

野生与人工养殖牙鲆亲鱼不同组织脂肪酸的比较

王际英^{1,2}, 苗淑彦³, 张利民^{1,2*}, 王世信^{1,2}, 柳旭东³, 黄炳山^{1,2}, 孙永智^{1,2}

- (1. 山东省海洋水产研究所, 山东 烟台 264006;
2. 山东省海洋生态修复重点实验室, 山东 烟台 264006;
3. 山东升索渔用饲料研究中心, 山东 烟台 265500)

摘要: 为研究脂肪酸对牙鲆繁育性能的影响, 采用生物化学方法, 对野生和养殖牙鲆亲鱼肌肉、肝脏及卵中脂肪酸组成分别进行测定。结果表明: (1) 牙鲆肌肉、肝脏和卵中脂肪含量大小关系为肝脏>卵>肌肉。野生亲鱼肌肉和卵中脂肪含量显著低于养殖亲鱼($P<0.05$), 肝脏脂肪含量与养殖亲鱼无显著差异; (2) 牙鲆亲鱼3种组织中均检测出21种脂肪酸。野生亲鱼肌肉中饱和脂肪酸(SFA)与养殖亲鱼无显著差异, 单不饱和脂肪酸(MUFA)显著低于养殖亲鱼($P<0.05$)。肝脏和卵中SFA显著高于养殖亲鱼($P<0.05$), MUFA与养殖亲鱼无显著差异; (3) 野生亲鱼肌肉、肝脏和卵中高不饱和脂肪酸(PUFA)的含量, 尤其是肝脏和卵中C20:5n-3(EPA)、C22:6n-3(DHA)的含量均显著低于养殖亲鱼($P<0.05$), 但肌肉和卵中的C20:4n-6(ARA)含量明显高于养殖亲鱼($P<0.05$); (4) 野生牙鲆亲鱼肌肉、肝脏和卵中n-3/n-6 PUFA及EPA/ARA显著低于养殖亲鱼($P<0.05$), 肝脏中DHA/EPA显著高于养殖亲鱼($P<0.05$), 但野生亲鱼肌肉和卵中的DHA/EPA与养殖亲鱼无显著差异。比较结果说明, DHA、EPA和ARA等PUFA是与牙鲆繁殖性能密切相关的重要脂肪酸。在牙鲆亲鱼养殖过程中, 除了提供牙鲆亲鱼足够的脂肪酸营养外, 也应注意各种脂肪酸, 尤其是PUFA中各种脂肪酸之间的添加比例, 从而保证亲鱼的繁殖性能及卵和仔鱼的质量。

关键词: 牙鲆; 亲鱼; 野生; 人工养殖; 脂肪酸

中图分类号: Q 547; S 917.4

文献标志码: A

脂肪和脂肪酸是鱼类生长发育阶段重要的代谢能源, 也是鱼类机体内重要的内源性营养物质。必需脂肪酸, 特别是n-3高度不饱和脂肪酸(n-3 HUFA)作为组成生物膜的重要结构组分和转运因子, 对胚胎发育进程及早期仔鱼的存活至关重要。亲鱼的营养状态, 特别是脂肪和必需脂肪酸水平以及各种脂肪酸相互间的比例直接关系到亲鱼的繁殖性能和幼体质量。因此, 分析野生和养殖鱼类组织中脂肪酸水平的差异, 对于强化养殖亲鱼的HUFA需求, 保证亲鱼的产卵性能以及卵和仔鱼的质量具有重要意义。

牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)主要分布于中国、朝鲜及日本沿海, 是我国重要的海水养殖经济鱼类。近年来, 随着牙鲆苗种培育关键技术的突破, 在我国开展了大规模的养殖, 但在实际生产中常出现亲鱼生产性能下降、孵化率低、仔鱼大量死亡以及体色异常等情况。生活在自然海区的牙鲆主要以小型鱼类为食, 兼食少量浮游动物和藻类, 人工养殖亲鱼主要投喂配合饲料, 辅以冰鲜杂鱼。C22:6n-3(DHA)、C20:5n-3(EPA)和C20:4n-6(ARA)等是海水鱼类幼体发育的必需脂肪酸, 亲鱼饲料中的脂肪酸水平与其所产卵子中的脂肪酸水平密切相

收稿日期: 2011-04-02 修回日期: 2011-06-16

资助项目: 海洋公益性行业项目(201205025); 山东省水生动物营养与饲料泰山学者岗位基金项目; 山东省2010年科学技术发展计划(2010GZX20506); 山东省财政支持农业重大应用技术创新项目项目资助; 国家鲆鲽类产业技术体系资助

通讯作者: 张利民, E-mail: zhanglimin@126.com

关^[1], Sargent 等^[2]也报道饲料中的 DHA 水平对于亲鱼向卵中传递 DHA 有累积的影响, 通过调整饲料中的营养素含量可以达到提高亲鱼产卵质量的效果。对野生亲鱼性腺不同发育期脂肪和脂肪酸含量的分析发现, 当卵巢处于成熟期时, 卵的脂肪酸组成中含有大量的 n-3 HUFA, EPA、DHA 和 ARA 的含量也显著高于发育同期的其它组织^[3]。本研究选取性腺成熟期的野生和养殖牙鲈亲鱼作为实验对象, 通过分析肌肉、肝脏和卵的主要脂肪酸组成, 评估野生和养殖牙鲈在产卵期间脂类的差异, 为开发牙鲈亲鱼配合饲料, 提高人工培育苗种的质量提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

