

환경조절에 의한 돌돔 *Oplegnathus fasciatus* 성 성숙 유도

김성연·방인철*·김석민**

국립수산진흥원 남해수산연구소, *순천향대학교 해양수산연구소,
**여수지방해양수산청 여수수산기술관리소

Sexual Maturation Inducement of Striped Knife-Jaw, *Oplegnathus fasciatus* by Manipulating Environmental Condition

Sung-Yeon Kim, In Chul Bang* and Seok-Min Kim**

South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and
Development Institute, Chonnam 556-820, Korea

*Research Institute for Aquaculture and Resources, Soonchunhyang University,
Chungnam 336-900, Korea **Fisheries Extension Service Division,
Yosu Regional Maritime Affairs and Fisheries Office, Chonnam 550-030, Korea

Artificial gonadal maturation and spawning inducement of striped knife-jaw *Oplegnathus fasciatus* were studied. Effects of water temperature and photoperiod under different regimens on gonadal activity and maturation of three years old *O. fasciatus* were investigated histologically. In experiment I (Exp. I), water temperature was gradually increased from 14.5°C to 21.0°C and photoperiod was also gradually increased from 10:30 L to 15:30 L from December 1996 to February 1997 and these conditions were maintained till April. In experiment II (Exp. II), water temperature was increased in the same way from Exp. I and photoperiod was controlled as natural condition till early March and then increased to 15:30 L immediately. Control fish were reared in net-cage culture system in the sea from December 1996 to April 1997. Gonadal activity was initiated by increasing water temperature in both Exp. I and II from January. In Exp. I, gonadal maturation and spawning were induced from February when water temperature and photoperiod reached at 21.0°C and 15:30 L, respectively. In Exp. II, complete gonadal maturation was not induced until early March but after treated by compensatory long photoperiod (15:30 L), the gonad was matured and subsequently spawning occurred.

Key words : *Oplegnathus fasciatus*, induced maturation, histological examination

서 론

돌돔, *O. fasciatus*는 현재 남해안의 가두리 양식장에서 새로운 양식 품종으로 양식이 시작되었으나, 산란기가 5~7월이므로 인공 생산된 종묘를 양식하여 당년에

출하하는 것은 불가능하기 때문에 조기 종묘 생산의 필요성이 증가하고 있다.

어류의 성 성숙과 산란은 생식 내분비계에 의해 조절되지만, 이들의 조절을 유도하는 것은 수온과 일장(日長)의 외부 환경요인으로 알려져 있다(Vlaming, 1975; Asahina and Hanyu, 1983; 이와 羽生, 1984; 羽生,

1982). 일반적으로 어류의 생식소 활성 개시 및 성숙 유도에는 수온과 일장이 복합 또는 단일적으로 작용하며, 종에 따라서는 그 정도가 각기 다르게 나타나고 있다 (Min, 1988; 김과 허, 1991; 김 등, 1993; 조와 양, 1993; 福所 等, 1986).

돌돔의 성숙 및 산란 유도에 관한 연구로는 친화 양성중인 친어를 대상으로 자연 산란 유도(福所 等, 1975), 연어 뇌하수체와 HCG를 투여하여 성숙과 배란 유도(松山 等, 1989) 및 수온 광주기 조절에 의한 산란 유도(정 등, 1998) 등에 대하여 연구되었으나, 아직까지 인위적 환경 조절에 의해 성 성숙 및 산란을 유도하였을 때 생식소의 발달 변화는 조사되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 인위적인 환경 조절로 돌돔 종묘를 조기에 생산하기 위해 수온 및 광주기 조절에 의한 돌돔의 산란 유도를 실시하면서 매월 실험구마다 10마리 내외의 친어를 무작위로 추출하여 월별 생식소 발달 상태를 조직학적으로 조사하고, 생식소 성숙 및 산란에 미치는 환경 요인의 영향을 고찰하였다.

