

<Review Paper>

극지역 물개류의 번식생물학: 정자형성

계 명 찬 · 강 성 호^{1,*}

한양대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹한국해양연구소 부설 극지역연구소

Reproductive Biology of the Seals in Polar Region: Spermatogenesis

Myung Chan Gye and Sung-Ho Kang^{1,*}

Department of Life Science, College of Natural Sciences, Hanyang University, Seoul 133-791 Korea

¹Korea Polar Research Institute, KORDI, Ansan 426-744, Korea

Abstract - Global decline in wildlife mammals has been accelerated during past decades. Especially the conservation the wild life mammals in polar areas, is urgent. In an effort to understand the reproduction of the seals dwelling in the polar area, spermatogenesis in the seals was reviewed. Seals breed seasonally and in most of the seal species, delayed implantation is frequently observed. To date, histological and endocrinological evaluation revealed highly cyclic nature in spermatogenesis and steroidogenesis in testis. Seasonal changes in blood testosterone level together with melatonin is closely related with changes in light cycle between summer and winter. In adult testis at breeding seasons, spermatogenesis is manifested by consecutive 18 stages of germ cell development. Three kinds of Leydig cells different in steroidogenic activity as well as cellular morphology appear during the testis development. During non-breeding season, spermatogenic arrest and Leydig cell hypoplasia are frequently found. Interestingly, blood circulation through the anastomoses of pelvic veins cooled the testes and thus guarantees spermatogenesis within the body trunk. Endocrine disruptors and heavy metals have been found in the body tissues of several seals species and alter steroidogenesis in seals, suggesting environmental pollutants together with decrease in habitats are potentially threatening the reproductive success in seal species.

Key words : reproduction, spermatogenesis, seals

서 론

서식지 감소와 환경오염 등으로 인해 대형 포유동물들의 급격한 감소가 세계적으로 진행되고 있으며 이들의 보존과 증식을 위한 노력이 전 세계적으로 활발하다.

특히 극지역 해양환경에 서식하고 있는 물개류의 경우 지구기후변화, 해양오염, 인간활동의 증가로 인해 서식지 환경변화에 따른 개체군의 변동이 예상되고 있다 (Kovacs 2005). 극지역에 물개류가 다수 서식함에도 불구하고 이들의 개체군동태와 번식에 관한 연구가 제한적으로 수행되어 왔다 (Harrison *et al.* 1952; Mansfield 1958; Smith 1966; Oritsland 1970; Stirling 1971). 특히 물개류의 번식학적 특징은 주로 비번식기의 동물에서 얻

* Corresponding author: Sung-Ho Kang, Tel. 031-400-6408, Fax. 031-408-9825, E-mail. shkang@kopri.re.kr

어진 것이며, 번식기의 개체로부터 얻어진 정보는 극히 제한적이다. 최근 한국의 근해인 백령도 연안에 점박이 물범 (spotted seal)의 서식이 보고되고 있어 국내에서도 이들의 서식처 보존을 통한 생물다양성 유지와 잠재적인 유전자자원의 확보 노력의 필요성이 대두되고 있다. 본 소고에서는 극지방의 해양환경에 서식하는 물개류에 대한 생물학적 연구의 일환으로 물개류의 분류, 생식생물학적 특징, 특히 정자형성에 관한 연구동향을 검토하였다.

1. 극지에 서식하는 물개류

물개류는 척삭동물문 (Chordata) 포유강 (Mammalia) 식육목 (Carnivora) 기각아목 (Pinnipedia)의 동물로 바다사자

(물개)과 (Otariidae), 물범과 (Phocidae), 해마 (바다코끼리)과 (Odobenidae)의 3과가 있으며 34종이 분류되어 있다. 바다코끼리는 조상이 곰과 가깝고, 물범은 수달과 더 가까운 관계에 있어 물개류를 식육목으로 분류해야 한다는 주장도 있다. 11종의 물개류가 극지방 및 인접 지역에 서식한다 (Table 1).

