

北太平洋长鳍金枪鱼卵巢的发育特征

朱伟俊¹, 许柳雄^{1,2,3,4*}, 江建军¹, 林东明^{1,3}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海海洋大学, 上海 201306;

3. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海海洋大学, 上海 201306;

4. 远洋渔业协同创新中心, 上海海洋大学, 上海 201306)

摘要: 根据2013年10月–2014年2月在北太平洋海域(29°08′~41°08′N, 163°50′~144°19′W)采集的364尾长鳍金枪鱼的卵巢样本, 利用组织学分析, 详细描述了长鳍金枪鱼卵巢、卵细胞的发育阶段。结果显示, 北太平洋长鳍金枪鱼卵巢内同时存在不同时相的卵细胞, 为分批产卵类型; 组织学上, 长鳍金枪鱼的卵细胞发育过程分为6个时相, 卵巢发育过程分为6个时期; 卵巢成熟指数在成熟期为I~V期时逐渐增大, 在VI期时减小; 北太平洋长鳍金枪鱼产卵高峰为12月中旬和1月初, 其卵巢成熟指数随纬度的升高呈递减趋势, 随经度变化规律不明显。研究表明, 通过对北太平洋长鳍金枪鱼卵巢的发育特征的分析与探讨, 可为北太平洋长鳍金枪鱼的资源状况评估及渔业可持续发展提供生物学信息。

关键词: 长鳍金枪鱼; 卵巢; 发育特征; 成熟指数; 北太平洋

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

北太平洋长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)是金枪鱼延绳钓的重要捕捞对象之一^[1], 资源状况受到中西太平洋渔业委员会(WCPFC)和美洲间热带金枪鱼委员会(IATTC)的关注^[2-3]。国内外学者^[4-10]对于金枪鱼类卵巢发育特征开展了相关研究, 但是关于北太平洋长鳍金枪鱼的繁殖生物学研究较少, 我国尚未见到相关报道。近年来, 北太平洋长鳍金枪鱼的资源状况评估及渔业可持续发展逐渐引起学者们的重视, 了解北太平洋长鳍金枪鱼卵巢发育特征、繁殖时间和繁殖区域, 有利于提高资源评估的准确性, 可为北太平洋长鳍金枪鱼的资源状况评估及渔业可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间与地点

本研究中的叉长、体质量和卵巢重量等数

据均为作者2013年10月19日–2014年2月25日随大连远洋金枪鱼钓有限公司的“天祥16号”超低温金枪鱼延绳钓渔船在北太平洋海域调查期间收集。调查海域为29°08′~41°08′N, 163°50′~144°19′W(图1)。共测量364尾长鳍金枪鱼的叉长、体质量、卵巢重量, 鉴定其性腺成熟度并采集卵巢样本。

1.2 样本测量与数据处理

各调查站点的渔获物随机取样并按照海洋调查规范进行渔获物生物学测定^[11], 叉长测量使用精度为1 cm的皮卷尺, 体质量测量使用精度为1 kg的弹簧秤, 卵巢重量测量使用精度为2 g的杆秤。个体经解剖后鉴定性别, 性腺成熟度分为I~VI期进行目测法鉴定。取小块卵巢保存于10%中性福尔马林溶液中, 0℃保存, 以备组织学观察。

卵巢成熟指数(GSI, gonad somatic index):

收稿日期: 2015-10-11 修回日期: 2016-06-28

资助项目: 农业部渔业渔政管理局太平洋长鳍金枪鱼资源探捕项目(D-8006-13-8012); 农业部渔业局渔业观察员项目(D-8002-13-8005A)

通信作者: 许柳雄, E-mail: lxxu@shou.edu.cn

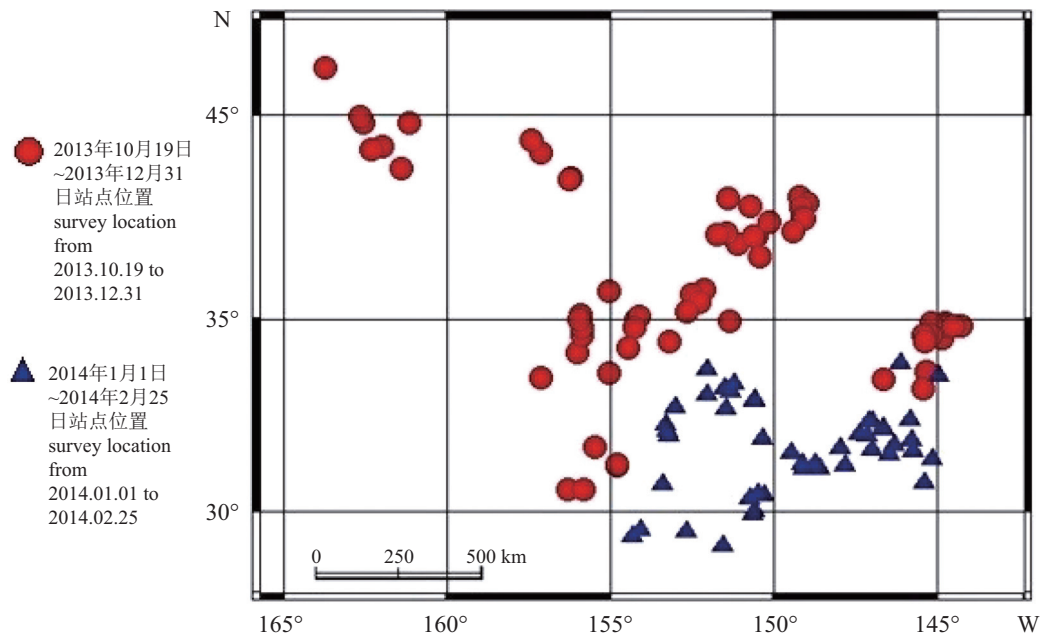


图1 调查站点位置

Fig. 1 Survey locations

$$GSI(1) = W_g / W_b (\text{g/g}); GSI(2) = W_g / FL^3 (\text{g/cm}^3)$$

$GSI(1)$ 指运用去内脏体质量计算卵巢成熟指数, $GSI(2)$ 指运用个体叉长计算卵巢成熟指数。

W_b 为长鳍金枪鱼去内脏体质量(g); W_g 为性腺重量(g); FL 为个体叉长(cm)