亲鱼 根据牙鲈的繁殖规律, 于 2008 年 4—6 月在山东沿海近海采集野生牙鲈亲鱼, 随机选取卵巢发育 V 期的亲鱼 8 尾; 于 2009 年 1—5 月在日照和威海采集养殖牙鲈亲鱼, 随机选取卵巢发育 V 期的亲鱼 8 尾。解剖牙鲈后取背部肌肉、肝脏及卵, 迅速置于 -80°C 超低温冰箱冷冻保存。

试剂 标准脂肪酸甲酯(美国 SUPELCO 公司), 色谱纯正己烷, 其它为国产分析纯。

仪器 GC2010 气相色谱仪, 带 AOC-12 自动进样器(日本岛津公司), $100\text{ m}\times 0.25\text{ mm}\times 0.2\text{ }\mu\text{m}$ SP-2560 气相毛细管柱(美国 SUPELCO 公司)。

1.2 实验方法

样品前处理 样品经真空冷冻干燥后, 在液氮中磨碎, 用以测定脂肪酸。

脂肪及脂肪酸测定方法 粗脂肪的测定为索氏抽提法(AOAC, 1995)^[4]; 脂肪酸含量测定参照 Metcalfe 等^[5]的方法并略作改进。色谱条件: 进样口温度 260°C , 载气纯度为 99.99%高纯氮, 柱流速 1.8 mL/min , 柱前压 357.4 kPa , 柱起始温度 140°C , 保持 5 min , 以 4°C/min 升至 240°C , 保持 10 min 。分流进样 $1\text{ }\mu\text{L}$, 分流比 $90:1$ 。监测器温度 260°C 。采用面积归一法计算脂肪酸相对百分含量。

1.3 性腺成熟度的划分

性腺成熟度的划分参考文献[6]的方法。

1.4 数据处理

数据采用 SPSS 11.0 和 Excel 进行处理, 结果用平均数 \pm 标准差(mean \pm SD)表示, 显著性水平

$P<0.05$ 。

2 结果

2.1 牙鲈亲鱼组织中的脂肪含量

野生亲鱼肌肉、肝脏和卵的脂肪含量分别为 3.63%、40.15%和 16.29%, 养殖亲鱼肌肉、肝脏和卵的脂肪含量分别为 4.97%、41.24%和 18.67%(图 1)。统计分析表明, 不同组织中脂肪含量差异显著($P<0.05$), 以肝脏中含量最高, 卵中含量次之, 肌肉中含量最低。野生亲鱼肝脏脂肪含量与养殖亲鱼无显著差异, 但肌肉和卵中的脂肪含量显著低于养殖亲鱼($P<0.05$)。

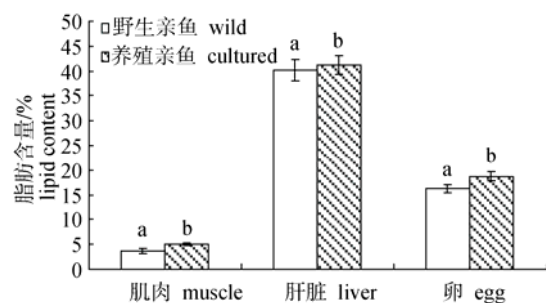


图 1 亲鱼各组织脂肪含量

粗脂肪的含量折合为占干重比例(%); 同一组织中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Fig. 1 Lipid contents in muscle, liver and egg of *P. olivaceus* broodstocks

The content of fat was converted into the percent of dry materials; in the same tissue, different letters are significantly different ($P<0.05$).

2.2 牙鲈亲鱼组织中的脂肪酸组成

亲鱼肌肉的脂肪酸组成 野生亲鱼肌肉中饱和脂肪酸(SFA)总量与养殖亲鱼无显著差异, 单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)显著低于养殖亲鱼($P<0.05$); 在 PUFA 中, 野生亲鱼肌肉 C20:2n-6、C22:2n-6 和 DHA 的含量显著低于养殖亲鱼($P<0.05$), 而 C20:3n-3、ARA 和 DPA 的含量显著高于养殖亲鱼($P<0.05$), EPA 的含量在两者间无差异(表 1)。

在肌肉中, 野生亲鱼 n-3 PUFA 显著低于养殖亲鱼($P<0.05$), n-6 PUFA 显著高于养殖亲鱼($P<0.05$), n-9 PUFA 在两组亲鱼间没有显著差异; 野生亲鱼 n-3/n-6 PUFA 的比值显著低于养殖亲鱼($P<0.05$); 野生和养殖亲鱼 DHA/EPA 没有显著差异, 但养殖亲鱼 EPA/ARA 显著高于野生亲鱼($P<0.05$)。

