

投喂四种饵料对曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*) 繁殖性能的影响*

樊晓旭 王春琳^① 邵银文 王津伟 宋超霞 蒋霞敏

(“应用海洋生物技术”教育部重点实验室 宁波大学生命科学与生物工程学院 宁波 315211)

提要 以双齿围沙蚕、泥鳅、黄鲫、福寿螺 4 种不同饵料强化培育胴长(6.50±0.20)cm 的曼氏无针乌贼,用曼氏无针乌贼肝脏和卵巢的氨基酸与脂肪酸变化、亲体产卵量、卵径、卵子孵化率及其幼体成活率等指标来评价 4 种饵料对其繁殖性能的影响。结果表明,黄鲫组曼氏无针乌贼肝脏与卵巢中 Σ EAA、 Σ SEAA、 Σ EAA+SEAA、 Σ NEAA、 Σ AA 含量在第一次卵巢成熟与第二次卵巢成熟时均显著高于其它投喂组($P<0.05$)。黄鲫组乌贼肝脏 DHA/EPA 在第一次卵巢成熟时显著高于其它投喂组,在第二次卵巢成熟时 DHA、DHA/EPA、 Σ n3PUFA、 Σ n6PUFA、 Σ n3/n6PUFA 都显著高于其它投喂组($P<0.05$);该组乌贼第一次卵巢成熟卵巢 DHA、 Σ n3PUFA、 Σ n6PUFA、 Σ n3/n6PUFA 及在第二次卵巢成熟时卵巢 DHA、DHA/EPA、 Σ n3PUFA、 Σ n3/n6PUFA 均显著高于其它投喂组($P<0.05$),该组第二次卵巢成熟时 Σ n6PUFA 百分含量与沙蚕组无显著差异($P>0.05$)。产卵量多少顺序为黄鲫组>沙蚕组>泥鳅组>福寿螺组($P<0.05$);孵化率高低顺序为黄鲫组>福寿螺组>泥鳅组>沙蚕组($P<0.05$);所产卵子平均直径大小顺序为黄鲫组>泥鳅组>沙蚕组>福寿螺组($P<0.05$);幼体成活率高低顺序为黄鲫组>泥鳅组>沙蚕组、福寿螺组($P<0.05$)。各指标吻合程度高。

关键词 曼氏无针乌贼,氨基酸,脂肪酸,产卵量,孵化率,卵径,幼体成活率

中图分类号 S963.2

水产动物繁殖性能的好坏可从一些指标中反映出来,亲体肝脏与性腺中氨基酸与脂肪酸组成与变化、亲体产卵量、卵径、卵子孵化率及其初孵幼体成活率等常应用于评价水产动物亲体繁殖性能好坏程度。艾春香等(2003)发现在虾蟹类中,脂类为其性腺发育提供了能量和必需的营养成分。Wouters 等(2001)研究发现若饲料中缺乏 HUFA,特别是 EPA 和 DHA,将会导致卵巢不能正常发育。Lytle 等(1990)研究表明对虾在卵巢成熟过程中,其组织中的 n3、n6-PUFA 存在微妙的平衡关系,亲虾饲料应含有高的 Σ n3/n6PUFA。张利民等(1996)研究发现亲体性腺发育时适

量的脂类营养供应将直接影响其繁殖能力。Gendron 等(2001)研究也表明,高蛋白含量的饲料有助于美洲龙虾(*Panulirus argus*)的性腺发育,成熟期美洲龙虾需要较多的精氨酸、赖氨酸和蛋氨酸。Bruce 等(1999)用产卵量、卵径、孵化率、成活率等指标研究氨基酸对欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)繁殖性能的影响。

作者用曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni* de Rochebrune)亲体肝脏和卵巢的氨基酸与脂肪酸变化、亲体产卵量、卵径、卵子孵化率、幼体成活率来评价 4 种饵料对其繁殖性能的影响,旨在为曼氏无针乌贼全人工生产性育苗提供理论依据。

* 国家自然科学基金项目资助,40646030 号、40776076 号;国家支撑计划资助,2007BAD43B05 号;教育部长江学者和创新团队发展计划,IRT0734 号;教育部重点科研项目,207045 号;浙江省重大科技项目,2006C13040 号、2007C1206 号;宁波市自然科学基金项目,2006A610085。樊晓旭,硕士, E-mail: fanxiaoxu123@163.com

^① 通讯作者:王春琳,博士,教授,博导, E-mail: wangchunlin@nbu.edu.cn

收稿日期:2007-12-25,收修改稿日期:2008-03-10

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2007 年 7—10 月在宁波市宁海双盘涂水产养殖公司进行。试验乌贼起始胴长(6.50 ± 0.20)cm, 雌雄比为 1:1; 试验网箱规格为 $4 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$, 分两排悬浮于面积为 1 公顷的池塘中; 强化培育所用饵料分 4 组: 沙蚕组(*Perinereis aibuhitensis* Grube)、泥鳅组(*Misgurnus anguillicaudatus*)、黄鲫组(*Setipinna taty*)和福寿螺组(*Ampullaria gigas*), 每组设 3 个重复, 共 12 个网箱, 各网箱为随机排列, 每个网箱放 30 只曼氏无针乌贼, 强化时间为 2 个月。饵料每天投喂 2 次, 在早晨和傍晚进行, 日投喂量约为乌贼总体重的 3%。试验期间水温为 $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$, 盐度为 23 ± 1 , 溶氧为 $(6.2 \pm 0.5) \text{ mg/L}$ 。及时清除网箱中残饵和死亡个体。