재료 및 방법

1. 실험어 및 환경조절

실험에 사용된 친어는 전남 여수시 거문도 해상 가두리에 사육 중이던 전장 20.5~28.7 cm의 3년생 돌돔으로, 실내에서 65톤 콘크리트 수조당 250마리씩 수용, 사육하였다. 환경 조절 방법에서, 자연 대조구는 거문도 해상 가두리 양식장에서 자연조건 하에서 사육하였고, 수온 및 광주기 조절 시험구(Exp. I)는 실내 사육 수조에서 조도를 150~200 Lux로 조절한 다음 광주기를 12월 20일에 10:30 L에서 2일마다 10분씩 증가시켜 2월 28일 15:30 L까지 증가시켰고, 수온은 14.5°C에서 매일 0.1°C씩 증가시켜 2월 22일 21°C까지 증가시킨 후 그대로 유지시켰다. 수온 조절 시험구(Exp. II)는 수온을 Exp. I에서와 동일하게 조절하였고, 차광막을 설치하여 50~70 Lux 조도로 자연 광주기를 이용하였다. 그러나 산란이 유도되지 않아 3월 10일부터 조도와 광주기를 Exp. I과 같이 각각 150~200 Lux, 15:30 L로 재 조절하였다(Fig. 1).

2. 성숙도 조사

각 실험구별로 매월 10마리 전후의 실험어를 무작위로 포획하여 전장 및 체장을 측정하고 체중, 내장, 간 및 생식소 무게를 0.1 g 단위로 측정하였다. 생식소 중량지수(Gonadosomatic index, GSI)와 간 중량지수(Hepatosomatic index, HSI)는 아래의 식으로 구하였다:

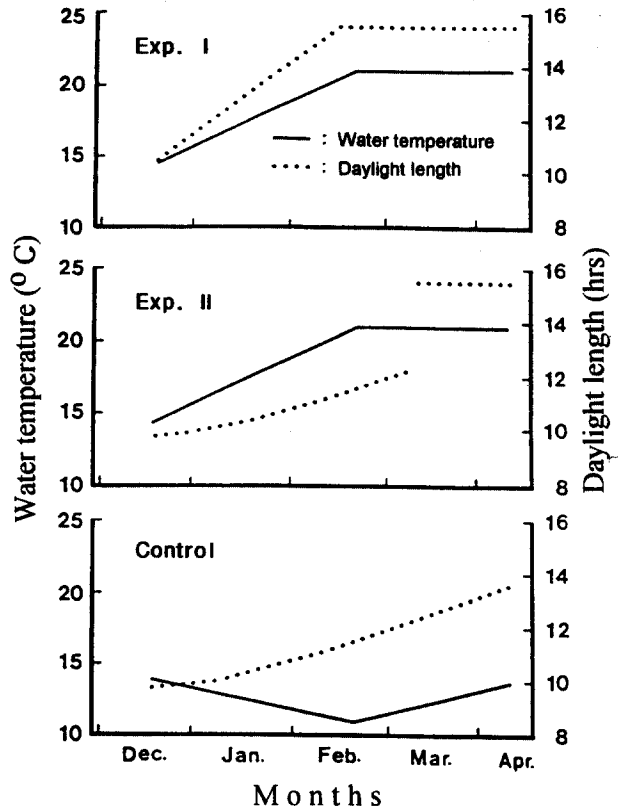


Fig. 1. Changes of water temperature and daylight length under the two different experimental regims and natural condition from December 1996 to April 1997.

- GSI = 생식소 중량 × 100 / (체중 - 내장 중량 - 생식소 중량 - 간 중량)
- HSI = 간 중량 × 100 / (체중 - 내장 중량 - 생식소 중량 - 간 중량)

환경 조절에 따른 생식소의 조직학적인 변화를 조사하기 위하여 적출된 생식소를 Bouin 용액에 고정한 후, 상법인 paraffin 절편법에 의하여 4~5 μm의 두께로 연속 절편하여 Haematoxylin-Eosin 이중 염색 및 Mallory 염색으로 비교 관찰하였다.

결 과

1. 생식소 중량지수 (GSI)의 변화

암컷의 경우 자연 대조구는 실험 개시 월인 12월 0.93에서 실험 종료 월인 3월에는 0.82로 나타나 실험 기간 중 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 2). 그러나 Exp. I은 1월까지 0.87로 낮은 값을 유지하다 2월은 3.44로 증가하면서 2월 22일부터 산란이 시작되었고, 이어 3월

