

# 超声成像技术在大西洋鲑早期性别及发育期鉴别的应用研究

仇登高<sup>1,2,5</sup>, 徐世宏<sup>1,5</sup>, 刘 鹰<sup>1,5,6</sup>, 宋昌斌<sup>3</sup>, 迟 良<sup>1</sup>, 王顺奎<sup>4</sup>, 于凯松<sup>4</sup>

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 福建省水产研究所 福建省海洋生物增养殖与高值化利用重点实验室, 福建 厦门 361013; 3. 中国科学院 半导体研究所, 北京 100083; 4. 山东东方海洋科技股份有限公司, 山东 烟台 264003; 5. 海洋生态养殖技术国家地方联合工程实验室, 山东 青岛 266071; 6. 大连海洋大学, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 采用 KX-5100 便携式 B 超机(7.5MHz 高频线阵探头)对 273 尾 1 龄或 2 龄大西洋鲑(*Salmo salar*)的性别及性腺发育阶段进行了检测, 同时对检测的大西洋鲑进行了解剖和取样, 利用组织学观察法验证了超声成像技术对大西洋鲑雌雄性别和发育阶段的鉴别结果。研究结果显示: 利用超声成像技术鉴别雌、雄大西洋鲑的平均准确率为 86%, 且鉴别雌鱼的准确率(93%)较雄鱼(81%)高。超声成像技术鉴别 II 期+III 期、IV 期、V 期卵巢的准确率分别为 87%、92%和 100%, 鉴别 II 期、III 期、IV 期、V 期精巢的准确率分别为 64%、71%、86%和 84%。总体看来, 超声成像技术鉴别早期性腺(II 期~III 期)发育的准确率较低, 仅为 75%, 而对晚期性腺(IV 期~V 期)发育鉴别的准确率较高, 达到 89%。

**关键词:** 超声成像技术; 大西洋鲑(*Salmo salar*); 早期性别鉴别; 性腺发育阶段

中图分类号: Q955 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)06-0023-07

doi: 10.11759/hyxx20141003001

大西洋鲑(*Salmo salar*)属鲑形目(Salmoniformes)、鲑科(Salmonidae)、鲑属(*Salmo*), 为世界范围养殖的冷水性鱼类。大西洋鲑在性成熟阶段, 雌鱼体色会变成棕色或黄色, 雄鱼鳞片上的黑色斑点变为红色, 上下颌延长并弯曲成钩状<sup>[1]</sup>。但是, 在性腺开始发育初期, 雌、雄个体的第二性征不明显, 从外部形态难以鉴别其性别和性腺发育期, 而在同池饲养的过程中, 雌、雄大西洋鲑可以各自分泌性激素诱导对方性腺成熟<sup>[2]</sup>, 造成大西洋鲑的生长趋缓、鱼肉品质下降等问题。因此, 如何快速准确地鉴别大西洋鲑早期性别对促进科学管理和精准养殖十分有必要。目前, 国内外传统的性别鉴别技术主要有腹腔外科手术法<sup>[3]</sup>、内窥镜法<sup>[4]</sup>、卵黄蛋白浓度分析法<sup>[5]</sup>、放射免疫测定法<sup>[6]</sup>等。这些检测技术尽管可以获得比较高的鉴别准确率, 但是耗时较长且工作量较大, 并且还要侵入鱼类体内, 容易造成细菌等微生物的感染, 甚至可能导致检测鱼的死亡<sup>[7]</sup>。相比之下, 超声成像技术是一项无损伤、速度较快、准确率高的检测技术, 当前已广泛应用于医疗和兽医行业。国外一些学者将超声成像技术引入到鱼类养殖领域, 如 Shields<sup>[8]</sup>等采用超声波诊断技术检测了庸鲈(*Hippoglossus hippoglossus*)卵母细胞成熟程度和排卵期; Blythe<sup>[9]</sup>等超声检查了条纹狼鲈(*Morone saxatilis*)雌雄性别和成熟状况;

