

황점볼락 *Sebastes oblongus* 인공종묘의 생식소 발달과 성비

곽은주¹ · 이경우^{2,4} · 최낙현⁴ · 박충국⁴ · 한경호⁴ · 이원교^{4,*}

¹완도수산물기술관리소, ²전라남도 수산시험 연구소, ³목포지방해양수산청

⁴전남대학교 해양기술학부 양식생물학전공

Gonadal Development and Sex Ratio of Artificial Seedlings of the Oblong Rockfish *Sebastes oblongus*

Eun-Joo KWAK¹, Kyung-Wo LEE^{2,4}, Seok-Woo YANG³, Nak-Hyun CHOI⁴,

Chung-Kug PARK⁴, Kyeong-Ho HAN⁴ and Won-Kyo LEE^{4,*}

¹Wondo Regional Maritime Affairs & Fisheries Office, Wando 537-808, Korea

²Jeollanamdo Fisheries Research Institute, Sinan 535-802, Korea

³Mokpo Regional Maritime Affairs & Fisheries Office, Mokpo 530-831, Korea

⁴Department of Aquaculture, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

We investigated gonadal development and sex ratio of artificial seedlings of the oblong rockfish *Sebastes oblongus*, based on samplings for 370 days just after parturition. The primordial germ cells and genital ridge appeared separately under the mesentery in the yolk-sac stage larva (total length: 7.10-7.77 mm) just after parturition. The primordial germ cells and genital ridge integrated to form primordial gonad in 5-day-old larvae (7.12-9.68 mm), and then proliferation of somatic cell and germ cell occurred in the gonad, which was maintained undifferentiated until 45-days after parturition (18.6-20.4 mm). The ovarian differentiation began in the larva of 50-days old (dap) after parturition (dap) (20.0-24.5 mm). The somatic tissues elongated from the both opposite end-sites of undifferentiated gonad were consequently fused and formed a complete ovarian cavity at 60-days old dap (25.5-32.0 mm). In 80-days old dap (37.3-47.2 mm), meiosis of oogonia occurred to be chromatin nucleolus stage oocyte. The perinucleolus stage oocytes appeared at in 130-days old dap (68.0-86.0 mm), and previtellogenic stage oocytes appeared in 370-days old dap (101.0-116.0 mm). Only female was observed in the artificially produced oblong rockfish in the present study. This result revealed the effect of higher temperature on the sex determination of the oblong rockfish..

Key words: *Sebastes oblongus*, Sex ratio, Gonadal development

서 론

볼락류는 연안 암초대에 서식하는 정착성 어류로 우리나라에 총 19종이 분포하는 것으로 알려졌다(Chyung, 1977). 식용으로써 선호도 높은 양식 대상 어종이자 연안 자원조성의 주요 대상 어종이다. 볼락류 중에서 양식과 자원조성에 필요한 인공 종묘생산기술이 확립된 어종으로는 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*), 볼락(*Sebastes inermis*) 및 황점볼락 (*Sebastes oblongus*) 등이 있다. 조피볼락은 가두리 양식의 대표적 어종이며, 볼락은 양식보다는 자원 조성에 활용도가 높은 어종이다. 황점볼락은 1990년대 민간배양장과 국립수산물과학원 남해수산연구소 여천 수산 종묘배양장에서 인공종묘 생산을 성공한 이래 가두리에서 소규모 양식되고 있으며 연안자원조성을 위한 방류사업에도 활용되고 있다.

볼락류의 생식양상은 암수가 교미하여 암컷의 체내에서 수정된 후 발생 및 부화 과정을 거쳐 자어단계에서 출산하는 난태생형이다. 성 성숙과 자어의 출산에 관한 연구로는 조피볼락의 생식주기(Baek et al., 2000), 볼락의 생식주기(Lee

et al., 1998), 수온과 광주기에 의한 볼락의 번식주기 조절(Ko et al., 1998), 황점볼락의 성숙과 생식주기(Chang et al., 1995) 등 연구가 수행되었으며, 자치어의 사육 기술이 개발됨으로써 인공종묘생산 기술이 확립되었다. 조피볼락의 종묘생산은 초기에는 자연산 친어를 이용하여왔으나 수년전부터 양식산 친어를 이용한 종묘생산이 정착됨으로써 완전양식 시스템이 구축되었다. 황점볼락의 종묘생산은 아직도 자연산 친어에 의존하고 있다. 양식산 친어를 육상 종묘장에 옮겨 자연산 친어와 동일한 방법으로 자어 출산을 시도하였지만 무정란만을 방출하였다. 암컷의 복부를 개복하여 조사한 결과 난소는 수컷과 교미가 일어나지 않은 미수정란 상태였다.