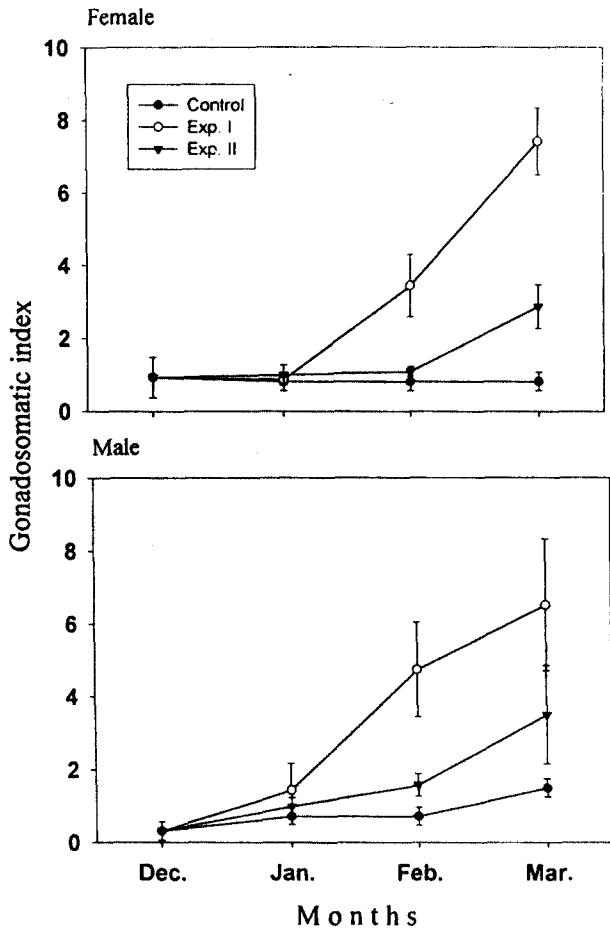


Fig. 2. Changes of gonadosomatic index in striped knife-jaw, *Oplegnathus fasciatus* under the two different experimental regimes and natural condition from December 1996 to April 1997. Vertical bars represent the standard deviations.

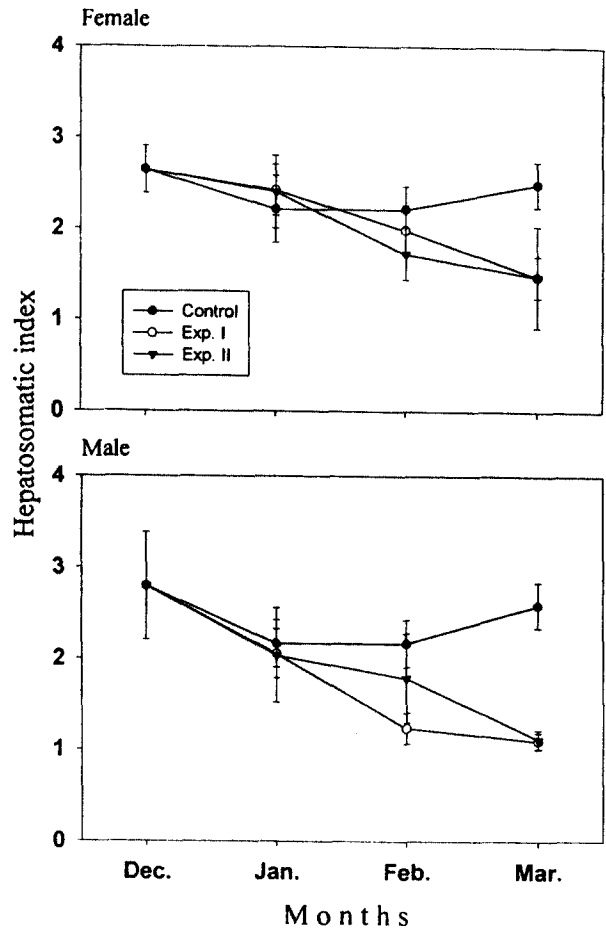


Fig. 3. Changes of hepatosomatic index in striped knife-jaw, *Oplegnathus fasciatus* under the two different experimental regimes and natural condition from December 1996 to April 1997. Vertical bars represent the standard deviations.

에는 7.42까지 크게 증가하였다. Exp. II에서는 2월까지 1.14 이하의 낮은 값을 유지하다 Exp. I과 같이 광 조절을 병행한 3월에 2.81로 증가하였으며, 광 조절 병행 후 7일째인 3월 17일부터 산란이 시작되었다.

