均最高, 分别为 $(0.97 \pm 0.04)\% / d$ 、 $(0.87 \pm 0.04)\% / d$ 、 $(68.96 \pm 3.00)\%$ 。蛋白质效率 (PER)、蛋白质累积率 (PPV) 和能量累积率 (EPV) 在各饲料组间均存在显著差异。以 SGR_w 、 SGR_e 和 FE 为指标, 采用折线模型分析表明, 中华倒刺鲃幼鱼的最适饲料蛋白质含量为 39.6%—42.2%。

关键词: 蛋白质需求量; 生长; 饲料效率; 蛋白质效率; 中华倒刺鲃

中图分类号: S965.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2009)04-0674-08

蛋白质是鱼体的主要组成物质, 鱼类需要摄入一定量的蛋白质用于维持正常的组织功能, 修复损耗组织, 累积和形成新的蛋白质用于维持生长和繁殖, 同时为鱼体代谢提供能量^[1]。蛋白质还是鱼类饲料中的重要营养成分^[2], 是决定鱼类生长速率的关键因素, 饲料中蛋白质含量不足, 将导致鱼类的生长速度减慢甚至停滞^[3-5]。饲料蛋白质含量过高, 一则不经济, 二则会使鱼体排放过量的氨氮, 加重鱼体负担, 抑制鱼类生长, 导致水体质量下降^[6-8]。因此, 鱼类对饲料蛋白质利用存在最适需求量的问题, 确定鱼类饲料蛋白质最适含量, 对于改善饲料品质, 降低养殖成本, 提高经济效益均有重要意义。

中华倒刺鲃 (*Spinibarbus sinensis*) 属鲤形目, 鲤科, 鲃亚科, 倒刺鲃属, 是我国特有鱼类之一, 分布于长江中上游及其支流。其食性杂, 肉嫩味美, 肌间刺少, 抗病性强, 是一种极具开发潜力的淡水名优鱼类。由于过度捕捞, 野生中华倒刺鲃资源已近匮乏^[9]。近年来, 随着中华倒刺鲃人工繁殖和种苗移

养技术的成功, 该种鱼已在西南地区被广泛养殖^[10]。已有关于中华倒刺鲃的主要研究仅见人工繁殖^[11, 12]和种苗移养技术^[12]。未见关于其饲料营养物质需求研究的报道。本研究旨在探讨中华倒刺鲃幼鱼对饲料蛋白质含量的需求, 通过分析饲料蛋白质含量对其摄食利用和生长的影响, 估算该种鱼的饲料最适蛋白质含量。

1 材料与方法

1.1 实验饲料 用白鱼粉为蛋白源, 玉米油为脂肪源, 玉米淀粉为能量平衡物质, 牛肝为引诱剂, 1% 三氧化二铬作为外源指示剂, 配制 6 组等能饲料, 蛋白质含量分别为 20.49%、26.48%、34.20%、41.02%、49.94% 和 55.86%, 分别表示为 D1、D2、D3、D4、D5 和 D6 (表 1)。配制饲料前, 先将饲料原料碾磨成细粉, 并过筛。将所有组分与玉米油均匀混合后, 添加水分, 制成软饲料, 保存于 -26°C 待用。

收稿日期: 2008-11-10 修订日期: 2009-04-12

基金项目: 重庆市自然科学基金 (项目编号: 2007BA7029) 资助

作者简介: 林小植 (1980—), 男, 汉族, 广东揭阳人; 博士研究生; 主要从事鱼类营养生理学方面研究。E-mail: xiaozhilinok@gmail.com

通讯作者: 谢小军, E-mail: xjx@swu.edu.cn

表 1 实验饲料配方及成分含量表 (% 干重)

Tab. 1 Formulation and proximate analysis of experimental diets (% dry weight)

配方 Formulation	D1	D2	D3	D4	D5	D6
鱼粉 Fish meal ¹	24.31	34.09	43.87	53.65	63.43	73.20
玉米淀粉 Corn starch	51.36	41.58	31.79	22.01	12.23	2.45
微精纤维素 Micro-crystal cellulose	8.24	9.01	9.78	10.55	11.31	12.08
牛肝 Ox liver	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
玉米油 Corn oil	4.09	3.33	2.56	1.79	1.03	0.26
维生素预混剂 Vitamin premix ²	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
无机盐预混剂 Mineral premix ³	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
羧甲基纤维素 Carboxymethyl cellulose	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
三氧化二铬 Cr ₂ O ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
成分分析 Proximate analysis (%) ⁴						
饲料干物质含量 Dry weight	52.80	51.28	57.16	55.26	54.64	50.29
碳水化合物 Carbohydrate	49.01	41.88	33.25	22.11	11.78	3.10
蛋白质 Protein	20.49	26.48	34.20	41.02	49.94	55.86
脂肪 Lipid	6.19	6.01	5.65	5.64	5.64	5.78
灰分 Ash	7.23	9.70	11.37	13.11	14.66	16.66
能值 Energy (mJ/kg)	15.71	15.83	16.02	15.71	16.04	16.00