利用SPSS 17.0中相关性检验, 对北太平洋长鳍金枪鱼卵巢发育期、卵巢重量、卵巢成熟指数进行相关性分析。

1.3 实验方法

本研究采用常规石蜡切片步骤^[12-14]进行实验, 经过固定、脱水、透明、浸蜡、包埋、修蜡、切片、贴片、染色、封片10个步骤, 具体要求:

固定 固定是为了使组织在切片制作的过程中保持细胞的形态结果, 使之与存活时相似, 便于后期观察^[13]。该步骤在海上完成, 从样品中获取部分组织, 立即放置于事先准备好的10%福尔马林溶液中, 溶液浸没样品组织。其中保存溶液体积至少为组织块体积的20倍, 固定时间大于24 h, 以确保样品组织各个部位固定充分。

脱水 为排除残余固定液对实验的影响, 在脱水前, 将组织样本取出, 用流水冲洗片刻。随后将组织块置入包埋盒内包埋定位, 依次浸没于浓度从低到高的酒精溶液中进行梯度脱水, 酒精浓度分别为70%、80%、90%、95% I、95% II、100% I、100% II, 脱水时间分

别为120、120、90、60、60、30和30 min。相同浓度酒精分为I、II两步脱水, 以避免析出水分稀释酒精浓度, 从而影响脱水效果^[12]。

透明 透明是为了帮助石蜡溶液渗入组织间, 增加组织透明度, 也有助于之后的蜡块制作^[12, 14]。由于酒精与石蜡不能互溶, 因此本研究选取二甲苯作为透明剂, 取代细胞中的酒精, 分别浸没于二甲苯:100%乙醇(1:1)45 min, 二甲苯溶液10 h过夜。

浸蜡 为防止石蜡不完全融化影响实验结果, 采用熔点为42~47 °C的硬蜡, 事先将石蜡放置于65 °C的恒温箱中静置过夜。将样品放置于包埋盒中, 倒入石蜡使其浸没组织样品, 在65 °C的恒温箱中静置4~4.5 h, 待石蜡完全融入组织中。

包埋 采用药品盒对蜡块进行包埋, 特别是在样本量较大的情况下避免了包埋纸盒制备过程中的繁琐。将浸透蜡的组织块放入药品盒中, 倒入适量65 °C石蜡液体, 将组织块调整位于蜡液中心位置便于后期修蜡, 冷藏0.5 h。

修蜡 为便于后期切片, 将静置好的蜡块取出, 修成小块长方体。

切片 将蜡块固定于切片机上进行切片, 切片厚度为6 μm, 优质的蜡带为连续性薄片, 本研究中采用莱卡RM2016轮转式切片机进行切片。

贴片 将蜡带置入水池中, 用恒温水浴

42 °C展片, 待蜡带展开后贴于载玻片上, 用恒温台43 °C进行烘干。

染色 采用苏木精-伊红染色法, 在原有的基础上针对长鳍金枪鱼性腺染色进行了改进。将烘干后的载玻片置于载玻片架上, 依次置于二甲苯溶液2次, 时间分别为10 min; 100%酒精2次, 时间分别为5 min; 95%酒精3 min; 80%酒精2 min; 70%酒精2 min; 染色: 苏木精13 min, 流水冲洗3~5 min, 0.1% HCl分化溶液3 s, 流水冲洗3~5 min, 伊红溶液10~50 s; 脱水: 70%酒精2 min, 80%酒精2 min, 95%酒精1 min, 100%酒精2次, 时间分别为5 min, 二甲苯浸润2次, 时间分别为10 min。

封片 完成染色后, 为防止载玻片过于潮湿, 将其静置片刻, 随后将盖玻片粘于载玻片上, 放置于通风处晾干。本研究使用的粘合剂为中性树胶。

2 结果

2.1 卵细胞的发育

根据组织学观察, 将北太平洋长鳍金枪鱼的卵细胞发育过程分为6个时相。各个时相的特征:

I 时相(增殖期) 卵径范围30.25~181.82 μm ; 卵径平均值92.27 μm 。细胞正处于增殖期, 频繁地进行有丝分裂以增加未来卵母细胞的数量。细胞个体小, 形状不规则, 细胞质少, 细胞核几乎布满整个细胞, 没有观察到卵黄。细胞嗜碱性强, 经染色后, 颜色较深(图版 I -1)。

II 时相(生长期) 卵径范围68.18~295.45 μm ; 卵径平均值183.53 μm 。细胞停止有丝分裂。细胞质和细胞核增长, 在细胞膜与细胞核之间出现卵黄核, 卵黄核呈现出的嗜碱性且致密的团聚物往往位于卵核附近。细胞核呈规则圆形, 位于细胞中央, 核仁大多紧贴核膜内缘, 部分位于核质内, 核质充满整个细胞核。细胞外出现一层滤泡细胞。相较 I 时相, 细胞个体增大, 细胞核所占细胞整体比例减小(图版 I -2)。

III 时相(成熟期) 卵径范围295.45~615.36 μm ; 卵径平均值466.25 μm 。细胞逐渐成熟, 形状呈圆形。滤泡细胞由单层发展为二层。在卵细胞和滤泡细胞层之间出现一薄层非细胞结构的放射膜。细胞质中出现脂肪空泡, 呈小空泡状。在卵周出现卵黄粒。细胞核呈圆形,