Wildhaber<sup>[10]</sup>等报道了超声鉴别亚拉巴马铲鲟(*Scaphirhynchus platorynchus*)性别技术; Mattson<sup>[11]</sup>初步建立了超声波扫描技术鉴别大西洋鲑性别和性腺大小的方法, 同时作者指出超声图像质量和测量可靠性需要进一步改进和提高。目前, 随着科学技术的飞跃发展, 超声成像技术已升级换代, 有必要采用现代的、图像更为清晰细腻的便携式超声诊断仪进一步优化大西洋鲑早期性别及性腺发育阶段的无损鉴别技术。基于上述考虑, 作者通过超声成像技术检测大西洋鲑的性别和性腺发育阶段, 掌握不同发育阶段卵巢和精巢的超声波图像特征, 期为超声波检测技术在中国鱼类养殖中的应用研究提供理论参考。

收稿日期: 2014-10-03; 修回日期: 2015-05-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31472312, 41306152, 31402283); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2014BAD08B09); 江苏省重点研发项目(BE2015325)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 31472312, 41306152, 31402283; The National Key Technologies R&D Program of China, No.2014BAD08B09; Jiangsu Province Key R&D Project, No. BE2015325]

作者简介: 仇登高(1982-), 男, 湖南汨罗人, 助理研究员, 博士, 主要从事现代渔业工程与养殖生态学研究, E-mail: qdg0112@163.com; 刘鹰, 通信作者, 教授, E-mail: yingliu@dlou.edu

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验鱼

实验所用大西洋鲑于 2012 年 4 月~12 月取自山东东方海洋科技股份有限公司开发区分公司鱼类研究中心, 随机取 1~2 龄大西洋鲑 273 尾, 体质量为 200~2 880 g, 体长为 25.2~54.5 cm。

### 1.2 方 法

#### 1.2.1 仪器

采用徐州市凯信电子设备有限公司生产的全数字 B 超诊断仪 KX5100。探头选择线阵宽频探头, 频率为 7.5 MHz, 扫描深度选择为 6~24 cm。

#### 1.2.2 实验鱼饲养环境

降海后的大西洋鲑饲养在水温相对恒定的循环水养殖生产系统的八边形水泥池内, 养殖池规格为长 7 m、宽 7 m、深 2.3~2.5 m, 养殖期间盐度为  $28\pm 2.7$ , 水温为 13.6~15.0℃。

#### 1.2.3 操作方法

取样前将实验鱼用 MS-222(20 ppm ~40 ppm)麻醉, 待大西洋鲑安静不挣扎时, 采用 KX-5100 超声波诊断仪(线阵高频探头, 7.5 MHz)进行性腺的超声波扫描并拍照。检测时, 被检测鱼侧放于光滑的桌面, 鱼的腹部朝向操作者, 操作者手持探头, 将探头对准脊椎方向, 并紧贴鱼体鳃盖后缘呈 45°进行测量, 轻轻摆动探头以获得较清晰的图像(图 1)。



图 1 手持探头的姿势

Fig. 1 Positioning of ultrasound transducer

### 1.3 数据统计

采用 SPSS18.0 统计软件和 Excel 对测定结果进行分析, 实验数据用平均值±标准差(Mean±SD)表示。

## 2 结 果

### 2.1 大西洋鲑不同性腺发育阶段的超声图像特征及检测结果

实验开始时, 雌性大西洋鲑(200~300g)超声成像技术获得的卵巢超声图像呈小三角形(图 2-1)。对应的组织学观察显示, 在数量和面积上, 卵巢内部主要以第 2 时相初级卵母细胞为主(图 2-2)。卵巢进入 期时, 超声成像技术所得到的图像呈类似三角形的形状, 结构较紧密(图 2-3)。对应组织学观察显示, 此期卵巢内生殖细胞以第 3 时相进入大生长期的初级卵母细胞为主, 细胞体积明显变大。图 2-4 显示 期中初级卵母细胞, 细胞近似椭圆形, 伴随细胞的发育核仁增大, 细胞质内含有卵黄颗粒, 分布在细胞质的部分区域, 此期细胞核还未出现极化现象。卵巢发育至第 4 时相早期时, 该期超声波图像类似于 期, 呈三角形。当卵巢发育进入第 4 时相中、后期及第 5 时相时, 此阶段超声波图像显示卵巢位于肾脏的一侧, 在图像上可清楚地看到白色圆形亮点结构, 该亮点为卵细胞(图 2-5)。对应组织学观察显示, 期卵巢内生殖细胞主要以第 4 时相初级卵母细胞为主, 按照卵母细胞的核偏移情况将此期卵母细胞分成早、中、晚 3 个阶段。图 2-6 显示卵细胞发育至第 4 时相后期阶段, 细胞核极化, 且抵达动物极。图 2-7、2-8 分别为 期卵巢超声图像和相应的组织学观察。因此, 可通过性腺在超声波图像上所呈的三角形或白色圆形颗粒结构作为雌性大西洋鲑未成熟与成熟的判别标准, 也可作为雌雄鉴别的标准。