注: ¹来源 North Pacific L/T Whitefish meal UNISEA, Inc. DUTCH HARBOR, AK 99692, G. L. S.; 过筛后粗蛋白: 71.6%, 脂肪 7.8%; ²维生素预混剂 Vitamin premix (U or mg/kg diet): DL- α -tocopheryl acetate 60 IU; Nadenadione bisulfate 5 mg retinyl acetate 15 000 IU; DL-cholecalciferol 3000 IU; B₁ 15 mg B₂ 30 mg B₆ 15 mg B₁₂ 0.05 mg nicotinic acid 175 mg folic acid 500 mg inositol 1000 mg H, 2.5 mg calcium pantothenate 50 mg choline 2000 mg C, 270 mg in term with the recommendations of NRC^[22]; ³无机盐预混剂 Mineral premix (g or mg/kg diet): CaCO₃ (40% Ca), 2.15 g MgO (60% Mg), 1.24 g FeC₆H₅O₇·H₂O, 0.2 g KI (75% I), 0.4 mg ZnSO₄ (36% Zn), 0.4 g CuSO₄·5H₂O (23% Cu), 0.3 g MnSO₄·H₂O (33% Mn), 0.3 g; CaH₂PO₄·2H₂O, 5 g CaCl₂·6H₂O, 2 mg Na₂SeO₃, 3 mg KCl 0.9 g NaCl 0.4 g in term with the recommendations of NRC^[22]; ⁴饲料能量蛋白质以 23.6 mJ/kg 脂肪以 39.5 mJ/kg 淀粉以 17.2 mJ/kg 计算 The dietary energy was calculated as protein 23.6 mJ/kg lipid 39.5 mJ/kg starch 17.2 mJ/kg^[18]

1.2 实验鱼的驯化 养殖系统由 24 个 100L 塑料水槽组成, 循环曝气自来水作为水源, 经过生物球过滤流入水槽, 各槽内水流量均在 5L/min 以上。实验期间水温控制在 (27.5 ± 0.5) °C, 该温度在中华倒刺鲃最适生长温度范围内^[13, 14]。水中溶氧控制在 5mg/L 以上, pH 为 6.5—7.3 氨氮为 0.005—0.025mg/L, 光照周期为 12L: 12D。

实验鱼为当年同批人工孵化的幼鱼 (4 月龄)。实验前在实验室驯化 2 周, 驯化期间以 D4 作为驯化饲料, 每日 18:00 投喂一次, 达饱足。正式实验前禁食 48h, 用 MS-222 (30mg/L, Research Organics Inc., American) 麻醉后称量体重。

1.3 实验操作 每个养殖水槽中随机放入 12 尾体重接近 (10.36 ± 1.40) g (mean ± S.D.) 的健康实验鱼, 每个饲料处理组设 4 个重复, 分别喂养于 4 个养殖水槽中。每日 18:00 投喂达饱足。每次喂养之前, 用自制颗粒饲料制作器将饲料压制成相同重量

的饲料颗粒^[15, 16], 通过摄食的颗粒数确定摄食量^[16]。实验喂养期为 10 周, 从喂养实验第 2 周开始收集粪便, 选择成形的新鲜粪便收集于容器中, 在 -26 °C 下保存待测。实验开始时随机取 9 尾鱼, 作为初始化学组分测定样品, 实验结束时, 禁食 48h 后, 称量体重, 每个养殖水槽随机取 4 尾鱼, 测定鱼体化学组分。

1.4 生化测定 所有取样的饲料、粪便和实验鱼均保存于 -26 °C, 测定前将样品在 70 °C 下烘干至恒重, 求得水分和干物质含量。采用凯氏定氮法测定样品的氮含量, 将测定总氮乘以 6.25 后得粗蛋白质含量; 采用索氏抽提法, 以乙醚为抽提剂测定脂肪含量; 将样品在马福炉中 550 °C 灼烧 7h 后得灰分含量; Cr₂O₃ 含量采用湿法消化后, 比色测定^[17]。饲料总能值通过系数 23.6、39.5 和 17.2 mJ/kg 分别算出蛋白质、脂肪和淀粉所含能值然后求和^[18]。

1.5 参数计算及统计方法

摄食率 ($FR_{(dm, p)}$, g/kg · d) = $100 \times I_{(dm, p)} / [(W_t + W_0) / 2] / t$

体重特定生长率 (SGR_w , % /d) = $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$

能量特定生长率 (SGR_e , % /d) = $100 \times (\ln E_t - \ln E_0) / t$

饲料效率 (FE , %) = $100 \times (W_t - W_0) / I_{dm}$

蛋白质效率 (PER , %) = $100 \times (W_t - W_0) / I_p$

蛋白质累积率 (PPV , %) = $100 \times (W_t \times P_1 - W_0 \times P_2) / I_p$

能量累积率 (EPV , %) = $100 \times (W_t \times E_t - W_0 \times E_0) / I_e$

表观消化率 (ADC , %) = $100 \times (1 - \text{饲料中 } C_{2}O_3 \text{ 含量} / \text{粪便中 } C_{2}O_3 \text{ 含量})$

营养物质表观消化率 (%) = $100 \times [1 - (\text{饲料中 } C_{2}O_3 \text{ 含量} \times \text{粪便中营养物质含量}) / (\text{粪便中 } C_{2}O_3 \text{ 含量} \times \text{饲料中营养物质含量})]$