位于细胞中央; 核质充满整个细胞核(图版 I -3)。

IV 时相(卵黄期) 卵径范围: 584.59~1015.34 μm ; 卵径平均值784.85 μm 。开始积累卵黄, 细胞膜与细胞核之间出现卵黄, 染色成较深环带, 卵黄颗粒由外向核方向逐渐充满细胞质, 染色为深红色。细胞核呈圆形或梨形, 核仁被染成红色。脂肪空泡向内外扩展, 从一层发展成多层, 随着卵母细胞继续生长, 脂肪空泡密集于围核区, 并在围核区溶汇成几个大的脂肪空泡, 大脂肪空泡直径大小不等。放射膜增厚, 更加明显、清楚(图版 I -4)。

V 时相(排卵期) 卵径范围1022.71~2272.72 μm ; 卵径平均值1582.27 μm 。卵细胞即将排出, 细胞体积增加明显。脂肪空泡相互融合, 最终脂肪空泡融合为一个, 靠近细胞核, 其大小与细胞核相当, 细胞核极化并移向动物极, 核膜溶解, 核仁清晰可辨。卵黄粒相互融合形成板状, 部分细胞水化。卵细胞排出后, 滤泡细胞层萎缩, 形成一个空腔(图版 I -5)。

VI 时相(退化期) 细胞破损或形状不规则, 无法测量卵径。成熟卵细胞并未全部排出, 未排出的成熟卵细胞被重新吸收。VI 时相卵细胞嗜酸性, 形状不规则(图版 I -6)。细胞内卵黄颗粒液化变成块状而且暗淡, 卵黄和脂肪空泡被重吸收呈现消融状, 核仁消失。放射膜显著增厚。最终细胞萎缩得更小, 细胞内出现空泡, 卵黄消失, 剩一个或多个空腔结构(图版 I -7)。

2.2 卵巢的发育

根据组织学观察, 将北太平洋长鳍金枪鱼的卵巢发育过程分为6个时期。各个时期的特征:

I 期卵巢(增殖期) 经目测, 卵巢紧贴身体腹部两侧, 是一对透明的线状细丝, 看不到颗粒状的卵细胞, 肉眼不能分辨雌雄。经组织学观察, 单层卵原细胞嵌于其中, 细胞核活跃, 可观察到有丝分裂染色体的各种分裂图像, 卵细胞数量不断增加, 密集成细胞团结构。I 期卵巢中, I 时相细胞数量占优势地位, 还有部分早期的 II 时相卵细胞(图版 II -1)。

II 期卵巢(生长期) 卵巢呈红色, 在重量和大小上较 I 期卵巢并没有明显变化, 用肉眼尚看不清卵粒, 经固定后呈现花瓣状的分叶, 为蓄卵板。经组织学观察, 可以区别出不同的卵。II 期卵巢中主要以 II 时相卵母细胞为主,

还有部分 I、III 时相卵母细胞。北太平洋长鳍金枪鱼属于多次产卵类型的鱼, 故 II 期卵巢终身只有在第 1 次性周期内出现(图版 II-2)。

III 期卵巢(成熟期) 卵巢呈暗红色, 肉眼观察卵巢体积增大, 血管密布且有明显的较大血管。经解剖观察, 可见明显的颗粒状卵细胞, 互相粘成团状, 放置固定液中, 无游离卵细胞。组织学观察发现, 卵细胞内开始积累细胞质, 出现卵黄囊。III 期卵巢中, 主要以 III 时相卵母细胞为主, 也存在 I、II 时相卵细胞, IV 时相卵细胞少量存在(图版 II-3)。

IV 期卵巢(排卵前期) 卵巢发育明显增大, 颜色加深, 占据腹腔的大部分, 有明显的大血管。放置固定液中卵粒很容易分离。经组织学观察, IV 期卵巢中, 主要为 IV 时相卵母细胞, 少量 I、II、III、V 时相卵母细胞(图版 II-4)。

V 期卵巢(排卵期) 长鳍金枪鱼腹部明显增大, 卵巢皱褶剧烈增大增厚, 卵巢内充满了液化的即将被排除的卵母细胞, 挤压有卵液流出, 放置于固定液中卵粒脱落游离。V 期卵巢

中, 主要为 V 时相卵细胞, 少量 VI 时相卵细胞。卵巢内可见皱缩的空滤泡(图版 II-5)。

VI 期卵巢(退化期) 通过目测, 明显地看到 VI 期卵巢有自然退化的现象, 卵巢呈紫红色, 体积缩小, 与 II 期卵巢体积相近。表面萎缩松弛, 呈空囊状。经组织学观察, IV 期卵巢中, 出现大量 VI 时相卵母细胞, 形状不规则, 卵细胞内卵黄和脂肪空泡呈现消融状, 核仁消失(图版 II-6)。

2.3 卵巢发育时的个体特征

随着发育期的提高, 卵巢重量和卵巢成熟指数会有明显变化。经相关性检验得出, 卵巢发育期与叉长为中度相关, 相关系数为 0.51, $P < 0.001$; 卵巢发育期与去内脏体质量为中度相关, 相关系数为 0.42, $P < 0.001$; 卵巢发育期与卵巢重量呈强相关, 相关系数为 0.60, $P < 0.001$; 卵巢发育期与 GSI (1) 为强相关, 相关系数为 0.60, $P < 0.001$; 卵巢发育期与 GSI (2) 为中度相关, 相关系数为 0.57, $P < 0.001$ (表 1)。表 1 括号中为相对应数据范围。

表 1 2013年10月-2014年2月北太平洋雌性长鳍金枪鱼卵巢发育期特征

Tab. 1 Ovary development characteristics of female North Pacific *T. alalunga* collected from October 2013 to February 2014

