

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15445

## 山东沿海养殖和野生双齿围沙蚕营养成分比较及饵料安全性评价

曹启猛<sup>1,2,3</sup>, 刘清兵<sup>1,2,3</sup>, 于跃芹<sup>1</sup>, 蒋克勇<sup>2,3</sup>, 刘梅<sup>2,3</sup>, 王雷<sup>2,3</sup>, 王宝杰<sup>2,3</sup>

1. 青岛科技大学 化学与分子工程学院, 山东 青岛 266042;
2. 中国科学院 海洋研究所 实验海洋生物学重点实验室, 山东 青岛 266071;
3. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋生物学与生物技术功能实验室, 山东 青岛 266071

**摘要:** 为全面评估养殖和野生双齿围沙蚕(*Perinereis aibuhitensis*)作为亲虾饲料的营养价值和安全性, 本研究分别对山东沿海养殖和野生双齿围沙蚕的基本营养成分、氨基酸和脂肪酸含量、常见重金属含量和白斑综合征病毒(WSSV)及对虾传染性皮下及造血组织坏死病毒(IHHNV)携带情况进行了检测和对比分析。结果表明, 养殖沙蚕的脂肪含量显著高于野生沙蚕含量( $P < 0.05$ ), 粗蛋白、水分、灰分含量无显著性差异( $P > 0.05$ ); 两种沙蚕中的对虾必需氨基酸/总氨基酸(EAA/TAA)均在 40%左右, 对虾必需氨基酸/非必需氨基酸(EAA/NEAA)均在 60%以上, 符合 FAO/WHO 关于高品质蛋白的标准, 依据两组沙蚕的氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS), 养殖沙蚕的第一限制氨基酸含量高于野生沙蚕含量; 养殖沙蚕的不饱和脂肪酸(UFA)和高度不饱和脂肪酸(HUFA)的含量分别为(66.15±3.77)%和(54.11±2.58)%, 均显著高于野生沙蚕的含量[(56.13±6.60)%、(43.28±5.50)%]( $P < 0.05$ ); 对常见重金属铬(Cr)、铜(Cu)、镉(Cd)、铅(Pb)、砷(As)、汞(Hg)的检测发现, 养殖沙蚕重金属的含量明显低于野生沙蚕的含量( $P < 0.05$ ), 且野生沙蚕中 As 的含量严重超标; 在对虾常见携带病毒 WSSV 和 IHHNV 检测中, 养殖沙蚕均呈现阴性, 而野生沙蚕 IHHNV 呈现阴性, WSSV 呈现阳性, 说明野生沙蚕可能携带 WSSV。从营养价值、饵料安全性以及生态环境保护角度考虑, 养殖双齿围沙蚕作为亲虾饲料的效果明显优于野生双齿围沙蚕。

**关键词:** 双齿围沙蚕; 亲虾饲料; 营养成分; 重金属; 病毒

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)05-1164-09

沙蚕俗称海蜈蚣、海蚂蝗、海虫等, 隶属于环节动物门、多毛纲、游走目、沙蚕科。目前, 已发现的沙蚕种类大约有 10000 种, 其中以日本刺沙蚕(*Neathesj apocica*)、多齿围沙蚕(*Perinereis nuntia*)和双齿围沙蚕(*Perinereis aibuhitensis*)等最为常见。沙蚕在多个领域都有着广泛应用, 特别是作为亲虾饲料, 沙蚕的优越性已得到广泛认可。杜少波等<sup>[1]</sup>对凡纳滨对虾几种常用天然饵料比较分析发现, 沙蚕体内含有丰富的二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA), 是亲虾高度不饱和脂肪酸的最佳来源, 对其性腺成熟和繁殖起到重要作用。陈泳先<sup>[2]</sup>研究发现, 在促进凡纳滨

对虾亲虾性腺的成熟、提高受精卵的质量及数量和缩短繁殖周期等方面, 效果较市场上所销售的“亲虾饲料”及“鲢鱼肉”好。随着对虾养殖产业的不断扩张, 沙蚕需求量急剧增加, 野生沙蚕已无法满足市场需求。据报道全世界只有日本、韩国、中国等国家的少数地区生长野生沙蚕, 日本野生沙蚕早在 20 世纪 80 年代就因过度开采导致资源枯竭, 转而向韩国进口, 近年来, 韩国野生沙蚕资源也濒临枯竭, 现在日本和韩国每年从我国进口大量沙蚕。由于过度采挖和沿海滩涂的污染等因素, 我国野生沙蚕资源也已出现严重萎缩现象, 部分区域已无开采价值<sup>[3]</sup>。另外, 野生沙蚕的过度

收稿日期: 2015-11-30; 修订日期: 2016-01-27.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD17B03).

作者简介: 曹启猛(1989-), 男, 硕士研究生. 研究方向为水产动物营养与饲料. E-mail: caoqimenghappy@163.com

通信作者: 王宝杰(1976-), 博士, 助理研究员. E-mail: wangbaojie@qdio.ac.cn

采捕对沿海滩涂的生态平衡及周围环境造成了严重的破坏。为了满足不断增长的市场需求,减少野生沙蚕的采捕对环境造成的破坏,同时为了恢复自然资源,维护生物多样性,许多学者和从业人员开始研究养殖沙蚕的可行性,并取得了重大进展。目前,在我国南北方沿海地区已建有多家沙蚕养殖基地,部分沙蚕养殖基地年产沙蚕达到 2500 t。沙蚕的人工繁育和养殖已悄然成为沙蚕应用的重要组成部分,为我国沙蚕资源的补充、可持续利用和保护提供了有效的途径,并创造出良好的经济和生态效益。

目前,郭先霞等<sup>[4]</sup>和 Bischoff 等<sup>[5]</sup>关于沙蚕营养的分析已有相关报道;滕瑜等<sup>[6]</sup>通过对比沙蚕和国产鱼粉发现沙蚕在营养性、诱食性以及适口性等方面均超过国产鱼粉;Palmer 等<sup>[7]</sup>发现与普通海水养殖的沙蚕相比,用沙子过滤的养殖废水养殖多毛刚的沙蚕,其不饱和脂肪酸有着显著变化。为寻找一种营养价值高且安全性好的亲虾天然饵料或饲料原料,并为养殖沙蚕的进一步开发和利用提供科学依据,本研究选择我国最为常见并且在养殖业和出口中所占比例较高的双齿围沙蚕作为研究对象,对养殖和野生双齿围沙蚕的基本营养成分(粗蛋白、粗脂肪、水分、灰分)、氨基酸和脂肪酸含量、常见重金属元素(汞、砷、铬、镉、铅、铜)含量和常见病毒[对虾白斑综合征病毒(WSSV)、对虾传染性皮下造血组织坏死病毒(IHHNV)]的携带情况进行检测,并从营养价值及安全性角度进行对比分析。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

