

不同生长发育阶段方格星虫氨基酸组成的研究

董兰芳¹, 张琴¹, 童潼¹, 许明珠², 陈江虹²

(1. 广西壮族自治区海洋研究所, 广西海洋生物技术重点实验室, 广西 北海 536000;

2. 广西大学动物科学技术学院, 广西 南宁 530005)

摘要:以方格星虫(*Sipunculus nudus*)幼虫、稚虫和成虫为试验材料,比较分析了不同生长发育阶段方格星虫的主要营养成分及氨基酸组成的变化。结果显示,幼虫、稚虫和成虫的粗蛋白质量分数分别为56.46%、66.40%和74.84%,粗脂肪质量分数分别为2.51%、2.65%和2.95%,粗灰分质量分数分别为30.89%、18.88%和7.86%,总糖质量分数分别为8.35%、5.81%和5.62%,水分质量分数分别为93.54%、89.04%和85.95%。随着方格星虫的生长发育,粗蛋白和粗脂肪质量分数逐渐升高,粗灰分、总糖和水分质量分数逐渐降低。大部分氨基酸的质量分数在一定的阶段内随着个体的生长发育呈显著升高的趋势($P < 0.05$);3个生长阶段甘氨酸(Gly)和组氨酸(His)含量分别为2.90%、6.94%、5.57%和1.15%、1.51%、1.48%,在幼虫到稚虫阶段均显著增加($P < 0.05$),成虫阶段Gly含量显著降低($P < 0.05$),His则保持相对恒定。3个生长阶段必需氨基酸(EAA)/总氨基酸(TAA)分别为31.98%、27.56%和32.61%,差异显著($P < 0.05$),成虫最高;稚虫呈味氨基酸(DAA)/TAA最高,为58.76%,幼虫和成虫无明显差异($P > 0.05$)。

关键词:方格星虫;营养成分;必需氨基酸;呈味氨基酸

中图分类号:TS 254.1

文献标志码:A

文章编号:2095-0780-(2012)05-0060-06

Amino acid composition of peanut worm *Sipunculus nudus* at different growth stages

DONG Lanfang¹, ZHANG Qin¹, TONG Tong¹, XU Mingzhu², CHEN Jianghong²

(1. Key Lab. of Marine Biotechnology of Guangxi, Guangxi Institute of Oceanology, Beihai 536000, China;

2. College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530005, China)

Abstract: We compared and analyzed the nutritive components and amino acids composition of peanut worm (*Sipunculus nudus*) at larval, juvenile and adult stages. The crude protein contents at those 3 stages were 56.46%, 66.40% and 74.84%, respectively; the crude lipid contents were 2.51%, 2.65% and 2.95%, respectively; the crude ash contents were 30.89%, 18.88% and 7.86%, respectively; the total sugar contents were 8.35%, 5.81% and 5.62%, respectively; the moisture contents were 93.54%, 89.04% and 85.95%, respectively. With the growth of *S. nudus*, the contents of crude protein and lipid increased gradually, while those of crude ash, total sugar and moisture decreased. The contents of most amino acids increased significantly. The contents of Glycine (Gly) and Histidine (His) at the 3 stages were 2.90%, 6.94%, 5.57% and 1.15%, 1.51%, 1.48%, respectively; they increased significantly at larval and juvenile stages ($P < 0.05$); at adult stage, the contents of Gly decreased significantly ($P < 0.05$) while that of His remained relatively stable. The EAA/TAA rates at the 3 stages were 31.98%, 27.56% and 32.61%, respectively, whose difference is significant ($P < 0.05$). The DAA/TAA rate at larval stage was the highest (58.76%), but there is

收稿日期:2012-03-29;修回日期:2012-05-30

资助项目:广西科学基金项目(0832031);广西自然科学基金项目(2011GXNSFB018057);广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻11107011-6);北海市科学研究与技术开发计划项目(北科合201153009)

作者简介:董兰芳(1987-),女,实习研究员,从事水产动物营养生理与营养免疫研究。E-mail:0xiao0dong0@163.com

通讯作者:张琴, E-mail:celery996@yahoo.com.cn

no significant difference between juvenile and adult stages ($P>0.05$).