发育期 stage	尾数 number	个体叉长/mm fork length	体质量/kg body weight	卵巢重/g gonad weight	卵巢成熟指数 GSI
I	12	84.58±4.23 (78~89)	10.75±1.60 (8~13)	15.67±10.26 (8~46)	GSI (1):0.15±0.1 (0.08~0.46) GSI (2):0.26±0.16 (0.13~0.72)
II	278	83.88±3.54 (74~93)	10.73±1.31 (7~15)	115.21±29.67 (16~252)	GSI (1):0.84±0.28 (0.13~2.29) GSI (2):1.52±49 (0.27~4.25)
III	53	90.19±4.51 (86~111)	12.85±2.13 (9~25)	286.88±27.44 (42~204)	GSI (1):0.90±0.19 (0.38~1.40) GSI (2):1.56±0.30 (0.64~2.16)
IV	16	89.06±4.34 (86~98)	12.25±1.48 (10~15)	328.67±112.82 (134~552)	GSI (1):2.37±0.96 (0.89~4.85) GSI (2):4.12±1.73 (1.42~8.4)
V	3	95.00±7.21 (87~101)	14.00±2.65 (11~16)	198.00±61.72 (258~372)	GSI (1):2.35±0.13 (2.23~2.48) GSI (2):3.82±0.32 (3.46~4.08)
VI	2	97.00±1.41 (96~98)	13.50±0.71 (13~14)	198.00±8.49 (192~204)	GSI (1):1.47±0.14 (1.37~1.57) GSI (2):2.17±0.19 (2.04~2.31)

2.4 卵巢成熟指数的时空变化

2013年10月22日-2014年2月19日取样的63 d 内, 长鳍金枪鱼卵巢成熟指数的日平均值呈现明显波动趋势。2013年10月底-11月底, 卵巢成熟指数呈波动状态, GSI (1)波动范围为0.5~1.0, GSI (2)波动范围为1.0~2.0。12月中旬时出现高峰, GSI (2)最高达到3.9, 普遍超过3.2。1月初时另一个高峰形成, GSI (2)普遍超过2.2, 最高达到3.01。2014年1月末至2月, GSI 指数波动下降(图2)。

长鳍金枪鱼卵巢成熟指数随纬度的升高呈递减趋势。本次调查中, 平均卵巢成熟指数最大值出现在30°~31°N。相较于GSI (1), GSI (2)波动幅度更大(图3)。

长鳍金枪鱼卵巢成熟指数随经度变化规律不明显(图4)。本次调查中, 平均卵巢成熟指数最大值出现在152°~153°W, 其中152°~156°W GSI 指数普遍较高。最小值出现在162°~163°W(图4)。其中, 158°~161°W没有渔获金枪鱼, 因此该范围内平均卵巢成熟指数数据缺失。

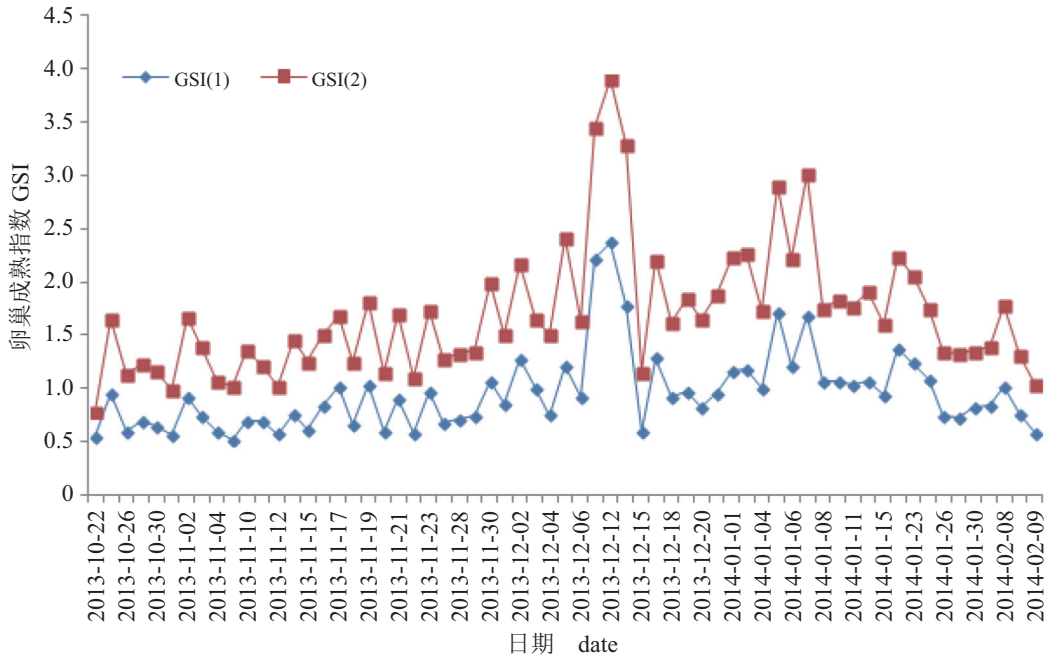


图 2 卵巢成熟指数的日平均值

Fig. 2 Daily average GSI

3 讨论

3.1 卵母细胞发育特征

卵母细胞发育过程及分期是卵巢发育研究的重要依据。不同的研究人员对于金枪鱼类不同时相卵母细胞所采用的标准不同。Timohina等^[15]根据滤泡的发育和营养物质的积累将鲣(*Katsuwonus pelamis*)卵细胞发育分为细胞核变化期(偶线期)、原生质生长期、营养质生长期、成熟期4个

时期。其中原生质生长期分为初生长期和单层滤泡细胞期。营养质生长期分为脂肪积累和空泡形成期、卵黄积累早期、卵黄积累增强期、卵黄充满期。成熟期分为脂肪结合期和水合期。王修国^[10]将大眼金枪鱼(*T. obesus*)卵巢内卵细胞发育分为增殖期、生长期、卵黄泡前期、卵黄泡后期、核迁移期、水化期和排卵后期7个时相。Otsu等^[5]将北太平洋长鳍金枪鱼卵子分为早期发展阶段、后期发展阶段及晚期阶段。