沙蚕活体成虫由山东东营市河口区东营振宇水产资源开发有限公司的沙蚕养殖基地提供,沙蚕饵料为烟台大乐饲料有限公司生产的南美白对虾饲料 1<sup>#</sup>料(幼虾饵料),粗蛋白 42%,粗脂肪 7%,灰分 15%,水分 11%。基地采用泥沙质底,封闭式养殖模式,海水经过蓄水沉淀池的消毒、沉淀和净化后引入沙蚕养殖池使用,养殖池表层沉积物中,总氮含量的平均值为 256  $\mu\text{g/g}$ ;总磷含量

的平均值为 489  $\mu\text{g/g}$ ;有机质含量为 1.94%~3.62%,主要以腐殖质为主;常见重金属铬、铜、镉、铅、砷、汞的含量均低于《无公害食品 渔用配合饲料安全限量》。沙蚕亲体为人工选育的优质野生沙蚕,对其繁殖的幼苗进行工厂化人工养殖,养殖周期 4 个月,采捕后作为养殖沙蚕样本。野生沙蚕活体成虫采集于东营市河口区海域的海水潮间带,时间为 2015 年 8 月。本研究中雌雄比例为 1:1,性成熟时的双齿围沙蚕,雌、雄个体从外观上可以明显区分,雌体沙蚕生殖区墨绿色,雄体沙蚕生殖区浅绿色或者灰白色。养殖沙蚕和野生沙蚕的个体平均体重分别为(2.85 $\pm$ 0.21) g 和(2.31 $\pm$ 0.18) g (分别随机取 20 尾取平均值),实验室内用干净海水暂养 5 天以清除体内杂质,于-80 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱冷冻保存。

### 1.2 基本营养成分的检测

粗蛋白采用凯氏定氮法(GB/T 6432-94)测定,粗脂肪采用索氏提取法(GB/T 6433-94)测定,灰分采用高温灼烧法(GB/T 6438-92)测定,水分采用直接烘干法(GB/T 6435-86)测定。

### 1.3 氨基酸和脂肪酸的检测

参照 Tao 等<sup>[8]</sup>的样品前处理及检测方法对沙蚕中氨基酸含量进行检测,称取 20 mg 冻干后的样品并加入 10 mL 6 mol/L HCl,向管内充入  $\text{N}_2$ ,待管内氧气排净后,将管密封并置于烘箱(110 $^{\circ}\text{C}$ )内 24 h,过滤水解后的样品,将滤液减压蒸干后,用 20 mmol/L HCl 定容至 20 mL,利用全自动氨基酸分析仪(Sykam 德国)对处理后的样品进行分析。

样品脂肪酸的含量检测参考 González 等<sup>[9]</sup>的方法,以十一碳烯酸作为内标,利用 NaOH- $\text{CH}_3\text{OH}$  和  $\text{BF}_3\text{-CH}_3\text{OH}$  法对样品进行甲酯化处理,并通过含有分流/非分流注射口(split/splitless)和火焰离子探测器(flame ionization detector, FID)的气相色谱分析仪(Agilent, USA)进行检测分析。

### 1.4 重金属的检测

样品的前处理:称取 0.1 g 样品于经酸泡过的小烧杯中,加入 1 mL  $\text{HClO}_4$  和 5 mL  $\text{HNO}_3$  后,加盖置于通风橱;利用电热板加热消解,调节加热温度由 175 $^{\circ}\text{C}$  逐渐升高至 220 $^{\circ}\text{C}$ ,始终保持溶液

不沸腾,直至样品中酸溶液蒸干,加 1:1 HNO<sub>3</sub> 浸润样品,微热后冷却至室温,用去离子水(少量多次)将样品溶液完全转移至 25 mL 样品管,摇匀(Hg 无需蒸干,蒸发至冒白烟后定容)。利用同种方法制备空白组样品,并配置一系列浓度标准溶液和 20 μg/L 的内标溶液。

重金属元素 Cd、Cu、Pb、Cr 含量采用电感耦合等离子体质谱(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)分析技术检测分析; Hg 和 As 含量采用原子荧光分光光度法(atomic fluorescence spectroscopy, AFS)检测分析。

### 1.5 WSSV 和 IHNV 的检测

采用《水生动物疾病诊断手册》<sup>[10]</sup>的白斑综合征病毒(WSSV)和对虾传染性皮下及造血组织坏死病毒(IHNV)诊断标准中所推荐的引物和 PCR 检测方法,对沙蚕样品进行检测,引物由南京金斯瑞生物科技有限公司合成,沙蚕样品 DNA 的提取按照试剂盒(Tiangen 公司)说明书进行。纯净病毒细胞株从病虾中提取,通过测序确定为 WSSV 和 IHNV,并保存于-20℃冰箱中,作为以后实验的阳性对照;阴性对照为 PBS 缓冲液。

### 1.6 氨基酸营养价值评价

根据世界粮农组织和世界卫生组织(FAO/WHO)提出的氨基酸评分标准模式<sup>[11]</sup>和全鸡蛋蛋白质氨基酸模式<sup>[12]</sup>,分别以下列公式计算出氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS):

$$AAS = aa/AA(\text{FAO/WHO})$$

$$CS = aa/AA(\text{egg})$$

式中,氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)为 FAO/WHO 提出的评价样品中氨基酸营养价值的两种方法;aa 为样品中氨基酸的质量分数;AA (FAO/WHO)表示 AAS 中推荐的理想蛋白中同种氨基酸的质量分数;AA (egg)表示鸡蛋蛋白质中同种氨基酸的质量分数。

### 1.7 数据处理

各处理组均设 3 组平行,采用 Excel 软件处理实验结果,并用 SPSS Statistics 软件进行单因素方差分析(ANOVA), $P < 0.05$  表示有显著性差异,实验结果采用平均值±标准差( $\bar{x} \pm SD$ )表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种沙蚕的基础营养成分