1.2 氨基酸与脂肪酸测定

在放养时、第一次卵巢成熟和第二次卵巢成熟 3 个时期, 活体解剖曼氏无针乌贼, 取其新鲜肝脏与卵巢组织, 低温干燥后用于氨基酸与脂肪酸测定。氨基酸测定方法: 常规氨基酸检测(GB/T 18246-2000), 色氨酸检测(GB/T 15400-1994), 检测仪器为 Hitachi 835-50 氨基酸自动分析仪。脂肪酸测定采用徐继林等(2005)的方法进行, 所用仪器: QP 2010 气相色谱-质谱分析仪, 带 AOC-20 自动进样器(日本 Shimadzu 公司), $30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm} \times 0.25 \mu\text{m}$ SPB-50 色谱柱(美国 Supelco 公司); 旋涡混合仪、高速分散匀质机、高速离心机等。

1.3 数据测量

在第一次卵巢成熟和第二次卵巢成熟 2 个时期, 分别统计各组乌贼产卵量, 测定卵径; 并随机各取 200 粒卵在相同条件下[水温 $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、盐度 23 ± 1 、溶氧 $(6.2 \pm 0.5) \text{ mg/L}$]进行孵化, 测定孵化率与幼体成活率(幼体孵出至第 5 天)。

1.4 数据统计与分析

卵子孵化率(%) = 孵出幼体数/试验开始时卵子数 $\times 100\%$

幼体成活率(%) = 计数时存活的幼体数/试验开始时的幼体数 $\times 100\%$

测试数据经 Excel 2003 统计分析软件进行整理统计, 用“平均值 $\pm$ 标准差”表示; 采用 SPSS11.5 for windows 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 达显著后($P < 0.05$), 进行 Duncan's 多重比较检验组间差异。

2 结果

2.1 4 种饵料氨基酸组成及其投喂后对曼氏无针乌贼肝脏和卵巢氨基酸的影响

2.1.1 4 种饵料的氨基酸组成 测定结果见表 1。由表 1 可知, 四种饵料中, 泥鳅含有的苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸和 ΣNEAA 都显著高于其它饵料; 福寿螺的缬氨酸和精氨酸含量显著高于其它饵料; 沙蚕除了色氨酸与苯丙氨酸外, 其它氨基酸含量均为最低。泥鳅的 ΣEAA 、 $\Sigma \text{EAA} + \text{SEAA}$ 、 ΣNEAA 、 ΣAA 都显著大于其它饵料($P < 0.05$)。

2.1.2 4 种饵料投喂后对曼氏无针乌贼肝脏及卵巢氨基酸组成的影响 结果见表 2。由表 2 可知, 第一次卵巢成熟和第二次卵巢成熟黄鲫组乌贼肝脏所含氨基酸中, ΣEAA 、 ΣSEAA 、 $\Sigma \text{EAA} + \text{SEAA}$ 、 ΣNEAA 及 ΣAA 含量均显著高于其它投喂组($P < 0.05$)。其它三组顺序为泥鳅组 > 福寿螺组 > 沙蚕组($P < 0.05$)。

第一次卵巢成熟时沙蚕组乌贼卵巢 ΣEAA 、 $\Sigma \text{EAA} + \text{SEAA}$ 、 ΣNEAA 、 ΣAA 含量均显著高于其它投喂组, 其 ΣSEAA 含量与泥鳅组无显著差异($P > 0.05$), 但显著大于另两个投喂组($P < 0.05$)。第二次卵巢成熟时黄鲫组乌贼卵巢 ΣEAA 、 $\Sigma \text{EAA} + \text{SEAA}$ 、 ΣNEAA 、 ΣAA 显著大于其它投喂组($P < 0.05$), 沙蚕组乌贼第二次卵巢成熟时卵巢 ΣSEAA 显著高于其它投喂组($P < 0.05$)。

2.2 4 种饵料的脂肪酸组成及其投喂后对曼氏无针乌贼肝脏和卵巢脂肪酸的影响

2.2.1 4 种饵料脂肪酸组成 测定结果见表 3。表 3 显示, 各组饵料的 EPA 百分含量从大到小顺序为: 沙蚕 > 泥鳅 > 黄鲫 > 福寿螺($P < 0.05$); DHA 百分含量大小顺序为: 黄鲫 > 泥鳅 > 沙蚕 > 福寿螺($P < 0.05$); 黄鲫的 DHA/EPA 显著高于其它饵料; 各组饵料的 C18:1(n-9)百分含量大小顺序为: 黄鲫 > 福寿螺 > 泥鳅 > 沙蚕($P < 0.05$); C18:1(n-7)百分含量大小顺序为: 沙蚕 > 泥鳅 > 黄鲫 > 福寿螺($P < 0.05$); 硬脂酸百分含量大小顺序为: 沙蚕 > 泥鳅 > 福寿螺 > 黄鲫($P < 0.05$)。 ΣSFA 百分含量大小顺序为: 沙蚕 > 黄鲫 > 福寿螺 > 泥鳅($P < 0.05$); ΣMUFA 百分含量大小顺序为: 黄鲫、沙蚕 > 泥鳅 > 福寿螺($P < 0.05$); $\Sigma \text{n3/n6PUFA}$ 大小顺序为: 黄鲫 > 沙蚕 > 泥鳅 > 福寿螺($P < 0.05$)。

