

投喂蚯蚓对中国明对虾生长及生化组成的影响

刘石林¹, 刘鹰¹, 陈慕雁^{1,2}, 周毅¹, 张涛¹, 杨红生¹

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071, 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 以不同比例的鲜活赤子爱胜蚓 (*Eisenia foetida*) 和人工饲料配合投喂中国明对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 幼虾, 测定各种饵料配比对其生长和生化组成的影响。结果表明, 在人工饲料中配合投喂 1/4 以上的赤子爱胜蚓 (干重比) 可显著提高中国明对虾幼虾的生长速率 ($P < 0.05$), 但对对虾的成活率没有显著影响。随着蚯蚓投喂量的增加, 对虾肌肉水解氨基酸的总量以及其中的必需氨基酸、鲜味氨基酸 (谷氨酸 Glu、天冬氨酸 Asp、甘氨酸 Gly、丙氨酸 Ala) 和促摄食氨基酸 (蛋氨酸 Met、赖氨酸 Lys、甘氨酸 Gly) 的含量都呈增加的趋势, 分析结果表明, 投喂蚯蚓对对虾肌肉中促摄食氨基酸含量的影响最大, 鲜味氨基酸次之, 对必需氨基酸含量的影响最小。氨基酸营养价值的评价结果表明, 投喂蚯蚓可提高对虾肌肉蛋白质的营养价值, 改善对虾肌肉品质。随着蚯蚓投喂量的逐渐增加, 对虾肌肉脂肪中的必需脂肪酸、 $\Sigma n-3$ 相对含量及其表示脂肪酸营养价值高低的 $\Sigma n-3 / \Sigma n-6$ 的比值都呈降低的趋势, 且在蚯蚓投喂量占日投喂量的 1/4 以上时达差异显著; 对蚯蚓肌肉脂肪酸的分析结果表明: 蚯蚓脂肪中的二十二碳六烯酸 (DHA) 相对含量较低, 因此, 以蚯蚓作为对虾饲料, 特别是亲虾的 DHA 饲料来源时, 应配合投喂 DHA 含量较高的其他饲料。[中国水产科学, 2008, 15(1): 145-153]

关键词: 赤子爱胜蚓; 中国明对虾; 生长; 氨基酸; 脂肪酸

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)01-0145-09

中国明对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 又称东方对虾、中国对虾, 属十足目, 对虾总科, 对虾科, 是中国 20 世纪 60 至 90 年代最主要的养殖对象之一。受虾病影响, 从 1993 年开始, 中国明对虾养殖产量急速下降, 近年虽有所恢复, 前景仍不容乐观。营养是生物生长和免疫的物质基础, 营养不足不仅会导致生物生长缓慢, 而且易引起免疫缺陷, 抗病力降低, 特别是在工厂化水产养殖过程中, 由于缺少食物链的完整结构, 优质动物性饵料成为弥补养殖生物营养不足的关键。有关不同动物性饵料对对虾生长的影响, 已有不少研究报道, 相关研究表明, 以蚊子幼虫投喂日本对虾 (*Marsupenaeus japonicus*), 对虾不仅喜食, 且长势良好^[1]; 以蝇幼作为饵料投喂中国明对虾, 可以提高中国明对虾抗杆状病毒感染能力^[2]。在对虾半精养体系中, 天然饵料占对虾生长所消耗饵料的 60%~70%, 配合饵料不超过 30%^[3]。因而, 动物性饵料在对虾养殖中的作用是不可被忽视的。蚯蚓不仅营养丰富, 而且体内含有

多种活性成分, 是一种重要的中医药材料^[4-6], 已在医疗和保健方面得到广泛的应用。同时, 蚯蚓作为一种优质的动物性饵料, 在水产养殖业已有不少研究报道^[7-10], 但以蚯蚓作为饵料研究其对生物生长和生化组成影响的资料较少。为此, 本实验选择已进行规模化养殖的赤子爱胜蚓 (*Eisenia foetida*) 作为鲜活饵料, 研究其与人工饲料的不同配比对中国明对虾生长和生化组成的影响, 以期对蚯蚓在对虾工厂化养殖生产中的推广应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

中国明对虾幼虾体长 (2.38 ± 0.21) cm, 体质量 (0.17 ± 0.05) g, 体表洁净透亮, 活力强。人工饲料为对虾专用配合饵料; 蚯蚓为鲜活赤子爱胜蚓, 投喂前用 (6.33×10^{-5}) mol/L 的高锰酸钾溶液浸泡消毒 30 min, 使蚯蚓吐出体内污物, 冲洗干净后切成数段投喂。

收稿日期: 2007-04-18; 修订日期: 2007-07-19.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30671620); 国家 863 计划项目 (2006AA100305); 国家科技支撑计划项目 (2006BAD09A03).