亲鱼肝脏的脂肪酸组成 野生亲鱼肝脏中

SFA 总量显著高于养殖亲鱼($P<0.05$), MUFA 含量与养殖亲鱼无显著差异, PUFA 总量显著低于养殖亲鱼($P<0.05$); C18:2n-6、C18:3n-3、EPA 和 DHA 的含量也显著低于养殖亲鱼(表2), 而 C20:2n-6 和 DPA 的含量显著高于养殖亲鱼($P<0.05$), 野生和养殖亲鱼肝脏中 ARA 含量无显著差异。

野生亲鱼肝脏中 n-3 PUFA 显著低于养殖亲鱼

($P<0.05$), n-6 PUFA 和 n-9 PUFA 的含量与养殖亲鱼无显著差异; n-3/n-6 PUFA 的比值显著低于养殖亲鱼($P<0.05$); 野生亲鱼肝脏中 DHA/EPA 显著高于养殖亲鱼($P<0.05$), 但 EPA/ARA 显著低于养殖亲鱼($P<0.05$)。

亲鱼卵的脂肪酸组成 野生亲鱼卵中 SFA 总量显著高于养殖亲鱼($P<0.05$), MUFA 总量无显

表1 亲鱼肌肉的脂肪酸组成

Tab.1 Fatty acid compositions in muscle of *P. olivaceus* broodstocks

脂肪酸 fatty acid	野生亲鱼 wild	养殖亲鱼 cultured	脂肪酸 fatty acid	野生亲鱼 wild	养殖亲鱼 cultured
C14:0	1.7±0.0 ^a	1.7±0.0 ^a	C18:3n-3	0.5±0.0 ^a	0.5±0.0 ^a
C15:0	0.4±0.0 ^a	0.4±0.0 ^a	C20:2n-6	0.7±0.1 ^a	1.0±0.1 ^b
C16:0	20.1±0.2 ^a	22.0±0.3 ^b	C20:3n-3	0.2±0.0 ^b	0.1±0.0 ^a
C17:0	0.3±0.0 ^a	0.4±0.0 ^b	ARA	2.7±0.1 ^b	1.2±0.0 ^a
C18:0	6.5±0.1 ^b	5.8±0.4 ^a	C22:2n-6	0.3±0.0 ^a	0.5±0.0 ^b
SFA	29.0±0.2 ^a	30.3±0.6 ^a	EPA	5.2±0.3 ^a	5.9±0.1 ^a
C16:1n-9	0.47±0.0 ^b	0.3±0.0 ^a	DPA	3.1±0.3 ^b	2.2±0.2 ^a
C16:1n-7	4.9±0.1 ^a	4.8±0.1 ^a	DHA	21.7±0.4 ^a	23.9±0.4 ^b
C17:1n-7	0.5±0.0 ^b	0.4±0.0 ^a	PUFA	36.5±0.2 ^a	37.4±0.3 ^b
C18:1n-9	11.3±0.2 ^a	11.8±0.3 ^a	n-3PUFA	30.7±0.3 ^a	32.6±0.3 ^b
C18:1n-7	2.2±0.1 ^a	2.8±0.2 ^b	n-6PUFA	5.9±0.2 ^b	4.8±0.1 ^a
C20:1n-7	0.8±0.1 ^a	1.3±0.0 ^b	n-9PUFA	12.2±0.2 ^a	12.8±0.3 ^a
C22:1n-9	0.2±0.0 ^a	0.2±0.0 ^a	n-3/n-6	5.2±0.2 ^a	6.8±0.2 ^b
C24:1n-9	0.3±0.0 ^a	0.4±0.0 ^b	DHA/EPA	4.2±0.3 ^a	4.1±0.1 ^a
MUFA	20.6±0.2 ^a	22.0±0.5 ^b	EPA/ARA	1.9±0.1 ^a	5.1±0.1 ^b
C18:2n-6	2.2±0.1 ^a	2.2±0.1 ^a			

注: 表中数值以 mean±SD 表示, n=8; 同一行中上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); 表2 和表3 注释同。

Notes: Data are shown as mean ± SD, n=8; Data in the same line super-marked with different letters are significantly different ($P<0.05$); the same as Tab. 2 and Tab. 3.