2.2.2 4 种饵料投喂后对曼氏无针乌贼肝脏及卵巢脂肪酸组成的影响 结果见表 4。第一次卵巢成熟、

表 1 4 种饵料的氨基酸组成
Tab.1 Amino acids content of four different feeds

氨基酸	沙蚕	泥鳅	黄鲫	福寿螺
苏氨酸 Thr	2.133±0.006 ^d	3.633±0.015 ^a	3.356±0.021 ^c	3.490±0.010 ^b
缬氨酸 Val	2.100±0.010 ^d	3.167±0.022 ^b	3.057±0.021 ^c	3.217±0.022 ^a
异亮氨酸 Ile	1.852±0.012 ^d	3.416±0.019 ^a	3.095±0.018 ^b	2.784±0.015 ^c
亮氨酸 Leu	3.569±0.009 ^d	6.775±0.017 ^a	6.214±0.016 ^b	6.073±0.01 ^c
苯丙氨酸 Phe	3.139±0.025 ^c	4.123±0.032 ^a	4.033±0.031 ^b	2.085±0.018 ^d
赖氨酸 Lys	2.702±0.014 ^d	6.926±0.037 ^a	6.254±0.033 ^b	4.077±0.021 ^c
蛋氨酸 Met	0.544±0.016 ^c	1.750±0.043 ^a	1.811±0.045 ^a	1.273±0.032 ^b
色氨酸 Trp	0.734±0.016 ^c	0.795±0.017 ^b	0.976±0.020 ^a	0.451±0.012 ^d
精氨酸 Arg	3.523±0.014 ^d	5.568±0.023 ^b	5.157±0.021 ^c	6.440±0.027 ^a
组氨酸 His	1.020±0.010 ^d	2.164±0.016 ^a	1.572±0.013 ^c	1.652±0.013 ^b
天冬氨酸 Asp	4.703±0.015 ^d	8.040±0.026 ^a	7.153±0.015 ^b	6.813±0.032 ^c
酪氨酸 Tyr	1.689±0.008 ^d	2.742±0.014 ^a	2.451±0.012 ^b	1.809±0.009 ^c
脯氨酸 Pro	3.914±0.017 ^b	4.005±0.017 ^a	3.904±0.017 ^b	3.894±0.017 ^b
胱氨酸 Cys	0.189±0.024 ^d	0.413±0.048 ^c	0.487±0.056 ^b	0.914±0.102 ^a
丝氨酸 Ser	1.870±0.010 ^d	3.153±0.015 ^a	2.857±0.021 ^c	3.047±0.006 ^b
谷氨酸 Glu	8.347±0.015 ^d	13.987±0.021 ^a	12.950±0.026 ^b	11.650±0.010 ^c
甘氨酸 Gly	2.428±0.016 ^d	4.913±0.032 ^a	3.799±0.025 ^c	4.833±0.031 ^b
丙氨酸 Ala	3.791±0.027 ^d	5.617±0.039 ^a	4.975±0.035 ^b	4.343±0.031 ^c
Σ EAA	16.774±1.018 ^d	30.585±2.060 ^a	28.796±1.797 ^b	23.451±1.664 ^c
Σ SEAA	4.543±0.187 ^d	7.732±0.254 ^b	6.729±0.267 ^c	8.093±0.357 ^a
Σ EAA+SEAA	21.316±1.073 ^d	38.317±1.991 ^a	35.525±1.894 ^b	31.544±1.894 ^c
Σ NEAA	25.364±2.407 ^d	40.193±4.002 ^a	36.194±3.689 ^b	35.036±3.249 ^c
Σ AA	48.247±1.858 ^d	81.187±3.089 ^a	74.102±2.816 ^b	68.847±2.647 ^c

注：表格中为各氨基酸所占百分比。同列右上标字母不相同表示差异显著(P<0.05)

第二次卵巢成熟福寿螺组曼氏无针乌贼肝脏 EPA 显著高于其它组, Σ SFA 含量大小顺序为第一次卵巢成熟沙蚕组>黄鲫组>泥鳅组>福寿螺组(P<0.05), 第二次卵巢成熟沙蚕组>泥鳅组>福寿螺组>黄鲫组(P<0.05); Σ MUPA 大小顺序为第一次卵巢成熟黄鲫组>泥鳅组>沙蚕组>福寿螺组(P<0.05); 第二次卵巢成熟黄鲫组>沙蚕组>泥鳅组>福寿螺组(P<0.05); Σ PUFA 大小顺序为第一次卵巢成熟福寿螺组>泥鳅组>黄鲫组>沙蚕组(P<0.05), 第二次卵巢成熟福寿螺组>黄鲫组>泥鳅组>沙蚕组(P<0.05); Σ n3/n6PUFA 大小顺序为第一次卵巢成熟沙蚕组>黄鲫组>福寿螺组>泥鳅组(P<0.05), 第二次卵巢成熟黄鲫组>沙蚕组>泥鳅组>福寿螺组(P<0.05)。