수컷 GSI도 암컷과 비슷한 경향을 보여, 자연 대조구는 12월에 0.31에서 1월과 2월 0.72 그리고 3월 1.5로 소폭의 증가를 나타내었다. Exp. I은 12월부터 서서히 증가하여 2월에 4.75로 증가한 후, 3월에는 6.53으로 최대 값을 보였다. 그러나 Exp. II는 1월 0.99, 2월 1.58로 낮은 값을 유지하다 광 조절을 병행한 3월에 3.54로 크게 증가하였다.

2. 간 중량지수 (HSI)의 변화

암컷의 경우 자연 대조구는 12월에 2.65에서 1, 2월에 2.22로 약간 낮아졌다가 3월에 2.59로 다시 소폭 증가

하였다. 그러나 Exp. I에서는 12월 이후 계속 감소하여 3월에는 1.48로 최소값을 나타내었다. Exp. II에서도 12월에 2.65에서 2월에 1.99로 소폭 감소하였으나, 광 조절을 병행한 3월에는 1.48로 큰 폭의 감소를 나타내었다 (Fig. 3).

수컷에서도 자연 대조구는 1, 2월에 2.17의 낮은 값을 유지하다 3월에 다시 증가하였다. 그러나 Exp. I은 1월 이후 계속 감소하여 2월과 3월에는 각각 1.24와 1.10으로 크게 감소하였다. Exp. II에서도 12월 이후 계속 감소하여 3월에 1.12로 가장 낮았다.

3. 생식소의 조직학적 변화

1) 자연 대조구

난소는 12월 시험 개시기에 전장 3~4 cm, 직경 0.3~0.5 cm 전후로 위축된 상태였고, 난소 내부는 난소의 배

Fig. 4. Photographs of gonadal developmental phases of striped knife-jaw, *Oplegnathus fasciatus* rearing in net cage of sea under the natural condition from December 1996 to March 1997.

a, Transverse section of ovary in the resting stage; b, Section of oocytes in the early growing stage; c, Section of growing oocytes. Notes yolk vesicles in the cortical layer of the growing oocytes; d, Transverse section of testis in the early growing stage; e, Section of testicular lobuli in the growing stages; f, Section of testis in the mature stage.

측 상피층에서 내강쪽으로 발달된 많은 난소 소엽으로 구성되어 있었다. 그리고 각 난소 소엽 내에는 소엽 상피를 따라 난경이 30~60 μm이며 세포질이 호염기성의 염색성을 나타내는 초기 난모세포들이 가득차 있어 뚜렷한 휴지기의 조직상을 나타내었다(Fig. 4-a). 이들 난소는 1월까지 휴지기 상태를 계속 유지하다가 2월에 초기 난모세포들은 난경 80~110 μm로 성장하면서 핵막 주변에서 다수의 인들이 관찰되고, 세포질의 비후와 함께 세포질의 염색성도 호산성으로 변화하는 초기 성장

기의 조직상을 나타내었다(Fig. 4-b). 3월에는 초기 난모세포들이 150~200 μm 전후로 성장하며 세포질 외층으로부터 공포상의 난황포도 소수 관찰되는 성장기의 조직상을 나타내었다(Fig. 4-c).

정소도 12월에는 난소와 유사하게 2~3 cm로 위축된 외형을 보였으며, 정소 내부는 정소 외막의 상피층에서 발달된 많은 정소 소엽으로 구성되어 있었다. 각 정소 소엽내에는 소엽 외층의 생식 상피층에서 소수의 정원세포가 관찰되고 내측으로 갈수록 분열 중인 정모세포

Fig. 5. Photographs of gonadal developmental phases of striped knife-jaw, *Oplegnathus fasciatus* rearing in indoor tank under the artificial photoperiod-water temperature regime from December 1996 to March 1997.
a, Transverse section of ovary in the growing stage; b, Section of mature oocytes in the fully mature stage; c, Section of testicular lobuli in the mature stage; d, Transverse section of testis in the fully mature stage.

와 소수의 정세포가 관찰되는 초기 성장기의 조직상을 나타내었다(Fig. 4-d). 이들 초기 성장기의 정소는 1월 까지 동일한 상태를 유지하다가, 2월부터는 정소 소엽이 점차 비후, 발달되면서 소엽내 정모세포와 정세포의 수가 많아지고 내강쪽에는 일부 변태된 정자들도 소수 관찰되기 시작하였다(Fig. 4-e). 3월에 접어들면서 정소는 계속적인 발달로 정소 외막과 소엽 상피가 점차 신장되고, 각 소엽 내강에는 정자들의 수가 증가되는 성숙 초기의 조직상을 나타내었다(Fig. 4-f).