근래 몇 종의 자웅이체형 어류(gonochoristic fish)의 성결정(sex determination)과정에서 염색체에 의한 유전적 요소와 더불어 환경적 요소도 중요한 영향을 미치는 것으로 알려졌다(Devlin and Nagahama, 2002; Godwin et al., 2003). 어류의 환경적 성결정(environmental sex determination)에 중요한 물리화학적 요소로는 수온, pH 및 염도 등이 있다(Baroiller et al., 1999). 또한 환경에 존재하는 화합물 중 polychlorinated biphenyls (PCBs), nonylphenol, bisphenol과 dioxin 등 내분비계

*Corresponding author: wklee196@chonman.ac.kr

장애물질(endocrine disrupter chemicals)도 어류의 성결정에 영향을 미치는 것으로 알려졌다(Gray and Metcalf, 1997). 불락류인 조피불락의 성결정 역시 수온과 내분비계 장애물질에 영향을 받는 것으로 밝혀졌다(Lee et al., 2000; Lee et al., 2003). 황점불락 양식산 친어에서 미수정란 상태의 난소는 인공종묘의 전암컷 집단화에 의한 현상일 가능성이 매우 높으나 아직까지 확실하게 밝혀지지 않았다.

황점불락은 양식뿐만 아니라 자원조성을 위한 방류 사업이 시행되고 있는 어종이기 때문에 전암컷 집단이 방류되었을 경우 자연집단의 성비와 유전적 다양성에 심각한 영향을 미칠 가능성이 있다. 그래서 본 연구는 황점불락의 생식소 발달과 성비를 조사함으로써 황점불락의 전암컷화 현상과 환경적 성결정 여부를 밝히고자 수행하였다.

재료 및 방법

친어관리 및 출산

실험에 사용한 친어는 자연산 치어를 수집하여 4-5년 동안 해상가두리에서 사육중인 것을 이용하였다. 황점불락 친어는 12월 1일 선별을 실시하여 복부가 팽만한 어미 40마리(평균중량 435 ± 8.29 g)를 육상 배양장으로 옮겨 관리하였다. 어미관리 수조는 차광막을 이용하여 빛을 차단하여 주었고, 사육수는 1일 10회전 이상 유수시켰다. 친어 수용 후 14일 뒤 첫 출산이 시작되었으며, 이때 사육수온은 11.8°C , 염분은 33.4‰이었다.

실험어

실험어는 출산된 자어를 이용하여 2003년 12월 14일부터 실험 종료 시까지 370일간 전남 여수시 돌산읍 소재 육상 수조식 양식장에서 사육중인 것을 이용하였다. 출산된 자어는 3일 후부터 점차적으로 가온하여 출산 10일 후부터는 18°C 를 유지하였고, 2004년 3월 15일까지 관리하였다. 1차 선별이후 사육수온을 점차적으로 내려 2004년 3월 24일부터 자연수온에서 사육하였다.

사육기간 동안의 먹이 공급은 출산 직후부터 30일까지 rotifer를 공급하였으며, 25일 이후부터 60일까지 Artemia nauplius와 초기 배합사료를 혼용 급여 하였다. 60일 이후부터는 성장단계에 따라 적정 배합사료를 공급하였다.

생식소 분화 및 성비

황점불락의 성장 단계별 생식소의 발달 양상을 파악하기 위해 산출 1일부터 370일까지 초기에는 5일 간격으로 하였으며, 성장함에 따라 10일 간격으로 각각 30마리씩 무작위로 채집하였다. Bouin액에 24시간 고정하였으며, 출산 100일부터는 해부현미경하에서 내장 제거 후 고정하였다.