卵巢 EPA 第一次卵巢成熟与第二次卵巢成熟沙蚕组均显著高于其它组, DHA 第一次卵巢成熟、第二

次卵巢成熟黄鲫组显著高于其它组; Σ SFA 基本保持顺序不变: 沙蚕组>泥鳅组>黄鲫组>福寿螺组(P<0.05); Σ MUPA 含量第一次卵巢成熟福寿螺组>黄鲫组>泥鳅组>沙蚕组, 第二次卵巢成熟黄鲫组>福寿螺组>泥鳅组、沙蚕组; Σ PUFA 大小顺序为黄鲫组>泥鳅组、福寿螺组>沙蚕组, 第二次卵巢成熟时泥鳅组>福寿螺组、沙蚕组>黄鲫组; Σ n3/n6PUFA 在第一次卵巢成熟与第二次卵巢成熟时顺序保持不变: 黄鲫组>沙蚕组>福寿螺组>泥鳅组(P<0.05)。

2.3 4 种饵料对曼氏无针乌贼产卵量、卵径、孵化率及幼体成活率的影响

试验结果见表 5。各组产卵量从大到小顺序为: 黄鲫组>沙蚕组>泥鳅组>福寿螺组(P<0.05); 乌贼所产卵子平均直径从大到小顺序为: 黄鲫组>泥鳅组>沙蚕组>福寿螺组(P<0.05); 所产卵子孵化率从高到

表 2 4 种饵料投喂后对曼氏无针乌贼肝脏与卵巢氨基酸组成的影响
Tab.2 Amino acid content in liver and ovary of *S. maindroni* fed with four different feeds in two ovary maturation times

组织	氨基酸	沙蚕组		泥鳅组	
		首次	第二次	首次	第二次
肝脏	Σ EAA	2.586±0.020 ^d	2.827±0.021 ^d	4.373±0.031 ^b	4.393±0.031 ^b
	Σ SEAA	21.631±1.175 ^d	17.985±0.899 ^d	25.629±1.658 ^b	28.236±1.765 ^b
	Σ EAA+SEAA	5.235±0.166 ^d	4.102±0.095 ^d	5.476±0.166 ^b	6.077±0.175 ^b
	Σ NEAA	26.866±1.164 ^d	22.087±0.855 ^d	31.105±1.573 ^b	34.314±1.672 ^b
	Σ AA	27.189±2.801 ^d	24.078±2.314 ^d	32.843±3.397 ^b	33.379±3.777 ^b
卵巢	Σ EAA	1.472±0.012 ^c	1.542±0.013 ^b	1.542±0.013 ^b	1.522±0.013 ^b
	Σ SEAA	2.225±0.018 ^d	2.385±0.019 ^b	2.405±0.019 ^b	2.325±0.018 ^c
	Σ EAA+SEAA	29.579±1.49 ^a	27.548±1.314 ^b	27.779±1.397 ^b	27.130±1.473 ^c
	Σ NEAA	5.145±0.151 ^a	4.914±0.133 ^a	5.135±0.154 ^a	4.884±0.140 ^b
	Σ AA	34.914±1.38 ^a	32.462±1.302 ^b	32.914±1.381 ^b	32.014±1.433 ^c

组织	氨基酸	黄鲫组		福寿螺组	
		首次	第二次	首次	第二次
肝脏	Σ EAA	4.814±0.034 ^a	4.794±0.034 ^a	2.917±0.022 ^c	2.994±0.017 ^c
	Σ SEAA	31.242±2.080 ^a	29.192±2.141 ^a	22.646±1.202 ^c	18.880±0.909 ^c
	Σ EAA+SEAA	6.659±0.238 ^a	6.719±0.238 ^a	5.425±0.167 ^c	4.302±0.094 ^c
	Σ NEAA	37.901±2.004 ^a	35.911±2.044 ^a	28.071±1.187 ^c	23.182±0.863 ^c
	Σ AA	38.124±4.356 ^a	37.263±4.297 ^a	30.559±2.758 ^c	28.533±2.615 ^c
卵巢	Σ EAA	1.552±0.013 ^b	1.411±0.012 ^c	1.833±0.014 ^a	1.903±0.011 ^a
	Σ SEAA	2.285±0.018 ^c	2.315±0.018 ^c	2.506±0.019 ^a	2.559±0.017 ^a
	Σ EAA+SEAA	27.609±1.450 ^b	28.437±1.430 ^a	26.257±1.363 ^c	25.317±1.302 ^d
	Σ NEAA	4.834±0.153 ^c	4.864±0.127 ^c	5.095±0.130 ^b	4.877±0.116 ^b
	Σ AA	32.442±1.436 ^c	33.301±1.407 ^a	31.352±1.312 ^d	30.194±1.248 ^d

注：表中数据为各氨基酸所占百分比。“首次”表示第一次卵巢成熟，“第二次”表示第二次卵巢成熟

低顺序为：黄鲫组>福寿螺组>泥鳅组>沙蚕组 ($P<0.05$)；乌贼幼体成活率从高到低顺序为：黄鲫组>泥鳅组>沙蚕组、福寿螺组 ($P<0.05$)，但沙蚕组与福寿螺组间无较大差异 ($P>0.05$)。

3 讨论

肝胰腺是动物主要的消化、代谢器官，同时也是其能量贮藏器官。雌性乌贼性腺发育前，肝胰腺便会通过持续不断的积累营养，供后续卵巢发育之用。

3.1 饵料中氨基酸对繁殖性能的影响

饵料中含有的氨基酸的数量和质量不仅影响亲体的个体生长发育，还影响亲体的性腺发育、产卵、卵子质量、受精卵质量以及早期幼体质量，在遗传情况相似的情况下，亲体营养健康状况直接影响其繁