2) 수온 및 광주기 조절 시험구 (Exp. I)

난소는 1월에 접어들면서 난소내 난모세포들 대부분이 90~150 μm 로 성장하여 성장기의 조직상을 보인 후 2월에는 난경이 180~260 μm 로 성장하면서 세포질 외측으로부터 일부 난황구의 축적도 관찰되는 성숙기까지 발달하였다(Fig. 5-a). 그리고 3월에는 난소내 대부분의 난모세포들이 난경 370~420 μm 에 달하며 세포질은 난황구들로 가득차고, 핵은 핵막의 소실과 함께 핵질의 이동도 관찰되는 성숙 후기의 조직상을 나타내었다(Fig. 5-b).

정소도 난소와 같은 경향을 보여 1월 활성이 개시된

초기 성장기 상태에서 2월에는 대부분 개체들의 각 소엽내 완숙된 정자가 다수 관찰되고, 계속해서 수정관으로 밀집되는 성숙기의 조직상을 보였다(Fig. 5-c). 이러한 성숙 발달은 타 시험구의 정소보다 빨리 진행되어 2월 하순부터는 완숙 정자들이 각 정소 소엽과 수정관내에 밀집되는 완숙기의 정소 조직상을 보였으며(Fig. 5-d), 이러한 완숙기의 발달 조직상은 3월까지도 계속 유지되었다.

3) 수온 조절 시험구 (Exp. II)

난소는 1월까지 휴지기 상태를 유지하다, 2월에 일부 개체에서 난경이 130~180 μm 로 활성이 시작된 성장기의 초기 난모세포들이 관찰되었다(Fig. 6-a), 그리고 3월 상순까지는 난소내 초기 활성화가 개시된 난모세포들 사이로 난경 250~350 μm 로 난세포질 내에 난황구들이 축적되고 있는 성숙기의 난모세포들이 부분적인 출현만을 나타내었다(Fig. 6-b). 그러나 난경 350~420 μm 의 성숙난들은 광 조절을 병행한 후인 3월 하순부터 관찰되었다.

정소는 1월까지 초기 성장기의 활성이 개시된 상태를 유지하다, 2월부터는 소수 정자들이 수정관에 밀집되는

Fig. 6. Photographs of gonadal developmental phases of striped knife-jaw, *Oplegnathus fasciatus* rearing in indoor tank under the artificial water temperature regime from December 1996 to March 1997.
 a, Transverse section of ovary in the growing stage; b, Section of oocytes in the early mature stage; c, Transverse section of testis in the growing stage; d, Section of testis in the maturing stage.

성숙기에 접어든 개체가 나타나기 시작하였다(Fig. 6-c). 3월 상순의 각 정소들은 계속적인 발달로 각 소엽은 크게 신장되고 내강에는 완숙 정자들이 관찰되나, 소엽 상피층에서는 발달 중인 다수의 정모세포들도 관찰되는 등 성숙기의 조직상을 유지하였다(Fig. 6-d). 그러나 광조절을 병행한 후 3월 하순에는 소엽 상피가 극히 신장되고, 수정관내에도 완숙 정자들이 계속 밀집되는 완숙기의 발달상을 나타내었다

4. 생식소 발달 단계별 출현율 조사

1996년 12월부터 1997년 3월까지 각 시험구별 생식소의 조직학적 조사 결과와 사육 중인 친어의 산란 변화를 종합하여, 각 시험구에서의 생식소 발달 단계별 출현율을 조사한 결과는 Table 1과 같다.