其中 W 和 W_0 分别为终末和初始体重 (g), E 和 E_0 分别为终末和初始鱼体含能量 (mJ/kg), t 为实验时间 (d), P 、 P_1 和 P_2 分别为饲料、终末鱼体和初始鱼体蛋白质含量 (%), I_{dm} 和 I_p 分别为摄入的饲料干物质重 (g) 和饲料蛋白质 (g)。

采用 STATISTICA 6.0 软件对各饲料处理的结

果进行统计分析。进行单因素方差分析、相关性分析和 Fisher LSD 检验 ($p < 0.05$)。根据生长指标与饲料蛋白质含量之间关系, 用折线模型求得相应折点的蛋白质含量, 为生长最适的蛋白质含量。其方程式为: $Y = L - U(R - x)$; 其中 Y 为生长或饲料利用指标 (即 SGR_w 、 SGR_e 和 FE), L 为纵坐标的最大值, U 为斜率, x 为蛋白质含量, R 为最适蛋白质需求量。当 $x > R$ 时, $U = 0$ 。

2 结果

2.1 饲料蛋白质含量对摄食率和消化率的影响
 FR_{dm} 随饲料蛋白质含量增高呈先显著地下降, 然后略有上升的趋势。D1 组的 FR_{dm} 最大, 其值为 (16.07 ± 0.50) g/kg · d D4 组的 FR_{dm} 最小, 为 (13.55 ± 0.43) g/kg · d 之后随着饲料蛋白质含量的进一步增加略有上升, D4 组与 D6 组间无显著差异。 FR_p 与饲料蛋白质含量呈显著的正相关关系 ($r = 0.982, p < 0.01$), 随饲料蛋白质含量的增加而增加, D1 组 FR_p 最小, D6 组最大, 其值分别为 (3.29 ± 0.10) 和 (7.93 ± 0.11) g/kg · d (表 2)。饲料干物质表观消化率随饲料蛋白质的增加而显著降低 ($p < 0.01$), 由 D1-D6 饲料组其表观消化率为 73.12% — 55.02%。饲料中蛋白质消化率在各组间差异不显著。

表 2 饲料蛋白质含量对中华倒刺鲃幼鱼摄食和表观消化率的影响						
Tab. 2 Effects of dietary protein levels on the feeding rate and apparent digestibility coefficients of juvenile <i>S. sinensis</i>						
饲料 Diet(protein%)	D 1 (20.49)	D 2 (26.48)	D 3 (34.20)	D 4 (41.02)	D 5 (49.94)	D 6 (55.86)
干物质摄食率 FR_{dm} (g/kg · d)	16.07 ± 0.50 ^a	15.96 ± 0.63 ^{ab}	14.86 ± 0.15 ^{bc}	13.55 ± 0.43 ^d	14.89 ± 0.25 ^{abc}	14.20 ± 0.19 ^{cd}
蛋白质摄食率 FR_p (g/kg / d)	3.29 ± 0.10 ^f	4.22 ± 0.17 ^e	5.08 ± 0.05 ^d	5.56 ± 0.18 ^c	7.44 ± 0.13 ^b	7.93 ± 0.11 ^a
表观消化率 ADC^{1} of dry matter(%)	73.12 ± 1.07 ^a	66.57 ± 0.65 ^b	63.25 ± 0.54 ^c	61.43 ± 0.76 ^c	56.65 ± 1.93 ^d	55.02 ± 0.95 ^d
蛋白质消化率 ADC of protein(%)	85.88 ± 0.84	84.99 ± 1.60	87.35 ± 0.40	86.57 ± 1.14	86.58 ± 1.03	85.29 ± 2.53

注: 数据用平均值 ± 标准误表示 ($n = 4$); 每行平均值后上标字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$); ADC : 为表观消化率
Note The data were expressed as mean ± S.E. ($n = 4$); Values within the same row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$); ADC : Apparent digestibility coefficients

2.2 饲料蛋白质含量对特定生长率的影响

随饲料蛋白质含量的升高, SGR_w 呈先显著升高, 然后达到一平台的趋势 (表 3)。当饲料蛋白质含量由 D1 组升至 D4 组, SGR_w 由 $(0.60 \pm 0.03)\%$ /d 升至 $(0.97 \pm 0.04)\%$ /d; 当饲料蛋白质含量继续升高至 D6 组, SGR_w 在 D4、D5 和 D6 三组间无显著差

异, 其中 D4 组 SGR_w 最高。 SGR_e 随蛋白质含量的升高表现出先升高后降低的趋势。当饲料蛋白质含量由 D1 组升至 D4 组, SGR_e 的值由 $(0.66 \pm 0.03)\%$ /d 升至 $(0.87 \pm 0.04)\%$ /d 当饲料蛋白质含量继续升高至 D6 组, SGR_e 值降为 $(0.78 \pm 0.06)\%$ /d 其中 D4 组 SGR_e 最高。

表 3 饲料蛋白质含量对中华倒刺鲃幼鱼生长和摄食利用的影响

Tab. 3 Effects of different dietary protein levels on the growth performance and the diets utilization in juvenile *S. sinensis*