作者简介: 刘石林 (1977-), 硕士, 主要从事海水养殖生态学研究工作. E-mail: shlliu@ms.qdio.ac.cn

通讯作者: 刘鹰. E-mail: yinliu@ms.qdio.ac.cn

1.2 实验设计

实验于2005年6月20日至8月15日在中国科学院海洋生态与环境科学重点实验室进行,实验水温(23±1)℃,盐度30。实验共设5组,每组3个平行,每天投喂4次,按下述方法投喂。对照组A:只投喂人工饲料;B组每2天投喂蚯蚓1次,人工饲料7次;C组每2天投喂蚯蚓2次,人工饲料6次;D组每2天投喂蚯蚓3次,人工饲料5次;E组每2天投喂蚯蚓4次,人工饲料4次。蚯蚓(以干质量计)和人工饲料间隔等量投喂,以人工饲料3h内完全被摄食为标准。实验前将对虾移入装有80L海水的PVC材质的方形灰缸(0.5m×0.5m×0.4m)内,每桶放养30尾,投喂人工饲料,驯养7d。实验期间,每天6:00、11:00、17:00和22:00按上述方法投喂,日清理粪便1次,换水1次,每次换出2/3,连续充气,使溶解氧保持在5.0mg/L以上。

1.3 测定方法

1.3.1 特定生长率(Specific growth rate) 特定生长率(SGR)按下式计算:

$$\text{SGR}(\%/d) = 100(\ln W_t - \ln W_0) / T$$

式中, W_0 和 W_t 分别为实验开始和结束时对虾湿体质量,g; T 为两次测定期间间隔的天数,d。

1.3.2 成活率(Survival rate) 成活率(SR)按下式计算:

$$\text{SR} = (\text{终末尾数} / \text{初始尾数}) \times 100\%$$

1.3.3 水解氨基酸组成测定 采用盐酸水解法,日立835-50型氨基酸自动分析仪测定。

1.3.4 氨基酸营养评价 根据文献[11]和[12]的评价方法对对虾肌肉氨基酸进行评价。其中氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)按下式计算:

$$\text{CS} = \frac{\text{受试蛋白质中氨基酸含量}}{\text{鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量}}$$

$$\text{AAS} = \frac{\text{受试蛋白质中氨基酸含量}}{(\text{FAO/WHOS}) \text{ 评分标准模式中氨基酸含量}}$$

$$\text{EAAI} =$$

$$\sqrt[n]{\frac{\text{赖氨酸} t}{\text{赖氨酸} s} \times 100 \times \frac{\text{缬氨酸} t}{\text{缬氨酸} s} \times 100 \cdots \times \frac{\text{组氨酸} t}{\text{组氨酸} s} \times 100}$$

n : 比较的氨基酸数; t : 实验蛋白质的氨基酸质量分数(% dry); s : 鸡蛋蛋白质的氨基酸质量分数(% dry)。

1.3.5 脂肪酸组成测定 将适量样品进行冷冻干燥,在研钵中充分磨细(或用粉碎机粉碎后),待脂肪酸的测定。色谱仪为HP5890II美国惠普公司,巨细管柱为007-CW型号,采用面积归一法求得各脂肪酸相对百分含量。

2 结果与分析

2.1 对虾的生长与成活率

由表1可见,随着蚯蚓投喂量的增加,对虾体长、体质量和特定生长率(SGR)都呈增加的趋势。实验结束时,各实验组对虾体长显著高于对照组A($P<0.05$),且E组对虾体长又显著高于B组($P<0.05$),B、C、D组和C、D、E组相互之间对虾体长差异不显著。体质量方面,除B组外,各实验组对虾体质量显著高于对照组A组($P<0.05$),同时,E组对虾体质量又显著高于实验组B组($P<0.05$)。对虾成活率:随着蚯蚓投喂量的增加,对虾成活率有升高的趋势,但组间无明显差异。

2.2 对虾肌肉氨基酸组成及营养评价

2.2.1 氨基酸组成 实验测定了人工饲料、赤子爱胜蚓的氨基酸组成。与赤子爱胜蚓相比,人工饲料的氨基酸总量以及其中的总必需氨基酸、鲜味氨基酸^[13-14]和促摄食氨基酸^[15]的含量都明显低于赤子爱胜蚓;人工饲料的必需氨基酸与氨基酸总量的比值(EAA/TAA)以及必需氨基酸与非必需氨基酸的比值(EAA/NEAA)也都低于赤子爱胜蚓。

对虾肌肉氨基酸组成的测定结果表明(表3),在所测氨基酸中,谷氨酸含量最高,组氨酸含量最低,各种氨基酸在不同蚯蚓投喂量的对虾肌肉中的含量高低排序基本一致,除蛋氨酸和酪氨酸的变异系数偏高外,其他氨基酸的变异系数都在5%以下。随着蚯蚓投喂量的增加,对虾肌肉氨基酸总量及其总必需氨基酸、鲜味氨基酸和促摄食氨基酸的含量都呈逐渐升高的趋势。各组对虾肌肉氨基酸总量、必需氨基酸、鲜味氨基酸和促摄食氨基酸的变异系数都较低。

表 1 对虾的体长、体质量与成活率测定结果

Tab.1 Average body length, body weight and survival rate of *Fenneropenaeus chinensis*n=30; $\bar{X} \pm SD$

项目 Item	组别 Group				
	A (Con.)	B	C	D	E
末体长 /cm Final body length	4.08±0.51 ^a	4.46±0.46 ^b	4.69±0.49 ^{bc}	4.74±0.43 ^{bc}	4.93±0.59 ^c
末体质量 /g Final body weight	0.83±0.20 ^a	1.09±0.33 ^{ab}	1.23±0.37 ^{bc}	1.32±0.37 ^{bc}	1.45±0.49 ^c
SGR/(%/d)	3.17±0.14 ^a	3.69±0.44 ^{ab}	3.96±0.14 ^{bc}	4.09±0.02 ^{bc}	4.27±0.32 ^c
成活率 /% Survival rate	75.56±5.09 ^a	78.89±6.94 ^a	80.00±6.67 ^a	80.00±5.77 ^a	82.22±3.85 ^a

注: 同一行中不同上标为差异显著 ($P<0.05$); 初始体长 (2.38±0.21)cm; 初始体质量 (0.17±0.05)g.Note: Different letters in the same column show significant difference ($P<0.05$); initial body length (2.38±0.21)cm; initial body weight (0.17±0.05)g.