养殖沙蚕和野生沙蚕基本营养物质(水分、脂肪、灰分和粗蛋白)的含量分析结果见表 1。结果可见,养殖沙蚕的脂肪含量(11.30±0.77)%显著高于野生沙蚕(9.53±0.57)%( $P < 0.05$ );养殖沙蚕和野生沙蚕的粗蛋白含量分别为(59.24±0.24)%和(60.17±0.78)%,显著性分析表明两者并无显著性差异( $P > 0.05$ )。另外,养殖沙蚕和野生沙蚕的灰分含量和水分含量均无显著性差异( $P > 0.05$ )。

表 1 养殖和野生双齿围沙蚕基本营养成分

Tab. 1 The basic nutritional composition of cultured and wild *Perinereis aibuhitensis*  $n=3; \bar{x} \pm SD; \%$

基本营养成分 basic nutritional composition	养殖沙蚕 cultured sandworm	野生沙蚕 wild sandworm
水分 moisture	79.22±0.40	80.76±0.40
脂肪 fat dry weight	11.30±0.77 <sup>a</sup>	9.53±0.57 <sup>b</sup>
灰分 ash dry weight	12.25±0.46	11.79±0.38
粗蛋白 crude protein dry weight	59.24±0.24	60.17±0.78

注:同行不同字母上标表示差异性显著( $P < 0.05$ )。

Note: Data with different letters in the same line are significantly different from each other ( $P < 0.05$ ).

### 2.2 两种沙蚕的氨基酸营养价值

养殖沙蚕和野生沙蚕的氨基酸种类和含量分析结果见表 2。由结果看出,两种沙蚕含量最多的氨基酸均为谷氨酸,其次为天门冬氨酸,野生沙蚕含量最少的氨基酸为胱氨酸,养殖沙蚕含量最少的氨基酸为蛋氨酸。对比养殖沙蚕和野生沙蚕可以看出,对虾必需氨基酸的含量分别为(19.60±0.50)%和(23.25±0.81)%,对虾非必需氨基酸的含量分别为(29.06±0.94)%和(29.84±1.11)%,总氨基酸含量分别为(48.67±1.44)%和(53.09±1.92)%。另外,养殖沙蚕和野生沙蚕呈味氨基酸的含量分别为(21.74±0.72)%和(25.46±0.73)%。

将表 2 中几种必需氨基酸的含量转换为每克氮中含有氨基酸的毫克数,并根据 FAO/WHO(1973)提出的氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白质的评分模式计算出两组沙蚕的氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS),结果见表 3。两组沙蚕中异亮氨酸+酪

表 2 养殖和野生双齿围沙蚕氨基酸组成  
Tab. 2 The amino acid composition of cultured and wild *Perinereis aibuhitensis* n=3;  $\bar{x} \pm SD$ ; %

氨基酸种类 amino acid	养殖沙蚕 cultured sandworm	野生沙蚕 wild sandworm
天门冬氨酸 <sup>△</sup> Asp	5.11±0.16 <sup>a</sup>	6.02±0.14 <sup>b</sup>
苏氨酸 <sup>☆</sup> Thr	1.79±0.05 <sup>a</sup>	2.37±0.10 <sup>b</sup>
丝氨酸 Ser	1.70±0.02 <sup>a</sup>	2.18±0.06 <sup>b</sup>
谷氨酸 <sup>△</sup> Glu	6.87±0.22 <sup>a</sup>	8.49±0.19 <sup>b</sup>
甘氨酸 <sup>△</sup> Gly	2.41±0.06 <sup>a</sup>	3.51±0.23 <sup>b</sup>
丙氨酸 <sup>△</sup> Ala	4.10±0.14	3.81±0.09
胱氨酸 Cys	1.12±0.04	1.09±0.09
缬氨酸 <sup>☆</sup> Val	2.22±0.01 <sup>a</sup>	2.46±0.08 <sup>b</sup>
蛋氨酸 <sup>☆</sup> Met	0.99±0.05	1.10±0.06
异亮氨酸 <sup>☆</sup> Ile	2.19±0.05 <sup>a</sup>	2.43±0.10 <sup>b</sup>
酪氨酸 Leu	3.47±0.11 <sup>a</sup>	3.98±0.11 <sup>b</sup>
亮氨酸 <sup>☆</sup> Tyr	1.82±0.02	1.83±0.11
苯丙氨酸 <sup>☆</sup> Phe	2.05±0.03 <sup>a</sup>	2.26±0.09 <sup>b</sup>
组氨酸 <sup>☆</sup> His	1.39±0.04 <sup>a</sup>	1.55±0.02 <sup>b</sup>
赖氨酸 <sup>☆</sup> Lys	3.88±0.11	4.08±0.17
精氨酸 <sup>△☆</sup> Ary	3.25±0.14 <sup>a</sup>	3.63±0.08 <sup>b</sup>
脯氨酸 Pro	4.29±0.19 <sup>a</sup>	2.27±0.31 <sup>b</sup>
总氨基酸含量 TAA	48.67±1.44 <sup>a</sup>	53.09±1.92 <sup>b</sup>
鱼虾必需氨基酸 EAA	19.60±0.50 <sup>a</sup>	23.25±0.81 <sup>b</sup>
鱼虾非必需氨基酸 NEAA	29.06±0.94	29.84±1.11
呈味氨基酸 DAA	21.74±0.72	25.46±0.73
EAA/TAA	40.27	43.79
EAA/NEAA	67.45	77.92

注: ☆表示对虾必需氨基酸, △表示呈味氨基酸, 以干重计。同行不同字母上标表示差异性显著(P<0.05)。

Note: ☆ means essential amino acid of prawn, △means delicious amino acid, in dry weight basis. Data with different letters in the same line are significantly different from each other (P<0.05)。

氨酸的氨基酸评分和化学评分最高, AAS 值接近 3, CS 值也超过 2。根据氨基酸评分标准模式, 养殖

沙蚕和野生沙蚕的第一限制性氨基酸均为亮氨酸, AAS 值分别为 0.85 和 0.77, 养殖沙蚕高于野生沙蚕; 根据全鸡蛋蛋白质的评分模式, 养殖沙蚕和野生沙蚕的第一限制性氨基酸同样为亮氨酸, 其 CS 值为 0.70 和 0.63, 同样养殖沙蚕高于野生沙蚕。