饲料 Diet(protein %)	D 1 (20. 49)	D 2(26. 48)	D 3(34. 20)	D 4(41. 02)	D 5(49. 94)	D 6(55. 86)
初始体重 Initial weight (g)	10. 32±0. 00	10. 31 ±0. 01	10. 43 ±0. 02	10. 37±0. 05	10. 34±0. 05	10. 40±0. 06
体重特定生长率 SGR_w (% /d)	0. 60±0. 03 ^c	0. 67 ±0. 04 ^{bc}	0. 78 ±0. 03 ^b	0. 97±0. 04 ^a	0. 96±0. 08 ^a	0. 96±0. 05 ^a
能量特定生长率 SGR_e (% /d)	0. 66±0. 03 ^b	0. 71 ±0. 04 ^{ab}	0. 78 ±0. 04 ^{ab}	0. 87±0. 04 ^a	0. 85±0. 10 ^a	0. 78±0. 06 ^{ab}
饲料效率 FE (%)	36. 52±0. 99 ^c	41. 17 ±0. 91 ^c	50. 98 ±2. 23 ^b	68. 96±3. 00 ^a	61. 76±4. 51 ^a	65. 13±2. 76 ^a
蛋白质效率 PER (%)	178. 23±4. 85 ^a	155. 51 ±3. 45 ^{bc}	149. 09 ±6. 53 ^c	168. 13±7. 31 ^{ab}	123. 68±9. 04 ^d	116. 60±4. 93 ^d
蛋白质累积率 PPV (%)	23. 92±2. 17 ^{ab}	21. 79 ±0. 59 ^{bc}	20. 66 ±0. 49 ^{bc}	25. 98±1. 22 ^a	19. 52±1. 69 ^c	18. 62±1. 08 ^c
能量累积率 EPV (%)	20. 05±0. 39 ^c	21. 61 ±0. 71 ^{bc}	24. 55 ±1. 23 ^{abc}	28. 87±0. 81 ^a	25. 18±2. 87 ^{ab}	23. 49±2. 00 ^{bc}

注: 数据用平均值 ±标准误表示 ($n = 4$); 每行平均值后上标字母不同表示差异显著 ($p < 0. 05$)
Note The data were expressed as mean ± S. E. ($n = 4$); Values within the same row with different superscripts are significantly different ($p < 0. 05$)

2. 3 饲料蛋白质含量对饲料利用的影响

FE 随饲料蛋白质含量升高呈先升高, 达到一平台但略有降低的趋势 (表 3)。当饲料蛋白质含量由 D1 组升高至 D4 组, FE 由 (36. 52 ±0. 99)% 升至 (68. 96 ±3. 00)%, 当饲料蛋白质含量继续升高至 D6 组, FE 降至 (65. 13 ±2. 76)%, D4、D5 和 D6 组间差异不显著。 PER 随饲料蛋白质含量的升高而逐渐降低, 当饲料蛋白质含量从 D1 组升高至 D6 组时, PER 由 (178. 23 ±4. 85)% 降至 (116. 60 ±4. 93)%。 PPV 也随饲料蛋白质含量增加而降低, PPV 由 D1 组的 (23. 92 ±2. 17)% 降至 D6 组的 (18. 62 ±1. 08)%。 EPV 随饲料蛋白质含量增加呈现先升高后降低的趋势。当蛋白质含量由 D1 组升高至 D4 组时, EPV 由 (20. 05 ±0. 39)% 增至 (28. 87 ±0. 81)%; 当蛋白质含量继续上升至 D6 组时, EPV 降低为 (23. 49 ±2. 00)%。

3 讨 论

3. 1 最适蛋白质需求量

本实验中, 随饲料蛋白质含量的增加, SGR_w 显著升高, 当蛋白质含量达到 D4 组时, SGR_w 达峰值 (表 3), 表明体重为 10g 左右的中华倒刺鲃幼鱼对饲料蛋白质含量需求量约为 41. 02%。

在探讨鱼类营养物质需求量的研究中, 不同的学者采用不同的数学模型估算理论最适值。通常用于估算最适蛋白质需求量的模型有两种: 一、折线模

型 (Broken-line model), 该模型的生物学假定前提是实验鱼的生长效应随实验物质剂量的增加而线性增加, 当达到需求水平后, 其生长效应无进一步的明显变化^[19]; 二、多项式回归模型, 其生物学假定前提是实验鱼的生长效应随实验物质剂量呈非线性变化, 包括二次曲线回归模型 (抛物线)、四参数饱和和动力模型及五参数饱和和动力模型, 其中二次曲线模型是鱼类营养需求研究中较为常用的方法之一^[15-20]。不同的数学模型估算出不同的结果, 只有根据所得实验结果正确利用数学模型, 才能得出科学、合理、准确的结论^[21]。依照本实验结果, SGR_w 、 SGR_e 和 FE 均随饲料蛋白质含量的增加而线性增加 (D1—D4 $p < 0. 01$), D4 组均达峰值, 均与 D5 和 D6 组接近, 无显著差异, 表明本实验结果的数据特征与折线模型的生物学假定前提相符, 同时, 我们利用两个模型对数据进行拟合发现, 折线模型的拟合度更高。因此, 我们采用折线模型分别对以上三个指标进行估算, 折点对应的蛋白质含量值分别为 42. 2% (图 1)、39. 6% (图 2) 和 41. 0% (图 3)。这表明, 体重为 10. 36g 的中华倒刺鲃, 在以白鱼粉为蛋白质源, 饲料含能量为 15. 71m J/kg 水温为 (27. 5 ±0. 5)℃ 时, 其饲料的理论最适蛋白质含量为 39. 6% — 42. 2%。