表 2 人工饲料和赤子爱胜蚓的氨基酸组成

Tab. 2 Amino acid compositions of formulated diet and *Eisenia foetida*

mg/(100mg)

氨基酸 Amonio acid	人工饲料 Formulated diet	赤子爱胜蚓 <i>Eisenia foetida</i>	氨基酸 Amonia acid	人工饲料 Formulated diet	赤子爱胜蚓 <i>Eisenia foetida</i>
苏氨酸 Thr [★]	1.31	3.26	甘氨酸 Gly ^{☆△}	2.21	3.64
缬氨酸 Val [★]	1.94	3.60	丙氨酸 Ala [☆]	1.94	7.03
蛋氨酸 Met ^{★△}	0.71	1.60	丝氨酸 Ser	1.77	3.28
异亮氨酸 Ile [★]	1.53	3.35	酪氨酸 Tyr	1.03	2.25
亮氨酸 Leu [★]	2.98	6.21	脯氨酸 Ala	1.09	2.45
苯丙氨酸 Phe [★]	1.89	2.93	氨基酸总量	35.67	69.31
赖氨酸 Lys ^{★△}	1.72	4.72	必需氨基酸	16.34	32.62
组氨酸 His [★]	0.76	1.56	鲜味氨基酸	15.44	28.71
精氨酸 Arg [★]	3.15	4.77	促食氨基酸	4.64	9.96
胱氨酸 Cys [★]	0.35	0.62	EAA/TAA	0.448	0.462
谷氨酸 Glu [☆]	7.38	11.02	EAA/NEAA	0.813	0.858
天冬氨酸 Asp [☆]	3.91	7.02			

注: ★: 必需氨基酸; ☆: 鲜味氨基酸; △: 促摄食氨基酸.

Note: ★ -Essential amino acid; ☆ -delicious amino acid; △ -feeding-boosted amino acid.

2.2.2 氨基酸营养评定 将表 3 必需氨基酸的数据换算成每克氮中含氨基酸毫克数 ($\times 62.5$) 后, 与鸡蛋蛋白质的氨基酸模式和 FAO/WHO 制定的蛋白质评价的氨基酸标准模式进行比较, 并分别计算出各组对虾肌肉的 AAS、CS 和 EAAI, 结果见表 4 和表 5。

从表 4 可以看出, 在未将色氨酸计入的情况下, 根据氨基酸评分 (AAS), 各组评分最低的是蛋氨酸+胱氨酸, 缬氨酸次之; 根据化学评分 (CS), 各组评分最低的是蛋氨酸+胱氨酸, A 组的苯丙氨酸+酪氨酸和 B、C、D、E 组的缬氨酸次之。根据必需氨基酸指数 (EAAI), 随着蚯蚓投喂量的增加, 对虾肌

肉的必需氨基酸指数呈升高的趋势。

2.3 人工饲料和蚯蚓的脂肪酸组成

从表 6 可以看出, 人工饲料中脂肪酸相对含量较高的有 C_{16:0}、C_{18:1n-9}、C_{18:2n-6}、C_{20:5n-3} (EPA) 以及 C_{22:6n-3} (DHA) 等, 而 C_{16:1}、C_{18:3n-3} 和 C_{20:4n-6} 等脂肪酸的相对含量较低。蚯蚓中相对含量较高的有 C_{16:0}、C_{18:0}、C_{18:1n-7}、C_{18:2n-6}、C_{20:4n-6} 以及 C_{20:5n-3} 等脂肪酸, 而 C_{22:6n-3} (DHA) 没有检测出来。所测脂肪酸中蚯蚓的 $\sum n-3 / \sum n-6$ 比值为 0.59, 人工饲料的为 1.07; 蚯蚓的 C_{18:3n-3}/C_{18:2n-6} 比值为 0.11, 人工饲料的为 0.02。