Key words: peanut worm (*Sipunculus nudus*); nutritive components; essential amino acid; delicious amino acid

方格星虫(*Sipunculus nudus*)亦称光裸星虫,俗称“沙虫”,为星虫动物门习见种,隶属于方格星虫纲,方格星虫目,方格星虫科,方格星虫属,为暖水性世界广布种,广泛分布于太平洋、印度洋、大西洋沿岸,在中国主要分布在山东、福建、广东、广西和台湾沿海,其中以广西海区资源较为丰富^[1],是中国红树林区的大型底栖经济动物之一^[2]。方格星虫肉质脆嫩,味道鲜美,富含蛋白质、多种氨基酸和微量元素,素有“海洋冬虫夏草”之称,是一种食疗兼优的药膳。据《中华本草》记载,方格星虫有滋阴降火的功效,主治阴虚盗汗、骨蒸潮热、肺癆咳嗽、牙龈肿痛等。现代医药研究表明方格星虫含有多种活性物质,能够调节机体多种功能,并含有丰富的蛋白质、微量元素等,其提取物蛋白质质量分数高达55.3%,富含牛磺酸(3.12%)、精氨酸(Arg)(6.72%)及人体必需氨基酸^[3],具有抗疲劳、延缓衰老和提高机体免疫力等功效^[4-6],对心血管系统具有明显的保护作用。

近年来,随着方格星虫人工育苗技术的突破,其养殖业在中国南部沿海(主要包括广西、广东和福建)逐渐兴起,其营养价值也受到了前所未有的关注。虽然,国内外学者在方格星虫的种属分类^[7]、繁殖生物学^[8-10]、人工繁育^[11-13]、营养生理^[14-15]及药用价值^[4-6,16]等方面做了一些研究,但关于不同生长阶段方格星虫体内氨基酸组成的研究尚未见报道。该试验通过对方格星虫幼虫、稚虫和成虫的主要营养成分及氨基酸组成进行分析比较,探讨了各个生长发育阶段方格星虫体内营养组成方面的差异,以为星虫的营养价值和药用功能的进一步研究及饲料研究开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

试验用方格星虫幼虫(400条左右,方格星虫幼体变态1个月后的幼苗,体长为0.6~1.2 cm)和稚虫(100条,幼苗转入大塘在自然环境中生长2个月左右为稚虫,体长为2.5~4.0 cm)来源于广西海洋研究所自主研发培育的人工苗种,成虫(50条,体长为12~15 cm)购于广西壮族自治区北海

市海城区南珠水产品市场。

仪器设备有冷冻干燥仪(Coolsafe 1104L,丹麦LaboGene公司出品);FOSS凯氏定氮仪(Kjeltec 8400,瑞典FOSS公司出品);FOSS脂肪提取仪(Soxttec 2050,瑞典FOSS公司出品);马弗炉;赛卡姆氨基酸自动分析仪(Sykam S-433D,德国SYKAM公司出品)。

主要试剂有茚三酮、乙醚、盐酸、硫酸、硼酸、硫酸铜、硫酸钾和氢氧化钠,均为分析纯,购于天津科密欧。

1.2 样品处理

方格星虫样品带回实验室后,在室内装有过滤海水的水族箱内吐沙2~3 d,稚虫和成虫用剪刀剖开去除内脏后取体壁,与幼虫一起用滤纸吸干水分后再称质量,经冷冻干燥后,磨成细粉,备用。

1.3 测定方法

1.3.1 一般营养成分的测定 水分按GB 5009.3-2010在105℃常压恒温干燥法测定^[17];蛋白质按GB 5009.5-2010用全凯氏定氮法测定^[18];脂肪按GB 14772-2008用索氏抽提法测定^[19];灰分用GB 5009.4-2010标准方法测定^[20];总糖采用苯酚硫酸测多糖的方法测定^[21]。

1.3.2 氨基酸的测定 氨基酸的测定采用厌氧管水解法,称取含蛋白7.5~25.0 mg的样品于20 mL厌氧水解管中,加入10 mL 6 mol·L⁻¹盐酸(HCl)(含0.1%的苯酚),将样品全部浸没,置于冰水中冷冻10 min,充高纯氮气1~2 min,移开氮气后立即盖好软塞,旋紧密封盖;将水解管置于(110±1)℃恒温烘箱中水解22 h。水解完成后冷却、混匀,取0.5 mL水解液于60℃以下浓缩至于尽量排除其中的干扰,加入2 mL样品稀释液(0.12 mol·L⁻¹柠檬酸-柠檬酸三钠缓冲液,pH为2.2),用0.22 μm针式过滤器过滤后测定。