将本研究结果与已有的关于杂食性鱼类最适蛋白质含量的研究比较 (表 4), 发现中华倒刺鲃幼鱼对饲料蛋白质需求量较高。鱼类存在随生长而改变食性的现象, 其饲料蛋白质需求量也会随之发生变

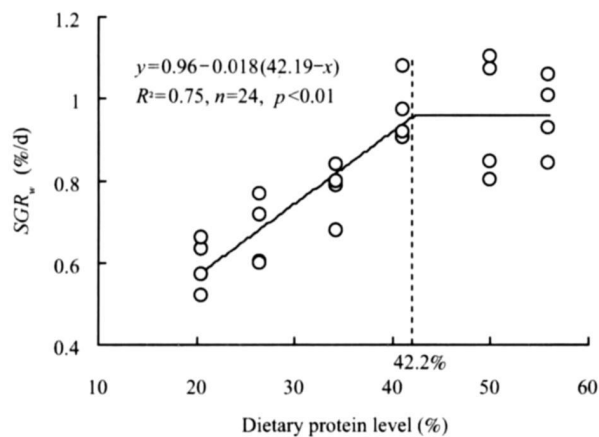


图1 饲料蛋白质含量对中华倒刺鲃体重特定生长率的影响
Fig. 1 Relationship between SGR_w of juvenile *S. sinensis* and dietary protein levels

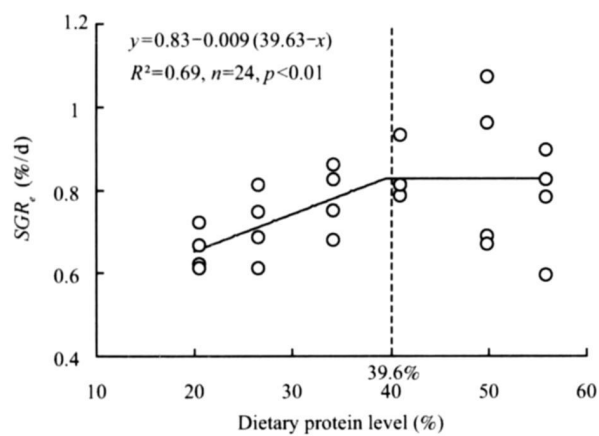


图2 饲料蛋白质含量对中华倒刺鲃能量特定生长率的影响
Fig. 2 Relationship between SGR_e of juvenile *S. sinensis* and dietary protein levels

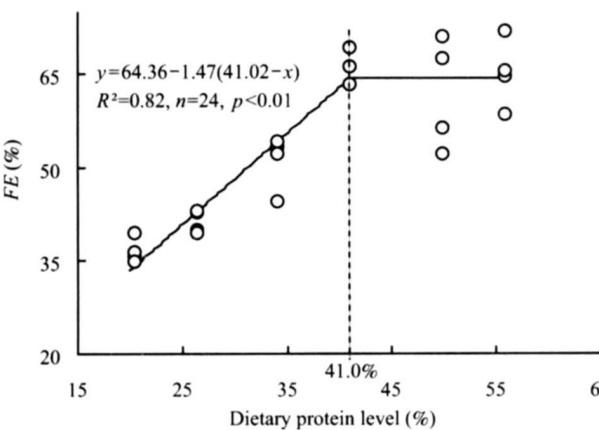


图3 饲料蛋白质含量对中华倒刺鲃的饲料干物质效率的影响
Fig. 3 Relationship between FE of juvenile *S. sinensis* and dietary protein levels

化^[1, 20, 22]。罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 幼鱼体重小于 1g 时, 其食性偏动物性, 饲料最适蛋白质含量为 35%—50%, 1—5g 幼鱼最适蛋白质含量为 30%—40%, 5—25g 幼鱼食性逐渐转为杂食性, 最适蛋白质含量为 25%—30%, 25g 以上最适蛋白质含量为 25%—30%^[1, 22]; 鲤鱼 (*Cyprinus carpio*) 稚鱼期 (Fry) 其食性也偏动物性, 最适饲料蛋白质含量为 43%—47%, 寸片 (Fingerling) 需求最适蛋白质含量为 37%—42%, 其后食性逐渐转为杂食性, 最适蛋白质含量下降为 28%—35%^[1]; 草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 幼鱼期食性偏向于动物性, 饲料最适蛋白质需求量较高 41%—43%^[23], 但其成鱼的最适蛋白质含量为 22%—27%^[24]。蔡焰值等^[13]研究发现, 11cm 以下的中华倒刺鲃幼鱼主要以枝角类、桡足类水生动物为食, 12cm 以上逐渐转变为以植物为主, 同时摄食水生昆虫、软体动物等的杂食性。本实验中华倒刺鲃均为 4 月龄的幼鱼, 其初始体长均在 8cm 以下, 食性应当偏动物性, 这是其最适饲料蛋白质含量较高的原因。