表 3 各组对虾肌肉氨基酸组成

Tab. 3 Amino acid compositions of <i>Fenneropenaeus chinensis</i> muscles in different treatments							mg/(100mg)
氨基酸 Amino acid	组别 Group					平均值 Mean	变异系数 /% <i>f</i>
	A (Con.)	B	C	D	E		
苏氨酸 Thr [★]	3.41	3.45	3.46	3.52	3.53	3.47	1.45
缬氨酸 Val [★]	4.02	3.96	3.79	3.84	3.95	3.91	2.41
蛋氨酸 Met ^{★△}	2.36	2.71	2.23	2.7	2.77	2.55	9.49
异亮氨酸 Ile [★]	4.04	4.03	3.94	3.98	4.11	4.02	1.60
亮氨酸 Leu [★]	7.89	8.11	8.24	8.22	8.25	8.14	1.86
苯丙氨酸 Phe [★]	3.58	3.58	3.68	3.61	3.66	3.62	1.27
赖氨酸 Lys ^{★△}	6.34	6.31	6.60	6.57	6.55	6.47	2.13
组氨酸 His [★]	1.44	1.53	1.48	1.51	1.44	1.48	2.74
精氨酸 Arg [★]	7.58	7.72	8.2	7.91	8.01	7.88	3.08
天冬氨酸 Asp [☆]	9.16	9.15	9.42	9.46	9.56	9.35	1.98
谷氨酸 Glu	13.72	13.68	13.80	13.95	14.19	13.87	1.50
甘氨酸 Gly ^{☆△}	8.85	8.87	9.3	9.42	9.57	9.20	3.55
丙氨酸 Ala [☆]	7.51	7.62	7.01	7.76	7.76	7.53	4.12
丝氨酸 Ser	3.17	3.14	3.38	3.23	3.31	3.25	3.05
酪氨酸 Tyr	2.64	2.87	2.94	3.05	3.01	2.90	5.57
脯氨酸 Ala	3.23	3.24	3.22	3.19	3.23	3.22	0.60
氨基酸总量	88.94	89.97	90.69	91.92	92.90	90.86	1.72
必需氨基酸	40.66	41.40	41.62	41.86	42.27	41.54	1.44
鲜味氨基酸	39.24	39.32	39.53	40.59	41.08	39.95	2.08
促摄食氨基酸	17.55	17.89	18.13	18.69	18.89	18.22	3.05

注: ★: 必需氨基酸; ☆: 鲜味氨基酸; △: 促摄食氨基酸

Note: ★ -Essential amino acid; ☆ -delicious amino acid; △ -feeding-boosted amino acid.

表 4 各组对虾肌肉必需氨基酸含量与组成

Tab. 4 Compositions of amino acid in <i>Fenneropenaeus chinensis</i> muscles							×10 ⁻³
氨基酸 Amino acid	组别 Group					鸡蛋蛋白 Egg protein	FAO/WHO 标准 Standard
	A	B	C	D	E		
异亮氨酸 Ile	253	252	246	249	257	501	250
亮氨酸 Leu	493	507	515	514	516	848	440
赖氨酸 Lys	396	394	413	411	409	653	340
蛋氨酸 + 胱氨酸 Met+Cys	148	169	139	169	173	587	220
苏氨酸 Thr	213	216	216	220	221	404	250
缬氨酸 Val	251	248	237	240	247	603	310
苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe+Tyr	389	403	414	416	417	960	380

表 5 各组对虾肌肉 AAS、CS 及 EAAI 比较
Tab. 5 Comparison of AAS, CS and EAAI in *Fenneropenaeus chinensis* muscles

氨基酸 Amino acid		组别 Group				
		A	B	C	D	E
AAS	异亮氨酸 Ile	1.01	1.01	0.99	1.00	1.03
	亮氨酸 Leu	1.12	1.15	1.17	1.17	1.17
	赖氨酸 Lys	1.17	1.16	1.21	1.21	1.20
	蛋氨酸 + 胱氨酸 Met+Cys	0.67	0.77	0.63	0.77	0.79
	苏氨酸 Thr	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88
	缬氨酸 Val	0.81	0.80	0.76	0.78	0.80
	苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe+Tyr	1.02	1.06	1.09	1.10	1.10
CS	异亮氨酸 Ile	0.50	0.50	0.49	0.50	0.51
	亮氨酸 Leu	0.58	0.60	0.61	0.61	0.61
	赖氨酸 Lys	0.61	0.60	0.63	0.63	0.63
	蛋氨酸 + 胱氨酸 Met+Cys	0.25	0.29	0.24	0.29	0.29
	苏氨酸 Thr	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55
	缬氨酸 Val	0.42	0.41	0.39	0.40	0.41
	苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe+Tyr	0.40	0.42	0.43	0.43	0.43
EAAI		45.43	46.67	45.52	47.08	47.69

表 6 人工饲料和蚯蚓脂肪酸组成
Tab.6 Fatty acid compositions of formulated diet and *Eisenia foetida*

脂 肪 酸 Fatty acid	人 工 饲 料 Formulated diet	蚯 蚓 <i>Eisenia foetida</i>	%
C _{14:1}	3.77	1.14	
C _{16:0}	19.77	4.14	
C _{16:1}	0.97	1.90	
C _{18:0}	4.81	7.55	
C _{18:1n-9}	11.91	2.80	
C _{18:1n-7}	2.55	8.93	
C _{18:2n-6}	18.18	7.95	
C _{18:3n-3}	0.32	0.85	
C _{20:4n-6}	0.99	6.81	
C _{20:5n-3} (EPA)	9.19	7.87	
C _{22:6n-3} (DHA)	11.07	未检出	
Σ n-3/Σ n-6	1.07	0.59	
C _{18:3n-3} /C _{18:2n-6}	0.02	0.11	