表2 亲鱼肝脏的脂肪酸组成

Tab. 2 Fatty acid compositions in liver of *P. olivaceus* broodstocks

脂肪酸 fatty acid	野生亲鱼 wild	养殖亲鱼 cultured	脂肪酸 fatty acid	野生亲鱼 wild	养殖亲鱼 cultured
C14:0	3.1±0.1 ^b	2.5±0.2 ^a	C18:3n-3	0.3±0.0 ^a	1.0±0.2 ^b
C15:0	0.5±0.0 ^a	0.5±0.03 ^a	C20:2n-6	0.6±0.1 ^b	0.3±0.0 ^a
C16:0	22.1±0.1 ^a	21.8±0.2 ^a	C20:3n-3	0.4±0.1 ^a	0.4±0.0 ^a
C17:0	0.4±0.0 ^a	0.4±0.0 ^a	ARA	1.9±0.2 ^a	1.9±0.0 ^a
C18:0	4.0±0.3 ^b	3.5±0.2 ^a	C22:2n-6	0.5±0.0 ^a	0.4±0.1 ^a
SFA	30.0±0.4 ^b	28.7±0.5 ^a	EPA	4.3±0.4 ^a	6.5±0.1 ^b
C16:1n-9	1.2±0.1 ^a	1.2±0.1 ^a	DPA	2.2±0.3 ^b	2.0±0.0 ^a
C16:1n-7	9.1±0.3 ^b	8.4±0.7 ^a	DHA	9.5±0.6 ^a	10.1±0.1 ^b
C17:1n-7	0.6±0.0 ^a	0.9±0.0 ^b	PUFA	20.8±0.2 ^a	24.0±0.6 ^b
C18:1n-9	21.3±0.4 ^a	21.5±0.4 ^a	n-3PUFA	16.7±0.5 ^a	20.0±0.6 ^b
C18:1n-7	5.4±0.2 ^a	5.5±0.2 ^a	n-6PUFA	4.2±0.3 ^a	4.0±0.1 ^a
C20:1n-7	1.9±0.0 ^a	1.8±0.0 ^a	n-9PUFA	23.8±0.5 ^a	23.7±0.3 ^a
C22:1n-9	0.6±0.0 ^b	0.4±0.0 ^a	n-3/n-6	4.1±0.4 ^a	5.0±0.2 ^b
C24:1n-9	0.7±0.2 ^b	0.5±0.1 ^a	DHA/EPA	2.3±0.4 ^b	1.6±0.0 ^a
MUFA	40.9±0.6 ^a	40.2±0.6 ^a	EPA/ARA	2.4±0.2 ^a	2.9±0.2 ^b
C18:2n-6	1.1±0.0 ^a	1.4±0.4 ^b			

著差异, PUFA 总量显著低于养殖亲鱼($P<0.05$); C18:2n-6、C22:2n-6、EPA 和 DHA 的含量也显著低于养殖亲鱼($P<0.05$), 而 ARA 和 DPA 的含量显著高于养殖亲鱼($P<0.05$)(表 3)。

野生亲鱼卵中 n-3 PUFA 和 n-9 PUFA 的含量

显著低于养殖亲鱼($P<0.05$), n-6 PUFA 的含量在两组亲鱼间无显著差异; 野生亲鱼 n-3/n-6 PUFA 的比值显著低于养殖亲鱼($P<0.05$); 野生亲鱼卵中 DHA/EPA 与养殖亲鱼无显著差异, 但 EPA/ARA 显著低于养殖亲鱼($P<0.05$)。

表 3 亲鱼卵的脂肪酸组成
Tab.3 Fatty acid compositions in egg of *P. olivaceus* broodstocks %

脂肪酸 fatty acid	野生亲鱼 wild	养殖亲鱼 cultured	脂肪酸 fatty acid	野生亲鱼 wild	养殖亲鱼 cultured
C14:0	2.1±0.0 ^a	2.1±0.0 ^a	C18:3n-3	0.3±0.0 ^a	0.4±0.1 ^a
C15:0	0.4±0.0 ^a	0.4±0.0 ^a	C20:2n-6	0.7±0.0 ^a	0.7±0.0 ^a
C16:0	21.4±0.3 ^b	18.2±0.3 ^a	C20:3n-3	0.3±0.1 ^a	0.3±0.0 ^a
C17:0	0.3±0.0 ^a	0.4±0.0 ^a	ARA	2.5±0.1 ^b	1.8±0.2 ^a
C18:0	3.4±0.1 ^a	3.2±0.1 ^a	C22:2n-6	0.4±0.0 ^a	0.5±0.0 ^b
SFA	27.6±0.3 ^b	24.2±0.4 ^a	EPA	6.6±0.3 ^a	7.5±0.1 ^b
C16:1n-9	0.7±0.0 ^b	0.6±0.0 ^a	DPA	3.4±0.3 ^b	2.6±0.2 ^a
C16:1n-7	6.2±0.2 ^b	4.4±0.1 ^a	DHA	27.8±0.5 ^a	31.4±0.3 ^b
C17:1n-7	0.7±0.0 ^a	0.7±0.0 ^a	PUFA	42.8±0.2 ^a	46.5±0.4 ^b
C18:1n-9	11.3±0.1 ^a	12.0±0.2 ^a	n-3PUFA	38.4±0.3 ^a	42.2±0.1 ^b
C18:1n-7	3.4±0.0 ^a	3.6±0.1 ^b	n-6PUFA	4.4±0.2 ^a	4.3±0.4 ^a
C20:1n-7	1.1±0.0 ^a	1.2±0.0 ^a	n-9PUFA	12.6±0.1 ^b	13.2±0.3 ^a
C22:1n-9	0.1±0.0 ^a	0.1±0.0 ^a	n-3/n-6	8.8±0.2 ^a	10.0±0.9 ^b
C24:1n-9	0.5±0.1 ^a	0.5±0.1 ^a	DHA/EPA	4.2±0.2 ^a	4.2±0.1 ^a
MUFA	23.9±0.2 ^a	23.0±0.3 ^a	EPA/ARA	2.7±0.1 ^a	3.7±0.4 ^b
C18:2n-6	0.9±0.0 ^a	1.3±0.1 ^b			