2. 극지에 서식하는 물개류의 번식학적 특징

물개류는 수중환경에 완전히 적응되어 있지 않다. 따라서 번식을 위해 육지로 올라온다. 매년 번식기에 대부분의 수컷은 해변에 자신의 영역을 만든다. 몇 주 후 암컷들은 수컷들이 차지하고 있는 해변으로 이동해서 지

Table 1. Reproductive feature of the seals in polar region

통명 (영명)	종명	서식지	번식학적 특징
해마 (walrus)	<i>Odobenus rosmarus</i>	북극해	1~3월에 짝짓기, 4~5개월 착상지연, 15개월의 임신기간, 5월 출산, 출산 후 9개월에 다시 교미, 교미는 물속에서 진행, 새끼는 2~3년간 수유하지만 생후 5개월 이후 먹이활동 시작, 10년생 암컷, 15년생 수컷이 실질적인 번식에 참가
반달무늬물범 (ringed seal)	<i>Phoca hispida</i>	북극해	초봄에 출생, 6주간 어미의 보살핌을 받음. 수유기간 동안 먹이활동을 개시함. 수유가 끝날 시점에 교미. 수정란은 4개월의 착상지연 후 8개월의 임신기간을 가짐. 3~5년생 암컷, 5~7년생 수컷이 번식에 참가
수염물범 (bearded seal)	<i>Erignathus barbatus</i>	북극해	봄(5월)에 출생, 지방함량이 높은 모유수유를 통해 급속히 성장. 수유가 끝날 시점에 교미. 수정란은 4개월 동안 착상지연 후 8개월의 임신기간을 가짐. 5년생 암컷, 6~7년생 수컷시기에 번식 개시
물범 (harbour seal)	<i>Phoca vitulina</i>	온대지역, 북대서양, 북태평양, 북극해	위도에 따라 1~10월 사이에 출생, 북극에서는 6월에 출생, 수유가 끝날 시점에 교미. 수정란은 수개월간의 착상지연 후 8개월의 임신기간을 가짐. 3~5년생 암컷, 4~7년생 수컷시기에 번식 개시
하프물범 (harp seal)	<i>Phoca groenlandica</i>	북대서양, 북극해	3~4월에 출생, 6주간 어미의 보살핌을 받음. 수유기간 동안 먹이활동을 개시함. 12일간의 집중적인 수유가 끝날 시점에 교미. 6~8년생에 번식 개시
관모물범 (hooded seal)	<i>Cystophora cristata</i>	북극해	2~3월에 출생, 4일간의 지방함량이 높은 수유가 끝날 시점에 교미. 3년생 암컷이 번식 개시
북극물범 (northern fur seal)	<i>Callorhinus ursinus</i>	북극해	
뉴질랜드바다사자 (New Zealand sea lion)	<i>Phocartos hookeri</i>	뉴질랜드남부, 남극해 주변	
남극물개 (Antarctic fur seals)	<i>Arctocephalus gazella</i>	남극과 주변의 남극해	11월에 번식, 환경부고시국제적멸종위기종
표범물범 (leopard seal)	<i>Hydrurga leptonyx</i>	남극해	
짧은털물범 (Ross seals)	<i>Ommatophoca rossi</i>	남극해	11~12월에 번식
게잡이물범 (crabeater seal)	<i>Lobodon carcinophagus</i>	남극해	
웨델해물범 (Weddell seal)	<i>Leptonychotes weddelli</i>	남극해	
남방코끼리물범 (elephant seals)	<i>Mirounga leonina</i>	남극해	4개월 착상지연, 11개월의 임신기간, 환경부고시국제적멸종위기종

난해 번식기에 임신했던 새끼를 낳는다. 암컷은 보통 한 배에 1마리의 새끼를 낳고, 출산 후 몇 일 이내에 그 영역을 차지한 수컷과 짝짓기를 한다. 임신기간은 약 8~15개월 정도이다. 물개류의 번식학적 특징의 하나는 바다코끼리와 물범류에서 나타나는 착상지연 (delayed implantation) 현상이다. 착상지연은 수정에서 출산에 이르는 발생기간이 늘어나는 단점에도 불구하고 곱, 노루 (roe deer), 설치류, 아르마딜로 등 많은 종류의 포유동물에서 관찰되는 생식학적 현상이다. 착상이 지연되었던 배아는 착상개시 에스트로젠 (nidatory estrogen) 자극에 의해 자궁의 수용성이 개시되면 착상하여 수개월의 임신을 거쳐 신생아로 태어난다. 출생 시기는 서식지 환경이 신생아의 양육과 성장에 가장 적합한 시기이며 따라서 생태학적으로 볼 때 적절한 생식적 적응현상이다 (Gibbney 1953; Daniel Jr 1974; Temte 1985; Lopes *et al.* 2004). 수컷은 암컷의 번식주기와 동조화된 번식주기를 갖는다. 즉 암컷이 수용적 태세를 갖춘 시기에 수컷의 정자형성도 일어나게 된다. 이 시기 이외에는 대부분 정자형성과 남성호르몬 생성이 정지되어 있거나 낮은 수준으로 유지된다. 사람의 경우 사춘기 이후에는 항시 정자형성이 일어나지만 간혹 특정 정자형성 단계에 정지되어 있는 남성불임환자들이 있으며 최근 성호르몬 요법을 이용하여 정자형성을 조절하여 피임 효과를 얻기 위한 연구 또한 활발하다. 따라서 물개류에서 나타나는 정자형성의 정지현상과 이에 관여하는 성호르몬의 역할은 인간의 남성불임 및 남성피임연구에도 좋은 모델이라 할 수 있다.

