

한국 근해 개복치(*Mola mola*)의 성숙과 산란

강민주 · 백혜자 · 이동우¹ · 최정화^{1*}

부경대학교 자원생물학과, ¹국립수산과학원 기반연구부

Sexual Maturity and Spawning of Ocean Sunfish *Mola mola* in Korean Waters

Min Joo Kang, Hea Ja Baek, Dong Woo Lee¹ and Jung Hwa Choi^{1*}

Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

¹Fundamental Research Department, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 46083, Korea

The sexual maturation and spawning time of female ocean sunfish *Mola mola* in Korean waters were studied by observing the gonads histologically. Specimens were purchased in a fish market in October 2013 and May, June, and October 2014. Nine females (total length 100-250 cm, gonad weight 31-3,470 g) and one male (total length 131 cm, gonad weight 60 g) were studied. Histologically, the ovaries became active in May and spawning began in July and continued until October. In July, mature oocytes and yolk globule stage oocytes were observed; parts of the gonad showed traces of spawning, while others had degenerated and absorbed any oocytes. By October, many oocytes had degenerated and been absorbed. Therefore, the approximate spawning period of ocean sunfish is from July to October based on histological changes in the gonads. The asynchronous oocyte development suggests that the ocean sunfish is a multiple spawner, as reported previously. The catch distribution data suggest that the waters around Jeju Island are a sunfish spawning area.

Key words: Sunfish, *Mola mola*, Spawning period, Sexual maturation

서 론

개복치(*Mola mola*)는 우리나라를 비롯한 중국, 대만 등이 속한 동북아 해역과 일본, 미국, 캐나다, 러시아가 접한 북태평양 해역 그리고 북해, 지중해, 인도양 등에 걸쳐 널리 분포하고 있다(Fraser-Brunner, 1943), 특히 한국을 비롯한 동북아의 대만, 일본에서는 지방 특유의 식문화를 지니고 있다. 우리나라에서는 개복치에 대한 연구가 아직 본격적으로 이루어지지 않고 있지만 최근 Lee et al. (2013)에 의해 우리나라 주변해역에서의 개복치의 어획분포에 대한 연구가 있다. 개복치를 식용으로 하는 나라들이 있기는 하지만 개복치를 목적으로 어획을 하는 것은 드물고 대부분이 다른 어종을 어획하는 과정 중에 부수적으로 어획되는 종으로서 어획통계나 생물학적 연구가 상업적 어종에 비해 매우 부족한 편이다. 개복치의 산란과 성숙에 대한 연구로서는 일본에서의 수족관 사육 개체에 대한 것과 일본 근해에서 채집된 개복치의 생식선 발달과 산란기의 추정에 대

한 연구가 있다(Nakatsubo et al., 2007a, 2007b). 특히 개복치는 전장 1.5 m의 암컷의 경우 3억 개 이상의 알을 지닌 것으로 알려져 있지만(Schmidt, 1921) 더 이상의 구체적인 언급은 없다(Fraser-Brunner, 1951; Martin and Drewry, 1978; Pope et al., 2010).

세계적으로 개복치류에는 모두 5개의 종(*Mola mola*, *Mola ramsayi*, *Masturus lanceolatus*, *Masturus oxyuropterus*, *Ranzania laevis*)이 존재하는 것으로 보고되고 있지만(Fraser-Brunner, 1951), 최근 우리나라를 비롯한 일본, 중국 및 러시아에 분포하는 개복치류 중에서 개복치(*Mola mola*), 남방개복치(*Mola ramsayi*)외에 또 다른 *Mola* 속의 종(*Mola* sp.)이 있는 것으로 확인되고 있다(Yoshita et al., 2009; Yamanoue et al., 2010). 이러한 분류학적인 체계가 아직 명확하게 정립되지 않은 면도 있어서 개복치를 연구할 경우, 정확한 종동정이 우선되어야 하고 그에 따라 생물생태학적 특성을 규명할 필요가 있다.