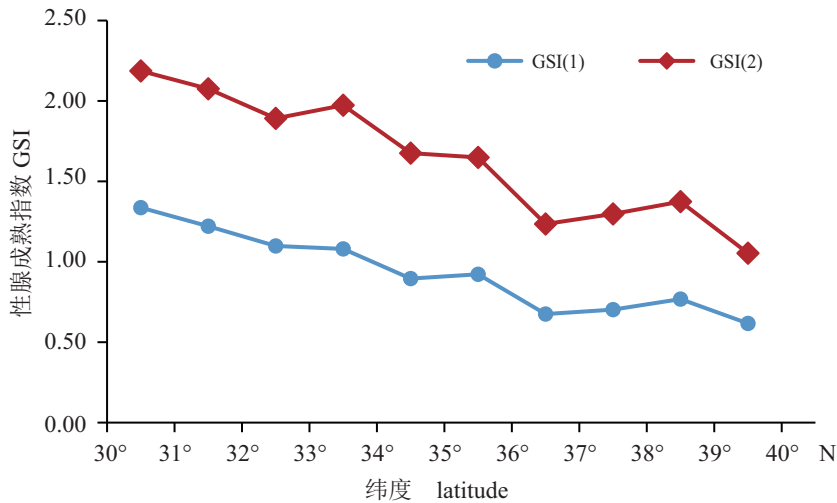


图 3 不同纬度区域卵巢成熟指数平均值

Fig. 3 Average GSI of North Pacific *T. alalunga* collected at different latitude waters

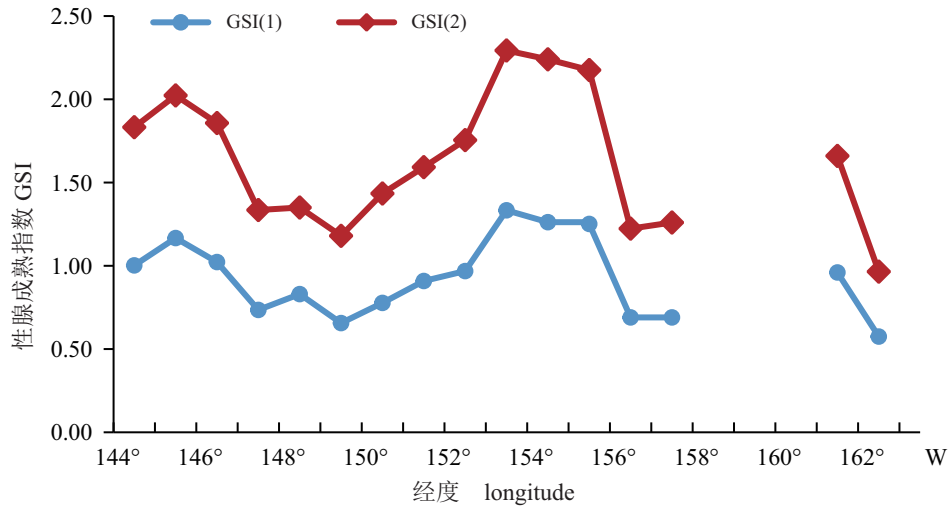


图4 不同经度区域卵巢成熟指数平均值

Fig. 4 Average GSI of North Pacific *T. alalunga* collected at different longitude waters

Chen等^[4]将北太平洋长鳍金枪鱼卵巢中的卵母细胞分为5个阶段：无卵黄期、初期卵黄期、晚期卵黄期、细胞核迁移期、水化期。我国鱼类卵细胞发育过程分期方法一般参照刘筠^[16]，分为6个时相，与卵巢发育的6个时相对应。本研究参考国内外众多文献^[4-10, 15-16]，结合实验所得的北太平洋长鳍金枪鱼种群卵细胞发育特征，将其卵细胞的发育分为6个时相：增殖期、生长期、成熟期、卵黄期、排卵期 and 退化期。

3.2 卵巢发育特征

长鳍金枪鱼等金枪鱼类卵巢的发育经过“未发-发育-成熟-排卵前-排卵-排卵后”的过程，但不同研究人员对于卵巢分期采用的标准不同。Schaefer^[8]与Ashida等^[6-7]的方法相似，详细研究了鳀卵巢从未发育逐渐发育至成熟排卵的过程，将卵巢发育过程分为“未成熟、发育、成熟、排卵、闭锁”5个阶段。Ashida等^[7]根据卵径、卵细胞情况，将鳀卵巢发育分为6个时期。王修国^[10]根据卵细胞发育情况将大眼金枪鱼卵巢发育分为增殖期、生长期、成熟期(卵黄泡前期、卵黄泡后期)、排卵期和排卵后5个时期。Chen等^[4]基于对卵巢宏观和微观的检查，将北太平洋长鳍金枪鱼分为8个阶段，分别为“未成熟、休止期、晚期卵黄、细胞质迁移、早期水合、趋于成熟、产卵、耗尽”，并将卵巢内出现水合期卵细胞及大量新生的排卵后滤泡作为卵巢趋于成熟的标准。Ashida等^[7]与此观点相似，认为成熟期卵巢的标准是“出现核仁迁移期细胞和水

合期细胞，可能出现排卵后的滤泡”。而Schaefer等^[8]则认为成熟期卵巢的标准是“卵巢黄色、出现斑点、卵细胞透明、血管密布；卵黄均匀、脂肪空泡大且变形”。产卵期卵巢的标准是“卵巢柔软、布满血管、卵细胞透明、排卵后滤泡层皱缩、滤泡层细胞的细胞核变小”。王修国^[10]认为卵巢成熟的标志为卵巢内卵细胞出现卵黄泡。刘筠^[16]将卵巢组织学分期分为“一期卵巢(增殖期)、二期卵巢(生长期)、三期卵巢(成熟期)、四期卵巢、五期卵巢(排卵期)、六期卵巢(退化期)”6个时期，将卵巢呈青灰色，血管密布，且有纵走的较大血管，肉眼能看清卵粒作为成熟期卵巢的标准。本研究参考国内外文献^[4-10, 15-16]，结合实验所得的北太平洋长鳍金枪鱼种群卵巢发育特征，将其卵巢发育分为6个时期，分别为I期卵巢(增殖期)、II期卵巢(生长期)、III期卵巢(成熟期)、IV期卵巢(排卵前期)、V期卵巢(排卵期)、VI期卵巢(退化期)。