殖能力的强弱，繁殖需要消耗很大的能量与营养物质，因而，肝脏与卵巢营养物质的大量积累有利于繁殖。Rani 等(1997)发现氨基酸主要参与合成卵黄物质，如卵黄脂磷蛋白和卵黄蛋白原、肽类激素、酶类、性腺组织和配子，从而在水产动物性腺发育过程中发挥重要作用。

本研究中，第一次卵巢成熟黄鲫组乌贼肝脏 Σ EAA、Σ SEAA、Σ EAA+SEAA、Σ NEAA 及 Σ AA 含量均显著高于其它投喂组。然而在第一次卵巢成熟沙蚕组卵巢 Σ EAA、Σ EAA+SEAA、Σ NEAA、Σ AA 含量显著高于其它投喂组，这是因为沙蚕组乌贼最早进入产卵期但产卵量又相对低，产卵期间肝脏内贮存的营养物质不断地转运到卵巢中，卵巢内贮存了大量营养物质。第二次卵巢成熟黄鲫组乌贼卵巢中

Σ EAA、 Σ EAA+SEAA、 Σ NEAA、 Σ AA 含量显著高于其它投喂组,这也正与乌贼的二次产卵情况相符的,该组乌贼进行二次产卵,卵巢中 Σ EAA、 Σ EAA+SEAA、 Σ NEAA、 Σ AA 的较高含量为其二次产卵提供了所需的能量。

3.2 饵料中脂肪酸对繁殖性能的影响

脂类不仅为亲体的卵巢发育提供了能源,并且

提供必需脂肪酸及组成磷脂和某些激素的重要成分,对亲体的繁殖具有重要的作用;重要脂肪酸含量及其比例皆影响亲体的繁殖性能。研究表明,必需脂肪酸(EFA)的缺乏能抑制水产动物的生长,有些水产动物甚至因为必需脂肪酸,尤其是高度不饱和脂肪酸(HUFA)的缺乏,而致使亲体无法繁殖(Wen *et al*, 2003; Alava *et al*, 1993; Spaargarden *et al*, 1994)。

表 3 4 种饵料脂肪酸组成比较
Tab.3 Fatty acids content of four different feeds

脂肪酸	沙蚕	泥鳅	黄鲫	福寿螺
C12:0	—	—	0.147±0.007	—
C13:0	—	—	0.108±0.008 ^a	0.076±0.005 ^b
C14:0	1.472±0.010 ^d	2.666±0.014 ^b	3.379±0.017 ^a	2.053±0.012 ^c
C15:0	2.662±0.013 ^a	1.990±0.010 ^b	0.656±0.005 ^d	1.077±0.006 ^c
C16:0	27.006±0.014 ^b	15.072±0.010 ^c	28.796±0.015 ^a	14.051±0.010 ^d
C17:0	3.605±0.019 ^a	2.321±0.012 ^c	0.736±0.005 ^d	2.582±0.013 ^b
C18:0	12.077±0.006 ^a	10.437±0.006 ^b	8.156±0.005 ^d	9.557±0.006 ^c
C19:0	0.176±0.005 ^d	0.390±0.010 ^b	0.237±0.006 ^c	0.644±0.016 ^a
C20:0	2.331±0.011 ^c	2.823±0.014 ^b	0.575±0.005 ^d	8.953±0.049 ^a
C21:0	—	—	0.109±0.009 ^b	0.415±0.034 ^a
C22:0	0.169±0.008 ^d	0.406±0.020 ^a	0.303±0.015 ^c	0.365±0.018 ^b
C23:0	—	—	0.242±0.022	—
C24:0	—	—	0.198±0.018	—
C16:1(n-7)	9.378±0.049 ^a	3.619±0.018 ^c	6.859±0.035 ^b	—
C18:1(n-9)	0.856±0.005 ^d	4.910±0.026 ^c	16.699±0.093 ^a	5.692±0.030 ^b
C18:1(n-7)	14.996±0.081 ^a	7.090±0.036 ^b	3.257±0.016 ^c	1.472±0.010 ^d
C20:1(n-9)	1.773±0.011 ^a	—	0.288±0.011 ^b	—
C18:3(n-3)	—	4.568±0.127 ^a	0.969±0.025 ^c	3.948±0.109 ^b
C20:5(n-3)	9.538±0.047 ^a	7.692±0.039 ^b	4.281±0.027 ^c	1.371±0.026 ^d
C22:5(n-3)	2.587±0.015 ^b	3.392±0.019 ^a	0.906±0.005 ^c	0.896±0.005 ^c
C22:6(n-3)	1.235±0.005 ^c	5.471±0.014 ^b	16.140±0.044 ^a	0.574±0.005 ^d
C18:2(n-6)	0.575±0.005 ^d	5.562±0.030 ^b	0.686±0.005 ^c	9.736±0.053 ^a
C20:4(n-6)	0.548±0.010 ^d	8.505±0.044 ^b	2.625±0.014 ^c	14.986±0.081 ^a
C22:4(n-6)	1.217±0.006 ^b	0.485±0.005 ^c	0.344±0.005 ^d	6.104±0.033 ^a
DHA/EPA	0.130±0.001 ^d	0.711±0.002 ^b	3.770±0.021 ^a	0.419±0.004 ^c
Σ SFA	49.498±1.801 ^a	36.144±1.037 ^d	43.642±1.242 ^b	39.773±0.878 ^c
Σ MUFA	23.890±1.897 ^b	14.419±0.527 ^c	24.827±2.042 ^a	7.164±0.943 ^d
Σ PUFA	15.702±0.768 ^d	35.677±0.555 ^b	25.952±1.171 ^c	37.615±1.112 ^a
Σ n3PUFA	13.361±1.286 ^c	21.125±0.475 ^b	22.296±1.885 ^a	6.789±0.401 ^d
Σ n6PUFA	2.341±0.109 ^d	14.552±1.171 ^b	3.655±0.355 ^c	30.826±1.289 ^a
Σ n3/n6PUFA	5.697±0.041 ^b	1.454±0.005 ^c	6.090±0.024 ^a	0.221±0.002 ^d