2.4 对虾肌肉脂肪酸组成

对虾肌肉脂肪酸组成的测定结果表明 (表 7), 对虾肌肉中 Σ n-6 HUFA 的相对含量随着蚯蚓投喂量的增加而增加外, 必需脂肪酸和 Σ n-3 HUFA 的相对含量都随着蚯蚓投喂量的增加而递减。必需脂肪酸: 与 A 组 (对照) 相比, 除 B 组外, C、D、E 组的必需脂肪酸相对含量都显著低于 A 组;

n-3 系列多不饱和脂肪酸: B、C、D、E 组显著低于对照组, 且 E 组又显著低于 B 组的相对含量; n-6 系列多不饱和脂肪酸: 各组间差异不显著; Σ n-3/Σ n-6: B、C、D、E 各组比值都低于 A 组, 且差异显著; C_{22:6n-3}/C_{18:2n-6}: 除 B 组外, 其他组 C_{22:6n-3}/C_{18:2n-6} 比值显著低于对照组 A 组, 且随着蚯蚓投喂量的增加比值有降低的趋势。

表 7 各组对虾肌肉脂肪酸组成
Tab. 7 The fatty acid compositions of *Fenneropenaeus chinensis* muscles in different treatments $\bar{X} \pm SD; \%$

脂肪酸 Fatty acid	组别 Group				
	A	B	C	D	E
C _{14:1}	0.88±0.09	0.88±0.05	1.00±0.09	0.99±0.16	0.98±0.02
C _{16:0}	19.77±0.04	19.89±1.20	18.87±0.41	19.02±1.66	19.63±0.04
C _{16:1}	1.06±0.05	1.14±0.05	1.39±0.11	1.39±0.02	1.36±0.14
C _{18:0}	9.51±0.05	9.02±0.83	9.88±0.92	9.33±0.77	9.78±0.55
C _{18:1n-9}	11.12±0.15	10.31±0.67	10.49±0.25	10.46±0.64	9.64±0.94
C _{18:1n-7}	3.48±0.19	3.45±0.19	3.37±0.32	3.88±0.17	3.85±0.47
C _{18:2n-6}	11.12±0.19	11.18±0.83	10.64±0.75	11.51±0.12	10.54±0.13
C _{18:3n-3}	0.61±0.06	0.60±0.05	0.62±0.09	0.70±0.01	0.59±0.09
C _{20:4n-6}	3.73±0.58	3.92±0.24	4.64±0.46	4.73±0.33	5.31±0.72
C _{20:5n-3} (EPA)	15.31±0.41	13.14±0.40	12.49±0.79	12.65±1.37	11.89±0.68
C _{22:6n-3} (DHA)	13.85±0.15	13.20±1.03	12.29±0.90	12.04±0.22	11.27±0.69
必需脂肪酸 EFA	40.89±0.51 ^a	38.12±2.27 ^{ac}	36.04±2.13 ^{bc}	36.90±1.62 ^{bc}	34.29±0.24 ^b
∑ n-3 HUFA	29.77±0.31 ^a	26.94±1.43 ^c	25.40±1.38 ^{bc}	25.39±1.57 ^{bc}	23.75±0.11 ^b
∑ n-6 HUFA	14.85±0.39 ^a	15.10±0.92 ^a	15.28±1.21 ^a	16.24±0.37 ^a	15.85±0.59 ^a
∑ n-3/∑ n-6	2.01±0.07 ^a	1.79±0.02 ^b	1.66±0.04 ^c	1.56±0.06 ^d	1.50±0.06 ^d
C _{22:6n-3} /C _{18:2n-6}	1.25±0.04 ^a	1.18±0.00 ^{ab}	1.15±0.04 ^b	1.05±0.02 ^d	1.07±0.05 ^d

注：同一行中不同上标为差异显著 ($P<0.05$)。

Note: The different letters in the same column show significant difference ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 赤子爱胜蚓对中国明对虾生长和成活率的影响

由于陆生蚯蚓与海生对虾的栖息环境不同,蚯蚓作为对虾饵料发生交叉感染的概率较低,因此安全系数相对较高,作为一种优质的陆生动物性蛋白饲料,其开发利用正被人们所关注。相关研究表明,与海生沙蚕相比,以蚯蚓作为对虾的鲜活饵料可显著提高对虾的生长速率,提高成活率^[7]。同时,蚯蚓肌肉散发出的特殊气味能刺激虾类及其他水产动物的食欲,改善饲料的适口性,提高其摄食强度和饵料利用率^[8-10]。杨芳等^[16]和高强等^[17]的研究表明,在饵料中添加蚯蚓对鱼类不但可起到良好的诱食效果,而且可获得较高的增重率和驯化率;王持等^[1]以蚯蚓为鲜活饵料投喂亲虾,提高了亲虾的成活率、产卵量和卵的孵化率。以上研究结果表明,投喂蚯蚓可起到增加动物营养、促进动物生长的作用。

实验研究发现,对虾对蚯蚓的摄食强度明显大于对人工饲料的摄食强度。对虾生长的测定结果表明,在人工饲料中配合投喂 1/8 的蚯蚓可使对虾

的体长得到显著增加,配合投喂 1/4 的蚯蚓可显著提高对虾的体长和体质量,并随着蚯蚓投喂量的增加,对虾的体长和体质量都呈明显的增加趋势,实验结果与前人研究结果相似^[7,16-17]。随着蚯蚓投喂量的增加,对虾成活率虽有所提高,但差异并不显著,这可能与本实验所用中国明对虾幼虾处于良好的健康状况有关。