表 4 几种鱼类最适蛋白质含量的比较

Tab. 4 The comparison of the optimum dietary protein levels among several fish species

种类 Species	最适蛋白质含量 Optimum dietary protein (%)	资料来源 References
中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>	41.02	本研究
马口鱼 <i>Zacco barbatu</i>	35.2	[3]
大头鲤 <i>Aristichthys nobilis</i>	30.1	[27]
银鲤 <i>Puntius gonionotus</i>	35	[28]
光倒刺鲃 <i>Spinibarbus hollandi</i>	32.7	[29]
鲤鱼 <i>Cyprinus carpio</i>	31	[30]

3.2 中华倒刺鲃幼鱼生长慢的原因

已有研究表明, 中华倒刺鲃的生长速率随年龄增长而加快, 其幼鱼阶段生长速率较慢。一般一冬龄幼鱼体重 107—133g^[13], 人工饲养两年, 平均体重可达 580—710g^[25, 26]。将本研究 D4 组所得生长数据与其他鱼类相比较 (表 5), 发现中华倒刺鲃幼鱼的生长速率最慢。对本研究所得摄食率和消化率观测结果进行分析, 我们认为有两方面的原因: 该种鱼的摄食率和饲料蛋白质消化率均低。我们将各种鱼的蛋白质摄入量乘以蛋白质消化率得到蛋白质同化率, 从表 5 可以发现, 中华倒刺鲃的蛋白质同化率最低。由此, 摄食率低和消化率低导致鱼体从食物中获得可供利用的蛋白质含量较低, 是其生长速率慢的主要原因。

表 5 几种鱼类摄食最适蛋白质含量饲料后摄食利用和生长的情况
Tab. 5 Growth performances in several fish species fed diets containing optimum protein level

种类 Species	饲料最适蛋白质 Optimum dietary protein (%)	SGR_w (% /d)	FR_{dm} (% BW /d)	ADC^1 of Protein (%)	蛋白质同化率 ² Assimilative protein ratio (% BW /d)	资料来源 References
中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>	41.02	0.97	1.36 ¹	86.57	0.48	本研究
遮目鱼 <i>Chanos chanos</i>	40	1.15	5	81.74	1.63	[6]
南方鲇 <i>Silurus meridionalis</i>	51.6	3.32	2.37	87.97	1.07	[15, 16]
罗非鱼 <i>Oreochromis niloticus</i>	35.4	2.71	饱足	93.1	—	[31]
美洲鳗鲡 <i>Anguilla rostrata</i>	47	1.20	1.32	90.6	0.56	[32]
长吻鮠 <i>Leiostassis longirostris</i>	42.2	3.13	2.47	91.6	0.95	[33]
海鲷 <i>Diplodus sargus</i>	40.4	3.09	3.28	94.6	1.25	[34]
虹鳉 <i>Oncorhynchus mykiss</i>	45.9	3.35	1.45	93.7	0.62	[35]

注: ¹ ADC : 为表观消化率; ² 蛋白值同化 = 蛋白质摄入量 × 蛋白质消化率
Note ADC : Apparent digestibility coefficient; Assimilative protein ratio = intake protein × apparent digestibility coefficient of protein

综上, 本研究提供了有关中华倒刺鲃幼鱼饲料最适蛋白质需求量的基础资料。除饲料蛋白质需求量外, 影响鱼类生长的主要营养学因素还有蛋白质与饲料能量比、氨基酸组成、饲料中非蛋白质消化能物质等^[1], 值得在今后的研究中进行探讨, 为研制中华倒刺鲃的人工配合饲料提供更丰富的资料。

参考文献:

[1] Wilson R P, Halver J E. Protein and amino acid requirements of fishes [J]. *Annual Review of Nutrition*, 1986, **6**: 225—244

[2] Halver J E. Fish Nutrition [A]. Academic Press, Inc. 3, Amino Acids and Proteins [C]. Robert P. Wilson. 1989: 112—141

[3] Shiyong W J, Huang C H, Chen H C. Effects of dietary protein concentration on growth and muscle composition of juvenile *Zacco barbata* [J]. *Aquaculture*, 1998, **167**: 35—42

[4] Shiao S Y, Lan C W. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus maha bariaus*) [J]. *Aquaculture*, 1996, **145**: 259—266

[5] Lupatsch J, Kissil G W, Sklan D, et al. Energy and protein requirements for maintenance and growth in gillhead seabream (*Sparus aurata* L.) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1998, **4**: 165—173

[6] Jana S N, Garg S K, Baman U K, et al. Effect of varying dietary protein levels on growth and production of *Chanos chanos* (Forsskal) in inland saline groundwater: laboratory and field studies [J]. *Aquaculture International*, 2006, **14**: 479—498

[7] Carter C G, Houlihan D E, Owen S E. Protein synthesis, nitrogen excretion and long-term growth of juvenile *Peuronectes flesus* [J]. *Journal of Fish Biology*, 1998, **53**: 272—284

[8] Lam S S, Ambak M A, Jusoh A, et al. Waste excretion of marble goby (*Oxyeleotris marmorata* Bleeker) fed with different diets [J]. *Aquaculture*, 2008, **274**: 49—56