고정된 조직들은 paraffin 상법에 따라 포매하여, 미세 조직 절편기를 이용하여 $5-7 \mu\text{m}$ 로 연속절편하였으며, hematoxylin과 eosin으로 이중 염색하였다. 자세한 검경을 위하여 Technovit resin에 포매하여 $2 \mu\text{m}$ 로 절편 하였고, toluidine blue로 염색하

여 광학현미경으로 검경하였다.

결 과

생식소 형성

출산 직후 자어(전장: $7.10-7.77$ mm)는 복부에 난황을 지니고 있는 난황기였으며, 시원생식세포(primordial germ cell)와 체세포(somatic cell)로 이루어진 생식용기(genital ridge)는 일정한 간격을 유지한 채 중신관(mesonephric)과 장간막(mesentery) 사이에 위치하고 있었다. 시원생식세포는 직경 $16.25-23.0 \mu\text{m}$ 의 구형으로 주변세포들 보다 컸다(Fig. 1A). 출산 후 5일령 자어($7.12-9.68$ mm)는 난황 흡수가 완료된 전기자어기였으며, 시원생식세포는 장간막에서 분리되어 생식용기와 융합된 상태였다. 시원생식세포는 큰 난형의 세포로 세포질과 둥근핵을 가지고 있었으며 생식용기의 체세포들이 부분적으로 시원생식세포를 둘러싸고 있었다. 전체 생식소는 복강 상피세포로 둘러싸여 있었다(Fig. 1B). 출산 후 10일령 자어($8.22-10.16$ mm)는 후기자어기로 이행하였으며, 생식용기의 체세포들이 분열·증식하여, 시원생식세포를 완전히 둘러싸아 원시생식소(primordial gonad)를 형성하였다(Fig. 1C). 출산 후 15일령 후기자어($9.60-11.64$ mm)에서 출산 후 45일령 후기자어($18.6-20.4$ mm)까지 체세포와 생식세포의 유사분열이 활발하게 진행되었으나 생식소는 아직 미분화 상태였다(Fig. 1D). 출산 후 50일령에서 형태적으로 자어기에서 치어($20.0-24.5$ mm)기로 이행되었으며, 생식소 전단부에서 난소의 분화가 시작되었다. 자웅이체어류의 난소분화의 특징인 생식소 전단부에서 양쪽 끝의 체세포들의 증식이 시작되었고 혈관 형성이 진행되었다(Fig. 1E). 55일령 치어의 전단부에서는 두 체세포들의 돌기가 더욱 신장되어 그 끝이 가깝게 위치하였으며(Fig. 1F), 후반부에서는 체세포의 증식에 의한 돌기의 신장은 50일령 치어의 전단부와 비슷한 상태였다. 출산 후 60일령 치어($25.5-32.0$ mm)의 난소의 모든 부분에서 난소강이 형성되어 암컷으로의 분화가 완료되었다(Fig. 1G). 출산 80일령 치어($37.3-47.2$ mm)는 난소에서 난원세포가 감수분열을 개시하여 염색인기 난모세포(chromatin nucleolus oocyte)로 발달하기 시작하였다(Fig. 1H). 이후 일령이 증가하여 130일령 치어($68.0-86.0$ mm)에서 주변인기(perinucleolus stage)의 난모세포가 나타났으며, 출산 후 370일령 자어($101.0-116.0$ mm)에서 전난황형성기의 난모세포들이 출현하였다.

성 비

성비는 10일마다 30마리의 개체로 확인하였으며, 출산 직후부터 45일($9.60-11.64$ mm)까지는 미분화 생식소를 가지고 있었다. 난소의 분화가 시작되는 50일부터 난소로 분화가 시작된 치어 30마리($20.0-24.5$ mm)에서 모두 암컷으로 분화하였다. 암컷으로 완전히 분화된 60일부터 370일까지의 조사 기간 동안 전암컷으로 나타났다. 하지만 수컷은 나타나지 않았다. 황점불락의 성분화 과정과 성비는 Table 1과 같다.