3.2 赤子爱胜蚓对中国明对虾肌肉氨基酸组成的影响

必需氨基酸含量的高低和构成比例是评价蛋白质营养价值高低的重要指标。氨基酸组成的测定结果表明,赤子爱胜蚓氨基酸总量占其干重的比率高达 69.31%,明显高于人工饲料 (35.67%),其中必需氨基酸含量是人工饲料的 2 倍多。根据 FAO/WHO 的理想模式,质量较好的蛋白质其必需氨基酸与氨基酸总量的比值 (EAA/TAA) 为 0.40 左右,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值 (EAA/NEAA) 在 0.60 以上^[18],赤子爱胜蚓和人工饲料的 EAA/TAA 分别为 0.462 和 0.448, EAA/NEAA 分别为 0.858 和 0.813,可见,赤子爱胜蚓和人工饲料的上

1) 王持. 蚯蚓喂养亲虾试验初探. 全国鱼虾饲料学术讨论会论文集, 1988, 255-258.

述比值较为接近,都具有质量较高的氨基酸配比。谷氨酸、天冬氨酸、丙氨酸、甘氨酸是4种鲜味氨基酸,它们在肌肉中含量的高低决定了肌肉的鲜美程度^[14];蛋氨酸、赖氨酸和甘氨酸为3种促摄食氨基酸,有促进动物摄食的作用,赤子爱胜蚓的这两类氨基酸的含量都明显高于人工饲料,这也可能是对虾对蚯蚓的摄食强度明显大于人工饲料的原因之一。

从各组对虾肌肉水解氨基酸的测定结果可以看出,随着蚯蚓投喂量的增加,对虾肌肉的氨基酸总量、必需氨基酸、促摄食氨基酸以及鲜味氨基酸含量都逐渐增加,变异系数虽然都小于5%,但仍有所不同,其大小顺序由高到低依次为:促摄食氨基酸、鲜味氨基酸、氨基酸总量、必需氨基酸,表明投喂蚯蚓对促摄食氨基酸的影响最大,鲜味氨基酸次之,对必需氨基酸的影响最小。所以以蚯蚓作为对虾的饲料成分,不仅可以提高对虾对饲料的摄食率,还可以增加对虾肌肉的鲜美程度,提高对虾的肌肉品质。但是,投喂蚯蚓并没有改变中国明对虾肌肉氨基酸含量的高低排序,这一组成特点与成体的南美白对虾^[12]和南美蓝对虾^[14]的氨基酸组成略有差异。

从对虾肌肉氨基酸的营养评价(表3)可以看出,在未将色氨酸计入的情况下,根据AAS,各组对虾的第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸,第二限制性氨基酸均为缬氨酸。根据CS,各组的第一限制性氨基酸都为蛋氨酸+胱氨酸,第二限制性氨基酸则有所不同,对照组A组为苯丙氨酸+酪氨酸,其他各实验组均为缬氨酸。由此可见,投喂蚯蚓并没有改变对虾肌肉的第一限制性氨基酸,第二限制性氨基酸虽有所改变,但苯丙氨酸+酪氨酸和缬氨酸的CS评分较为接近。必需氨基酸指数(EAAI)是评价蛋白质营养价值的关键指标,它表明了必需氨基酸与标准蛋白质相接近的程度^[19]。根据EAAI的评价结果,投喂蚯蚓提高了对虾肌肉的营养价值,并且随着蚯蚓投喂量的增加,对虾肌肉的营养价值也随着提高。

3.3 赤子爱胜蚓对中国明对虾肌肉脂肪酸组成的影响

脂肪是一种重要的营养物质,其中的一些重要不饱和脂肪酸(如n-3和n-6系列)是生物体细胞膜的重要组成成分和某些激素的前体,它们对维持生物的正常生理活动是必不可少的,特别是二十

碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)含量的高低更是评价饲料脂肪酸营养价值高低的重要指标。国内研究多数认为,蚯蚓所含的不饱和脂肪酸主要有油酸($C_{18:1n-9}$)、亚油酸($C_{18:2n-6}$)以及花生四烯酸($C_{20:4n-6}$)等^[20-25],而有关蚯蚓EPA和DHA的报道很少。从本实验蚯蚓的脂肪酸测定结果可以看出(表6),蚯蚓脂肪中不但含有较高的油酸、亚油酸和花生四烯酸,还含有较高的二十碳五烯酸(EPA),但二十二碳六烯酸(DHA)没有检测出来。Luis Sampedro等^[30-31]的研究结果表明,陆生蚯蚓(*Lumbricus terrestris*)肠和体壁中的DHA含量只有EPA含量的2%~6%。这可能与蚯蚓复杂的生活环境以及体内复杂的微生物环境有关,因为很多藻类微生物(如金藻纲、黄藻纲、硅藻纲、绿藻纲、隐藻纲)都能产生高含量的EPA,其中某些藻类中的EPA含量高达50%左右,而只有甲藻纲中的藻类具有高含量的DHA,所以,相对于DHA,EPA在自然界的存在更为广泛;另外,某些真菌也含有一定量的EPA,而目前发现的能产EPA、DHA的细菌都分布于深海和南极海域的嗜冷菌^[26-27]。Albro等^[28]的实验结果表明,虽然食物里没有二十碳五烯酸,但陆生蚯蚓(*Lumbricus terrestris*)可以在体内自身合成;Søren等^[29]的研究结果表明,红正蚓(*Lumbricus rubellus*)和诺登爱胜蚓(*Eisenia nordenskiöldi*)体内含有较高的EPA,并且EPA在脂肪中的含量随温度的变化而有所不同,而没有DHA的相关数据。以上研究表明,蚯蚓体内DHA的含量的确很低,这可能是影响蚯蚓肌肉脂肪酸营养价值的一个重要原因。