본 연구는 우리나라 주변해역에서 어획된 개복치에 대하여 생

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0739>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 48(5) 739-744, October 2015

Received 22 July 2015; Revised 2 September 2015; Accepted 8 September 2015

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2291 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: choi2291@korea.kr

식소의 조직학적 관찰과 어획위치, 어획시기, 어획된 어체의 크기, 중량 등을 분석하여, 개복치의 생식소의 발달상태, 산란기, 산란장 등 성숙·산란 특성을 구명하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 개복치는 부산공동어시장에 위판되어 포항의 죽도시장으로 이송된 것으로 판매를 위하여 해체작업을 하기 직전에 전장, 체중 등을 측정하였고, 이 때 절취한 생식소는 냉장보관하여 실험실로 옮겼다. 조직학적 관찰에 사용된 개복치 어체는 총 10미였으며, 그 중 암컷이 9미, 수컷은 1미였다. 암컷의 체장(TL) 범위는 102-250 cm, 수컷은 131 cm였고, 난소의 중량은 31.9-3,470.0 g, 수컷은 60.0 g이었다(Table 1, Figs. 1 and 2).

생식소의 조직학적 관찰을 위해 어체로부터 적출된 생식소는 Bouin's solution에 24시간 고정하여 파라핀으로 포매한 후 4-6 μ m로 연속 절편하여 Mayer's hematoxylin과 eosin으로 비교 염색하였다. 완성된 조직표본은 광학현미경(BX-50, Olympus, Japan)으로 검경하였다.

시기별 어획밀도 분석에 사용된 어획자료는 부산공동어시장에 위판된 개복치에 대하여 어획위치, 어획시기, 조업방법 등에 대해 조업했던 선장들로부터 청취조사하였고, 위판된 개복치의 개체별 체장, 지느러미길이, 체중 등을 위판 즉시 측정하였

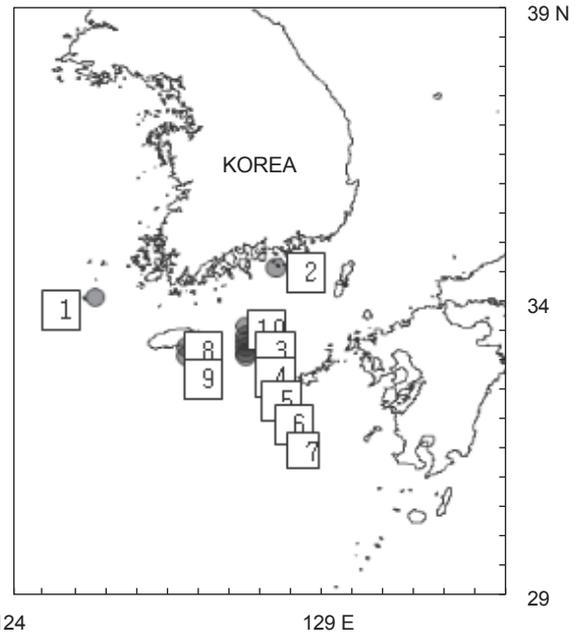


Fig. 1. Sampling location of ocean sunfish used in this study. Numbers are sample number in Table 1.

다. 다만, 비교적 대형의 개체는 저울측정의 한계로 체중 측정을 하지 못하였다. 그리고 우리나라 주변 수역의 표층수온자료는

Table 1. Records of ocean sunfish *Mola mola* used in this study

Sample No.	Date	Location	Total length (cm)	Body weight (kg)	Sex	Gonad weight (g)
1	Oct. 28 2013	125.25 N 34.25 E	200	-	Female	384.8
2	May 18 2014	128.25 N 34.75 E	250	-	Female	1,287.8
3	May 25 2014	127.75 N 33.25 E	133	-	Female	113.3
4	May 25 2014	127.75 N 33.25 E	144	-	Female	125.5
5	May 25 2014	127.75 N 33.25 E	132	-	Female	83.0
6	May 25 2014	127.75 N 33.25 E	102	51.0	Female	72.4
7	May 25 2014	127.75 N 33.25 E	100	46.0	Female	31.9
8	Jul. 1 2014	126.75 N 33.25 E	220	451.9	Female	2,600.0
9	Jul. 1 2014	126.75 N 33.40 E	131	96.3	Male	60.0
10	Oct. 28 2014	127.75 N 33.75 E	250	-	Female	3,470.0



Fig. 2. Ocean sunfish *Mola mola* landed at Busan cooperative fish market in Busan, October 28, 2014. Total length was 250cm and caught by purse seine off Jeju island, Korea (Sample No. 10 in Table 1).

국립수산과학원 해양자료센터의 주간해황자료를 사용하였다.