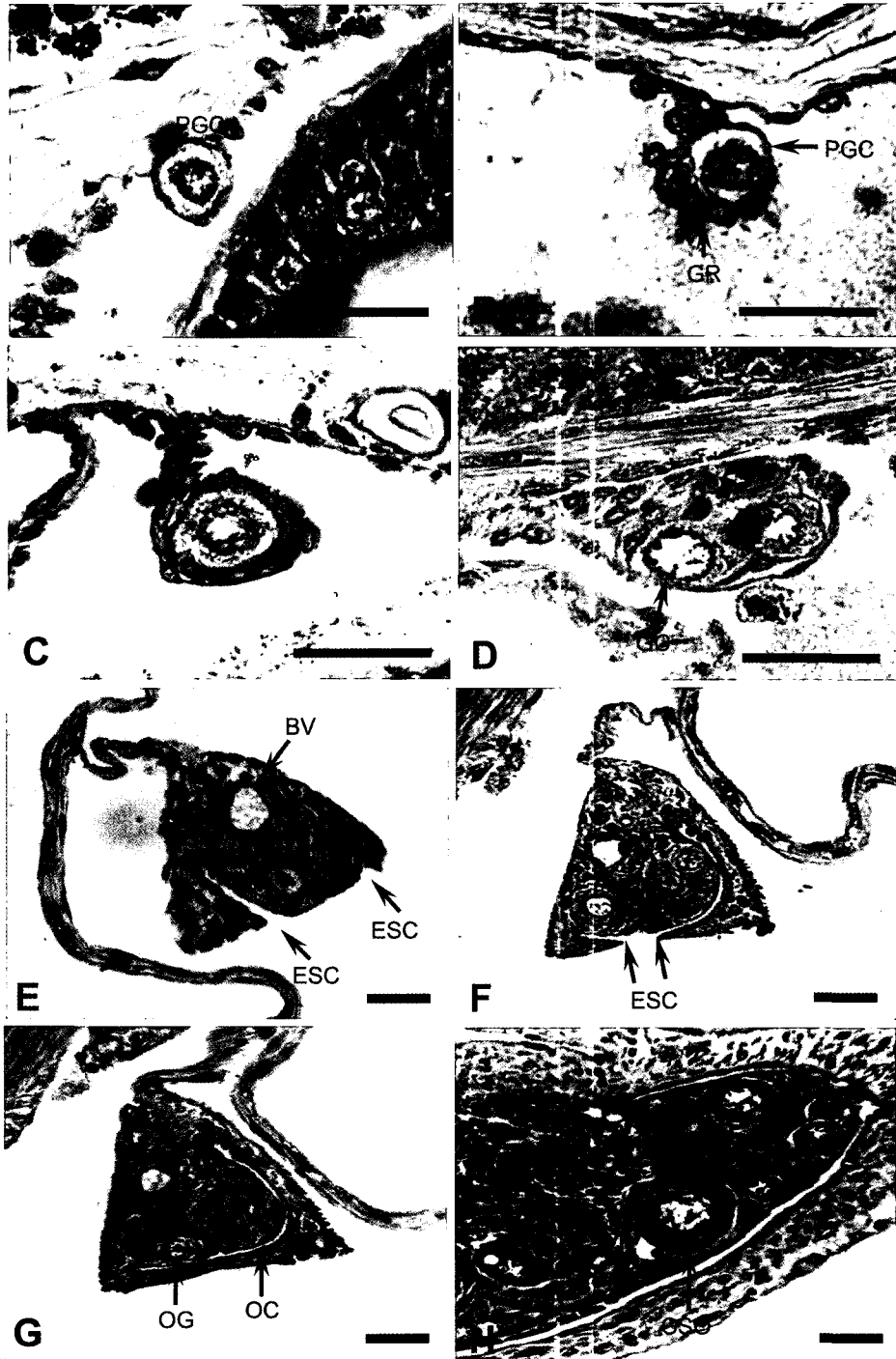


Fig. 1. Undifferentiated stage of gonad and ovarian development in the oblong rockfish, *Sebastes oblongus*. A, The primordial germ cell in contact with the mesentery appeared in the yolk sac stage prelarva (0-day) just after parturition. B, The Primordial germ cell and genital ridge unified in 5-day prelarva. The primordial germ cell partially enclosed with somatic cells of the genital ridge. C, The primordial germ cell completely enclosed with somatic cells of the genital ridge in 10-day postlarva. D, Undifferentiated gonad of 45-days old postlarva. The number of germ cell and somatic cell was increased by mitosis of the cells. E, Anterior region of the gonad of 50-days old juvenile. The somatic tissues elongated in the tip of both ends of gonad. Arrows indicate the proliferated somatic cells. F, Anterior region of the gonad of 55-days old juvenile. The elongating somatic tissues getting closer each other. G, In 60-days old juvenile, the fusion of the elongated somatic tissues formed ovarian cavity H, In 80-days old juvenile, the meiotic germ cells appeared in the ovary. Abbreviations: BV, blood vessel; CSO, chromatin stage oocyte; ESC, elongated somatic cell; GC, germ cell; GR, genital ridge; OC, ovarian cavity; OG, oogonia; PGC, primordial germ cell. Bars=30 μ m.

Table 1. Summary of the gonadal sex differentiation and sex ratio of *Sebastes oblongus*

Day of hatching	Total length (mm)	Rearing Temperature (°C)	Sex ratio Number of Male/Female	Stage in life cycle	Developmental stage	
					Undifferentiated	Differentiated
1	7.10-7.77	11.8	-	Yolk-sac larvae	Separated primordial germ cells and genital ridge	-
5	7.12-9.68	14	-	prelarva	Fusion of primordial germ cells and genital ridge	-