1.4 数据分析

采用SPSS 13.0对所得数据进行方差分析,若差异达到显著,则进行Tukey多重比较,显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 营养成分分析

随着方格星虫的生长发育,粗蛋白和粗脂肪占

方格星虫干质量的比例呈增长趋势,而水分、粗灰分、总糖则呈降低趋势(表1)。方格星虫幼虫和稚虫中的体灰分质量分数很高,幼虫的体灰分尤其高,究其原因可能是在该试验中采集到的幼虫样本小到无法取出内脏,且部分幼虫可能没有排净肠道里的沙子,这些残留的沙子极有可能是导致该研究中幼虫体灰分质量分数升高的原因。李珂娴等^[21]对3个产地方格星虫主要营养成分的比较发现,采自浙江温岭市沿海的方格星虫总糖质量分数显著高于其他2个产地,其原因可能是该区域的方格星虫

个体比其他2个产地的要小,处于幼虫阶段,这与该研究中方格星虫幼虫总糖质量分数最高的结果相一致,但具体的原因还有待进一步的研究。成虫粗蛋白质量分数达到74.84%,高于一般鱼类(<20%)^[22]、虾蛄(*Edible mantis*) (67.04%)^[23]、刺参(*Apostichopus japonicus*) (49.58%)^[24]和甲鱼(*Trionyx triunguis*) (71.84%)^[25],脂肪质量分数为2.95%,可见方格星虫是一种高蛋白、低脂肪的海洋生物。

表1 不同生长发育阶段方格星虫的营养成分

Tab. 1 Nutritive components of *S. nudus* at different growth stages

%

营养成分 nutritive component	幼虫 larva	稚虫 juvenile	成虫 adult
水分 moisture(鲜品 fresh)	93.54 ± 0.13 ^c	89.04 ± 0.05 ^b	85.95 ± 0.17 ^a
粗蛋白 crude protein(干基计 dry basis)	56.46 ± 0.14 ^a	66.40 ± 0.12 ^b	74.84 ± 0.17 ^c
粗脂肪 crude lipid(干基计 dry basis)	2.51 ± 0.03 ^a	2.65 ± 0.09 ^{ab}	2.95 ± 0.11 ^b
粗灰分 crude ash(干基计 dry basis)	30.89 ± 0.16 ^c	18.88 ± 0.08 ^b	7.86 ± 0.22 ^a
总糖 total sugar(干基计 dry basis)	8.35 ± 0.16 ^b	5.81 ± 0.11 ^a	5.62 ± 0.07 ^a

注:表中所给数据为3个重复的平均值±标准差;同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$),后表同此

Note: Values are $\bar{X} \pm SD$ with 3 experimental replicates; values with different superscripts within the same line are significantly different ($P < 0.05$).

The same case in the following tables.

2.2 氨基酸组成成分分析

该研究共测定17种氨基酸,不同生长发育阶段方格星虫的氨基酸组成见表2。方格星虫的氨基酸组成有一定的规律性,天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、亮氨酸(Leu)、赖氨酸(Lys)和Arg的含量相对较高,胱氨酸(Cys)含量最低。3个不同生长发育阶段方格星虫的氨基酸总量分别为24.85%、45.43%和63.33%,可以看出,随着生长和发育,方格星虫氨基酸总量显著升高($P < 0.05$)。

除Gly和组氨酸(His)外,其他氨基酸的含量均随方格星虫的生长而显著增加($P < 0.05$)。方格星虫Gly含量在幼虫发育到稚虫阶段显著升高($P < 0.05$),而到成虫阶段呈现降低的趋势。Gly不仅参与机体蛋白质的构成,而且是很多重要物质如蛋氨酸(Met)、胆碱等的基本结构^[26],Met含量在稚虫至成虫阶段迅速增加,消耗部分Gly,这可能是该研究中Gly含量降低的原因。His含量在幼虫发育到稚虫阶段显著升高,而稚虫和成虫阶段无明

显差异,说明后期His较稳定。His一直被认为是一种非必需氨基酸,因为动物体可以由普通的中间代谢物合成His。随着研究的深入,人们发现幼龄动物体内His的合成量不能满足其机体正常生长,即使是成年动物,如果不从食物中补充His也不能满足需要^[27]。