3 讨论

3.1 野生和养殖牙鲈亲鱼组织脂肪含量的比较

影响鱼类组织生化成分的因素很多, 包括鱼类的生理状况、养殖环境、饲料的种类及组成等, 其中以饲料的影响最为明显, 有观点认为人工养殖投喂的饲料脂肪含量较高, 从而导致了鱼体脂肪含量的升高^[7-8]。本研究中, 野生亲鱼肌肉和卵中的脂肪含量显著低于养殖亲鱼, 主要是由亲鱼的摄食饵料和生存环境两方面的原因造成的。一方面, 本研究所采集的养殖亲鱼除投喂少量冰鲜杂鱼外, 以投喂配合饲料为主, 配合饲料中的脂肪含量较高^[9], 而野生亲鱼在自然海区内主要以小型鱼类为食, 其摄食的小型鱼类脂肪含量在 5%左右^[10-12]; 另一方面, 野生牙鲈生活在自然水域中, 活跃的捕食活动消耗了大量能量, 导致脂肪在鱼体内的积累明显减少, 而养殖亲鱼具有更为充足的食物保证, 活动空间有限, 运动强度相对较低, 因此养殖牙鲈可能更容易蓄积脂肪^[13-14]。对不同生活环境中的大盖巨脂鲤(*Colossoma macropomum*)^[15]、大西洋鲱(*Salmo salar*)^[16]、真鲷^[17]和大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[18]

等的研究结果也表明, 养殖条件下的鱼类肌肉中的脂肪含量更高。肝脏在鱼类的脂肪代谢中起重要作用, 是脂肪合成与转化的主要场所, 本研究中, 野生亲鱼肝脏脂肪含量与养殖亲鱼无显著差异, 这可能是因为外源脂肪在满足机体需求的情况下, 首先在肝脏中完成代谢过程, 除部分用于能量消耗外, 多余的脂肪转移到肌肉中进行储存, 在性腺发育过程中, 向卵转移, 以满足卵的营养需求。

脂肪在不同组织中的含量具有一定的种间特异性。野生和养殖牙鲈亲鱼肝脏脂肪含量分别高达 40.15%和 41.24%, 显著高于肌肉和卵中的脂肪含量, 这一结果与海捕灰鲳(*Pampus cinereus*)亲鱼脂肪在各组织中的含量具有明显不同, 灰鲳亲鱼 IV 期卵中脂肪含量明显高于肝脏^[19]。牙鲈卵含有高达 16.29%的脂肪, 显著高于某些硬骨鱼类如斜齿鳊(*Rutilus rutilus*)、海鲈(*Lateolabrax japonica*)等^[20], 卵中脂肪含量高的现象在对大眼鲈(*Stizostedion Vitreum*)^[21]和白鲑(*Coregonus albula*)^[22]的研究中也有报道。

3.2 野生和养殖牙鲆亲鱼的组织脂肪酸组成比较

野生和养殖牙鲆亲鱼肌肉、肝脏和卵中的脂肪酸种类无显著性差异,均检测出 21 种脂肪酸,其中 SFA 有 5 种, MUFA 有 8 种, PUFA 有 8 种,表明牙鲆种属在脂肪酸组成上的保守性和稳定性。本研究中,野生亲鱼肌肉中 SFA 与养殖亲鱼无显著差异, MUFA 和 PUFA 却显著低于养殖亲鱼;对海鲈的研究则表明,野生海鲈肌肉中 SFA 和 PUFA 的含量显著高于养殖海鲈^[23],对其它鱼类的研究也得到了类似的结论^[13-14,24];对真鲷^[17]、大菱鲆^[18]、金头雕^[25]和大西洋鲑^[16]的研究显示,野生鱼类肌肉中 SFA 显著低于养殖鱼类,但 MUFA 和 PUFA 却显著高于养殖鱼类。野生牙鲆亲鱼卵中 SFA 的含量显著高于养殖亲鱼,但 PUFA 却显著低于养殖亲鱼, MUFA 的含量在两种亲鱼卵中无显著差异,野生大鳞大麻哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)^[26]亲鱼卵中 MUFA 的含量显著高于养殖亲鱼,但野生大菱鲆卵^[27]中 MUFA 的含量却显著低于养殖亲鱼。通过以上对不同组织中脂肪酸种类的分析比较,说明不同鱼种各组织中脂肪酸分布的特异性,而造成这种差异的原因可能与所摄食的饵料来源密切相关。