注:表中各数据为各脂肪酸占总脂肪酸的百分比

表 4 不同饵料对曼氏无针乌贼肝脏与卵巢脂肪酸组成的影响
Tab.4 Fatty acids content in liver and ovary of *S. maindroni* fed with four different feeds during two maturation times

组织	氨基酸	沙蚕组		泥鳅组		黄鲫组		福寿螺组	
		首次	第二次	首次	第二次	首次	第二次	首次	第二次
肝脏	DHA/EPA	0.094 ± 0.001 ^d	60.110 ± 1.807 ^a	0.753 ± 0.008 ^c	54.025 ± 1.654 ^b	1.542 ± 0.014 ^a	34.425 ± 1.138 ^d	1.042 ± 0.003 ^b	40.778 ± 0.043 ^c
	Σ SFA	64.823 ± 1.687 ^a	21.781 ± 1.513 ^b	44.019 ± 1.305 ^c	12.954 ± 0.843 ^c	58.486 ± 1.783 ^b	25.661 ± 2.476 ^a	39.303 ± 1.331 ^d	2.839 ± 0.017 ^d
	Σ MUFA	12.040 ± 1.064 ^c	6.979 ± 0.343 ^d	19.817 ± 1.542 ^b	16.436 ± 0.666 ^c	22.151 ± 2.422 ^a	31.829 ± 2.527 ^b	5.001 ± 0.308 ^d	47.571 ± 0.252 ^a
	Σ PUFA	5.759 ± 0.522 ^d	5.872 ± 0.581 ^d	14.618 ± 0.401 ^b	6.041 ± 0.307 ^c	8.156 ± 0.397 ^c	28.990 ± 3.289 ^a	39.045 ± 0.939 ^a	18.243 ± 0.096 ^b
	Σ n3PUFA	4.859 ± 0.695 ^d	1.107 ± 0.071 ^d	5.197 ± 0.124 ^c	10.395 ± 1.291 ^b	6.855 ± 0.509 ^b	2.839 ± 0.436 ^c	22.988 ± 1.297 ^a	29.327 ± 0.161 ^a
	Σ n6PUFA	0.900 ± 0.006 ^d	5.283 ± 0.088 ^b	9.421 ± 0.134 ^b	0.582 ± 0.002 ^d	1.301 ± 0.006 ^c	10.189 ± 0.034 ^a	16.057 ± 1.430 ^a	0.622 ± 0.001 ^c
	Σ n3/n6PUFA	5.395 ± 0.030 ^a	—	0.553 ± 0.001 ^d	0.074 ± 0.004 ^b	5.264 ± 0.017 ^b	0.116 ± 0.006 ^a	1.432 ± 0.003 ^c	—
卵巢	DHA/EPA	4.265 ± 0.165 ^d	5.037 ± 0.205 ^c	4.870 ± 0.338 ^c	4.960 ± 0.299 ^d	6.104 ± 0.532 ^b	7.164 ± 0.752 ^a	6.937 ± 0.673 ^a	6.288 ± 0.594 ^b
	Σ SFA	39.606 ± 1.781 ^d	40.936 ± 1.671 ^b	42.426 ± 1.599 ^c	43.896 ± 1.747 ^a	45.349 ± 3.876 ^a	39.824 ± 3.621 ^c	42.714 ± 2.116 ^b	40.751 ± 1.164 ^b
	Σ MUFA	36.436 ± 1.915 ^b	37.104 ± 1.638 ^a	29.493 ± 2.117 ^d	32.759 ± 2.394 ^b	42.683 ± 3.578 ^a	37.088 ± 3.848 ^a	35.751 ± 3.023 ^c	27.504 ± 1.727 ^c
	Σ PUFA	3.171 ± 0.079 ^c	3.833 ± 0.069 ^c	12.933 ± 2.500 ^a	11.137 ± 2.233 ^b	2.666 ± 0.008 ^d	2.736 ± 0.008 ^d	6.963 ± 0.936 ^b	13.247 ± 1.413 ^a
	Σ n3PUFA	11.480 ± 0.036 ^b	9.673 ± 0.016 ^b	2.280 ± 0.006 ^d	2.940 ± 0.006 ^c	15.988 ± 0.031 ^a	13.536 ± 0.020 ^a	5.130 ± 0.001 ^c	2.076 ± 0.003 ^d
	Σ n6PUFA	—	2.956 ± 0.015 ^b	0.042 ± 0.002 ^b	2.756 ± 0.014 ^d	0.011 ± 0.001 ^c	2.806 ± 0.014 ^c	2.646 ± 0.126 ^a	3.147 ± 0.016 ^a
	Σ n3/n6PUFA	—	1.368 ± 0.007 ^a	—	0.756 ± 0.005 ^b	—	0.214 ± 0.005 ^c	0.249 ± 0.018	—