3.3 卵巢发育的个体特征及时空变化

随着卵巢发育等级的提高，北太平洋长鳍金枪鱼个体叉长和体质量逐渐增大，卵巢重量和卵巢成熟指数有明显变化(表1)。在I~V期，随着卵巢等级的提升，卵巢重量及GSI指数呈上升趋势，在VI期卵巢(退化期)阶段，卵巢重量及GSI指数相较于V期均有所下降。

本研究根据组织学观察，发现北太平洋长鳍金枪鱼卵巢内会同时出现不同时相的卵细胞，属于不同步产卵类型。有学者指出，由

GSI的日均值推断产卵高峰期是研究其产卵时间的一种方法^[17]。此次调查中该海域内北太平洋长鳍金枪鱼渔获物大多为未成熟个体, 所捕获的成熟个体产卵活动不频繁(表1)。说明在10月至次年2月, 北太平洋长鳍金枪鱼在夏威夷北部(30°~40°N)海域内繁殖活动不频繁。调查时间内, 该海域长鳍金枪鱼产卵高峰为12月中旬与1月初(图2)。此次调查中, 产卵活动随纬度的降低而趋于频繁, 随经度变化规律不明显, 产卵高峰区域为30°~31°N(图3, 图4)。有学者认为^[18], 北太平洋长鳍金枪鱼繁殖区域位于中西太平洋10°~25°N的亚热带海域。戴小杰等^[19]指出, 北太平洋长鳍金枪鱼群体产卵场为马绍尔群岛至夏威夷海域, 可全年产卵(盛期4~6月)。苗振清等^[1]研究表明, 在北太平洋中部和东部(30°~40°N), 常见到未性成熟个体和未产卵的成鱼。产卵群大致分布在南、北纬20°之间的海域内。体长0.8~1.2 m、体质量14~40 kg的产卵个体, 分布在夏威夷群岛附近。本研究所得结论与已有研究相比, 未发现有较大差别。可推断2013年10月至次年2月, 夏威夷北部(29°~41°N, 163°~144°W)海域并非北太平洋长鳍金枪鱼的产卵场, 常见到未性成熟个体和未产卵的成鱼, 产卵个体占少数, 产卵活动受纬度影响。

感谢大连远洋渔业金枪鱼钓有限公司姜德伟经理、“天祥16”号探捕船船长张忠荣、大副解维军在海上调查过程中; 管卫兵教授、鲍宝龙教授在论文写作中给予的帮助!

参考文献:

- [1] 苗振清, 黄锡昌. 远洋金枪鱼渔业[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2003.
Miao Z Q, Huang X C. Pelagic Tuna Fishery[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Literature Publishing House, 2003(in Chinese).
- [2] ISC. Report of the fourteenth meeting of the international scientific committee for tuna and tuna-like species in the North Pacific Ocean[R]. Taipei, China: ISC, 2014: 26-33.
- [3] Pilling G M, Harley S J, Williams P, *et al.* Recent trends in the South Pacific albacore longline fishery Rev 1[R]. Noumea, New Caledonia: Oceanic Fisheries Programme (OFP), Secretariat of the Pacific Community, 2014.
- [4] Chen K S, Crone P R, Hsu C C. Reproductive biology of albacore *Thunnus alalunga*[J]. Journal of Fish Biology, 2010, 77(1): 119-136.
- [5] Otsu T, Uchida R N. Sexual Maturity and Spawning of Albacore in the Pacific Ocean[M]. Washington: US Department of the Interior, US Fish and Wildlife Service, 1959.
- [6] Ashida H, Tanabe T, Suzuki N. Maturation and spawning activity of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the Western Central Pacific Ocean as determined by ovarian histological observation[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2007, 73(3): 437-442.
- [7] Ashida H, Tanabe T, Suzuki N, *et al.* Spawning frequency and batch fecundity of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the tropical west-central Pacific Ocean[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2008, 74(5): 802-808.
- [8] Schaefer K M. Spawning time, frequency, and batch fecundity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, near Clipperton Atoll in the eastern Pacific Ocean[J]. Fishery Bulletin, 1996, 94(1): 98-112.
- [9] 宫领芳, 许柳雄, 管卫兵, 等. 中西太平洋鲣鱼卵巢发育特征[J]. 水产学报, 2011, 35(4): 559-568.
Gong L F, Xu L X, Guan W B, *et al.* Ovarian development of skipjack (*Katsuwonus pelamis*) in the Western and Central Pacific Ocean[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(4): 559-568(in Chinese).
- [10] 王修国. 东太平洋大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼生殖特征研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2010.
Wang X G. Study on the reproductive characteristics of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from the East Pacific Ocean[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2010(in Chinese).
- [11] 国家海洋局. GB/T 12763-1991海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
State Oceanic Administration. GB/T 12763-1991, The specification for oceanographic survey[S]. Beijing: Beijing Standards Press of China, 1991(in Chinese).
- [12] 侯春春, 徐水. 浅析影响石蜡切片质量的关键因素[J]. 中国农学通报, 2009, 25(23): 94-98.
Hou C C, Xu S. Analysis on the key influence factors of paraffin section's quality[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(23): 94-98(in Chinese).
- [13] 杨捷频. 常规石蜡切片方法的改良[J]. 生物学杂志, 2006, 23(1): 45-46.