从对虾肌肉脂肪酸的相对含量和组成来看,投喂蚯蚓对对虾肌肉脂肪酸产生了显著影响。随着蚯蚓投喂量的增加,对虾脂肪中的必需脂肪酸、 $\Sigma n-3$ 相对含量及其 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 和 $C_{18:3n-3}/C_{18:2n-6}$ 的比值都呈明显的下降趋势,这可能与蚯蚓脂肪中缺少二十二碳六烯酸有关,因为,一种营养成分含量的不足或缺失,会影响其他营养成分的吸收和利用。n-3系列多不饱和脂肪酸特别是EPA和DHA对中国明对虾幼虾的存活和正常生长以及亲虾的繁殖具有特殊的重要作用^[32-33],但是,从对虾生长的测定结果来看,蚯蚓体内DHA含量的不足并没有影响到对虾的生长,反而随着蚯蚓投喂量的增加,对虾的生长速率有明显加快的趋势。刘石林等^[7]的研究表明,蚯蚓单独投喂或与人工饵料配合投喂都

可显著提高凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 的生长速率,而且蚯蚓单独投喂的效果又优于蚯蚓与人工饵料配合投喂^[7]。这说明,投喂蚯蚓并没有因其 DHA 含量的不足而影响对虾的生长。另有研究表明,亚油酸和亚麻酸在动物体内可转化成 EPA 和 DHA^[34],DHA 含量的不足也可能由亚油酸和亚麻酸在对虾体内的转化而得以补充,弥补了饵料中二十二碳六烯酸含量的不足。

目前,蚯蚓养殖业已在世界各地蓬勃发展起来,并形成了一定的生产规模,为蚯蚓在对虾养殖生产中的应用提供了广泛的饵料来源。本研究从对虾的生长和生化组成方面证实,在人工饲料中配合投喂 1/4 干重的蚯蚓就可显著加快对虾的生长速率,提高对虾肌肉氨基酸的营养价值;但由于蚯蚓体内 DHA 的含量较低,因此,以蚯蚓作为对虾多不饱和脂肪酸特别是亲虾的 DHA 饲料来源时,最好配合投喂 DHA 含量较高的其他饲料。

参考文献:

- [1] 张明凤,吴小琴,王健. 培养蚊子幼虫作为日本对虾鲜活饵料的研究[J]. 福建畜牧兽医,2000(1): 4-5.
- [2] 王妮,冯江,王振堂,等. 对虾爆发性流行病的群体感染及投喂蝇幼的抗病机制研究[J]. 应用生态学报,2002,13(6): 728-730.
- [3] Cgavas I,蔡生力. 世界养虾业成功的关键因素及展望[J]. 国外水产,1994,2: 5-12.
- [4] 武金霞,赵晓瑜. 蚯蚓体内生物活性成分的研究[J]. 自然杂志,2003,26(1): 27-30.
- [5] 李浩南,张彩,钟耕. 蚯蚓活性成分及在食品中的应用[J]. 现代食品科技,2005,21(3): 188-191.
- [6] 张祖珣,钟良玮,郑国平,等. 地龙提取液的活血化瘀作用[J]. 中国中西医结合杂志,1992,12(12): 741-743.
- [7] 刘石林,刘鹰,杨红生,等. 双齿围沙蚕与赤子爱胜蚓对凡纳滨对虾生长和免疫指标的影响[J]. 中国水产科学,2006,13(4): 561-565.
- [8] 马明和. 以蚯蚓作为对虾饲料诱饵剂的探讨[J]. 海洋渔业,1988(4): 163-165.
- [9] 徐捷等. 添加蚯蚓对尼罗罗非鱼饲料配方的研究[J]. 水产科学,1988,(1): 24-27.
- [10] 田华芬,顾海林. 利用蚯蚓养殖鲤鱼. 蚯蚓的养殖与利用[M]. 重庆: 重庆出版社,1984: 132-136.
- [11] FAO/WHO Ad Hoc Expen Committee. Energy and protein requirements [R]// FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973,52: 40-73.
- [12] 陈琴,陈晓汉,谢达祥,等. 不同盐度养殖的南美白对虾含肉率及其肌肉营养成分[J]. 海洋科学,2001,25(8): 16-18.
- [13] 章超桦,吴红棉,洪鹏志,等. 马氏珠母贝肉的营养成分及其游离氨基酸组成[J]. 水产学报,2000,24(2): 180-184.
- [14] 邴旭文,王进波. 池养南美蓝对虾与南美白对虾肌肉营养成分的比较[J]. 水生生物学报,2006,30(4): 453-458.
- [15] 薛敏,罗琳,曹海宁,等. 几种促摄食物对南美白对虾摄食行为的影响[J]. 饲料广角,2003(13): 27-28.
- [16] 陈芳,杨代勤,李道霞,等. 黄鳝配合饲料中蚯蚓含量对其摄食影响的初步研究[J]. 内陆水产,1999(3): 21.
- [17] 高强,王忠诚,陈建. 陆生蚯蚓的不同添加量对转食阶段杂交鲢的影响[J]. 内陆水产,2003,10: 34-36.
- [18] 邴旭文,张宪中. 斑驳尖塘鳢肌肉营养成分与品质的评价[J]. 中国海洋大学学报,2006,36(1): 107-111.
- [19] 张昌吉,刘哲,王世银. 虹鳟含肉率及肌肉营养成分分析[J]. 水利渔业,2006,26(4): 83-85.
- [20] 葛勤,张恩娟,刘同华,等. 地龙的化学成分及制剂质量研究概况[J]. 中国药业,2004,13(3): 69-71.
- [21] 杨得坡,王发松,彭勃甫,等. 参环毛蚓脂类挥发性成分分析[J]. 中药材,2000,23(1): 31.
- [22] 王光忠,胡迪,陈敬炳,等. 地龙类药材化学成分分析[J]. 中药材,1998,21(3): 133-135.
- [23] 王海英,郭祀远,李琳. 蚯蚓的研究与应用[J]. 氨基酸和生物资源,2002,24(4): 17-19.
- [24] 徐凤彩,高向阳,王炜军,等. 蚯蚓体内营养和药物有效成分的研究进展[J]. 华南农业大学学报,2001,22(3): 86-89.
- [25] 王冲,郑冬梅,冀竣玲,等. 蚯蚓脂肪及其在抗菌物理屏障中的作用[J]. 农业环境科学学报,2005,24(4): 732-736.
- [26] 张鹏,杨培林,戴美学. 微生物多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 微生物学杂志,2006,26(1): 101-105.
- [27] 曾名勇. EPA 和 DHA 的来源和分离[J]. 渔业机械仪器,1995,4: 17-19.
- [28] Albro P W, Schroeder J L, Corbett J T. Lipids of the earthworm *Lumbricus terrestris* [J]. Lipids,1992,27: 136-143.
- [29] Petersen S O, Holmstrup M. Temperature effects on lipid composition of the earthworms *Lumbricus rubellus* and *Eisenia nordenskiöldi* [J]. Soil Biol Biochem,2000,32: 1787-1791.
- [30] Sampedro L, Jeannotte R, Whalen J K. Trophic transfer of fatty acids from gut microbiota to the earthworm *Lumbricus terrestris* L [J]. Soil Biol Biochem,2006,38: 2188-2198.