10	8.22-10.16	18	-	postlarva	Proliferation of somatic cells and the completely enclosed primordial germ cells	-
15 45	9.60-11.64 18.6-20.4	18	-		Proliferation of germ cells and somatic cells	-
50	20.0-24.5	18	0/30		-	Elongation of somatic tissue both ends of gonad
60	25.5-32.0	18	0/30	juvenile	-	Fusion of growing somatic tips and formed ovarian cavity
80	37.3-47.2	18	0/30		-	Appearing of meiotic germ cell in the ovary
90 130 370*	40.0-53.0 68.0-86.0 101.0-116.0		0/30 0/30 0/30		-	perinucleolus stage oocyte appeared in 130 day juvenile and previtellogenic oocyte appeared in 370 day juvenile

*Observation in 10 day interval during this period was conducted (n=30).

고 찰

어류에서 성의 표현은 암·수의 생식소가 각각 다른 개체에 나타나는 자웅이체(gonochorism)형과 동일 개체에 나타나는 자웅동체(hermaphroditism)형으로 크게 나누어진다. 자웅이체형 어류의 생식소 분화는 미분화기 생식소가 난소와 유사한 형태로 발달한 후 난소 또는 정소로 분화되는 미분화형(undifferentiated)과 직접 난소 또는 정소로 발달하는 분화형(differentiated)이 있다. 자웅동체형은 정소와 난소의 발달 및 출현 양상에 따라 동시성 자웅동체(synchronous hermaphroditism), 웅성선숙(protoandrous) 및 자성선숙(protogynous)으로 세분된다(Yamamoto, 1969). 본 연구 결과 황점볼락 성의 표현은 정소와 난소가 동일 개체에 나타나지 않고 난소를 가진 암컷만이 나타나 동시성 자웅동체형과 웅성선숙형 자웅동체형은 아닌 것으로 판명되었다. 자연산 치어를 수집하여 양성한 성어의 암·수 성비가 1:1.09로 보고된 바 있으며(Chang et al., 1995), 암·수 간 개체차이가 크지 않아 황점볼락 성의 표현은 자웅이체형일 가능성이 높다. 하지만 자성선숙형일 가능성도 배제할 수 없어 앞으로 이 부분에 대한 연구가 더 수행되어야 할 것이다.

원시생식세포의 출현 시기 및 위치는 종에 따라 다른 것으로 알려졌다. 틸라피아(*Tilapia zillii*) (Yoshikawa and Oguri, 1978)는 부화 직후에, 무지개 송어(*Salmo gairdneri*) (Takashima et al., 1980)는 36일령에 중신관 아래에 원시생식세포가 나타나며, 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*) (Park et al., 1998)는 8일령에 부레 밑의 장간막 양측면에 원시생식세포가 출현한

다. 자어를 출산하는 난태생 어류인 조피볼락은 출산 2일령에서 장관과 중신사이에서 원시생식세포가 나타났다(Lee et al., 1996). 황점볼락에서는 출산 직후 자어에서 확인 할 수 있었으며, 중신관과 장간막 사이에 출현하여 버들치의 원시생식세포 출현 위치와 유사하였다.