雄性大西洋鲑(约 200g)精巢为 期, 这个时期精巢在超声波图像上看不出明显的特征(图 3-1)。对应组织学观察显示, 期精巢的精小叶内含有初级精原细胞和次级精原细胞, 初级精原细胞单个位于精小叶边缘, 核膜比较清晰, 中心位置有一核仁, 次级精原细胞由初级精原细胞分裂而来, 往往位于精小叶内部的精小囊中(图 3-2)。图 3-3 显示 期精巢的超声波图像也无明显的特征, 图 3-4 为此时图像所对应的组织学观察。当精巢发育至 期时, 此期的超声波图像显示精巢在肾脏的上部, 呈现不规则黑影(图 3-5)。对应的组织学观察显示, 发育至 期的精巢开始出现少量的精子, 但是精小叶内部精子细胞占很大部分, 另还含有少量的初级精母细胞及次级精母细胞。此阶段的精子细胞排列比较紧密, 发育基

本上处于同步状态, 精子细胞的着色比初级精母细胞和次级精母细胞要深, 嗜碱性能力较强(图 3-6)。图 3-7、3-8 分别为 期精巢超声图像和相应的组织

学观察。因此, 可通过观察精巢在 B 超诊断仪上所呈现出不规则黑影的超声波图像作为雄性大西洋鲑成熟的判别标准。

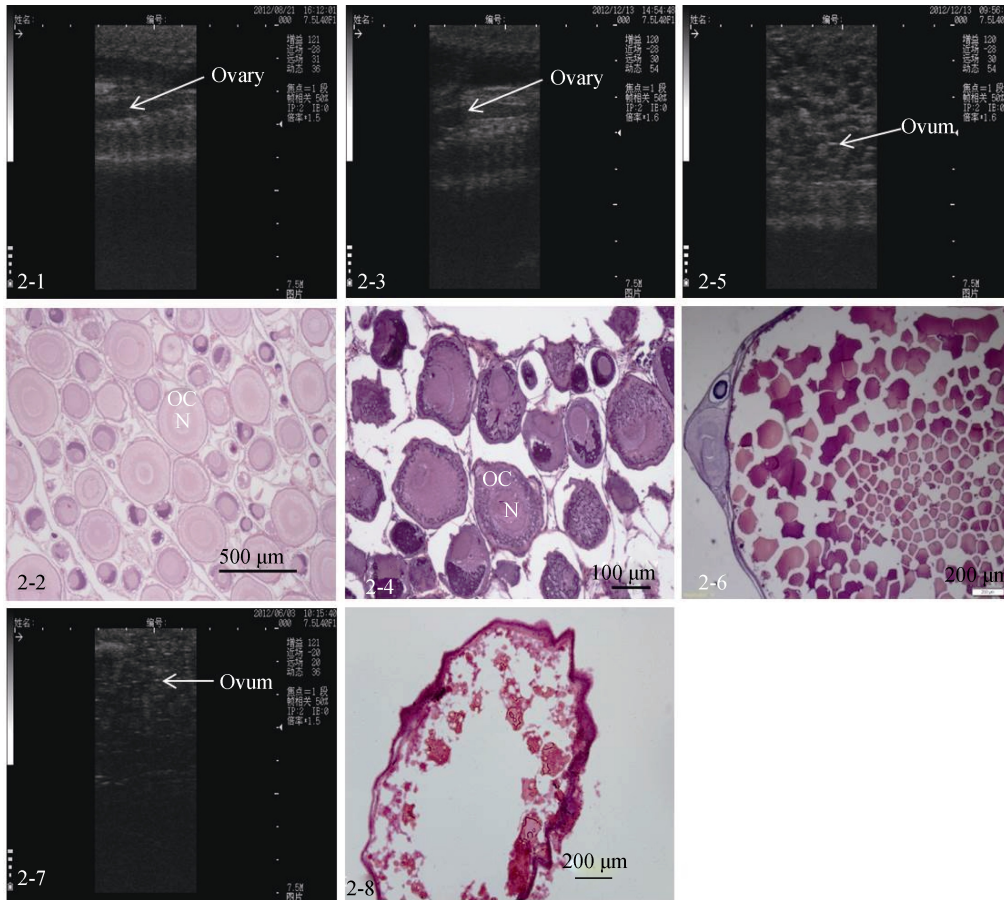


图 2 大西洋鲑卵巢超声图像和组织学观察

Fig. 2 Ultrasound and histological images of Atlantic salmon ovary

2-1. 期卵巢超声波图像; 2-2. 期卵巢; 2-3. 期卵巢超声波图像; 2-4. 期卵巢; 2-5. 期卵巢超声图像; 2-6. 期卵巢; 2-7. 期卵巢超声图像; 2-8. 期卵巢; Ovary. 卵巢; Ovum. 卵子; OC. 卵母细胞; N. 细胞核  