[9] Duan X B, Chen D Q, Liu S P, et al. Studies on status of fishery resources in Three Gorges Reservoir reaches of the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(6): 605—611 [段辛斌, 陈大庆, 刘绍平, 等. 长江三峡库区鱼类资源现状的研究. 水生生物学报, 2002, **26**(6): 605—611]

[10] Wang G Y, Li Q, Wang Q Y, et al. Studies of the propagation technique and larva breeding skill on *Spinibarbus sinensis* [J]. *China Fisheries*, 2004, **4**: 84—85 [王贵英, 李清, 王青云, 等. 中华倒刺鲃人工繁殖和苗种培育技术. 中国水产, 2004, **4**: 84—85]

[11] Bing X W, Cai B Y, Wang L P. Evaluation of nutritive quality and nutritional components in *Spinibarbus sinensis* muscle [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, **12**(2): 211—215 [邴旭文, 蔡宝玉, 王利平. 中华倒刺鲃肌肉营养成分与品质的评价. 中国水产科学, 2005, **12**(2): 211—215]

[12] Cai Y Z, Cai Y Q, He C R. Studies of the propagation skills on *Spinibarbus sinensis* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2005, **35**(1): 35—38 [蔡焰值, 蔡烨强, 何长仁. 中华倒刺鲃人工繁殖技术研究. 淡水渔业, 2005, **35**(1): 35—38]

[13] Cai Y Z, He C R, Cai Y Q, et al. Studies on the biological characters of *Spinibarbus sinensis* [J]. *Freshwater Fisheries*

- 2003 **33**(3): 16—18 [蔡焰值, 何长仁, 蔡烨强, 等. 中华倒刺鲃生物学初步研究. 淡水渔业, 2003, **33**(3): 16—18]
- [14] Jin C B, Zhu X W. Studies of the larva breeding technique on *Spinibarbus sinensis* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2003, **33**(2): 42—43 [金灿彪, 祝新文. 中华倒刺鲃苗种培育试验. 淡水渔业, 2003, **33**(2): 42—43]
- [15] Zhang W B, Xie X J, Fu S J, *et al.* The nutrition of *Silurus meridionalis*: optimum dietary protein level [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, **24**(6): 603—609 [张文兵, 谢小军, 付世建, 等. 南方年的营养学研究: 饲料的最适蛋白质含量. 水生生物学报, 2000, **24**(6): 603—609]
- [16] Deng L, Xie X J. The study on nutrition of *Silurus meridionalis* I Apparent digestibilities of the artificial diets [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, **24**(4): 347—355 [邓利, 谢小军. 南方鲢的营养学研究: I 人工饲料的消化率. 水生生物学报, 2000, **24**(4): 347—355]
- [17] Funakawa A, Tsukahara H. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1966, **32**: 502—506
- [18] Fu S J, Xie X J. Nutritional homeostasis in carnivorous southern catfish (*Silurus meridionalis*): is there a mechanism for increased energy expenditure during carbohydrate overfeeding [J]? *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2004, **139**(A): 359—363
- [19] Robbins K R, Norton H W, Baker D H. Estimation of nutrient requirements from growth data [J]. *The Journal of Nutrition*, 1979, **109**: 1710—1714
- [20] Qian X Q, Cui Y B, Xie S Q, *et al.* A review on dietary protein requirement for aquaculture fishes [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(4): 410—416 [钱雪桥, 崔奕波, 谢绍启, 等. 养殖鱼类饲料蛋白需要的研究进展. 水生生物学报, 2002, **26**(4): 410—416]
- [21] Baker D H. Problems and Pitfalls in Animal Experiments Designed to Establish Dietary Requirements for Essential Nutrients [J]. *The Journal of Nutrition*, 1986, **116**: 2339—2349
- [22] National Research Council (NRC). Nutrient Requirements of Fish [M]. National Academy Press, Washington, DC, 1993, 16—28—50
- [23] Dabrowski K. Protein requirements of grass carp fry (*Ctenopharyngodon idella* Val.) [J]. *Aquaculture*, 1977, **12**: 63—73
- [24] Lin D, Mao Y Q, Cai F S. Experiments on the protein requirements of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) juveniles [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1980, **7**(2): 207—212 [林鼎, 毛永庆, 蔡发盛. 鲩鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 鱼种生长阶段蛋白质最适需要量的研究. 水生生物学报, 1980, **7**(2): 207—212]
- [25] Li X F, Li B, Zhang Y Q, *et al.* The experiment of Cage-culture *Spinibarbus sinensis* in reservoir [J]. *Scientific Fish Farming*, 2006, **5**: 24—25 [李修峰, 李蓓, 张友谦, 等. 水库投饵网箱养殖中华倒刺鲃试验. 科学养鱼, 2006, **5**: 24—25]
- [26] Wu B L, He M Y, Pan X Q, *et al.* Cage-culture of *Spinibarbus sinensis* in reservoir [J]. *Freshwater Fisheries*, 2003, **33**(6): 37—38 [吴邦亮, 何明阳, 潘学强, 等. 水库网箱养殖中华倒刺鲃试验. 淡水渔业, 2003, **33**(6): 37—38]
- [27] Santiago C B, Reyes O S. Optimum dietary level of growth of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fry in static water system [J]. *Aquaculture*, 1991, **93**: 155—165
- [28] Wee K L, Ngamsae P. Dietary protein requirement of fingerlings of the herbivorous carp kaws (*Puntius gonionotus* (Bleeker)) [J]. *Aquaculture Fish Manage*, 1987, **18**: 121—129
- [29] Yang S D, Lin T S, Liu C H, *et al.* Influence of dietary protein levels on growth performance, carcass composition and liver lipid classes of juvenile *Spinibarbus hollandi* (Oshima) [J]. *Aquaculture Research*, 2003, **34**: 661—666
- [30] National Research Council (NRC). Nutrient Requirements of Warmwater Fishes and Shellfishes [M]. National Academy Press, Washington, DC, 1993, 102
- [31] Xie S, Cui Y, Yang Y, *et al.* Energy budget of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to ration size [J]. *Aquaculture*, 1997, **154**: 57—68
- [32] Tibbatts S M, Lall S P, Anderson D M. Dietary protein requirement of juvenile American eel (*Anguilla rostrata*) fed practical diets [J]. *Aquaculture*, 2000, **186**: 145—155
- [33] Tan Q, Xie S, Zhu X, *et al.* Effect of dietary carbohydrate sources on growth performance and utilization for gibel carp (*Carrasius auratus gibelio*) and Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris Gunther*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, **12**: 61—70
- [34] SGR, Pousao-Ferreira P, Oliveira A. Effect of dietary protein and lipid levels on growth and feed utilization of white sea bream (*Diplodus sargus*) juveniles [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, **12**: 310—321
- [35] Cheng Z J, Hardy R W, Usry J L. Effects of lysine supplementation in plant protein-based diets on the performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and apparent digestibility coefficients of nutrients [J]. *Aquaculture*, 2003, **215**: 255—265