- Yang J P. Improvement of traditional paraffin section preparation methods[J]. *Journal of Biology*, 2006, 23(1): 45-46(in Chinese).
- [14] 刘桂芝. 石蜡切片标本的制作过程[J]. *通化师范学院学报*, 2004, 25(11): 90-91.
- Liu J Z. The process of making Paraffin section[J]. *Journal of Tonghua Teacher's college*, 2004, 25(11): 90-91(in Chinese).
- [15] Timohina O I, Romanov E V. Characteristics of ovogenesis and some data on maturation and spawning of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758), from the western part of the Equatorial Zone of the Indian Ocean[C]//IOTO Proceedings of the 6th Expert Consultation on Indian Ocean Tunas. Colombo, Sri Lanka: IODE, 1996: 247-257.
- [16] 刘筠. 中国养殖鱼类繁殖生理学[M]. 北京: 农业出版社, 1993.
- Liu Y. Propagation Physiology of Main Cultivated Fish in China[M]. Beijing: Agricultural Press, 1993(in Chinese).
- [17] Hattori T, Sakurai Y, Shimazaki K. Maturation and reproductive cycle of female Pacific cod in waters adjacent to the southern coast of Hokkaido, Japan[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1992, 58(12): 2245-2252.
- [18] Albacore Working Group. Albacore (*Thunnus alalunga*)-North Pacific[EB/OL]. 2008.[2014-07-01]. http://isc.ac.affrc.go.jp/working_groups/albacore.html.
- [19] 戴小杰, 许柳雄. 世界金枪鱼渔业渔获物物种原色图鉴[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- Dai X J, Xu L X. The World Tuna Fishery Catch Species Illustrated Handbook[M]. Beijing: Ocean Press, 2007(in Chinese).

Ovarian development characteristics of North Pacific albacore tuna (*Thunnus alalunga*)

ZHU Weijun¹, XU Liuxiong^{1,2,3,4*}, JIANG Jianjun¹, LIN Dongming^{1,3}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

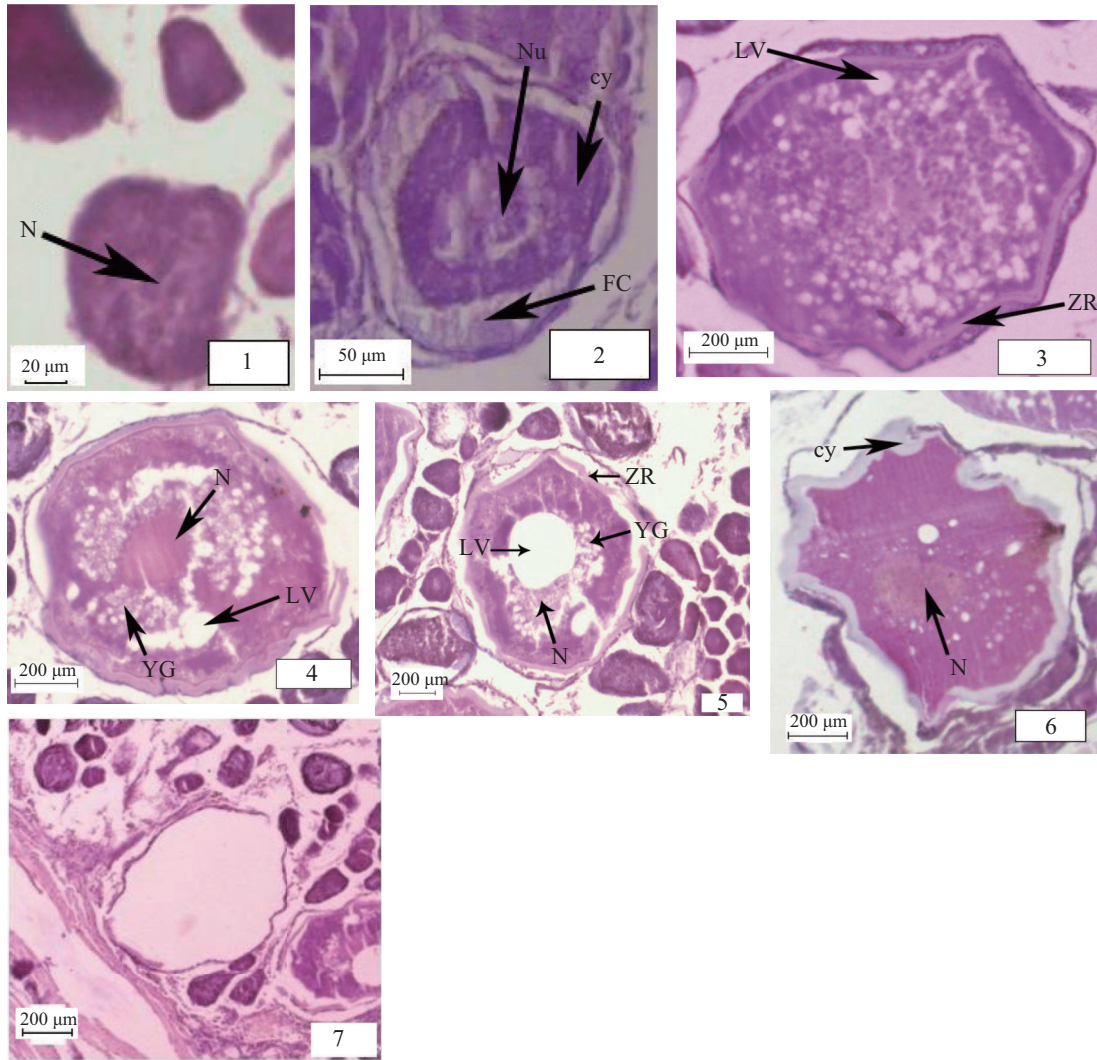
4. Shanghai Collaborative Innovation Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Based on 364 ovarian samples of North Pacific albacore tuna (*Thunnus alalunga*) collected in the north Pacific waters (29°08'–41°08' N, 163°50'–144°19' W) from October 2013 to February 2014, using histological analysis, the present study describes oocyte and ovary developmental stage of albacore tuna. The results show that North Pacific albacore is a species of the batch spawning type due to different development stages of oocytes found in the same ovaries. Histologically, the oocyte development of North Pacific albacore can be divided into six phases, and ovarian development into six periods. GSI (gonad somatic index) increases with the mature period during the stages I–V, and decreases in the stage VI. The spawning peak is from the middle December to early January, the GSI increases with the decreasing of latitude but no significant difference can be found. The present study can provide biological information for the stock assessment and sustainable development of north Pacific albacore fisheries, by analyzing the growth characteristics of albacore ovaries.