2-1. Ultrasound image of ovary at phase II; 2-2. ovary at phase II; 2-3. ultrasound image of ovary at phase III; 2-4. ovary at phase III; 2-5. ultrasound image of ovary at phase IV; 2-6. ovary at phase IV; 2-7. ultrasound image of ovary at phase V; 2-8. ovary at phase V; OC. oocyte; N. nucleus

从上述超声波图像可得到, 不同发育阶段的卵巢和精巢的超声波图像有比较明显的差异: 期和期卵巢的超声波图像呈小三角形, 结构紧密; 期和期卵巢的超声图像呈白色亮点的圆形颗粒结构。而期和期精巢的超声波图像则呈不规则黑影, 但期和期精巢的超声波图像无明显的判别特征, 这两个时期的精巢需要排除期、期、期和期卵巢及期和期精巢来确定。

## 2.2 大西洋鲑性别及性腺发育期的鉴别结果

利用超声成像技术鉴别雌鱼的准确率较雄鱼高, 超声成像技术正确鉴别出经组织学观察法验证的 107 尾雌鱼中的 99 尾, 准确率为 93%; 在鉴别的

166 尾雄鱼中, 经验证有 135 尾雄鱼, 准确率为 81%; 超声成像技术共计鉴别 273 尾鱼, 正确鉴别出 234 尾, 雌雄平均准确率达到 86%(表 1)。

超声成像技术鉴别雌鱼卵巢发育的准确率随卵巢的发育而提高, 而雄鱼精巢发育的准确率随精巢的发育呈现先上升后下降的趋势, 如表 2 所示: 此技术鉴别期+期、期卵巢的准确率分别为 87%、92%, 对期卵巢鉴别的准确率达到 100%。超声成像技术鉴别期精巢的准确率仅为 64%, 对期、期精巢鉴别的准确率分别为 71%、86%, 精巢发育至期时的准确率为 84%。超声成像技术鉴别雌雄性腺发育阶段的平均准确率为 82%。超声成像技术鉴别