DIETARY PROTEIN REQUIREMENT FOR JUVENILE *SPINIBARBUS SINENSIS*LIN Xiao-Zhi^{1,2}, XIE Xiao-Jun¹ and LUO Yaping¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715;

2. Department of Biology, Hanchuan Normal University, Chaozhou 521041)

Abstract The objective of this study was to investigate the dietary protein requirement of the juvenile *Spinibarbus sinensis* and determine effects of dietary protein levels on feed intake, growth and nutrition utilization. White fish meal was used as the dietary protein source, and six isocaloric experimental diets were formulated to contain different protein levels of 20.49%, 26.48%, 34.20%, 41.02%, 49.94% and 55.86% (referred to as D1, D2, D3, D4, D5 and D6 respectively). Each treatment had four replicates and 12 fish (initial weight of (10.36 ± 1.40) g (mean $\pm$ S.D.)) of each replicate were reared in a circulated filtered system for 10 weeks at $(27.5 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ in a circulated filtered rearing system. Fish were hand fed to satiation once daily at 18:00. Feces were collected from the second week by siphoning and washed immediately everyday. A sample of 9 fish at the start of feeding experiment and 4 fish per group at the end of experiment were sampled and stored frozen at -26°C for proximate composition analysis. Fish were weighted individually after 48h starvation at the end of the experiment.

The results showed that as dietary protein increased, the feeding rate of dry matter (FR_{dm}) decreased gradually from D1 to D4 firstly, and then leveled off. However, a positive correlation between the feeding rate of protein (FR_p) and dietary protein levels was found ($r = 0.982$, $p < 0.01$). Apparent digestibility of diet dry matter significantly decreased from (73.12 ± 1.07) to $(55.02 \pm 0.95)\%$ from D1 to D6 ($p < 0.05$), whereas there was no significant difference in the apparent digestibility of dietary protein among all treatments. Specific growth rates of weight (SGR_w), specific growth rates of energy (SGR_e) and feed efficiency (FE) were significantly increased from D1 up to D4 ($p < 0.05$), and D4 group obtained the highest values of these three indices. Then SGR_w , SGR_e and FE reached a plateau and did not differ significantly among D4, D5 and D6. Protein efficiency ratio (PER) decreased from 178.23 to 116.60% as dietary protein level increased from D1 to D6. Values of protein productive values (PPV) had a similar trend like PER , which decreased from 23.92 to 18.62% as dietary protein levels increased from D1 to D6. Energy productive values (EPV) significantly increased from (20.05 ± 0.39) to $(28.87 \pm 0.81)\%$ as dietary protein increased from D1 to D4, then decreased to $(23.49 \pm 2.00)\%$ for D6. Based on the broken line models between SGR_w , SGR_e , FE and dietary protein levels, the optimal dietary protein requirement for juvenile *S. sinensis* was estimated to be 39.6% — 42.2% when white fish meal was the sole protein source and the dietary energy value was 15.71 MJ/kg. This optimum dietary protein level for juvenile *S. sinensis* is higher than some other omnivorous fishes. It suggested that the food habit of juvenile *S. sinensis* preferring animal plankton and zooplankton make it need more dietary protein for growth. Simultaneously, the growth rate of juvenile *S. sinensis* is slower than those of some other fish species, which could be due to its small diet intake ratio and low apparent digestibility of dietary protein.

Key words Dietary protein requirement; Growth; Feed efficiency; Protein efficiency ratio; *Spinibarbus sinensis*