결 과

생식소의 조직학적 관찰

개복치의 생식소에 대한 조직학적 관찰 결과(Fig. 3), 2014년 5월 삼천포 주변 해역에서 어획된 체장 250 cm, 난소중량 1,287.8 g의 암컷 개체의 난소 소낭 내에는 15-35 μm 의 초기 어린 난모세포, 50 μm 전후, 그리고 80-120 μm 의 난모세포들이 관찰되었다(Fig. 3A). 난경 80-120 μm 의 경우, 난세포질에 난황포가 분포하였으며, 280 μm 전후의 난모세포에서는 난황포와 난황과립이 관찰되었다(Fig. 3B). 반면 미성숙개체로 추정되는 난소 중량 31-125.5 g 범위의 난소를 가진 5개체 모두에서는 성숙된 난모세포가 발견되지 않았다. 2014년 7월에 어획된 암수 각각 1미씩의 난소와 정소의 조직학적 관찰에서는 방란의 흔적과 함께 200 μm 전후의 성숙된 난모세포도 관찰되었으며(Fig. 3C), 정소소낭내에는 정자와 함께 방정의 흔적이 관찰되었다(Fig. 3D). 2014년 10월에 어획된 체장 250 cm (Fig. 2), 난소중량 3,470 g의 암컷의 조직관찰에서도 320-400 μm 의 성숙 난모세포가 관찰되었으며(Fig. 3E), 방란 흔적과 함께 일부 잔존 성숙난모세포들의 퇴화 흡수도 관찰되었다(Fig. 3F).

산란장의 형성

생식소의 조직관찰에 사용된 개체가 어획된 시기의 표층수온의 분포를 보면(Fig. 4), 5월 말의 수온분포는 제주도 인근해역

에서 20°C의 수온 전선대가 형성되었고, 서해 남부와 남해역에서는 17-19°C 범위로 나타났다. 7월 초에는 중국양자강 유역과 일본 큐슈연안을 잇는 25°C의 수온 전선을 형성하였고, 제주도 주변해역에서는 22-24°C의 수온범위를 보였다. 10월 말에 들어서도 서해 남부와 제주 해역에서 비교적 높은 21-23°C의 수온범위였다. 11월 초에는 제주도 주변해역의 수온은 다소 낮아져 5월 말의 수온 분포와 유사한 19-20°C의 범위로 나타났다. 우리나라 주변에서의 시기별 어획 밀도의 분포형태, 생식선의 조직학적 관찰을 고려해 볼 때, 우리나라 제주도 주변해역에서 산란이 이루어지는 것으로 추측된다.

2010년부터 2014년까지 우리나라 주변해역에서 대현선망 등의 어선에 부수적으로 어획된 개복치의 시기별 분포 밀도를 제주도 주변 해역에 형성되는 20°C의 수온 전선대가 형성되는 5월을 기준으로 비교적 수온이 낮은 시기인 11-4월, 그리고 비교적 높은 시기에 해당하는 5-10월의 두 시기로 나누어 보았다(Fig. 5). 수온이 낮은 시기의 분포는 서해 남부해역에서 제주도 남부 해역에 이르는 남북으로 긴 분포 형태였지만, 수온이 높은 시기의 분포는 제주도 인근 해역에 집중된 형태로 나타났다. 이러한 분포의 형태를 볼 때 계절적인 이동은 뚜렷하지는 않지만 산란기에 이르러서는 제주도 인근 해역으로 이동하는 것으로 보인다.

고 찰

우리나라 주변해역에서 어획된 개복치 생식소의 조직학적 관찰 결과, 5월에 어획된 개체 중 어미로 판단되는 개체의 난소에서는 난모세포가 활성화되기 시작하였으며, 7월과 10월에 어획된 개체에서 성숙된 난모세포의 존재와 산란 흔적, 그리고 10월 개체에서는 방란하지 못한 잔존 성숙란의 퇴화 흡수 등이 관찰되는 것으로 보아 개복치의 산란은 7-10월 사이에 이루어지는 것으로 추정되었다. 암컷의 난소내에는 어린 난모세포들이 발달하면서 난모세포의 크기 분포가 하나의 군으로 나타나지 않고 발달 단계가 다른 난모세포군들로 구성되어 있었다. 따라서 개복치의 산란은 일시에 한번의 산란을 하는 동기발달형(synchronous oocyte development)이 아닌 비동기발달형(asynchronous oocyte development)으로서 산란기에 여러 번 patch 형태로 다회 산란을 하는 것으로 추정된다. 이러한 결과는 일본의 태평양측에서 조사된 개복치의 산란연구(Nakatsubo et al., 2007b)에서 산란은 8-10월 중순에 이루어지고 산란은 비동기형으로 다회 산란하는 것으로 추정된 것과 유사하게 나타났다. 5월에 채집된 체장 100-144 cm 급의 암컷 생식소에서는 아직 성숙된 난모세포 혹은 산란의 흔적을 가진 난모세포도 나타나지 않았지만, 250 cm의 암컷의 생식소에서는 50 μm 전후, 그리고 80-120 μm 의 활성화된 난모세포가 관찰되었다. 이러한 점에서 볼 때, 우리나라 주변 개복치는 최소한 144 cm 이상의 체장이 산란에 가입할 것으로 추정되지만 향후 보다 정확한 성숙 체장을 파악하기 위해서는 지속적이고 연속적인 조사