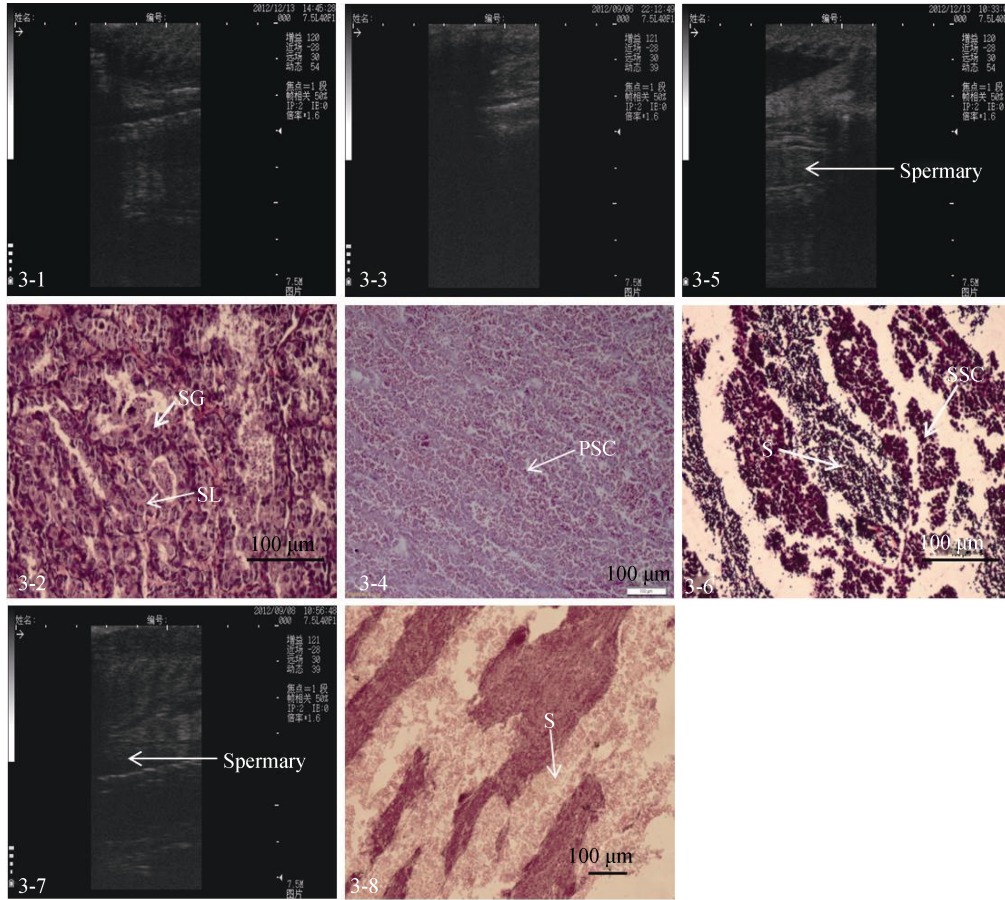


图3 大西洋鲑精巢超声图像和组织学观察

Fig. 3 Ultrasound and histological images of Atlantic salmon spermary

3-1. 期精巢超声波图像; 3-2. 期精巢; 3-3. 期精巢超声波图像; 3-4. 期精巢; 3-5. 期精巢超声波图像; 3-6. 期精巢; 3-7. 期精巢超声波图像; 3-8. 期精巢; Spermary. 精巢; SG. 精原细胞; SL. 精小叶; PSC. 初级精母细胞; SSC. 次级精母细胞; S. 精子  
 3-1. ultrasound image of spermary at phase II; 3-2. spermary at phase II; 3-3. ultrasound image of spermary at phase III; 3-4. spermary at phase III; 3-5. ultrasound image of spermary at phase IV; 3-6. spermary at phase IV; 3-7. ultrasound image of spermary at phase V; 3-8. spermary at phase V; SG. spermatogonia; SL. seminal lobule; PSC. primary spermatocytes; SSC. secondary spermatocytes; S. spermatozoa

表1 大西洋鲑性别的超声波鉴别结果

Tab. 1 Sex identification results from ultrasound imaging in Atlantic salmon

性别	样本数 (尾)	超声波检测	
		正确数(尾)	准确率(%)
雌	107	99	93
雄	166	135	81
总计	273	234	86

早期性腺( ~ 期)发育的准确率较低, 仅为 75%; 对后期性腺( ~ 期)发育鉴别的准确率较高, 达到 89%。

### 3 讨论及结论

#### 3.1 应用超声成像技术鉴别大西洋鲑性别及性腺发育的分析

有研究报道, 雌、雄鱼可以各自产生性激素引诱

表2 大西洋鲑性腺发育的超声波鉴别结果

Tab. 2 Results from ultrasound imaging of gonadal development in Atlantic salmo

性别	性腺发育期(尾)	正确数(尾)	准确率(%)
雌	+ (54)	47	87
	(37)	34	92
	(16)	16	100
雄	(50)	32	64
	(28)	20	71
	(56)	48	86
	(32)	27	84
总计	273	224	82