암컷의 경우 시험 개시기인 12월에 100% 휴지기의 난소 상태에서 1월에 대조구는 17%만이 초기 활성이 개시된 성장기 상태를 보였으나, Exp. II는 50%, Exp. I은 100%가 주 성장기에 속한 것으로 나타났다. 2월에는 대조구 20%, Exp. II 60%가 성장기로 발달하였으나, Exp. I은 100%가 성숙기에 속하였다. 3월에는 대조구에

Table 1. Monthly variation in developmental stage of gonad of striped knife-jaw, *Oplegnathus fasciatus* rearing at the two different regimes and natural condition from December 1996 to March 1997

Experimental group	Month	Developmental stage (%)							
		Ovary				Testis			
		R	G	M	S	R	G	M	S
Exp. I	Dec.	100				50	50		
	Jan.		100				33	67	
	Feb.			100					100
	Mar.			25	75			30	70
Exp. II	Dec.	100				50	50		
	Jan.	50	50				80	20	
	Feb.	40	60				40	60	
	Mar.		25	75				85	15
Control	Dec.	100				50	50		
	Jan.	83	17			43	57		
	Feb.	80	20			35	60	5	
	Mar.	50	50				76	24	

R, Resting; G, Growing; M, Mature; S, Spawning.

서 50%가 성장기 그리고 Exp. II는 성장기 25%, 성숙기 75%의 출현율을 나타내었고, Exp. I은 계속해서 100% 성숙기를 나타내었으며, 이 중 75%는 산란에 참여하였다.

수컷은 12월에 휴지기 50%, 성장기 50%의 초기 활성이 일부 개시된 상태에서 1월 대조구는 휴지기 43%, 성장기 57%의 출현율을 보였으나, Exp. II는 성장기 80%, 성숙기 20% 그리고 Exp. I은 성장기 33%, 성숙기 67%의 출현율을 보였다. 2월에는 대조구에서 35% 휴지기, 60% 성장기, 5%의 성숙기를 보인 반면, Exp. II는 40% 성장기, 60%의 성숙기를 그리고 Exp. I은 100% 성숙기를 나타내었다. 3월에는 대조구에서 24%만이 성숙기에 달하고 있으나, Exp. I, II 모두 100%의 성숙기를 나타내었으며, 이 중 Exp. I은 70%, Exp. II는 15%가 방정에 참여한 것으로 조사되었다.

고 찰

시험구별 생식소 속도지수(GSI) 변화를 비교하였을 때 수은 및 광주기 조절구(Exp. I)는 2월에 암·수 각각 3.44, 4.75로 급격한 증가를 보여 뚜렷한 성숙 촉진 효과를 보였으며, 일장 15:30 L, 수은 21.0°C까지 상승 조절 후 5일째(2월 22일)부터 산란이 개시되었다(정 등, 1998). 그러나 수은 조절구(Exp. II)는 2월 하순까지 암 1.14, 수 1.58로 GSI 값의 뚜렷한 증가도 없었고, 산란도 일어나지 않았으나, 수은 및 광주기 조절구(Exp. I)와 동일하게 광량 및 광주기를 병행 증가시킨 후, 7일째(3월 17일)부터는 산란이 개시되었다. 또한 생식소의 조직학적 관찰 결과에서도 수은 및 광주기 조절구(Exp. I)의 암·수 생식소는 2월 이후 모두 성숙에 도달하였다. 그러나 수은 조절구(Exp. II)는 2월 성숙기에는 접어들었으나 난소는 부분적 성숙 발달만을 보여 3월 초순부터 광주기 조절을 병행하자 3월 하순경부터 본격적으로 성숙에 참여하는 결과를 나타내었다. 어류에 있어 산란기의 개시와 종료는 종 특유의 수은과 일장에 대한 반응성으로 나타나는데, 일반적으로 봄·여름 산란형에 속하는 어류에서는 생식소 성숙과 산란기의 개시가 수은의 상승에 의하여 유도되어지며, 산란기의 종료는 일장의 단일화에 의하여 유도된다고 보고하고 있다(Vlaming, 1975; Asahina *et al.*, 1980; Shimizu and Hanyu, 1982; Asahina and Hanyu, 1983, 1985; Kaneko, 1986; Awaji and Hanyu, 1988). 또한 봄·여름 산란형 어류에 있어 광주기나 수은과 같은 환경 요인이 생식 활동과 성 성숙에 관여하는 형태는, 해산 어류의 경우 그물코 쥐치에서는(이 등, 1984) 생식소 성숙은 장일주기에 의해 개시