水产动物氨基酸的组成受多种因素的影响,如种类、年龄、地域、季节以及营养状况等。国内外关于这方面的研究报道较少,如宋志东等^[24]比较分析不同生长发育阶段刺参(*A. japonicus*)体壁营养成分及氨基酸组成发现,刺参生长发育过程中氨基酸总量呈增加趋势;Asp、Glu和丝氨酸(Ser)等大部分氨基酸的含量在一定阶段内随着个体的生长呈现显著升高的趋势;Arg在从稚参发育到幼参的过程中较为恒定,但发育到成参时含量显著提高;Met和苯丙氨酸(Phe)含量在刺参的生长过程中恒定。蔡卫俊等^[28]研究了不同生长阶段翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaefomis*)肌肉中的氨基酸组成,结果表明翘嘴红鲌的各种氨基酸随着年龄增长均呈

表 2 不同生长发育阶段方格星虫各氨基酸百分率(干基计)

Tab. 2 Percentage of amino acids of *S. nudus* at different growth stages (dry basis) %

氨基酸 amino acid	幼虫 larva	稚虫 juvenile	成虫 adult
天冬氨酸 Asp	2.37 ± 0.04 ^a	3.92 ± 0.08 ^b	6.12 ± 0.08 ^c
苏氨酸 * Thr	1.14 ± 0.00 ^a	1.85 ± 0.02 ^b	3.23 ± 0.05 ^c
丝氨酸 Ser	1.12 ± 0.07 ^a	1.76 ± 0.02 ^b	2.48 ± 0.02 ^c
谷氨酸 Glu	3.28 ± 0.07 ^a	6.81 ± 0.13 ^b	10.66 ± 0.04 ^c
甘氨酸 Gly	2.90 ± 0.03 ^a	6.94 ± 0.04 ^c	5.57 ± 0.07 ^b
丙氨酸 Ala	1.58 ± 0.01 ^a	3.42 ± 0.06 ^b	5.61 ± 0.01 ^c
胱氨酸 Cys	0.31 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.01 ^b	0.41 ± 0.01 ^c
缬氨酸 * Val	1.04 ± 0.04 ^a	1.54 ± 0.01 ^b	2.38 ± 0.02 ^c
蛋氨酸 * Met	0.50 ± 0.01 ^a	0.89 ± 0.02 ^b	1.68 ± 0.01 ^c
异亮氨酸 * Ile	0.80 ± 0.01 ^a	1.27 ± 0.03 ^b	2.31 ± 0.02 ^c
亮氨酸 * Leu	1.51 ± 0.03 ^a	2.61 ± 0.02 ^b	4.69 ± 0.03 ^c
酪氨酸 Tyr	0.77 ± 0.03 ^a	1.19 ± 0.01 ^b	1.99 ± 0.02 ^c
苯丙氨酸 * Phe	1.06 ± 0.07 ^a	1.53 ± 0.02 ^b	1.90 ± 0.01 ^c
组氨酸 His	1.15 ± 0.06 ^a	1.51 ± 0.02 ^b	1.48 ± 0.03 ^b
赖氨酸 * Lys	1.64 ± 0.02 ^a	2.85 ± 0.05 ^b	4.46 ± 0.05 ^c
精氨酸 Arg	2.78 ± 0.05 ^a	5.62 ± 0.07 ^b	6.27 ± 0.02 ^c
脯氨酸 Pro	0.90 ± 0.02 ^a	1.41 ± 0.01 ^b	2.09 ± 0.02 ^c
总氨基酸 TAA	24.85 ± 0.41 ^a	45.43 ± 0.29 ^b	63.33 ± 0.16 ^c

注：*，必需氨基酸
Note：*，essential amino acids

表 3 不同生长发育阶段方格星虫氨基酸组成特征

Tab. 3 Characteristics of amino acid composition of *S. nudus* at different growth stages %

指标 index	幼虫 larva	稚虫 juvenile	成虫 adult
必需氨基酸 EAA(干基计 dry basis)	7.70 ± 0.14 ^a	12.52 ± 0.03 ^b	20.65 ± 0.03 ^c
呈味氨基酸 DAA(干基计 dry basis)	12.90 ± 0.16 ^a	26.70 ± 0.38 ^b	34.23 ± 0.09 ^c
EAA/TAA	31.98 ± 0.72 ^a	27.56 ± 0.24 ^b	32.61 ± 0.11 ^c
DAA/TAA	51.92 ± 1.32 ^a	58.76 ± 0.47 ^b	54.05 ± 0.26 ^a