2.3 两种沙蚕的脂肪酸营养价值

野生沙蚕和养殖沙蚕脂肪酸的种类和含量分析结果见表 4, 由表 4 可以看出, 两组沙蚕的脂肪酸组成基本相同, 均检测出 31 种脂肪酸, 其中 23 种不饱和脂肪酸, 8 种饱和脂肪酸, 碳链长度在 12~22, 不饱和度在 0~6。对比养殖沙蚕和野生沙蚕脂肪酸含量可以看出, 养殖沙蚕和野生沙蚕含量最高的脂肪酸均为 C<sub>16:0</sub>(棕榈酸), 其次为 C<sub>20:5</sub>(二十碳五烯酸, EPA)。比较两种沙蚕不饱和脂肪酸可以得到, 养殖沙蚕和野生沙蚕不饱和脂肪酸(SFA)含量分别为(66.15±3.77)%和(56.13±6.60)%, 高度不饱和脂肪酸(HUFA)的含量分别为(54.11±2.58)%和(43.28±5.50)%, 养殖沙蚕的脂肪酸含量均显著高于野生沙蚕含量。另外, 在多高度不饱和脂肪酸二十碳五烯酸+二十二碳六烯酸(EPA+DHA)含量的比较中, 同样养殖沙蚕含量显著高于野生沙蚕含量。

2.4 两种沙蚕的重金属含量

养殖沙蚕和野生沙蚕中几种常见重金属(Cr、Hg、As、Cd、Pb、Cu)的含量检测结果见表 5, 由表 5 可见, 养殖沙蚕 Cr、Cu、Cd、As、Pb 和 Hg 这几种重金属含量均显著低于野生沙蚕(P<0.05)。参照《无公害食品渔用配合饲料安全限量》<sup>[13]</sup>发现, 养殖沙蚕 Cr、Hg、Cd、Pb、Cu 和 As

表 3 养殖和野生双齿围沙蚕氨基酸评分和化学评分  
Tab. 3 The amino acid score (AAS) and chemical score (CS) of cultured and wild *Perinereis aibuhitensis*

氨基酸 amino acid	含量 content				氨基酸评分 AAS		化学评分 CS	
	FAO/WHO/ (mg·g <sup>-1</sup> )	鸡蛋/ (mg·g <sup>-1</sup> ) egg	养殖/ (mg·g <sup>-1</sup> ) cultured	野生/ (mg·g <sup>-1</sup> ) wild	养殖 cultured	野生 wild	养殖 cultured	野生 wild
异亮氨酸 Ile	0.25	0.331	0.449	0.449	1.80	1.80	1.36	1.36
亮氨酸 Tyr	0.44	0.534	0.375	0.338	0.85	0.77	0.70	0.63
赖氨酸 Lys	0.34	0.441	0.388	0.408	1.14	1.20	0.88	0.92
苏氨酸 Thr	0.25	0.292	0.368	0.437	1.47	1.75	1.26	1.50
缬氨酸 Val	0.31	0.410	0.457	0.455	1.47	1.47	1.11	1.11
胱氨酸 + 蛋氨酸 Cys + Met	0.22	0.386	0.433	0.405	1.97	1.84	1.12	1.05
苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe + Lys	0.38	0.565	1.130	1.150	2.97	3.03	2.04	2.04

表 4 养殖和野生双齿围沙蚕脂肪酸含量  
**Tab. 4 The fatty acid composition of cultured and wild *Perinereis aibuhitensis*  $n=3$ ;  $\bar{x} \pm SD$ ; %**

脂肪酸种类 fatty acid	养殖沙蚕 cultured sandworm	野生沙蚕 wild sandworm
C <sub>12:0</sub>	0.02±0.01	0.02±0.01
C <sub>14:0</sub>	1.05±0.04 <sup>a</sup>	1.74±0.18 <sup>b</sup>
C <sub>14:1</sub>	0.03±0.01 <sup>a</sup>	0.22±0.02 <sup>b</sup>
C <sub>15:0</sub>	0.77±0.07 <sup>a</sup>	1.02±0.03 <sup>b</sup>
C <sub>16:0</sub>	24.30±1.14 <sup>a</sup>	31.71±0.87 <sup>b</sup>
C <sub>16:1<math>\omega</math>7</sub>	5.71±0.60	5.67±0.20
C <sub>16:1<math>\omega</math>5</sub>	0.10±0.01	0.20±0.02
C <sub>16:2</sub>	0.32±0.05 <sup>a</sup>	0.72±0.12 <sup>b</sup>
C <sub>17:0</sub>	1.55±0.15 <sup>a</sup>	2.05±0.19 <sup>b</sup>
C <sub>18:0</sub>	5.78±0.46 <sup>a</sup>	6.95±0.91 <sup>b</sup>
C <sub>18:2<math>\omega</math>7</sub>	6.02±0.27	11.00±0.72
C <sub>18:2<math>\omega</math>6</sub>	9.58±0.42 <sup>a</sup>	1.88±1.44 <sup>b</sup>
C <sub>18:2<math>\omega</math>4</sub>	0.45±0.01 <sup>a</sup>	1.49±0.18 <sup>b</sup>
C <sub>18:3</sub>	0.13±0.01	0.10±0.07
C <sub>18:3</sub>	1.46±0.09	1.59±0.67
C <sub>18:4</sub>	0.21±0.08 <sup>a</sup>	0.43±0.06 <sup>b</sup>
C <sub>20:0</sub>	0.17±0.01 <sup>a</sup>	0.22±0.02 <sup>b</sup>
C <sub>20:1<math>\omega</math>11</sub>	2.57±0.19	2.47±0.09
C <sub>20:1<math>\omega</math>9</sub>	4.06±0.28 <sup>a</sup>	2.70±0.50 <sup>b</sup>
C <sub>20:1<math>\omega</math>7</sub>	0.44±0.03 <sup>a</sup>	0.97±0.10 <sup>b</sup>
C <sub>20:2<math>\omega</math>6</sub>	11.75±0.34 <sup>a</sup>	3.38±1.51 <sup>b</sup>
C <sub>20:3<math>\omega</math>6</sub>	0.73±0.11 <sup>a</sup>	0.37±0.13 <sup>b</sup>
C <sub>20:3<math>\omega</math>3</sub>	2.55±0.22 <sup>a</sup>	1.45±0.15 <sup>b</sup>
C <sub>20:4<math>\omega</math>6</sub>	0.59±0.07	0.72±0.19
C <sub>20:4<math>\omega</math>3</sub>	0.24±0.03 <sup>a</sup>	0.40±0.07 <sup>b</sup>
C <sub>20:5<math>\omega</math>3</sub>	15.33±0.46 <sup>a</sup>	13.78±1.66 <sup>b</sup>
C <sub>22:0</sub>	0.11±0.01	0.16±0.05
C <sub>22:1<math>\omega</math>11</sub>	0.49±0.06 <sup>a</sup>	0.30±0.06 <sup>b</sup>
C <sub>22:1<math>\omega</math>9</sub>	0.26±0.01	0.30±0.11
C <sub>22:5<math>\omega</math>3</sub>	1.39±0.13 <sup>a</sup>	4.81±0.44 <sup>b</sup>
C <sub>22:6<math>\omega</math>3</sub>	1.84±0.29 <sup>a</sup>	1.15±0.09 <sup>b</sup>
饱和脂肪酸含量/% SFA	33.85±1.90 <sup>a</sup>	43.87±2.57 <sup>b</sup>
不饱和脂肪酸含量/% UFA	66.15±3.77 <sup>a</sup>	56.13±6.60 <sup>b</sup>
高度不饱和脂肪酸含量/% HUFA	54.11±2.58 <sup>a</sup>	43.28±5.50 <sup>b</sup>
(EPA + DHA)/%	17.17±0.75 <sup>a</sup>	14.93±1.75 <sup>b</sup>
$\Sigma\omega 3$	18.56±1.25 <sup>a</sup>	21.59±1.55 <sup>b</sup>
$\Sigma\omega 6$	22.65±2.38 <sup>a</sup>	5.96±0.37 <sup>b</sup>
$\Sigma\omega 3/\Sigma\omega 6$	0.82 <sup>a</sup>	3.62 <sup>b</sup>