되고 여기에 수은이 보상적 역할을 하여 산란에 이른다고 보고하였고, 점망돔(백과 이, 1985)은 광주기와는 관계없이 수은 상승이 생식소 활성을 유도하는 요인이라고 보고하고 있다. 그리고 담수산 어류에서는 대부분 춘계의 상승하는 수은이 생식소 활성과 성숙을 유도하고, 여기에 장일 주기가 보상 촉진 작용을 하나(羽生, 1982; Asahina and Hanyu, 1983), 파랑볼 우럭은 고수은과 장일 주기의 복합적 작용이 성 성숙 및 산란에 필요하다고 보고하고 있다(이와 김, 1987). 따라서 들돔은 수은과 광주기의 두가지 환경 요인이 모두 복합적으로 작용해야만 완전 성숙에 이르는 것으로 보이며, 이 중 생식소 활성 및 성숙 개시에는 춘계의 상승하는 수은이 그리고 이 후 최종 성숙 유도에는 증가하는 광주기가 보상적으로 작용하는 담수산 어류에서의 생식 기구와 유사한 결과를 나타내었다.

환경 요인의 인위적 조절에 의한 조기 산란 유도는 넙치의 경우 60일만에 산란을 유도하여 자연 상태보다 약 6개월 정도 조기에 채란하였으며(김과 허, 1991), 참돔은(김과 김, 1990) 자연 상태보다 약 1개월 조기 채란하였다. 본 연구에서는 수은과 광주기를 조절하여 자연 산란기인 6월보다 4개월 정도 빠른 2월에 산란을 유도함으로써 들돔의 조기 종묘 생산은 가능한 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서는 조기 종묘 생산을 위해 단기간의 환경 조절로 산란을 앞당기는데 목적을 둔 실험이었으므로, 들돔의 생식기구에서 성 성숙에 관련된 환경 요인의 작용에 대한 정확한 구명은 차후 좀더 세분화된 실험을 통해 밝혀져야 하겠다.

성숙 및 산란에 도달하였던 Exp. I과 II에서 생식소 중량지수(GSI)와 간 중량지수(HSI) 변화 결과를 비교해보면 암·수 모두 역 상관적인 변화상을 보였는데, 이러한 결과들은 그물코쥐치(이 등, 1984), 자리돔(이와 이, 1988), 볼락(이와 김, 1992) 등에서도 찾아 볼 수 있다. 이는 생식소 발달에 관여하는 물질 즉, 난소에서 난황전구물질의 합성과 생식에 필요한 제반 에너지가 간에서 만들어져 생식소에 전달되는 과정에서 일어나는 변화 중 물질의 저장 및 합성 등의 시기적 차이에서 기인하는 것으로 고찰되고 있다(정 등, 1986). 따라서 단기간의 인위적 환경 제어로 성숙 및 산란 유도시는 양질의 수정란 확보를 위해 성 성숙 관련 에너지 수지와 친어의 영양 관리에 적합한 사료 체계의 개발도 차후 필요할 것으로 사료된다.

적 요

들돔 *Oplegnathus fasciatus*의 인위적인 성 성숙 및

산란 유도를 위한 연구에서, 3년생 돌돔 친어를 대상으로 수온 및 광주기 조절에 의한 생식소 발달을 조직학적으로 조사하였다. 수온 및 광주기 조절구(Exp. I)는 1996년 12월부터 1997년 2월까지 수온은 14.5°C에서 21.0°C 그리고 광주기는 10:30 L에서 15:30 L로 증가시킨 후 4월까지 계속 유지시켰다. 수온 조절구(Exp. II)에서 수온은 Exp. I과 동일하게 조절하였고, 광주기는 3월 초순까지는 자연 광주기로 조절하였다가 이후 장일 광주기(15:30 L)로 재조절 하였다. 대조구는 1996년 12월부터 1997년 4월까지 해상 가두리의 자연 조건하에서 사육하였다. 생식소 활성화는 1월부터 Exp. I, II 모두에서 시작되었다. 그리고 성숙과 산란은 Exp. I에서는 수온과 광주기가 각각 21.0°C와 15:30 L까지 도달한 2월부터 시작되었으나, Exp. II는 3월 초순까지도 부분적 성숙만 유도되다 장일 광주기(15:30 L)로 조절한 후 3월 하순부터는 성숙과 산란이 시작되었다.

인 용 문 헌

Asahina, K. and I. Hanyu. 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 49 : 61 ~ 67.