注: 表中各数据为各脂肪酸占总脂肪酸的百分比

表 5 4 种饵料对曼氏无针乌贼繁殖指标的影响
Tab.5 The influence on the reproduction index of *S. maindroni* fed with four different feeds

组别	个体平均产卵量	卵径(mm)	孵化率(%)	幼体成活率(%)
沙蚕组	550±7 ^b	5.80±0.10 ^c	54.90±0.17 ^d	92.07±0.31 ^c
泥鳅组	525±13 ^c	6.01±0.01 ^b	76.63±0.75 ^c	94.77±0.55 ^b
黄鲫组	750±35 ^a	6.13±0.07 ^a	94.33±0.80 ^a	97.63±0.31 ^a
福寿螺组	500±67 ^d	5.26±0.05 ^d	82.83±0.35 ^b	91.60±0.72 ^c

Ravid 等(1999)研究发现饲料中添加脂肪酸可以使成熟雌虾(*Penaeus semisulcatus*)卵巢的重量在一周内增加 4—8 倍。

Middleditch 等(1980)首次用天然饵料揭示了不饱和脂肪酸对对虾成功繁殖的重要性, 随后的研究进一步证实了饲料中高水平的 n-3 HUFA 和 18:2 n-6 能够提高罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)繁殖力、卵的孵化率和后代的整体质量; Wouters 等(2001)研究发现凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)亲虾成熟卵巢中的 Σ n3/n6PUFA 大约为 2:1。本研究中, 福寿螺组乌贼肝脏在卵巢第一次成熟虽然 Σ n3PUFA 和 Σ n6PUFA 绝对量都显著高于其它投喂组, 但 Σ n3/n6PUFA 较低, 黄鲫组卵巢的 Σ n3/n6 PUFA 很高, 保证了黄鲫组的高繁殖性能。

EPA 与 DHA 是合成水产动物卵巢正常发育的物质基础, 卵巢中 EPA 水平与亲虾产卵量, DHA 水平与受精率和孵化率之间分别存在着正相关关系(Wen *et al*, 2001; 成永旭等, 1999)。Wouters 等(2001)研究发现若饲料中缺乏 HUFA, 特别是 EPA 和 DHA, 将会导致卵巢不能正常发育, 卵子内源性营养积累不足, 不能满足胚胎发育的需要, 引起胚胎发育夭折, 孵化率低下。泥鳅组乌贼第一次卵巢成熟时 DHA/EPA 显著高于其它投喂组($P<0.05$), 但其 DHA、EPA 绝对含量均显著低于黄鲫组, 此时泥鳅组尚未进入产卵阶段, 其繁殖所需营养准备还未完成, 这就说明泥鳅组乌贼的繁殖性能较黄鲫组的繁殖性能差。由此可见, DHA、EPA 及 DHA/EPA 对繁殖性能是相互影响的, 某一项指标的优劣是不能决定繁殖性能好坏的。第二次卵巢成熟, 黄鲫组乌贼肝脏所含 DHA 显著高于其它投喂组, DHA/EPA 显著高于其它投喂组, Σ n3 PUFA、 Σ n3/n6PUFA 均显著高于其它投喂组, 这与黄鲫组乌贼可以二次产卵是相符的。福寿螺组乌贼 DHA 含量, DHA/EPA、 Σ n3PUFA 及 Σ n3/n6PUFA 等指标均显著好于泥鳅组, 这是因为福寿螺组乌贼产

卵量少并且未能进行第二次产卵, 其卵巢内的营养并未为繁殖活动所用。

3.3 饵料对产卵量、孵化率、卵径、幼体成活率的影响

亲体所需营养对提高产卵量、卵和仔鱼质量以及仔稚鱼生长与存活等具有重要作用, Bruce 等(1999)对欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)亲鱼的研究表明, 喂养添加含氨基酸的鱼油饲料后, 鱼卵的质量显著高于对照组。Castell 等(2001)饲料中添加氨基酸, 可提高黑线鳕鱼(*Melanogrammus aeglefinus*)的鱼卵和幼体质量。Furuita 等(2003)发现饲料中添加 0.6%氨基酸, 能够提高牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)亲鱼的产卵率、浮性卵的比例、孵化率、幼鱼存活率和变形率。从本研究结果来看, 投喂黄鲫组的乌贼的产卵量、卵径大小、孵化率、幼体成活率要优于其它投喂组, 而福寿螺组的多数指标要劣于其它投喂组, 且各指标之间吻合性较好。这主要是由于黄鲫组亲体乌贼卵巢氨基酸和脂肪酸含量较高, 为卵的发育、孵化及幼体的成活提供了理想的营养成分。

EPA 与 DHA 是合成水产动物卵正常发育的物质基础, DHA 对 EPA 的比值是决定饵料质量好坏的关键因素(郑乐云, 2004)。Mazorra 等(2003)报道, 庸鲈的卵子中的 DHA/EPA 为 2:1 时能够提高卵子和幼鱼的质量。本研究中, 黄鲫组乌贼第一次卵巢成熟时 DHA/EPA 接近 2:1, 其产卵量、孵化率、卵径及幼体成活率均高于其它几组($P<0.05$), 进一步验证了 Mazorra 等(2003)的结论。