어류의 생식소 분화 과정에서 난소 또는 정소로의 분화는 서로 다른 내강 형성 양상으로 판별된다. 미분화 생식소에서 난소로 분화할 때는 생식소의 양쪽 끝에 위치한 체세포가 신장하여 돌기를 형성한 다음 융합하여 난소강이 되고, 정소는 생식소 안쪽에 정소강이 형성되어 정소관으로 발달한다(Nakamura et al., 1998). 사육수온과 종에 따라 자치어의 발육 속도가 다르기 때문에 일령에 따른 성분화 시기의 직접비교는 어렵다. 하지만 산업적 목적으로 인위적 성정환, 전암컷 및 전수컷유도에 필요한 어종 별 성적 가변성 시기는 매우 중요한 지표이다. 황점볼락과 같은 난태생 어류인 조피볼락에서 난소의 분화는 출산 후 55일령과 65일령 사이에 일어나며, 자치어의 전장은 각각 55일령에 1.92 cm, 65일령 5.2-5.9 cm로 보고되어 조피볼락의 난소 분화는 10일 정도 소요된다(Lee et al., 1996). 황점볼락은 50일령에 난소로의 분화가 시작되어 60일령에 난소로 분화되어 난소분화에 10일 정도 소요된다. 이때 황점볼락 치어의 전장은 각각 50일령 2.0-2.45 cm 60일령 2.55-3.2 cm에 달하였다. 황점볼락의 다른 연구논문에서 보면 71일령 2.2 cm에 난소로 발달하는 것으로 나타나(Yoon, 2006) 이는 선별시기 및 사육 수온의 차이에 의한 것으로 추정된다.

어류의 난소의 분화 시 발달 양상은 종에 따라 차이가 있

는 것으로 알려졌다. 점농어(*Lateolabrax maculatus*)는 후반부에 시작하여 전반부로 진행되며(Lee et al., 2000), 자주복(*Takifugu rubripes*)은 전·후반부에서 동시에 시작되어 중앙부로 이행된다(Matsuura et al., 1994). 홍송어(*Salvelinus leucomaenis*)는 난소의 분화가 전반부에서 먼저 시작되어 후반부로 진행되는 것으로 알려졌다(Nakamura, 1982). 황점볼락은 생식소의 전반부에서 먼저 난소강이 형성되기 시작하여 후반부로 진행됨으로써 홍송어와 같은 양상을 보였다.

과충류를 비롯한 하등척추 동물에서 생리적 성은 유전적 요소뿐만 아니라 환경적 요소에 의해서도 결정되며(Pieau et al., 1994), 이들 요소 중 온도가 가장 영향이 있는 것으로 알려졌다(Lang and Andrews, 1994). 본 연구의 황점볼락은 수온 12°C에서 출산 받아 3일 후부터 점차적으로 가온하여 10일부터 90일간 18°C에서 사육하였다. 자연상태에서 황점볼락의 출산시기는 12월과 1월 중이며 연안 수온은 12°C에서 점차적으로 하강하여 2월 중 8°C에 이르고 3월이 되면 점차적으로 상승한다. 따라서 본 연구에 나타난 황점볼락의 전 암컷화는 생식소 분화 과정 중 자연 상태와 다른 온도에 노출되어 발생하였을 가능성이 있다. 방류용 황점볼락 치어를 생산하기 위해서는 황점볼락에서 온도의존성 성결정에 대한 추후 연구가 수행되어야 하며 자연집단의 성비와 유사한 종묘를 생산할 수 있는 연구는 매우 시급한 것으로 사료된다.