在牙鲆亲鱼的肌肉、肝脏和卵中, C16:0、C18:1n-9 和 DHA3 种脂肪酸的含量最高,这与对其它鱼类的研究结果一致^[21,26-28],表明以上 3 种脂肪酸在组织细胞中起着重要的结构和生理功能作用。与淡水鱼不同,海水鱼体内缺乏 δ -5 去饱和酶,不能延长短链脂肪酸,所以 PUFA 在海水鱼亲鱼营养中占有重要地位。PUFA 能够促使卵黄蛋白原的合成,加速卵母细胞发育成熟,提高产卵量和卵子质量、受精率及孵化率。DHA 和 EPA 的缺乏会损害鱼体的色素沉积和视觉系统的发育,导致鱼苗捕食能力降低,神经内分泌系统发育不良,死亡率增加。对牙鲆亲鱼的研究结果表明,野生亲鱼肌肉、肝脏和卵中 PUFA 的含量,尤其是肝脏和卵中 EPA 和 DHA 的含量均显著低于养殖亲鱼,这是因为养殖亲鱼所摄食的配合饲料中添加了一定量含有 n-3 PUFA 的鱼油。ARA 的产物二十烷酸具有较高的生物活性,能改善鱼体繁殖和卵发育的性能,所以 ARA 对于卵巢和胚胎的发育具有重要的生理功能,能够显著提高比目鱼的受精率、分裂球正常分裂率和孵化率。Furuuta 等^[29]研究发现,饲料中

高含量的 ARA(占脂肪酸的 0.2%)与牙鲆的产卵性能之间呈正相关。Mazorra 等^[30]研究表明,当饲料中 ARA 含量为 1.8%时,比目鱼的受精率、分裂球正常分裂率和孵化率均高于 ARA 含量为 0.4%处理组,同时,以含有高浓度 ARA 的饲料投喂的大西洋庸鲽(*Hippoglossus hippoglossus*)亲鱼,其卵中 ARA 的含量显著高于低含量 ARA 饲料组,类似结果在对有关其他鱼类的研究中已见报道^[1,31-32]。本研究中,野生亲鱼肌肉和卵中的 ARA 含量明显高于养殖亲鱼,这可能是由于野生牙鲆在自然海区中多摄食小型海水鱼类,从海洋食物中累计较多的 ARA,而在养殖亲鱼所摄食的配合饲料中极少补充 ARA^[33-35]。

对海水鱼类来说, n-3 与 n-6 HUFA 比例具有重要意义,饲料脂肪酸中某种组分含量的改变会影响其他组分在饲料中的作用,而且, n-3 HUFA 与其他脂肪酸的合理配比是生产高质量卵的先决条件。在本研究中,野生牙鲆亲鱼卵中 n-3/n-6 PUFA 显著低于养殖亲鱼,这一情况与对野生澳洲麦氏鲈(*Macquaria australasica*)亲鱼^[36]的研究结果类似,但野生大鳞大麻哈鱼亲鱼^[26]卵中 n-3/n-6 PUFA 却显著高于养殖亲鱼,推测这可能与养殖过程中投喂的饲料组成有关。由于 DHA 和 EPA 以及 EPA 和 ARA 在相同的新陈代谢和酶作用途径中存在竞争关系,因此明确各种必需脂肪酸之间的最适比例也非常重要,不同种类的鱼,其卵巢组织中 DHA/EPA/ARA 比值存在差异。Sargent 等^[37]在以含有不同比例的 DHA/EPA/ARA 的饲料投喂大菱鲆的研究中发现,当饲料中 DHA 的含量足够时,过量的 EPA 是无害的,然而过量或缺乏 ARA 都会对仔鱼的色素沉着产生负面影响。野生牙鲆亲鱼肌肉、肝脏和卵中 EPA/ARA 的比值均显著低于养殖亲鱼,但肝脏中 DHA/EPA 的比值显著高于养殖亲鱼,这可能是因为养殖过程中倾向性的向饲料中添加 DHA 和 EPA 有关。本研究中,养殖牙鲆亲鱼卵中 DHA/EPA=4.2, EPA/ARA=3.7, Reitan 等^[38]报道以 DHA/EPA=2 的活体饵料投喂大菱鲆幼体,可消除幼体色素异常的症状,当卵中 DHA/EPA=2 且 EPA/ARA=4 时,可以提高比目鱼卵和仔鱼的质量。推测在脂肪酸营养方面,除了满足生理条件的一定需要量之外,野生和养殖亲鱼各种脂肪酸相互比例的差异可能是影响所产卵子质量及仔稚鱼

健康状况的重要原因。

通过比较野生和养殖牙鲆亲鱼肌肉、肝脏和卵中脂肪酸组成发现, 野生和养殖牙鲆亲鱼的脂肪酸含量存在一定的差异, 说明食物来源对亲鱼脂肪酸组成产生了一定影响, 养殖牙鲆亲鱼组织中 EPA、DHA 和 n-3 PUFA 的含量均显著高于野生亲鱼, 这可能是因为人工养殖过程中在饲料中补充了一定量的 PUFA。在牙鲆亲鱼养殖过程中, 除了保证牙鲆亲鱼足够的脂肪酸营养外, 也应注意各种脂肪酸, 尤其是 PUFA 各种脂肪酸之间的添加比例, 以保证亲鱼的脂肪酸营养水平, 从而保证亲鱼的繁殖性能及受精卵和仔鱼的质量。

参考文献:

- [1] Bruce M, Oyen F, Bell G, *et al.* Development of broodstock diets for the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) with special emphasis on the importance of n-3 and n-6 highly unsaturated fatty acid to reproductive performance [J]. *Aquaculture*, 1999, 177: 85–87.
- [2] Sargent J, Bell G, Mcevoy L, *et al.* Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish [J]. *Aquaculture*, 1999, 177: 191–199.
- [3] 王际英, 苗淑彦, 李宝山, 等. 野生褐牙鲆亲鱼不同卵巢发育期脂肪和脂肪酸组成的分析与比较[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(2): 238–243.
- [4] AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International [M]. Vol. 1. Agriculture Chemical; Contaminants, Drug. 16th ed. AOAC International, Arlington, VA. 1995.
- [5] Metcalfe L D, Schmitz A A, Pelka J R. Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis [J]. *Analytical Chemistry*, 1966, 38: 514–515.
- [6] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 110–111, 262.
- [7] Hemre G I, Sandnes K. Effect of dietary lipid level on muscle composition in Atlantic salmon [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1999, 5: 9–16.
- [8] Lanari D, Poli B M, Ballestrazi R, *et al.* The effect of dietary fat and NFE levels on growing European sea bass. Growth rate, body and fillet composition, carcass traits and nutrient retention efficiencies [J]. *Aquaculture*, 1999, 179: 351–364.
- [9] Fuentes A, Fernandez-Segovia S, Juan A, *et al.* Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality [J]. *Food Chemistry*, 2010, 119: 1514–1518.
- [10] Fred H. The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectivity on digestibility determinations in tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) [J]. *Aquaculture*, 1987, 66: 163–179.
- [11] Mehmet C. Seasonal changes in the proximate chemical compositions and fatty acids of chub mackerel (*Scomber japonicus*) and horse mackerel (*Trachurus trachurus*) from the north eastern Mediterranean Sea [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2008, 43: 933–938.
- [12] Johannes R I, Thomas B. Interacting effects of diet and environmental temperature on biochemical parameters in the liver of *Leuciscusidus melanotus* (Cyprinidae: Teleostei) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1988, 5 (1): 9–19.
- [13] Alasalvar C, Taylor K D A, Zubcov E, *et al.* Differentiation of cultured and wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Total lipid content fatty acid and trace mineral composition [J]. *Food Chemistry*, 2002, 79: 145–150.
- [14] Orban E, Di Lena G, Nevigato T, *et al.* Quality characteristics of sea bass intensively reared and from lagoon as affected by growth conditions and the aquatic environment [J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67: 542–546.
- [15] Neiva Maria de Almeida, Maria Regina Bueno Franco. Determination of essential fatty acids in captured and farmed tambaqui (*Colossoma macropomum*) from the Brazilian Amazonian Area [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2006, 83: 707–711.
- [16] Bergstrom E. Effect of natural and artificial diets on seasonal changes in fatty acid composition and total body lipid content of wild and hatchery reared Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr-smolt [J]. *Aquaculture*, 1989, 82: 205–217.
- [17] Rueda F M, Lopeaz J A, Martinez F J, *et al.* Fatty acids in muscle of wild and farmed red porgy, *Pagrus pagrus* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1997, 3: 161–165.
- [18] Serot T, Gandemer G, Demaimay M. Lipid and fatty acid compositions of muscle from farmed and wild adult turbot [J]. *Aquaculture International*, 1998, 6: 331–343.
- [19] 施兆鸿, 黄旭雄, 李伟微, 等. 海捕灰鲳亲鱼不同组织中脂肪及脂肪酸分析[J]. *水产学报*, 2008, 32(2): 309–314.
- [20] Kaitaranta J K, Ackman R G. Total lipids and lipid classes of fish roe [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1981, 69B: 725–729.
- [21] Czesny S, Dabrowski K. The effect of egg fatty acid concentrations on embryo viability in wild and domesticated walleye (*Stizostedion vitreum*) [J]. *Aquatic Living Resources*, 1998, 11 (6): 371–378.
- [22] Kaitaranta J K. Lipids and fatty acids of whitefish (*Coregonus albula*) flesh and roe [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1980, 31: 1303–1308.
- [23] Periago M J, Ayala M D, Lopez-Albors O, *et al.* Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. [J]. *Aquaculture*, 2005, 249: 175–188.
- [24] Pirini M, Gatta P P, Testi S, *et al.* Effect of refrigerated storage on muscle lipid quality of sea bass (*Dicentrarchus*