参 考 文 献

- 艾春香, 李少菁, 王桂忠等, 2003. 虾蟹类亲体生殖营养需求研究的进展. 台湾海峡, 22(2): 254—261
成永旭, 堵南山, 赖 伟, 1999. 中华绒螯蟹成熟卵巢的脂类及脂肪酸组成. 中国水产科学, 6(1): 79—81
张利民, 1996. 稚鱼生物饵料的 DHA 营养强化. 齐鲁渔业, 13(5): 36—38

- 郑乐云, 2004. 不同饵料对点带石斑鱼幼鱼生长、存活的影响. 台湾海峡, 23(3): 341—346
- 徐继林, 朱艺峰, 严小军等, 2005. 养殖与野生大黄鱼脂肪酸的比较. 营养学报, 3(27): 256—260
- Alava V R, Kanazawa A, Teshima S I *et al*, 1993. Effect of dietary phospholipids and n-3 highly unsaturated fatty acids on ovarian development of Kuruma prawn. Nippon Suisan Gakkaishi, 59: 345—351
- Bruce M P, Oyen F, Bell J G *et al*, 1999. Development of broodstock diets for the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) with special emphasis on the importance of n-3 and n-6 HUFA to reproductive performance. Aquaculture, 177: 85—98
- Castell J D, Blair T, Neil S *et al*, 2001. The effect of different HUFA enrichment emulsions on the nutritional value of rotifers (*Brachionus plicatilis*) to larval haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). Larval fish and shellfish larviculture symposium European aquaculture society. Special Publication, Vol.30. Oostende, Belgium, 111—114
- Furuuta H, Yamamoto T, Shima T *et al*, 2003. Effect of arachidonic acid levels in broodstock diet on larval and egg quality of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 220: 725—735
- Gendron L, Fradette P, Godbout G, 2001. The importance of rock crab (*Cancer irroratus*) for growth, condition and ovary development of adult American lobster (*Homarus americanus*). Jexp Mar Biol Ecol, 262(2): 221—241
- Lytle J S, Lytle T S, Ogle J T, 1990. Polyunsaturated fatty acid profiles as a comparative tool in assessing maturation diets of *Penaeus vannamei*. Aquaculture, 89: 287—299
- Mazorra C, Bruce M, Bell J G *et al*, 2003. Dietary lipid enhancement of broodstock reproductive performance and egg and larval quality in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). Aquaculture, 227: 21—33
- Middleditch B S, Missler S R, Hines H B *et al*, 1980. Metabolic profiles of penaeid shrimp: dietary lipids and ovarian maturation. Chromatography, 195: 359—368
- Rani K, Subramoniam T, 1997. Vitellogenesis in the mud crab *Scyllaserrata*—an *in vivo* isotope study. Journal of Crustacean Biology, 17(4): 659—665
- Ravid T, Tietz A, Khayat M *et al*, 1999. Lipid accumulation in the ovaries of a marine shrimp *Penaeus semisulcatus* (De Haan). Exp Bio, 202(13): 1819—1829
- Spaargarden H D, Haefer P A, 1994. Interaction of ovary and hepatopancreas during the reproductive cycle of *Crangon crangon* L. Biochemical relationships. Crust Biol, 14(1): 6—19
- Wen X B, Chen L Q, Ai C X *et al*, 2001. Variation in lipid composition of Chinese mitten-handed crab, *Eriocheir sinensis* during ovarian maturation. Comp Biochem Physiol, 131B: 95—104
- Wen X B, Chen L Q, Ai C X *et al*, 2003. Essential fatty acid requirement of the Chinese Mitten crab. Am Fish Soc Symp, 38: 257—264
- Wouters R, Lavens P, Nieto J *et al*, 2001. Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development. Aquaculture, 202: 1—21

THE IMPACT OF FOUR DIFFERENT FEEDS ON THE REPRODUCTIVE PERFORMANCES OF CUTTLEFISH *SEPIELLA MAINDRONI*

FAN Xiao-Xu, WANG Chun-Lin, SHAO Yin-Wen, WANG Jin-Wei, SONG Chao-Xia, JIANG Xia-Min
(Key Laboratory of Applied Technology of Marine Biology, Ministry of Education, Faculty of Life Science and Biotechnology,
Ningbo University, Ningbo, 315211)

Abstract The impact of different feeds on the reproductive performances of cuttlefish *Sepiella maindroni* de Rochebrune [mantle length (6.50 ± 0.20)cm] were studied using four different feeds: *Perinereis aibuhitensis* Grube (PA), *Misgurnus anguillicaudatus* (MA), *Setipinna taty* (ST) and *Ampullaria gigas* (AG). The contents of amino acid and fatty acid, fecundity, egg diameter, hatching rate and larva survival ratio were used. The results show that, among the four feeding groups, the group fed with ST showed a better reproduction performance with higher contents of amino acids in the liver and ovary. In terms of fecundity, the order of the performance is $ST > PA > MA > AG$. The egg diameter was $ST > MA > PA > AG$. In hatching rate, the order was $ST > AG > MA > PA$; in larvae survival rate: $ST > MA > PA > AG$. Therefore, the best feed should be *Setipinna taty* for the reproductive performance of *S. maindroni*.

Key words *Sepiella maindroni* de Rochebrune, Amino acid, Fatty acid, Fecundity, Hatching rate, Cyst diameter, Larva survive ratio