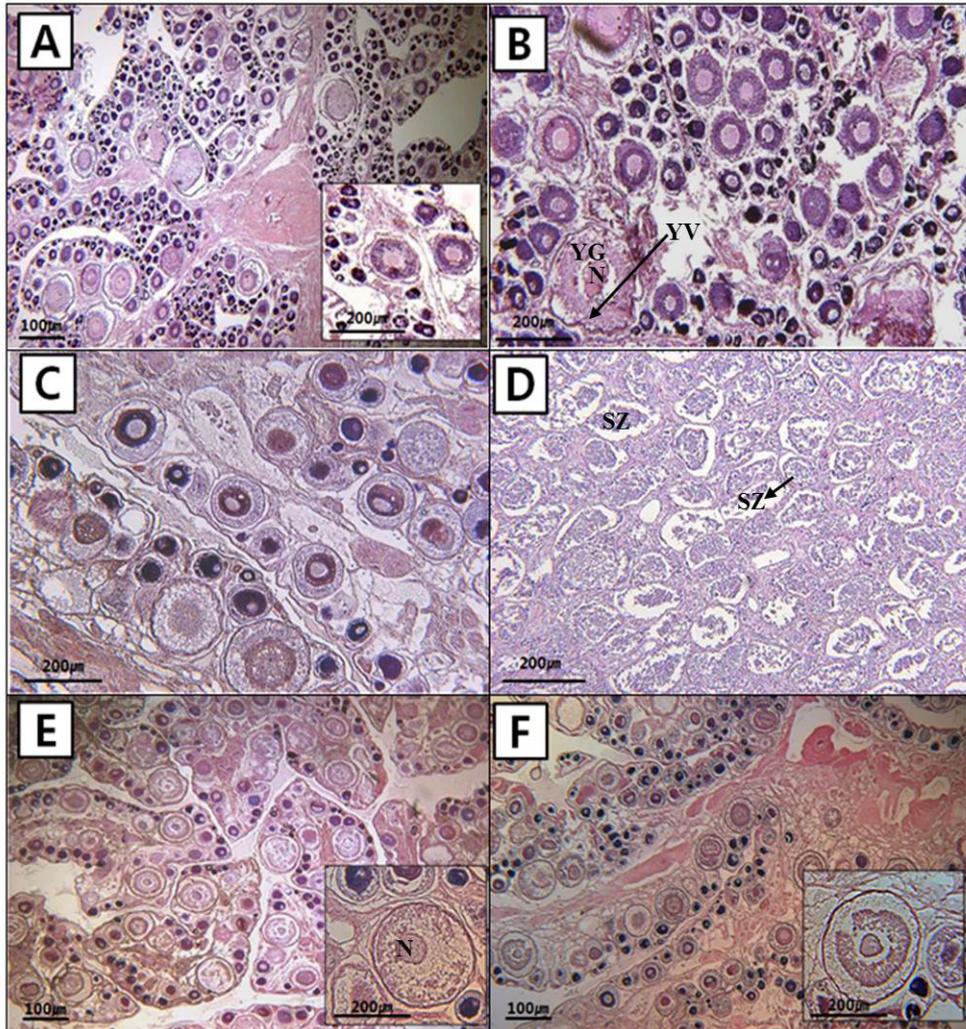


Fig. 3. Histological observations of ovary and testis of ocean sunfish *Mola mola* caught in off Korean waters. A, B: May 2014 (ovary), C: July 2014 (ovary), D: July 2014 (testis), E, F: October 2014 (ovary). N, nucleus; YG, yolk granule; YV, yolk vesicle; SZ, spermatozoa.