注: II+III为大西洋鲑卵巢的II期和III期; 括号内数字为实际检测的大西洋鲑个体数

对方<sup>[2]</sup>, 进而促进性腺提前发育, 因而在鱼类养殖生产过程中, 较早地鉴别雌、雄个体就显得非常有意

义。然而,早期阶段的大西洋鲑第二性征不明显,难以从外表形态上判别雌、雄个体,所以性别鉴别一直制约着大西洋鲑养殖业的规模化发展。国内外水产工作者在鱼类性别鉴别方面开展了很多探索工作,并构建了一些新的诊断技术。Martin<sup>[12]</sup>等采用超声成像技术对银大麻哈鱼(*Oncorhynchus kisutch*)幼鱼和成熟亲本进行雌雄鉴别,结果表明此技术对未成熟个体很难鉴别,而对成熟个体能清晰地判别雌雄,并指出超声波快速鉴别雌雄活鱼是可行的。Mattson<sup>[11]</sup>利用超声波扫描技术鉴别大西洋鲑性别,建立了雌、雄个体超声诊断法检测的性腺直径与卡尺测量的性腺直径相关函数及相关系数。Karlsen<sup>[13]</sup>等采用超声波诊断技术对大西洋鲑(*Gadus morhua*)性别进行了鉴别,其准确率在95%以上。Martin-Robichaud<sup>[14]</sup>等利用超声波技术检查了3种比目鱼和黑线鳕(*Melanogrammus aeglefinus*)的性别及性腺成熟度,结果表明成熟和未成熟卵巢相对比较容易区分,精巢则很难区分。Wildhaber<sup>[10]</sup>等利用内窥镜和超声波图像对短吻鲟(*Scaphirhynchus platorynchus*)进行性别鉴别,结果显示:内窥镜法鉴别短吻鲟性别的准确率(88%)要高于超声波法鉴别的准确率(69%)。Frost<sup>[15]</sup>等利用超声波技术对红大麻哈鱼进行性别鉴别的研究,结果表明:3龄红大麻哈鱼鉴别的平均准确率为97.7%,而4龄鱼的平均准确率则为94.4%。目前,关于超声成像技术鉴别性腺发育阶段的研究较少,Blythe<sup>[9]</sup>等利用超声波图像鉴别条纹狼鲈性别及成熟状况,结果显示成熟的5龄条纹狼鲈亲本鉴别的准确率为95%,2龄雌性杂交条纹狼鲈(条纹狼鲈×白鲈)鉴别的准确率高达100%,而雄性1龄幼鱼和成熟的2龄杂交狼鲈鉴别的准确率分别为42%、45%。Moghim<sup>[7]</sup>等采用超声波诊断技术鉴别闪光鲟(*Acipenser stellatus*)期精巢的准确率为76.2%,期、期精巢的准确率为96.5%;鉴别期、期卵巢的准确率为99.3%,期卵巢的准确率为100%。Colombo<sup>[16]</sup>等研究了密西西比铲鲟鱼(*Scaphirhynchus platorynchus*)性腺不同发育阶段的超声成像图像特征,结果显示鉴别F<sub>v</sub>期、F<sub>1</sub>期、F<sub>2</sub>期、F<sub>3</sub>期、F<sub>4</sub>期、F<sub>6</sub>期卵巢的准确率分别为75%、90%、100%、100%、100%和40%,而M<sub>v</sub>期、M<sub>1</sub>期、M<sub>2</sub>期精巢的准确率分别为100%、94%和100%。

作者采用超声成像技术对大西洋鲑性别和性腺发育的鉴别结果表明,超声成像技术对雌性个体鉴别的准确率为93%,高于对雄性个体鉴别的准确率

(81%);超声成像技术鉴别早期性腺发育的准确率为75%,低于对晚期性腺发育鉴别的准确率(89%)。这与超声成像技术检测闪光鲟<sup>[7]</sup>、西伯利亚鲟<sup>[17]</sup>的鉴别准确率接近。因此,在本实验条件下,应用当前较先进的数字化超声诊断仪鉴别大西洋鲑性别及性腺发育阶段是一种可行的诊断技术。