- [31] Sampedro L, Whalen J K. Changes in the fatty acid profiles through the digestive tract of the earthworm *Lumbricus terrestris* L. [J]. Appl Soil Ecol, 2007, 35 (1): 226-236.
- [32] 徐学良, 季文娟. ω -3 及 ω -6 不饱和脂肪酸对中国对虾幼虾存活、蜕皮和生长的影响 [J]. 海洋水产研究, 1992, 13: 21-27.
- [33] 季文娟. 高度不饱和脂肪酸对中国对虾亲虾的产卵和卵质的影响 [J]. 水产学报, 1998, 22 (3): 240-246.
- [34] 王树森, 朱会杰, 王剑英. 中国对虾亚油酸亚麻酸的营养需要量 [J]. 水产学报, 1993, 17 (1): 1-6.

Effects of fresh diet *Eisenia foetida* on growth and biochemical components of *Fenneropenaeus chinensis* juveniles

LIU Shi-lin¹, LIU Ying¹, CHEN Mu-yan^{1,2}, ZHOU Yi¹, ZHANG Tao¹, YANG Hong-sheng¹

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The purposes of the present study were to evaluate the impacts of different diet compositions on growth and biochemical components of shrimp *Fenneropenaeus chinensis* juveniles feeding fresh diet *Eisenia foetida* mixed with formulated diet in different proportions. The results showed that shrimps were more fond of earthworm diet than formulated diet and the diet in the proportion 1 : 3 of fresh diet to formulated diet significantly increased the growth rate ($P < 0.05$). With the increase of earthworm diet proportion, body length and its corporeity significantly meliorated but no obvious influence on survival rate happened. With the increment of fresh diet proportion, the contents of total amino acids, essential amino acids, delicious amino acids (Glu, Asp, Gly and Ala) and feeding-boosted amino acid (Met, Lys and Gly) were significantly increased in muscle. With earthworm diet, feeding-boosted amino acid was observably affected, followed with delicious amino acids and essential amino acids in shrimp muscle. According to the nutritive value evaluation, the nutritive value of protein and quality of shrimp muscle can be improved by feeding fresh diet. With the increment of fresh diet proportion, the contents of total fatty acids, essential fatty acids, relative content of $\sum n-3$ and the ratio of $\sum n-3 / \sum n-6$ decreased significantly in muscles, especially when the fresh diet feeding accounted for more than 1/4 of the feeding scale per day. With the growth results of shrimps, the lack of DHA had no influence to its growth. With the feeding increase of earthworm, growth of shrimp juveniles were obviously accelerated. The analysis of fatty acid content in fresh diet showed that DHA level was the lowest, thus, the diet with high DHA levels should be included when *Eisenia foetida* was considered as the major diet resource of unsaturated fatty acids. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15 (1): 145-153]

Key words: *Fenneropenaeus chinensis*; *Eisenia foetida*; growth; biochemical components

Corresponding author: LIU Ying. E-mail: yinliu@ms.qdio.ac.cn