가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Potter and Galuardi (2011)는 북서대서양에 서식하는 개복치에 대해 전자표지(Pop-up archival tag)를 하여 이동 관찰한 결과에서 이동경로 전체에 대한 수온범위는 6-30°C였고, 이 때 표층에서는 16.4-17.9°C의 범위였다. 그리고 늦여름까지는 주로 북부 연안층에 머물다가 이른 가을이 되면 남부 외양층으로 이동하는 계절적인 남북 회유를 하는 것으로 나타났다. Thys et al. (2007)의 미국 서부해역에서의 개복치에 대한 표지방류를 통한 회유이동 연구에서도 계절적인 남북 회유를 하는 것을 밝혀냈고, Anderson and Cupka (1973)는 여름철에 북캐롤라이나에 머물던 개복치는 겨울이 되면 남부해역으로 이동한다고 하였다. Lee (1986)는 북캐롤라이나에서는 전체적으로 수온 범위 6.8-29.4°C에서 서식하고 표층에서는 10-18°C의 범위로 걸프 해류의 영향을 받는 것으로 추정하였다. Fulling et al.

(2007)의 멕시코만 개복치의 연구에서는 서식 수온의 범위는 13.8-29.3°C, 평균 19.5°C였다. Dewar et al. (2010)에 의한 일본 태평양층 연안의 개복치에 대한 연구에서는 가을에 남부의 연안층으로 여름에는 북쪽 외양층으로 이동한다고 하였다. 이는 일본 태평양층의 남에서 북으로 흐르는 쿠로시오와 북에서 남으로 흐르는 오야시오가 만나 형성되는 조경역의 이동과 변화에 따른 클로로필a의 밀도와 밀접한 관계가 있다고 하였다. 또한 최근 미국 남부 캘리포니아 해역에서 개복치의 이동연구에서는 연안역에서 형성되는 용승역에서의 플랑크톤 밀도와 개복치의 섭이 이동과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다 (Thys et al., 2015). 이러한 회유 이동의 다양한 연구에도 불구하고 산란장에 대한 연구는 미미하다. 개복치의 산란장으로 다소 구체적으로 밝혀진 곳은 일본의 태평양층 중부 연안역으로서, 8-10월 중순에 산란이 이루어지는 것으로 추정되었고(Na-

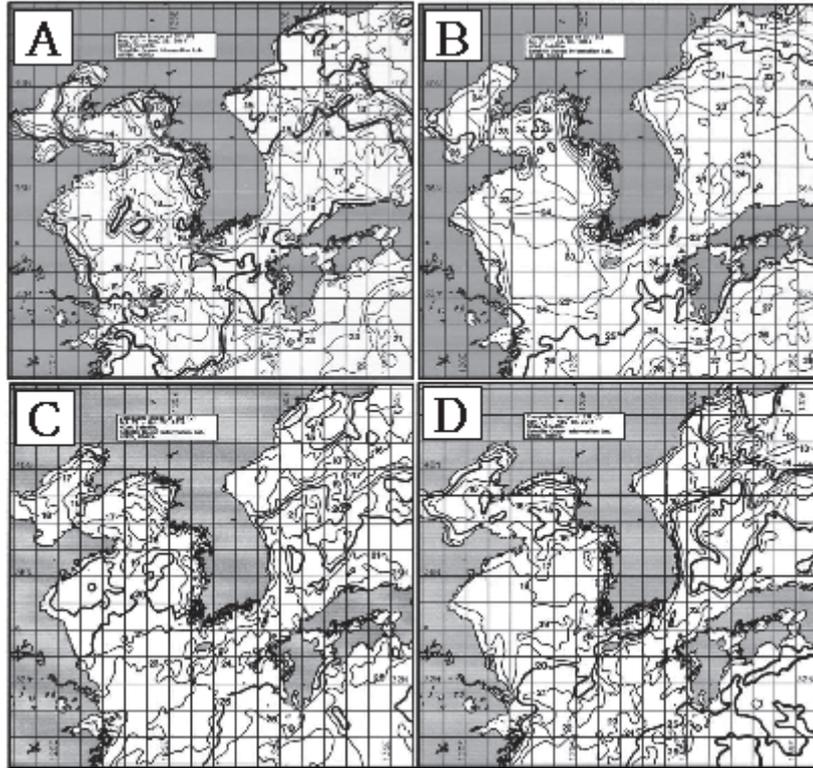


Fig. 4. Composite images of sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) in waters off Korea, from May to November 2014. A: late May, B: early July, C: mid August and D: early November. Data source: Satellite ocean information laboratory, National fisheries research and development institute, Korea.