치어 방류를 통한 자원 조성은 연안생태계 회복과 지속 가능한 수산업을 위해서 절대적으로 필요한 사업이다. 하지만 무분별한 방류는 자연집단의 열성화, 유전적 다양성 감소 등 문제점이 제기되고 있다(Norris, 2000). 일본의 경우 참돔 방류에 의한 자원 증강 사업은 종합적인 program으로 운영되고 있으며 자연집단과 양식집단의 유전분석결과 두 집단 간의 유전적 차이가 없게 할 것을 가장 중요한 지침으로 제시하고 있다(Perez-Enriquez et al., 2001). 자연집단의 유전적 다양성을 유지할 수 있는 친어 수, 종묘생산 집단의 유전적 다양성 분석, 방류 후 자연집단에 미치는 영향을 모니터링 하여 방류사업에 피드백하는 종합적 시스템으로 시행되고 있다(Liu and Dunham, 1998). 앞으로 우리나라에서 시행되는 방류 사업도 이러한 지침에 따라 시행될 것으로 예상된다. 방류를 통한 자원조성에서 유전적 다양성 확보의 중요성을 고려할 때 전 암컷과 전 수컷 집단의 방류는 매우 심각한 문제를 야기할 수 있다. 앞으로는 방류사업을 시행하는 데 있어서 집단의 유전적 다양성 확보와 더불어 성비의 확인이 반드시 수행되어야 한다. 인공종묘 생산의 효율성을 위해 자연상태와 다른 온도 범위에 노출될 수 있어 암·수 성비의 편향과 전암컷 및 전수컷화 현상이 나타날 수 있기 때문이다.

요 약

황점볼락, *Sebastes oblongus*의 인공종묘의 성분화 과정 및 성결정을 조사하기 위해 출산 직후부터 370일령까지 조사하였다. 출산 직후 난황기 자어(7.10-7.77 mm)에서 시원생식

포와 생식육기는 분리된 체 중심관과 장간막 사이에 나타났고, 출산 후 5일령 전기자어(7.12-9.68 mm)에서는 서로 융합하였으며, 출산 후 45일령 후기자어(18.6-20.4 mm)까지는 미분화 생식소 상태였다. 출산 50일 치어 (20.0-24.5 mm)에서 생식소 전단부에서 양쪽 끝의 체세포 조직이 분열·신장되어 난소의 분화가 시작되어 60일 치어(25.5-32.0 mm)에서 완전한 난소강이 형성되었다. 출산 80일령 치어(37.3-47.2 mm)의 난소에서 난원세포가 감수분열을 개시하여 염색인기 난모세포(chromatin nucleolus oocyte)로 발달하기 시작하였다. 이후 일령이 증가하여 130일령(68.0-86.0 mm)에서 주변인기(perinucleolus stage)의 난모세포가 나타났으며, 출산 후 370일령(101.0-116.0 mm)에서 전난황형성기의 난모세포들이 출현하였다.

황점볼락 인공종묘의 성비 조사결과 난소분화 완료 후에 암컷만 나타나 출산후 100일까지 자연수온보다 높은 수온에 의해 전암컷화 된 것으로 추정된다.

사 사

이 논문은 전남대학교 수산해양대학 이원교교수의 “2005년도 LG 연암재단 교수해외연수” 지원프로그램으로 수행된 연구과제의 일부임.

참 고 문 헌

- Baek, J.M., C.H. Han, D.J. Kim, C.W. Park and K. Aida. 2000. Reproductive cycle of a rockfish, *Sebastes schlegelii*. J. Kor. Fish. Soc., 33, 431-438.
- Baroiller, J.F., Y. Guiguen and A. Fostier. 1999. Endocrine and environmental aspects of sex differentiation in fish. Cell. Mol. Life Sci., 55, 910-931.
- Chang, Y.J., H.K. Lim and S.G. Byun. 1995. Gonadal maturation and reproductive cycle in oblong rockfish, *Sebastes oblongus*. J. Kor. Aquacult. 8, 31-46.
- Chyung, M.K. 1997. The Fishes of Korea. Iljisa, Seoul, Korea, 1-506.
- Devlin, R.H. and Y. Nagahama. 2002. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. Aquaculture, 208, 191-364.
- Godwin, J., J.A. Luckenbach and R.J. Borski. 2003. Ecology meets endocrinology: environmental sex determination in fishes. Evol. Devel., 5, 40-49.
- Gray, M.A. and C.D. Metcalf. 1997. Induction of testis-ova in Japanese medaka, *Oryzias Latipes* exposed to ρ -nonylphenol. Environ. Toxicol. Chem., 16, 1082-1086.
- Ko, C.S., Y.J. Chang, H.K. Lim, J.H. Kim and K.C. Cho. 1998. Controlled reproductive cycle of a rockfish (*Sebastes inermis*) by water temperature and photo-