现下降趋势，但大部分氨基酸下降的趋势不是很明显。李卫芬等^[22]对中华鳖(*Amyda sinensis*)不同发育阶段氨基酸组成的研究表明，所测 15 种氨基酸中只有 Gly 的含量幼鳖期显著高于稚鳖期和成鳖期，有 8 种氨基酸的含量幼鳖期显著低于稚鳖期，另 6 种氨基酸含量 3 个阶段无明显差异。方格星虫不同生长发育阶段氨基酸组成的变化与翘嘴红鲌和中华鳖具有很大的差异，这可能是动物种属性及营

养的不同利用模式所致；方格星虫不同生长发育阶段氨基酸组成的变化与刺参较为相近，究其原因可能是方格星虫与刺参体型均呈圆筒状，都具有较厚体壁，体腔内均充满体腔液。

2.3 氨基酸组成特征分析

方格星虫幼虫、稚虫及成虫的必需氨基酸(EAA)占总氨基酸(TAA)的百分比分别是 31.98%、27.56% 和 32.61%，具有显著差异，成

虫 > 幼虫 > 稚虫, 含量较高的是 Leu 和 Lys(表3)。

动物蛋白质的鲜美与可口程度取决于其所含呈味氨基酸(DAA)的组成和含量, 方格星虫 DAA 主要有 Asp、Ser、Glu、脯氨酸(Pro)、Gly 和 Ala 6 种, 各生长发育阶段 DAA 占 TAA 的百分比分别为 51.92%、58.76% 和 54.05%, 稚虫最高, 幼虫和成虫无明显差异, 高于石斑鱼(*Epinephelus septemfasciatus*) (45% 左右)、大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*) (42%) 和鲷类(Sparidae) (< 30%) 等^[29], 这是方格星虫肉质鲜美的原因。

3 结论

该研究通过对不同生长发育阶段的方格星虫营养成分及氨基酸组成进行研究, 随着方格星虫的生长发育, 其营养组成发生了一定程度的变化, 具体表现为: 1) 随着方格星虫的生长, 粗蛋白和粗脂肪含量呈增长趋势, 水分和粗灰分、总糖则呈降低趋势; 2) 方格星虫生长发育过程中除 Gly 和 His 外, 大部分氨基酸的百分含量在一定阶段内随着方格星虫的生长发育显著升高; 3) 3 个生长阶段方格星虫 EAA/TAA 具有显著差异, 成虫最高; DAA/TAA 稚虫最高, 幼虫和成虫无明显差异。对于方格星虫营养生理和饲料研究而言, 应根据方格星虫的这种变化规律制定试验方案、设计合理配方, 以满足其不同发育阶段的营养需求。

参考文献:

- [1] 吴斌. 光裸方格星虫生殖细胞及胚胎发育[J]. 广西科学, 1999, 6(3): 222-226.
WU Bin. Development of genital cells and embryo of *Sipunculus nudus* L. [J]. Guangxi Sci, 1999, 6(3): 222-226. (in Chinese)
- [2] 李复雪, 高世和, 周时强. 福建沿海红树林区的动物资源及其开发利用[J]. 福建水产, 1989, 4(1): 18-23.
LI Fuxue, GAO Shihe, ZHOU Shiqiang. Animal resource and its exploitation and utilization in mangrove forest of Fujian province [J]. J Fujian Fish, 1989, 4(1): 18-23. (in Chinese)
- [3] 陈细香, 林秀雁, 卢昌义, 等. 方格星虫属动物的研究进展[J]. 海洋科学, 2008, 32(6): 66-70.
CHEN Xixiang, LIN Xiuyan, LU Changyi, et al. Advances on research of *Sipunculus nudus* [J]. Mar Sci, 2008, 32(6): 66-70. (in Chinese)
- [4] 蒋定文, 沈先荣, 贾福星, 等. 海洋星虫提取物的营养分析及免疫调节作用的初步观察[J]. 中国生化药物杂志, 2004, 25(2): 96-97.
JIANG Dingwen, SHENG Xianrong, JIA Fuxing, et al. Nutrient analysis and immune regulation study on extract of Sipunculidae [J]. Chin J Biochem Pharm, 2004, 25(2): 96-97. (in Chinese)
- [5] 沈先荣, 蒋定文, 贾福星, 等. 方格星虫延缓衰老作用研究[J]. 中国海洋药物, 2004, 23(1): 30-32.
SHEN Xianrong, JIANG Dingwen, JIA Fuxing, et al. Study on anti-senescence effect of *Sipunculus nudus* preparation [J]. Chin J Mar Drugs, 2004, 23(1): 30-32. (in Chinese)
- [6] 夏乾峰, 谭河林, 覃西, 等. 方格星虫多糖抗菌活性的初步研究[J]. 中国热带医学, 2007, 7(12): 2192-2193.
XIA Qianfeng, TAN Helin, QIN Xi, et al. Preliminary observation on the antibacterial activity on polysaccharides in *Sipunculus nudus* [J]. China Trop Med, 2007, 7(12): 2192-2193. (in Chinese)
- [7] SCHULZE A, CUDER E B, GIRIBET G. Reconstructing the phylogeny of the *Sipuncula* [J]. Hydrobiology, 2005, 535/536(1): 277-296.
- [8] RICE M E. Factors influencing larval metamorphosis in *Golfingia misakiana* (Sipuncula) [J]. Bull Mar Sci, 1986, 39(2): 362-376.
- [9] 兰国宝, 阎冰, 廖思明. 方格星虫胚胎与幼体发育的研究[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(6): 70-75.
LAN Guobao, YAN Bing, LIAO Siming. A study on embryonic and larval developments of *Sipunculus nudus* [J]. J Trop Oceanogr, 2003, 22(6): 70-75. (in Chinese)
- [10] 李进寿, 冯丹青, 周时强, 等. 光裸方格星虫(*Sipunculus nudus*)人工繁殖及生物学的初步研究[J]. 杭州师范学院学报: 自然科学版, 2004, 3(2): 136-139.
LI Jinshou, FENG Danqing, ZHOU Shiqiang, et al. Primary studies on reproductive biology of *Sipunculus nudus* [J]. J Hangzhou Teachers Coll: Natural Science, 2004, 3(2): 136-139. (in Chinese)
- [11] 蒋艳, 蔡德建, 邹杰, 等. 方格星虫苗种池塘中间培育试验研究[J]. 广西科学, 2010, 17(3): 175-177.
JIANG Yan, CAI Dejian, ZHOU Jie, et al. Experiment of intermediate culture of *Sipunculus nudus* Linnaeus seed in pond [J]. Guangxi Sci, 2010, 17(2): 175-177. (in Chinese)
- [12] 邹杰, 蒋艳, 彭慧婧, 等. 方格星虫亲体培育试验[J]. 渔业现代化, 2010, 37(3): 30-33.
ZHOU Jie, JIANG Yan, PENG Huijing, et al. An experiment on pro-body cultivation of *Sipunculus nudus* broodstock [J]. Fish Modern, 2010, 37(3): 30-33. (in Chinese)
- [13] 文雪, 蒋艳, 王志成, 等. 两种不同规格方格星虫苗种滩涂养殖试验比较[J]. 科学养鱼, 2011(6): 35-36.
WEN Xue, JIANG Yan, WANG Zhicheng, et al. Comparison of *Sipunculus nudus* of two kinds different specifications in fry beach culture [J]. Sci Fish Farming, 2011(6): 35-36. (in Chinese)
- [14] 张琴, 童万平, 董兰芳, 等. 饲料中脂肪水平对方格星虫稚虫生长性能、体组成及消化酶活性的影响[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(6): 99-106.
ZHANG Qin, TONG Wanping, DONG Lanfang, et al. Effects of dietary lipid levels on growth performance, body composition and