Key words: *Thunnus alalunga*; ovary; development characteristics; GSI (gonad somatic index); North Pacific Ocean

Corresponding author: XU Liuxiong. E-mail: lxxu@shou.edu.cn

Funding projects: Pacific Albacore Resource Exploration, Bureau of Fisheries and Fishery Law Enforcement, Ministry of Agriculture (D-8006-13-8012); National Fisheries Observer Programme, Bureau of Fisheries and Fishery Law Enforcement, Ministry of Agriculture (D-8002-13-8005A)

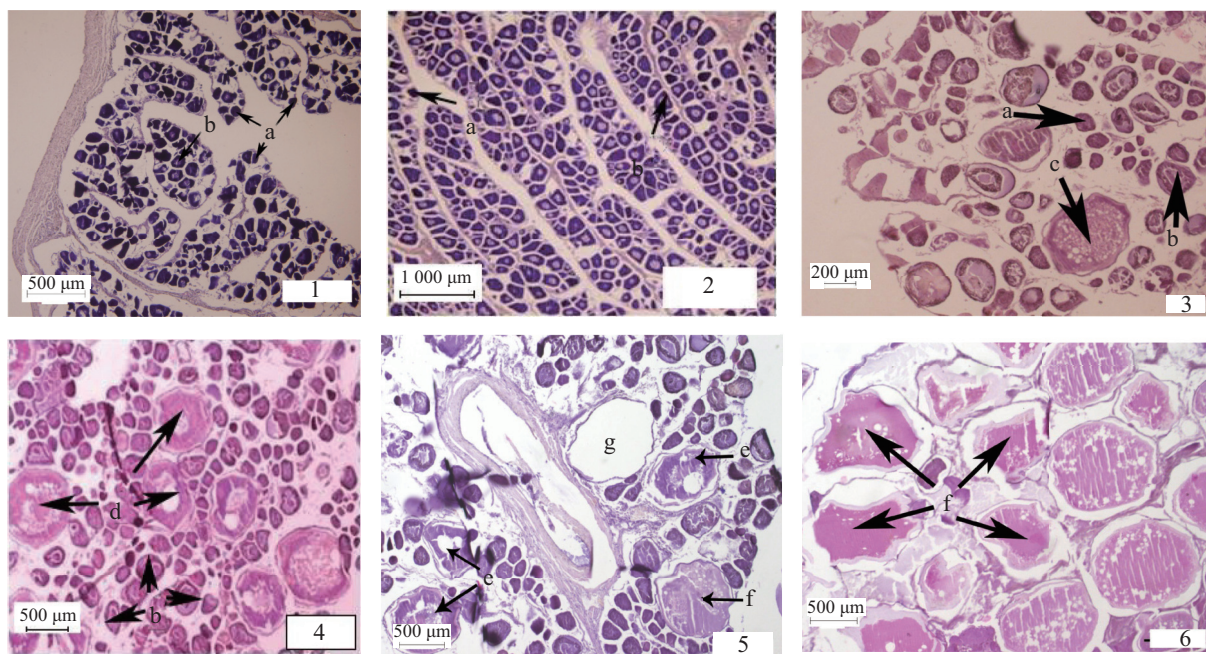


图版 I 卵细胞发育

1. I 时相(增殖期)卵母细胞; 2. II 时相(生长期)卵母细胞; 3. III 时相(成熟期)卵母细胞; 4. IV 时相(卵黄期)卵母细胞; 5. V 时相(排卵期)卵母细胞; 6. VI 时相(退化期)卵母细胞; 7. 产卵后的空滤泡。N. 细胞核; Nu. 核仁; cy. 细胞质; FC. 滤泡细胞; LV. 脂肪空泡; YG. 卵黄颗粒; ZR. 放射膜

Plate I Oocyte development of albacore

1. the oocyte in the I (proliferative phase); 2. the oocyte in the II (growing phase); 3. the oocyte in the III (mature phase); 4. the oocyte in the IV (yolking phase); 5. the oocyte in the V (ovulatory phase); 6. the oocyte in the VI (involuting phase); 7. the empty follicle cell. N. nucleus, Nu. nucleolus, cy. cytoplasm; FC. follicle cell; LV. lipid vesicle; YG. yolk granules; ZR. zona radiata



图版 II 卵巢发育

1. I 期卵巢; 2. II 期卵巢; 3. III 期卵巢; 4. IV 期卵巢; 5. V 期卵巢; 6. VI 期卵巢。a. I 时相(增殖期)卵细胞;b. II 时相(生长期)卵细胞;
c. III 时相(成熟期)卵细胞;d. IV 时相(卵黄期)卵细胞; e. V 时相(排卵期)卵细胞; f. VI 时相(退化期)卵细胞; g. 空滤泡

Plate II Ovary development of albacore

1. the ovary in the I; 2. the ovary in the II; 3. the ovary in the III; 4. the ovary in the IV; 5. the ovary in the V; 6. the ovary in the VI. a. the oocyte in the I (proliferative phase); b. the oocyte in the II (growing phase); c. the oocyte in the III(mature phase); d. the oocyte in the IV(yolked phase); e. the oocyte in the V (ovulatory phase); f. the oocyte in the VI(involuting phase); g. the empty follicle cell