Asahina, K. and I. Hanyu. 1985. Development of photoperiodism involved in the gonadal activity of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 51 : 1655 ~ 1670.

Asahina, K., I. Iwashita, I. Hanyu, and T. Hibiya. 1980. Annual reproductive cycle of bitterling, *Rhodeus ocellatus*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 46 : 299 ~ 305.

Awaji, K. and I. Hanyu. 1988. Effect of water temperature and photoperiod on the beginning of spawning season in the orange-red type medaka. Zool. Sci., 5 : 1059 ~ 1064.

Kaneko, T. 1986. Studies on reproductive rhythms in gobiid fishes. Doctoral thesis, The University of Tokyo.

Min, B.S. 1988. Maturation and spawning of flounder (*Paralichthys olivaceus*) under captive conditions. J. Aquacult. Korea, 1 : 25 ~ 39.

Shimizu, A. and I. Hanyu. 1982. Environmental regulation of annual reproductive cycle in a spring-spawning bitterling *Acheilognathus tabra*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48 : 1563 ~ 1568.

Vlaming, V.L. 1975. Effects of photoperiod and temperature on gonadal activity in the cyprinid teleost, *Notemigonus crysoleucas*. Biol. Bull., 148 : 402 ~ 415.

김 윤 · 허성범. 1991. 수온과 광주기 조절에 의한 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 산란유도. 한국양식학회지, 4 : 85 ~ 95.

김 윤 · 허성범 · 최혜승. 1993. 실내 수조에서의 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 산란기 조절. 수산진흥원연구보고, 4 : 71 ~ 79.

김형배 · 김종만. 1990. 참돔, *Pagrus major*의 광주기 및 수온 조절에 따른 조기산란. 한국양식학회지, 3 : 1 ~ 11.

백혜자 · 이택열. 1985. 점망둑, *Chamichthys dolichognathus*의 생식기구에 관한 실험적 연구. 한국수산학회지, 18 : 243 ~ 252.

이영돈 · 이택열. 1988. 자리돔의 생식주기에 관한 연구. 한국수산학회지, 20 : 509 ~ 519.

이택열 · 김성연. 1987. 파랑볼우럭, *Lepomis machrochirus*의 생식기구에 관한 실험적 연구. 한국수산학회지, 20 : 489 ~ 500.

이택열 · 김성연. 1992. 난태생 경골어류, *Sebastes inermis*의 생식과 체내 자어 발달. 한국수산학회지, 25 : 413 ~ 431.

이택열 · 羽生功. 1984. 그물코쥐치, *Rudarius ercodes*의 생식주기. 한국수산학회지, 17 : 423 ~ 435.

이택열 · 羽生功 · 古川清. 1984. 그물코쥐치, *Rudarius ercodes*의 생식활동에 미치는 광주기 및 온도의 영향. 한국수산학회지, 17 : 523 ~ 528.

정관식 · 김석민 · 방인철 · 김성연 · 이원교. 1998. 수온 및 광주기 조절에 의한 돌돔, *Oplegnathus fasciatus*의 산란유도. 한국양식학회지, 11 : 141 ~ 149.

정의영 · 김형배 · 이택열. 1986. 노래미, *Agrammus agrammus*의 성성숙에 따른 간세포의 활성화 변화. 한국수산학회지, 19 : 83 ~ 91.

조용철 · 양상근. 1993. 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 조기산란에 관하여. 수산진흥원연구보고, 45 : 183 ~ 195.

福所邦彦 · 村卓地 · 山本剛史. 1986. 加温循環濾過式水槽によるマダイ親魚養成と早期採卵. 水産増殖, 34 : 69 ~ 75.

福所邦彦 · 神田高司 · 與賀田稔久 · 藤田次郎. 1975. 人工孵化養成イシダイの自然産卵による採卵. 長崎縣水産試験場研究報告, 1 : 29 ~ 37.

松山倫也 · 勝山成美 · 塚島康生 · 吉田満彦 · 荒川敏久 · 北島力 · 松浦修平. 1989. シロザケ脳下垂體およびHCG投與のイシダイに對する成熟, 排卵の促進效果. 水産増殖, 37 : 203 ~ 209.

羽生功. 1982. 外部環境要因による成熟卵の制御. コイ科魚類 · 魚介類の成熟卵の制御. 日本水産學會篇, 恒星社, 厚生閣, 115 ~ 118.