注: 同行不同字母上标表示差异性显著( $P<0.05$ ).

Note: Data with different letters in the same line are significantly different from each other ( $P<0.05$ ).

的含量均在安全限量之内, 而野生沙蚕 As 的检测值明显高于安全限量, Cr、Hg、Cd、Pb 和 Cu 含量的检测值在安全限量之内。

## 2.5 两种沙蚕携带病毒情况

两种沙蚕中 WSSV 的检测结果见图 1, 在随机抽取的沙蚕样品的检测中, 养殖沙蚕中均呈现阴性, 野生沙蚕中均呈现阳性, 说明养殖沙蚕未携带 WSSV, 而野生沙蚕中可能携带 WSSV。另外, 两种沙蚕 IHHNV 的检测结果均呈现阴性, 说明野生和养殖这两种沙蚕均不携带 IHHNV 病毒。

## 3 讨论

### 3.1 两种沙蚕营养元素的比较分析

蛋白质和脂肪是生命的物质基础和能量来源, 是所有生物体维持其生长和发育必不可少的营养物质。一般情况下, 对于水产动物而言, 野生动物的生活空间广阔, 食性范围广并且捕食活动活跃, 而养殖动物由于饲料中添加一些富含脂质的物质, 且活动空间相对较小, 能量消耗少, 体内部分脂肪转化为蛋白质的量较少, 因此, 养殖动物脂肪含量通常高于野生动物, 而蛋白质含量通常低于野生动物<sup>[14]</sup>。本研究中养殖沙蚕脂肪含量显著高于野生沙蚕含量, 而两组沙蚕粗蛋白含量并无显著性差异。分析可能的原因: 与其他野生动物相比, 野生沙蚕的活动空间及能量消耗相对较少, 并且养殖沙蚕饵料中蛋白质含量较高, 从而导致野生沙蚕和养殖沙蚕的蛋白质含量并无显著性差异。Techapremprecha 等<sup>[15]</sup>对养殖和野生多齿围沙蚕粗蛋白和脂肪的测定结果和杨世平等<sup>[16]</sup>对养殖和野生多齿围沙蚕粗蛋白和脂肪的测定结果均证明了这一点。因此, 野生与养殖沙蚕粗蛋白和粗脂肪的差异除了与生长环境有关外, 也会受到养殖饵料的影响。

FAO/WHO 的理想蛋白模型认为, 高品质蛋白其必需氨基酸(EAA)与总氨基酸(TAA)含量的比值应在 40%左右, 必需氨基酸(EAA)与非必需氨基酸(NEAA)的比值应在 60%以上。本研究中养殖沙蚕对虾必需氨基酸/总氨基酸(EAA/TAA)的值为 40.27%, 对虾必需氨基酸/非必需氨基酸(EAA/NEAA)的值为 67.45%; 野生沙蚕 EAA/TAA 及 EAA/NEAA 的值分别为 43.79%、77.92%。两种沙蚕均符合理想蛋白模型。氨基酸评分(AAS)和

表 5 养殖和野生双齿围沙蚕不同重金属含量  
 Tab. 5 The content of different heavy metal in cultured and wild *Perinereis aibuhitensis*  $n=3; \bar{x} \pm SD$

	Cr/(mg·kg <sup>-1</sup> )	Cu/(mg·kg <sup>-1</sup> )	Cd/(μg·kg <sup>-1</sup> )	As/(mg·kg <sup>-1</sup> )	Pb/(mg·kg <sup>-1</sup> )	Hg/(μg·kg <sup>-1</sup> )
养殖沙蚕 cultured sandworm	0.80±0.04 <sup>a</sup>	4.69±0.73 <sup>a</sup>	57.55±4.10 <sup>a</sup>	2.78±0.23 <sup>a</sup>	1.86±0.95 <sup>a</sup>	44.98±3.11 <sup>a</sup>
野生沙蚕 wild sandworm	1.43±0.46 <sup>b</sup>	8.21±0.31 <sup>b</sup>	140.83±10.26 <sup>b</sup>	14.08±1.46 <sup>b</sup>	2.58±0.94 <sup>b</sup>	96.07±3.41 <sup>b</sup>

注: 同列不同字母表示上标表示差异性显著( $P<0.05$ )。

Note: Data with different letters in the same column are significantly different from each other ( $P<0.05$ ).

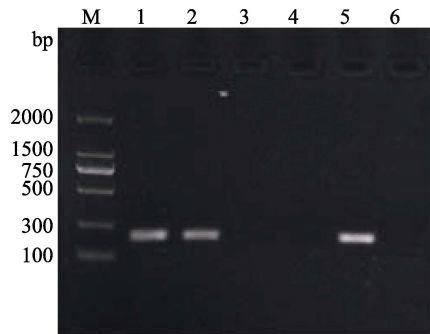


图 1 养殖和野生双齿围沙蚕 WSSV 检测结果

M: maker; 1, 2: 野生双齿围沙蚕; 3, 4: 养殖双齿围沙蚕;  
 5: 阳性对照; 6: 阴性对照。

Fig. 1 Detection of white spot syndrome virus (WSSV) in cultured and wild *Perinereis aibuhitensis*

M: maker; 1, 2: cultured *P. aibuhitensis*; 3, 4: wild *P. aibuhitensis*;  
 5: the positive control; 6: the negative control.