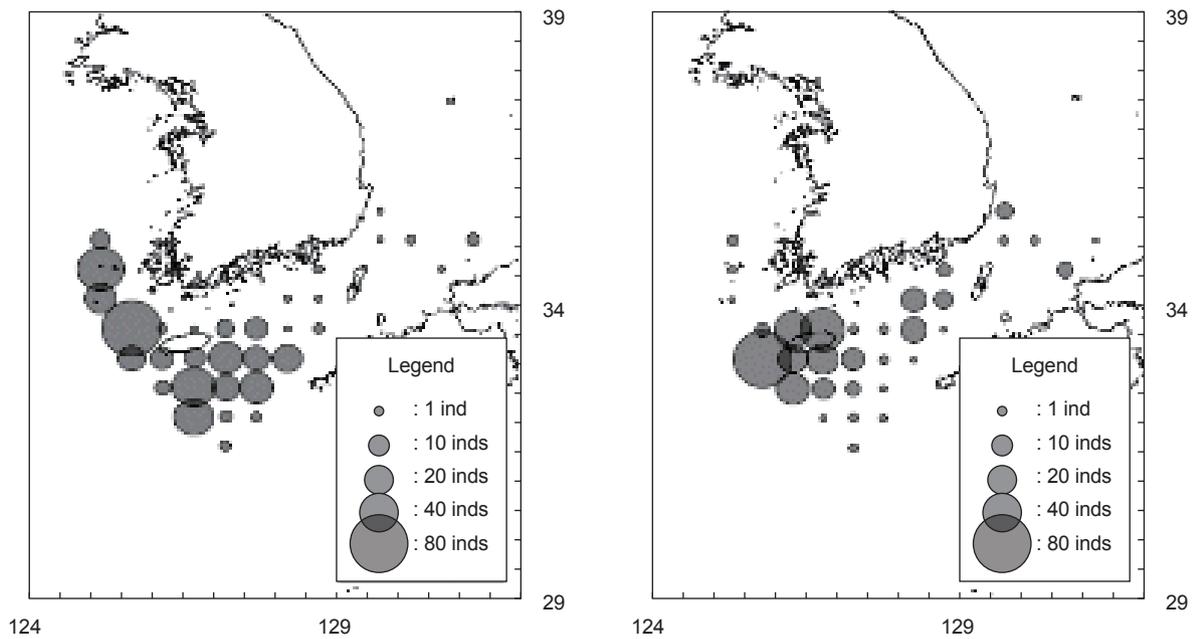


Fig. 5. Catch Density of ocean sunfish *Mola mola* caught by purse seine in waters off Korea. Data were combined from 2010 to 2014 and compared with two seasons, November-April (left) and May-October (right).