- period. J. Kor. Fish. Soc., 31, 713-720.
- Lang, J.W. and H.V. Andrews. 1994. Temperature-dependent sex determination in crocodylians. J. Exp. Zool., 270, 28-44.
- Lee, C.H., O.S. Na, I.K. Yeo, H.J. Baek and Y.D. Lee. 2000. Effects of sex steroid hormones and high temperature on sex differentiation in black rockfish, *Sebastes schlegeli*. J. Kor. Fish. Soc., 33, 373-377.
- Lee, W.K., K.W. Lee, E.J. Kwak, S.W. Yang, K.S. Yang, J.C. Park, H.S. Joo, W.J. Lee and W.B. Lee. 2003. Effects of environmental endocrine disruptors on the sex differentiation in korea rockfish, *Sebastes schlegeli*. Water Sci. Technol., 47, 65-70.
- Lee, W.K., E.J. Kwak, S.W. Yang and J.W. Kim. 2000. The gonadal development and sex differentiation in the spotted sea bass, *Lateolabrax maculatus*. Dev. Rep., 4, 195-201.
- Lee, J.S., C.M. An and S.H. Huh. 1998. Reproductive cycle of the goldeye rockfish *Sebastes thompsoni* (teleostei: scorpaenidae). J. Kor. Fish. Soc., 31, 8-16.
- Lee, Y.D., S. Rho, Y.J. Chang, H.J. Baek and C.M. An. 1996. Sex differentiation of the rockfish, *Sebastes schlegeli*. J. Kor. Fish. Soc., 29, 44-50.
- Liu, Z.J. and R.A. Dunham. 1998. Genetic linkage and QTL mapping of ictalurid catfish. Ala. Agric. Exp. Stn. Bull., 321, 1-19.
- Matsuura, S., T. Naiyo, M. Shincho, K. Yoshimura and M. Matsuyama. 1994. Gonadal sex differentiation in tiger puffer, *Takifugu rubripes*. Jap. J. Ichthyol. 42, 619-625.
- Nakamura, M. 1982. Gonadal sex differentiation in white spotted char, *Salvelinus leucomaenis*. Jap. J. Ichthyol., 28, 431-436.
- Nakamura, M., T. Kobayashi, X.T. Chang and Y. Nagahama. 1998. Gonadal sex differentiation in teleost fish. J. Exp. Zool., 281, 362-372.
- Norris, A.T., D.G. Bradiey and E.P. Cunningham. 2000. Parentage and relatedness determination in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) using microsatellite markers. Aquaculture, 182, 73-83.
- Park, I.S., J.H. Kim, I.C. Bang and D.S. Kim. 1998. Histological study of the early gonadal development and sexual differentiation in *Rhynchocypris oxycephalus*. Dev. Rep., 2, 69-74.
- Perez-Enriquez, R., M. Takemura, K. Tabata and N. Taniguchi. 2001. Genetic diversity of red sea bream *Pagrus major* in western Japan in relation to stock enhancement. Fish. Sci., 67, 71-78.
- Pieau, C., M. Girondot, N. Richard-Mercier, G. Desvages, M. Dorizzi and P. Zaborski. 1994. Temperature sensitivity of sex differentiation of gonads in the European pond turtle; hormonal involvement. J. Exp. Zool., 270, 86-94.
- Takashima, F., R. Patino and M. Nomura. 1980. Histological studies on the sex differentiation in rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 46, 1317-1322.
- Yamamoto, T. 1969. Sex Differentiation. In: Fish Physiology. Vol. III, Hoar, W.S. and D.J. Radall. eds. Academic Press. New York, 117-158.
- Yoon, S.J. 2006. Sex differentiation and seed production technology of the oblong rockfish, *Sebastes oblongus*. Ph.D. Thesis, Kyungsoong University, Korea, 1-100.
- Yoshikawa, H. and M. Oguri, 1978. Sex differentiation in a cichlid, *Tilapia Zillii*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 44, 313-318.

2006년 5월 2일 접수
2006년 6월 28일 수리