化学评分(CS)均反映了蛋白质中必需氨基酸的构成和利用率的关系, 蛋白质营养价值主要体现在为体内合成含氮类化合物提供其必需氨基酸。氨基酸中缺乏最多的一类氨基酸称之为第一限制性氨基酸, 它会影响到机体对蛋白质的利用, 并决定蛋白质的质量。养殖沙蚕和野生沙蚕的第一限制性氨基酸均为亮氨酸, 且无论是氨基酸评分还是化学评分, 养殖沙蚕的含量均大于野生沙蚕的含量。因此, 虽然两种沙蚕均符合 FAO/WHO 的理想蛋白模型, 但是养殖沙蚕的第一限制性氨基酸含量高于野生沙蚕的含量, 因此相较于野生沙蚕, 养殖沙蚕是对虾亲虾更理想的蛋白源。

研究表明, 亲虾体内不饱和脂肪酸(UFA)与其产卵能力和受精卵孵化率之间有着极大的相关性, 是影响亲虾性腺成熟和幼体发育的关键因素<sup>[17]</sup>, 然而虾类自身不具有合成不饱和脂肪酸, 尤其是高度不饱和脂肪酸的能力, 在亲虾性腺成熟和幼体发育的过程中, 所需要的大量多不饱和脂肪酸

必须从亲虾饲料中获取, 因此不饱和脂肪酸尤其是 EPA 和 DHA 的含量, 同样是评价亲虾饲料品质优劣的重要指标。通过比较饱和脂肪酸、高度不饱和脂肪酸及 EPA + DHA 含量, 发现养殖沙蚕均显著高于野生沙蚕。研究表明, 环境因素和饲料中脂肪酸组成影响着沙蚕体内脂肪酸的组成, 受影响的脂肪酸以不饱和脂肪酸为主, 饱和脂肪酸的影响相对较小<sup>[18]</sup>, 沙蚕人工饲料采用对虾 1<sup>#</sup> 料, 该饲料为幼虾饲料, 含有较高的不饱和脂肪酸, 能够有效地提高养殖沙蚕不饱和脂肪酸的含量。因此养殖沙蚕不饱和脂肪酸含量显著大于野生沙蚕含量。另外, 饲料的脂肪酸组成对亲虾的生长同样重要影响。Wouters 等<sup>[17]</sup>发现, 凡纳滨对虾亲虾成熟卵巢中的  $\Sigma\omega3/\Sigma\omega6$  约为 2 : 1, 而凡纳滨幼体中的比值增加至 3 : 1, 可见在凡纳滨对虾孵化与变态的过程中, 饲料中较高的  $\Sigma\omega3$  含量对凡纳滨对虾的孵化与变变更为有利。由表 4 可以看出, 养殖沙蚕  $\Sigma\omega3$  的含量显著高于野生沙蚕, 而  $\Sigma\omega6$  的含量显著低于野生沙蚕。从而, 在  $\Sigma\omega3/\Sigma\omega6$  的比较中, 养殖沙蚕的含量低于野生沙蚕。目前, 人工养殖沙蚕的时间较短, 在沙蚕的营养需求方面的基础研究较为薄弱, 沙蚕主要以投喂对虾饲料为主, 今后在沙蚕的养殖过程中, 应根据需要调整饲料的营养配比, 以提高沙蚕中  $\Sigma\omega3$  的含量, 从而进一步提高养殖沙蚕促进对虾性腺成熟及幼体发育等方面的表现。

### 3.2 两种沙蚕的安全性分析

近年来, 工业、农业的迅速发展使河口和海湾生境的重金属污染严重, 导致近岸海域环境质量急剧下降, 沙蚕是一种栖息于海陆交错带、具有重要生态学意义的无脊椎动物。本研究发现野生沙蚕几种常见重金属含量均显著高于养殖沙蚕

含量,且其 As 的含量超出安全限量。分析其可能的原因:野生沙蚕多生活于近海潮间带,以水底腐殖质为食,曹红英等<sup>[19]</sup>研究表明受陆源污染的影响,近海潮间带腐殖质重金属的含量明显偏高,潮间带悬浮物及沉淀物中重金属不断在野生沙蚕体内富集,而养殖沙蚕以投喂人工饵料为主,导致野生沙蚕体内重金属物含量高于养殖沙蚕。卵巢和肝胰腺分别是对虾等甲壳动物主要的生殖器官和免疫器官,同时也是其重金属富集的主要器官。卵巢内重金属含量过多将会降低生物体的繁殖能力,甚至导致卵巢的生物学死亡;大量重金属的积累,将破坏肝胰腺组织结构,使生物体的免疫力降低,抵抗力下降<sup>[20]</sup>。因此,使用养殖沙蚕作为亲虾饲料可以降低亲虾重金属污染的风险,并有助于亲虾发育。

亲虾培育通常使用活沙蚕、冰鲜或冷冻鱿鱼作为动物性饵料的主要来源,沙蚕能为亲虾提供必需的高度不饱和脂肪酸,以此来提高虾卵和胚胎的质量。然而这也存在风险,即来源于野外的鲜活饵料经常携带病原体,对亲虾造成威胁,并且沙蚕的质量也并不稳定。有专家指出对虾疾病的广泛传播最主要的原因就是使用鲜活的沙蚕投喂亲虾。危害对虾产业最主要的病害 WSSV(白斑综合征病毒)以其高致病性、高传播性和高死亡率给对虾养殖户造成了重大的经济损失<sup>[21-22]</sup>, IHNV(传染性皮下及造血组织坏死病毒)同样具有很高的传染性和致病性,感染 IHNV 的对虾表现出个体差异显著且严重畸形,虾的产量和质量显著偏低<sup>[23-24]</sup>。这两种病毒均因对全球对虾养殖业的威胁而被世界动物卫生组织《水生动物卫生法典》收录。目前,对于这两种病毒并无有效的治疗方法,因此病毒预防工作显得尤为重要。饵料中携带病毒是对虾感染 WSSV 和 IHNV 的重要途径之一。因此,作为亲虾饵料,沙蚕体内是否携带病毒是评判其优劣的重要指标。关于沙蚕中对虾病原体的调查尚未见文献报道,本研究对沙蚕中 WSSV 和 IHNV 检测发现,养殖沙蚕中不携带 WSSV 和 IHNV,野生沙蚕中携带 WSSV 病毒,目前虽尚无证据证明沙蚕是 WSSV 的敏感