katsubo et al., 2007b), 이러한 결과에 대해 Pope et al. (2010)은 이 해역에서의 표층 수온은 평균 $25.5 \pm 0.58^\circ\text{C}$ 로 예상했다. 또한 Sokolovskaya and Sokolovskiy (1975)는 북위 30도 동경 130도의 일본 큐슈 남부해역에서 8-12 mm (TL) 치어가 3월과 8-9월에 포획된 것으로부터 이 해역에서 개복치의 산란이 이루어지는 것으로 추정하였다. 본 연구의 주요 어획해역인 제주도 인근은 표층 수온이 $22-24^\circ\text{C}$ 의 범위로 일본 태평양해역의 산란장 수온범위보다 다소 높았으며, 어획된 개복치는 생식소의 조직학적 관찰에서 산란 가능한 난모세포와 산란흔적을 지닌 여포세포층이 발견된 것으로 나타났다. 따라서, 우리나라로 회유하는 개복치는 7-10월에 제주도 인근 해역에서 산란이 이루어지는 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2015년도 국립수산물과학원 수산과학연구소사업 (R2015024)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Anderson WDJ and Cupka DM. 1973. Records of the ocean sunfish, *Mola mola*, from the beaches of South Carolina and adjacent waters. *Cheasapeake Sci* 14, 295-298
- Dewar H, Thys T, Teo SLH, Farwell C, O'Sullivan J, Tobayama T, Soichi M, Nakatsubo T, Kondo Y, Okada Y, Lindsay DJ, Hays GC, Walli A, Weng K, Streelman JT and Karl SA. 2010. Satellite tracking the world's largest jelly predator, the ocean sunfish, *Mola mola*, in the western Pacific. *J Exp Mar Biol Ecol* 393, 32-42.
- Fulling, G. L., Fertl D, Knight K and Hoggard W. 2007. Distribution of Molidae in the northern Gulf of Mexico. *Gulf Caribb Res* 19, 53-67.
- Fraser-Brunner A. 1943. Notes on the Plecogranth fishes. VIII. The classification of the suborder Tetraodontidae, with a synopsis of the genera. *Ann Mag Nat Hist Ser* 11, 10, 1-18.
- Fraser-Brunner A. 1951. The ocean sunfishes (family Molidae). *Bull Brit Mus (Nat Hist) Zool* 1, 89-121.
- Lee DS. 1986. Seasonal, thermal, and zonal distribution of ocean sunfish, *Mola mola* (Linnaeus), off the north Carolina coast. *Brimleyana*, 75-83.
- Lee DW, Choi JH and Choi KH. 2013. Catch Distribution of Ocean Sunfish *Mola mola* off Korean waters. *Korean J Fish Aquat Sci* 46, 851-855.
- Martin FD and Drewry GE. 1978. Family Molidae. In "Development of fishes of the Mid-Atlantic Bight. An atlas of egg, larval and juvenal stages. VI. Stromateidae through Ogioccephalidae" US Fish Wild Serv, Biol Serv Prog FWS/OBS, 78/12, 313-338.
- Nakatsubo T, Kawachi M, Mano N and Hirose H. 2007a. Estimation of maturation in wild and captive ocean sunfish *Mola mola*. *Aquaculture Sci* 55, 259-264.
- Nakatsubo T, Kawachi M, Mano N and Hirose H. 2007b. Spawning period of ocean sunfish *Mola mola* in waters of the Eastern Kanto region, Japan. *Aquaculture Sci* 55, 613-618.
- Pope EC, Hays GC, Thy TM, Doyle TK, Sims DW, Queiroz N, Hobson VJ, Kubicek L and Houghton JDR. 2010. The biology and ecology of the ocean sunfish *Mola mola*: a review of current knowledge and future research perspectives. *Rev Fish Biol Fish* 20, 471-487.
- Potter, IF, Galuardi B and Howell WH. 2011. Horizontal movement of ocean sunfish, *Mola mola*, in the northwest Atlantic. *Mar Biol* 158, 531-540.
- Schmidt J. 1921. New studies of sun fishes made during the "Dana" expedition, 1920. *Nature* 102, 76-79.
- Sokolovskaya TS and Sokolovskiy AS. 1975. New data on expansion of the area of reproduction of ocean sunfishes (Pisces, Molidae) in the northwestern part of the Pacific Ocean. *J Ichthyol* 15, 675-678.
- Thys T, Weng KC, Dewar H, Farwell C, O'Sullivan J, Walli A, Teo S, Tobayama T, Soichi M, Kondo Y, Okada Y, Nakatsubo T and Block BA. 2007. Tracking the world's largest jelly predator, the *Mola mola*, in the Eastern and Western Pacific, CLIOTOP Symposium, Baja California.
- Thys TM, Ryan JP, Dewar H, Perle CR, Lyons K, O'Sullivan J, Farwell C, Howard MJ, Weng KC, Lavaniegos BE, Gaxiola-Castro G, Bojorquez LEM, Hazen EL and Bograd SJ. 2015. Ecology of the ocean sunfish, *Mola mola*, in the southern California current system. *J Exp Mar Biol Ecol* 47, 64-76.
- Yamanoue Y, Mabuchi K, Sawai E, Sakai Y, Hashimoto H and Nishida M. 2010. Multiplex PCR-based genotyping of mitochondrial DNA from two species of ocean sunfish from the genus *Mola* (Tetraodontiformes: Molidae) found in Japanese waters. *Jap J Ichthyol* 57, 27-34.
- Yoshita Y, Yamanoue Y, Sagara K, Nishibori M, Kuniyoshi H, Umino T, Sakai Y, Hashimoto H and Gushima K. 2009. Phylogenetic relationship of two *Mola* sunfishes (Tetraodontiformes: Molidae) occurring around the coast of Japan, with notes on their geographical distribution and morphological characteristics. *Ichthyol Res* 56, 232-244.