### 3.2 超声成像技术检测方法的分析

本研究结果表明,期、期卵巢的超声波图像呈小三角形,结构紧密;期和期卵巢的超声波图像呈白色亮点的圆形颗粒结构。而期和期精巢的超声波图像则呈不规则黑影,期和期精巢的超声波图像无明显的判别特征,这两个时期的精巢需要排除期、期、期和期卵巢及期和期精巢来确定。Moghim<sup>[7]</sup>等利用超声波技术检测体长大于95 cm的闪光鲟249尾,结果表明:成熟精巢的图像比较均匀,精巢图像的亮度较卵巢明显减弱,且边缘比较清晰平滑,而未成熟精巢的图像呈狭窄的绳索状结构,由于它们的体积较小难以被发现;成熟卵巢的超声波图像呈现明亮的颗粒状结构,未成熟卵巢的超声波图像则显示较亮层状结构,性腺的边缘比较模糊。墨瑞鳕(*Maccullochella peelii peelii*)<sup>[18]</sup>、大西洋鲑<sup>[13]</sup>和高首鲟(*Acipenser transmontanus*)<sup>[19]</sup>性腺的超声波图像特征与Moghim<sup>[7]</sup>等对闪光鲟的阐述比较接近。本实验所检测的大西洋鲑性腺的超声图像特征与上述鱼类也类似,这表明虽然不同鱼类性腺的外部形态特征和性腺发育状况存在一些差异,但是性腺的超声成像图像呈现出较大的相似性。

### 3.3 超声成像技术检测结果差异的探讨

本研究采用超声成像技术判别早期性腺(期~期)发育的准确率(75%)明显低于后期性腺(期~期)发育的准确率(89%),这与张涛<sup>[17]</sup>等对西伯利亚鲟的研究结论相吻合。在性腺生长的过程中,其发育无明显的界限,加之在性腺发育的早期阶段性腺周围具有较多的脂肪,这些都会影响操作人员对性腺超声成像图像的准确判断,这些应该是导致超声成像技术鉴别性腺发育阶段结果存在着较大差异的主要影响因素。为了客观、高效和准确地鉴别鱼类性别及性腺发育阶段,并促使超声成像技术进行常态化应用,有必要对此进行更深入地系统研究。

参考文献:

[1] Dempster T, Juell J E, Fosseidengen J E, et al. Behav-

- ior and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) subjected to short-term submergence in commercial scale sea-cages[J]. *Aquaculture*, 2008, 276: 103-111.
- [2] 温海深, 林浩然. 环境因子对硬骨鱼类性腺发育成熟及其排卵和产卵的调控[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 151-155.  
Wen Haishen, Lin Haoran. Effect of environmental factors on gonadal maturation as well as its ovulation and spawning in teleosts[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12 (1): 151-155.
- [3] 陈细华, 危起伟, 朱永久, 等. 低龄中华鲟外科手术性别鉴别技术[J]. *中国水产科学*, 2004, 11 (4): 371-374.  
Chen Xihua, Wei Qiwei, Zhu Yongjiu, et al. Surgical techniques of sex determination in young *Acipenser sinensis*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11 (4): 371-374.
- [4] Kynard B, Kieffer M. Use of a borescope to determine the sex and egg maturity stage of sturgeons and the effect of borescope use on reproductive structures[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2002, 18: 505-508.
- [5] Tao Y, Hara A, Hodson R G, et al. Purification, characterization and immunoassay of striped bass (*Morone saxatilis*) vitellogenin[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1993, 12: 31-46.
- [6] Sullivan C. Reproduction of striped bass, *Morone saxatilis* (Walbaum), broodstock: monitoring maturation and hormonal induction of spawning[J]. *Aquaculture Research*, 1993, 24: 211-222.
- [7] Moghim M, Vajhi A, Veshkini A, et al. Determination of sex and maturity in *Acipenser stellatus* by using ultrasonography[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2002, 18: 325-328.
- [8] Shields R, Davenport J, Young C, et al. Oocyte maturation and ovulation in the Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* (L.), examined using ultrasonography[J]. *Aquaculture Research*, 1993, 24: 181-186.
- [9] Blythe B, Helfrich L A, Beal W, et al. Determination of sex and maturational status of striped bass (*Morone saxatilis*) using ultrasonic imaging[J]. *Aquaculture*, 1994, 125: 175-184.
- [10] Wildhaber M, Papoulias D, DeLonay A, et al. Gender identification of shovelnose sturgeon using ultrasonic and endoscopic imagery and the application of the method to the pallid sturgeon[J]. *Journal of Fish Biology*, 2005, 67: 114-132.
- [11] Mattson N. A new method to determine sex and gonad size in live fishes by using ultrasonography[J]. *Journal of Fish Biology*, 1991, 39: 673-677.
- [12] Martin R W, Myers J, Sower S A, et al. Ultrasonic imaging, a potential tool for sex determination of live fish[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 1983, 3: 258-264.
- [13] Karlsen O, Holm J C. Ultrasonography, a non-invasive method for sex determination in cod (*Gadus morhua*)[J]. *Journal of Fish Biology*, 1994, 44 (6): 965-971.
- [14] Martin-Robichaud D, Rommens M. Assessment of sex and evaluation of ovarian maturation of fish using ultrasonography[J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32: 113-120.
- [15] Frost D A, McAuley W C, Kluver B, et al. Methods and accuracy of sexing sockeye salmon using ultrasound for captive broodstock management[J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2014, 76: 153-158.
- [16] Colombo R E, Wills P S, Garvey J E. Use of ultrasound imaging to determine sex of shovelnose sturgeon[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2004, 24: 322-326.
- [17] 张涛, 颜世伟, 庄平, 等. 西伯利亚鲟性别及性腺发育的超声波鉴别[J]. *水产学报*, 2010, 34 (1): 72-79.  
Zhang Tao, Yan Shiwei, Zhuang Ping, et al. Determination of sex and gonad development in *Acipenser baerii* by using ultrasonography[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34 (1): 72-79.
- [18] Newman D M, Jones P L, Ingram B A. Sexing accuracy and indicators of maturation status in captive Murray cod *Maccullochella peelii peelii* using non-invasive ultrasonic imagery[J]. *Aquaculture*, 2008, 279: 113-119.
- [19] Doroshov S I, Moberg G P, van Eenennaam J P. Observations on the reproductive cycle of cultured white sturgeon, *Acipenser transmontanus*[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1997, 48: 265-278.

# The application of ultrasound imaging technology in the early determination of sex and gonadal development in Atlantic salmon (*Salmo salar*)

QIU Deng-gao<sup>1, 2, 5</sup>, XU Shi-hong<sup>1, 5</sup>, LIU Ying<sup>1, 5, 6</sup>, SONG Chang-bin<sup>3</sup>, CHI Liang<sup>1</sup>, WANG Shun-kui<sup>4</sup>, YU Kai-song<sup>4</sup>

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China; 3. Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China; 4. Shandong Oriental Ocean Sci-Tech Co. Ltd, Yantai 264003, China; 5. National & Local Joint Engineering Laboratory of Ecological Mariculture, Qingdao 266071, China; 6. Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Received:** Oct. 3, 2014

**Key words:** ultrasound imaging technology; *Salmo salar*; early sex determination; gonadal development

**Abstract:** Cultured Atlantic salmon ( $n = 273$ ), aged 1–2 years were examined using an ultrasound device (KX-5100; with a 7.5-MHz linear probe) from April to December of 2012. Following ultrasound scanning, necropsy and sampling were performed and histological specimens were prepared to independently confirm ultrasound determinations of sex and developmental stages. Results showed that, on average, the accuracy of identification using ultrasound imaging technology was 86% in Atlantic salmon, and there was a higher accuracy of sex identification of females (93%) than males (81%). In addition, the accurate identification of stages , and in the ovaries of female fish were 87%, 92% and 100%, respectively, while the accurate identification of stages , , and in male testes were 64%, 71%, 86% and 84%, respectively. Overall, the accuracy of gonadal development in early stages (i.e., stages and ) was lower (75%) than that of the later stages (i.e., stages and ), which was 89%.

(本文编辑: 谭雪静)