- digestive enzyme activities of juvenile peanut worm, *Sipunculus nudus* Linnaeus[J]. Prog Fish Sci, 2011, 32(6): 99-106. (in Chinese)
- [15] 张琴, 童万平, 董兰芳, 等. 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫生长和体组成的影响[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 86-92.
- ZHANG Qin, TONG Wanping, DONG Lanfang, et al. Effects of dietary protein levels on growth performance and body composition of juvenile peanut worm, *Sipunculus nudus* Linnaeus [J]. Prog Fish Sci, 2012, 33(1): 86-92. (in Chinese)
- [16] 章超桦, 铃木健, 吉江由美子. 沙虫干呈味及功能成分研究[J]. 湛江海洋大学学报, 1999, 20(2): 24-27.
- ZHANG Chaohua, TAKESHI S, YUMIKO Y. Study on tasty substance and functional components of the dried Sha chong (*Sipunculus nudus*) [J]. J Zhanjiang Ocean Univ, 1999, 20(2): 24-27. (in Chinese)
- [17] 卫生部政策法规司. GB 5009.3-2010 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- Department of Policy and Rule, Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.3-2010 Determination of moisture in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011. (in Chinese)
- [18] 卫生部政策法规司. GB 5009.5-2010 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- Department of Policy and Rule, Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.5-2010 Determination of crude protein in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011. (in Chinese)
- [19] 孙晓光, 尹健. GB 14772-2008 食品中粗脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- SUN Xiaoguang, YIN Jian. GB 14772-2008 Determination of crude lipid in foods [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008. (in Chinese)
- [20] 卫生部政策法规司. GB 5009.4-2010 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- Department of Policy and Rule, Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.4-2010 Determination of crude ash in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011. (in Chinese)
- [21] 李珂娴, 沈先荣, 蒋定文, 等. 三产地方格星虫主要营养成分比较[J]. 海军医学杂志, 2010, 31(1): 1-3.
- LI Kexian, SHEN Xianrong, JIANG Dingwen, et al. Comparison of the nutritive components in *Sipunculus nudus* from three different places of Chinese coastal areas[J]. J Navy Med, 2010, 31(1): 1-3. (in Chinese)
- [22] 李卫芬, 占秀安, 陆清儿. 中华鳖不同发育阶段氨基酸组成的研究[J]. 江西农业大学学报, 1998, 20(3): 358-360.
- LI Weifen, ZHAN Xiu'an, LU Qing'er. The study on the composition of amino acid in *Amyda sinensis* of varied development stage [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 1998, 20(3): 358-360. (in Chinese)
- [23] 蒋霞敏, 钱云霞, 王春琳. 三种虾蛄肌肉营养成分分析及评价[J]. 营养学报, 2003, 25(2): 175-177.
- JIANG Xiamin, QIAN Yunxia, WANG Chunlin. Analysis and evaluation of the nutritional composition in muscle of three species of squilla[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2003, 25(2): 175-177. (in Chinese)
- [24] 宋志东, 王际英, 王世信, 等. 不同生长发育阶段刺参体壁营养成分及氨基酸组成比较分析[J]. 水产科技情报, 2009, 3(1): 11-13.
- SONG Zhidong, WANG Jiyong, WANG Shixin, et al. Comparative analysis of the nutritive components and amino acid composition of *Apostichopus japonicus* body in different growth stages [J]. Fish Sci & Technol Inf, 2009, 3(1): 11-13. (in Chinese)
- [25] 杨公明, 徐怀德, 段旭昌, 等. 甲鱼营养成分分析研究[J]. 营养学报, 2003, 25(4): 443-445.
- YANG Gongming, XU Huaide, DUAN Xuchang, et al. Study on the nutrition components of soft-shelled turtle[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2003, 25(4): 443-445. (in Chinese)
- [26] 袁小娟, 吴希茜. 甘氨酸的生理作用与应用[J]. 饮料工业, 2011, 14(7): 5-7.
- YUAN Xiaojuan, WU Xixi. Physiological role and use of glycine [J]. Beverage Ind, 2011, 14(7): 5-7. (in Chinese)
- [27] 程志斌, 葛长荣. 动物组氨酸的营养研究进展[J]. 山东饲料, 2004(11): 10-13.
- CHENG Zhibin, GE Changrong. Research development of animal histidine nutrition [J]. Shandong Feed, 2004 (11): 10-13. (in Chinese)
- [28] 蔡卫俊, 叶元土, 邱晓寒, 等. 不同生长阶段翘嘴红鲌肌肉中氨基酸分析[J]. 饲料广角, 2009(14): 40-41.
- CAI Weijun, YE Yuantu, QIU Xiaohan, et al. Analysis of amino acid in *Erythroculter ilishaeformis* muscle at different growth stage [J]. Feed China, 2009(14): 40-41. (in Chinese)
- [29] 程波. 七带石斑鱼肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(5): 51-57.
- CHENG Bo. Nutritional components analysis and nutritive value evaluation in *Epinephelus septemfasciatus* muscles [J]. Prog Fish Sci, 2009, 30(5): 51-57. (in Chinese)