宿主,但在一定条件下沙蚕可以成为 WSSV 的中间载体<sup>[25]</sup>。张家松等<sup>[26]</sup>对挠足类中 WSSV 调查发现,挠足类是 WSSV 的携带者或传播媒介之一,Macías-Rodríguez 等<sup>[27]</sup>发现野生虾蟹类的腐殖质同样是 WSSV 的载体。由于野生沙蚕常以野生虾蟹等该病毒敏感宿主的腐殖质、挠足类浮游生物等为食,并且生活的水环境中还可能有一些虾蟹类养殖场排放的未经处理的养殖水的排入,因此,受食物的多样性和复杂生活环境的影响,野生沙蚕更容易携带病原体。养殖沙蚕生活环境相对比较单一,且养殖水经蓄水池净化消毒后取上层海水注入养殖池,另外沙蚕在养殖过程中,饵料常中加入一些微生态制剂来增强其抵抗力。因此相比于野生沙蚕,养殖沙蚕能更有效地降低亲虾感染 WSSV 等病原的风险。

#### 4 结论

养殖沙蚕 EAA/TAA 在 40%左右, EAA/NEAA 在 60%以上,符合 FAO/WHO 的理想蛋白模型,且第一限制氨基酸含量大于野生沙蚕含量,是亲虾更为理想的蛋白源;尽管养殖沙蚕的  $\Sigma\omega 3/\Sigma\omega 6$  脂肪酸的比值低于野生沙蚕,但是养殖沙蚕中粗脂肪、不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸和 DHA + EPA 的含量均显著高于野生沙蚕含量,故养殖沙蚕能更有效地促进亲虾的性腺成熟及幼体发育;养殖沙蚕重金属 Cr、Cu、Cd、Pb、Hg、As 的含量均未超出安全限量,且显著低于野生沙蚕中重金属含量,而野生沙蚕 As 含量严重超标,养殖沙蚕能够减少亲虾重金属污染的可能性;在对虾常见病毒——WSSV 和 IHNV 的检测中发现,养殖沙蚕均呈现阴性,说明不携带该病毒,而野生沙蚕 WSSV 呈现阳性,说明可能携带该病毒,所以,喂养养殖沙蚕可以降低对虾感染病毒的风险。另外由于受水域污染、过度捕捞等诸多因素影响,野生沙蚕资源严重衰退,为有效地保护沙蚕种质资源,加快沙蚕资源恢复以保护生态环境,更应减少对野生沙蚕的采捕。综上所述,与野生沙蚕相比较,养殖沙蚕是一种营养价值更高且安全性更好的亲虾饵料。



## 参考文献:

- [1] Du S B, Hu C Q, Shen Q, et al. A comparative study on biochemical composition of main natural diets for broodstock *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2005, 24(1): 50–59. [杜少波, 胡超群, 沈琪, 等. 凡纳滨对虾亲虾常用天然饵料营养成分的比较研究[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(1): 50–59.]
- [2] Chen Y X. The effect of several diets on *Litopenaeus vannamei* broodstock reproduction performance[D]. Nanning: Guangxi University, 2012. [陈永先. 几种饵料对凡纳滨对虾亲虾繁殖性能的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2012.]
- [3] Xu S S, Hou N N. The study on ecological protection of sandworm in Guangrao, Dongying[J]. Agriculture and Technology, 2013, 33(9): 160. [徐姗姗, 侯宁宁. 东营广饶县沙蚕生态保护研究[J]. 农业与技术, 2013, 33(9): 160]
- [4] Guo X X, Li C L, Huang X H, et al. Determination of nutrient element of clamworm *Perinereis aibuhitensis* Grube from Maoming, Guangdong[J]. Study of Trace Elements and Health, 2011, 28(1): 22–24. [郭先霞, 李长玲, 黄翔鹤, 等. 茂名双齿围沙蚕营养元素的测定[J]. 微量元素与健康研究, 2011, 28(1): 22–24.]
- [5] Bischoff A A, Fink P, Waller U. The fatty acid composition of *Nereis diversicolor* cultured in an integrated recirculated system: Possible implications for aquaculture[J]. Aquaculture, 2009, 296(3): 271–276.
- [6] Teng Y, Wang Y G, Wang C L. Nutritional analysis and function study of *Perinereis aibuhitensis*[J]. Advances in Marine Science, 2004, 22(2): 215–218. [滕瑜, 王印庚, 王彩理. 沙蚕的营养分析与功能研究[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(2): 215–218.]
- [7] Palmer P J, Wang S, Houlihan A, et al. Nutritional status of a nereidid polychaete cultured in sand filters of mariculture wastewater[J]. Aquac Nutr, 2014, 20(6): 675–691.
- [8] Tao N, Wang L, Gong X, et al. Comparison of nutritional composition of farmed pufferfish muscles among *Fugu obscurus*, *Fugu flavidus* and *Fugu rubripes*[J]. J Food Compos Anal, 2012, 28(1): 40–45.
- [9] González S, Flick G J, O'keefe S F, et al. Composition of farmed and wild yellow perch (*Perca flavescens*)[J]. J Food Compos Anal, 2006, 19(6): 720–726.
- [10] World Organization for Animal Health (OIE). Diagnostic Manual for Aquatic Animal Diseases[M]. Paris France, 2012: 119–137, 177–190.
- [11] Pellett P L, Young V R. Nutritional evaluation of protein foods[J]. Tokyo: The United National University Publishing Company, 1980: 26–29.
- [12] Wang Y H, Li P B, Li T, et al. Analysis and evaluation of amino acids of wheat seedling[J]. Amino Acids and Biotic Resources, 2011, 33(1): 14–15. [王永辉, 李培兵, 李天, 等. 麦苗中氨基酸测定与评价[J]. 氨基酸和生物资源, 2011, 33(1): 14–15.]
- [13] NY 5072—2002, The Pollution-Free food The Safety Limit of Compound Feed in Fishing[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002. [无公害食品 渔用配合饲料安全限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.]
- [14] Cheng H L, Jiang F, Peng Y X, et al. Comparison of nutrient composition of muscles of wild and farmed grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Food Science, 2013, 34(13): 266–270. [程汉良, 蒋飞, 彭永兴, 等. 野生与养殖草鱼肌肉营养成分比较分析[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 266–270.]
- [15] Techapremreecha S, Khongchareonporn N, Chaicharoenpong C, et al. Nutritional composition of farmed and wild sandworms, *Perinereis nuntia*[J]. Anim Feed Sci Technol, 2011, 169(3): 265–269.
- [16] Yang S P, Liu H L, Qiu D Q. Analysis of nutritional compositions of natural and artificial culture *Perinereis aibuhitensis*[J]. Feed Industry, 2013, 34(10): 53–55. [杨世平, 刘慧玲, 邱德全. 天然和养殖沙蚕营养成分分析[J]. 饲料工业, 2013, 34(10): 53–55.]
- [17] Wouters R, Molina D, Lavens P, et al. Lipid composition and vitamin content of wild femal *Litopenaeus vannamei* in different stages of sexual maturation[J]. Aquaculture, 2001, 198: 307–323.
- [18] Ma A J, Liu X F, Zhai Y X, et al. Biochemical composition in muscle of wild and cultivated tongue sole (*Cynoglossus semilaevis* Günther)[J]. Marine Fisheries Research, 2006, 27(2): 49–54. [马爱军, 刘新富, 翟毓秀, 等. 野生及人工养殖半滑舌鲷肌肉营养成分分析研究[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(2): 49–54.]
- [19] Cao H Y, Liang T, Wang L J, et al. Contents and distribution characteristics of heavy metals in water and sediment of intertidalite[J]. Environmental Science, 2006, 27(1): 126–131. [曹红英, 梁涛, 王立军. 等. 近海潮间带水体及沉积物中重金属的含量及分布特征[J]. 环境科学, 2006, 27(1): 126–131.]
- [20] Monikh F A, Maryamabadi A, Savari A, et al. Heavy metals' concentration in sediment, shrimp and two fish species from the northwest Persian Gulf[J]. Toxicol Indust Health, 2015, 31(6): 554–565.
- [21] Ding Z, Yao Y, Zhang F, et al. The first detection of white spot syndrome virus in naturally infected cultured Chinese mitten crabs, *Eriocheir sinensis* in China[J]. J Virol Methods, 2015, 220: 49–54.
- [22] El-Shahidy M S, El-Gamal R M, Dessouki A A, et al. Detection of white spot syndrome in cultured penaeid shrimp in Egypt: histopathological observation and polymerase chain reaction[J]. MENA Sci J, 2015, 1(1): 5–14.
- [23] Flegel T W. Review of disease transmission risks from