- labrax*) fed on diets containing different levels of vitamin E [J]. Food Chemistry, 2000, 68: 289–293.
- [25] Kriton G I, Maria N, Alexis I K D, *et al.* Comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*); composition, appearance and seasonal variations [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37: 477–484.
- [26] Ashton H J, Farkvan D O, March B E. Fatty acid composition of lipids in the eggs and alevins from wild and cultured chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1993, 50: 648–655.
- [27] Silversand C, Norberg B, Haux C. Fatty-acid composition of ovulated eggs from wild and cultured turbot, *Scophthalmus maximus* in relation to yolk and oil globule lipids [J]. Marine Biology, 1996, 125: 269–278.
- [28] Harrel R M, Woods L C. Comparative fatty acid composition of eggs from domesticated and wild striped bass, *Morone saxatilis* [J]. Aquaculture, 1995, 133: 225–233.
- [29] Furuita H, Tanaka H, Yamamoto T, *et al.* Effects of n-3 HUFA levels in broodstock diet on the reproductive performance and egg and larval quality of the Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. Aquaculture, 2000, 187: 387–398.
- [30] Mazorra C, Bruce M, Bell J G, *et al.* Dietary lipid enhancement of broodstock reproductive performance and egg and larval quality in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) [J]. Aquaculture, 2003, 227: 21–33.
- [31] Geurden I, Couttean P, Sorgeloos S P. Effect of a dietary phospholipid supplementation on growth and fatty acid composition of European sea bass *Dicentrarchus labrax* and turbot *Scophthalmus maximus* juveniles from weaning onwards [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1997, 16: 259–272.
- [32] Bell J G, Farndale B M, Bruce M P, *et al.* Effects of broodstock dietary lipid on fatty acid composition of eggs from sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 1997, 149: 107–119.
- [33] Renon P, Malandra R, Biondi P A, *et al.* Wild and aquacultured sea breams: studies on total lipids, cholesterol and fatty acids [J]. Ingegneria Alimentaria Consumabili Animalia, 1994, 10: 21–28.
- [34] Alexis M N. Fish meal and fish oil replacers [M]//Feeding tomorrow's fish Tacon A, Basurco B.ed. Athens: Cahiers Options Me'diterrane'ennes. 1996, 22: 183–204.
- [35] Orban E, Sinesio F, Paoletti F, *et al.* Caratteristiche nutrizionali ed organoleptiche di orate (*Sparus aurata*) da acquacoltura: un esempio di come le differenti tecniche di allevamento possono influenzare la qualita del pesce [J]. Rivista Scienza Alimentare, 1996, 25: 27–36.
- [36] Sheikheldin M, Desilva S S, Aanderson T A, *et al.* Comparison of fatty acid composition of muscle, liver, mature oocytes, and diets of wild and captive Macquarie perch, *Macquaria australasica* broodfish [J]. Aquaculture, 1996, 144: 201–216.
- [37] Sargent J, Bell G, Mcevoy L, *et al.* Lipid nutrition of marine fish during early development current status and future directions [J]. Aquaculture, 1999, 179: 217–229.
- [38] Reitan K I, Rainuzzo R, Olsen Y. Influence of live feed on growth, survival and pigmentation of turbot larvae [J]. Aquaculture, 1994, 2: 33–48.

A comparative study on fatty acid composition in different tissues of the wild and cultured *Paralichthys olivaceus* broodstocks

WANG Ji-ying^{1,2}, MIAO Shu-yan³, ZHANG Li-min^{1,2*}, WANG Shi-xin^{1,2}, LIU Xu-dong³,
HUANG Bing-shan^{1,2}, SUN Yong-zhi^{1,2}

(1. Marine Fisheries Research Institute of Shandong Province, Yantai 264006, China;

2. Shandong Province Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai 264006, China

3. Shengsuo Fishery Feed Research Center of Shandong Province, Yantai 265500, China)

Abstract: Lipid contents and fatty acid composition in muscle, liver and egg of the wild and cultured *Paralichthys olivaceus* broodstocks were determined by biochemical methods, to ascertain their effects on the reproductive performance. The results indicated that lipid contents in muscle, liver and egg of both wild and cultured broodstocks were as follows: liver > egg > muscle. The lipid contents in muscle and egg of wild broodstocks were significantly lower than those of cultured ($P < 0.05$), while there were no differences of lipid content in liver between the wild and cultured; 21 fatty acids were detected in muscle, liver and egg. There were no differences of SFA in muscle between the wild and cultured ($P > 0.05$), but MUFA was significantly lower than that of cultured ($P < 0.05$). SFA in liver and egg of wild broodstocks was significantly higher than that of cultured ($P < 0.05$), but there were no differences of MUFA in liver and egg between wild and cultured ($P > 0.05$); The PUFA, especially EPA and DHA in muscle, liver and egg of wild were significantly lower than those of cultured ($P < 0.05$), but ARA of wild was significantly higher ($P < 0.05$); The ratio of n-3/n-6 PUFA and EPA/ARA in muscle, liver and egg of wild were significantly lower than those of cultured ($P < 0.05$), the ratio of DHA/EPA in liver of wild was significantly higher ($P < 0.05$), while there were no differences of the ratio of DHA/EPA in muscle between wild and cultured ($P > 0.05$). Results of this study indicated that, PUFA, especially DHA, EPA and ARA, could be conjectured to be essential to *P. olivaceus* during sexual maturation. Thus, in order to ensure the reproductive performance and quality of egg and fry, an adequate supply of fatty acids was needed, meanwhile, the proportion of several fatty acids, especially PUFA, also needed to be considered.

Key words: *Paralichthys olivaceus*; broodstock; wild; cultured; fatty acid

Corresponding author: ZHANG Li-min. E-mail: zhanglimin@126.com