- prawn products exported for human consumption[J]. *Aquaculture*, 2009, 290(3): 179–189.
- [24] Karunasagar I, Ababouch L. Shrimp viral diseases, import risk assessment and international trade[J]. *Indian J Virol*, 2012, 23(2): 141–148.
- [25] Yan D C. Review on shrimp white spot syndrome virus (WSSV) hosts[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2007(1): 136–140. [闫冬春. 对虾白斑综合征病毒 (WSSV) 宿主研究进展[J]. *海洋湖沼通报*, 2007(1): 136–140.]
- [26] Zhang J S, Dong S L, Dong Y W, et al. Primary investigation on the WSSV carrying status in Copepoda and their resting eggs in shrimp ponds[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2007, 37(3): 405–408. [张家松, 董双林, 董云伟, 等. 虾池中桡足类及其休眠卵携带对虾白斑综合征病毒的初步调查研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2007, 37(3): 405–408.]
- [27] Macías-Rodríguez N A, Mañón-Ríos N, Romero-Romero J L, et al. Prevalence of viral pathogens WSSV and IHNV in wild organisms at the Pacific coast of Mexico[J]. *J Invert Pathol*, 2014, 116: 8–12.

## Nutritional composition and safety of cultured and wild sandworm (*Perinereis aibuhitensis*) from a coastal area of Shandong Province

CAO Qimeng<sup>1,2,3</sup>, LIU Qingbing<sup>1,2,3</sup>, YU Yueqin<sup>1</sup>, JIANG Keyong<sup>2,3</sup>, LIU Mei<sup>2,3</sup>, WANG Lei<sup>2,3</sup>, WANG Baojie<sup>2,3</sup>

1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China;
2. Key Laboratory of Experimental Marine Biology, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;
3. Key Laboratory for Marine Biology and Biotechnology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China

**Abstract:** The aim of this study was to comprehensively assess the nutritional value and safety of cultured and wild *Perinereis aibuhitensis* as prawn feed, with the ultimate aim of promoting the rational development and utilization of these sandworms. We investigated and compared the basic nutritional composition of the cultured and wild sandworms, determined their amino acid, fatty acid, and heavy metal contents, and evaluated their infection status with WSSV (white spot syndrome virus) and IHNV (infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus). The results showed that the fat content was significantly higher in the cultured sandworms than in the wild ones ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference in the contents of crude protein, moisture, and ash ( $P > 0.05$ ). In both groups of nereids, the ratios of essential amino acids/total amino acids for shrimp feed were about 40%, and the ratios of essential amino acids/non-essential amino acids for shrimp feed were above 60%, which met the FAO/WHO standard for high-quality protein. Based on the amino acid score and chemical score of the two groups, the content of the most limiting amino acid was higher in the cultured sandworms than in the wild ones. The contents of unsaturated fatty acids and highly unsaturated fatty acids were significantly higher ( $P < 0.05$ ) in the cultured group [(67.75±3.77)% and (54.11±2.58)%, respectively] than in the wild group [(56.13±6.60)% and (43.28±5.50)%, respectively]. The contents of common heavy metals (chromium, copper, cadmium, lead, arsenic, mercury) were significantly lower in the cultured sandworms than in the wild ones, and the arsenic content in the wild group significantly exceeded the standard. The cultured group was not infected with WSSV or IHNV, while the wild group was infected with WSSV but not IHNV. These findings indicated that wild sandworms may carry WSSV. In conclusion, based on their nutritional value and safety, cultured sandworms are better prawn feed than wild sandworms.

**Key words:** *Perinereis aibuhitensis*; prawn feed; nutritional value; heavy metal; virus

**Corresponding author:** WANG Baojie. E-mail: wangbaojie@qdio.ac.cn