3. 정소의 구조

1) 해부학적 구조

물개류 정소는 사타구니 부분의 복강 내부 대퇴정맥 옆에 위치하며, 등배측 및 측면이 압착되어 있는 구조이며, 정소 옆에 위치한 부정소 내부에는 작은 수정소관 (ductus deferens)이 두부, 체부, 미부 부정소를 지나 (사)정관 (ejaculatory duct)와 연결된다 (Harrison *et al.* 1952; Laws 1956; Smith 1966). 정소의 내부는 몇 개의 소엽 (lobule)들로 구성되어 있으며 각 정소엽은 8~10개의 심하게 고불고불한 세정관으로 구성된다.

2) 세정관의 미세구조

물개류 가운데 crab eater seal, leopard seal, Ross seals의 세정관 미세구조가 연구되었다. 세정관의 직경은 100~155 μm 이며 세정관 상피의 높이는 45~75 μm 이다. 정자형성 동안에 관찰되는 spermatogenic cycle은 fur seal

(*Callorhinus ursinus* L.)에서 PAS 염색을 통해 18 stages가 구분된다. Type A, intermediate, type B로 구성되는 3 종류의 정원세포 (spermatogonia)가 확인되며 type A spermatogonia는 다시 stem A, A1, A2, A3, A4의 5가지로 구분된다. A type은 핵 내에 균질하게 분산된 염색질을 가지며, A1~A4 type은 점진적인 핵의 응축을 확인할 수 있다. Intermediate spermatogonia는 밝은 핵을 보이며 염색질은 작으며 커다란 과립들이 핵막 근처에 존재한다. B1~B3 types spermatogonia는 원형의 핵을 가지며 염색질은 과립성이다. Leptotene 및 zygotene stage의 정모세포 (spermatocytes)는 3가지 형태로 출현하며 4가지 형태의 pachytene stage spermatocyte가 구분된다. 감수분열 이후 정세포 (spermatid) 핵의 형태 변화는 다른 동물들과 유사하다. 첨체 (acrosome)의 형성은 spermiogenesis의 최종단계에 출현하는 tubulo-bulbar complex의 형성을 수반한다 (Ashchepkova 1990). 정세포 (spermatid)는 두부에 발생 중인 첨체의 형태에 따라 18단계로 구분하며 이에 근거하여 정자형성단계를 구분한다 (Ashchepkova and Fedoseev 1988). 본 소고에서는 Russell *et al.* (1990)에 따라 Ashchepkova and Fedoseev (1988)을 변형하여 도해하였다 (Fig. 1). 비번식기 동안 세정관 내부에는 정자형성 중인 생식세포와 Sertoli cells들이 존재한다. Leopard seal 및 Ross seals은 crabeater seals 보다 더 많은 1차, 2차 정모세포와 정세포를 갖지만 정자는 보이지 않는다. 정세포는 성숙단계에 있는 것으로 관찰되며 첨체형성 중인 Golgi phase가 관찰되며 첨체와 함께 핵의 응축이 일어난다. 일부 정세포는 퇴화를 진행하며 성숙 중이거나 사멸 중인 정세포 모두 Sertoli cells과 밀접히 부착되어 있다. Sertoli cells과 생식세포들 사이에 세포질골격이 밀집된 결합복합체를 갖는다. Sertoli cells은 부정형의 다면체 구조이며 나선형으로 뒤틀린 핵을 갖는다. 여러 층의 조면소포체, 활면소포체, 골지체, 작은 mitochondria, 다양한 크기의 지질과립, 라이소좀, lipofuscin granules이 세포질에서 관찰되며 고도로 주름진 세포막을 갖는다. 비번식기에 정자형성은 낮은 testosterone 수치로 인해 실질적으로 정지해 있다 (Sinha *et al.* 1977).

3) Leydig cell의 미세구조

물개류의 정소에 출현하는 Leydig cells은 미세구조 관찰결과 3종의 세포로 구분된다. Type I은 전형적인 steroid 분비세포의 형태를 갖는다. Type II는 다양한 퇴화양상을 보이며 다량의 lipofuscin 과립을 함유하는 세포질잔사 (residual bodies), 지질과립 (lipid droplets), 2차용해소체 (secondary lysosomes), 직사각형과립체 (rectangular

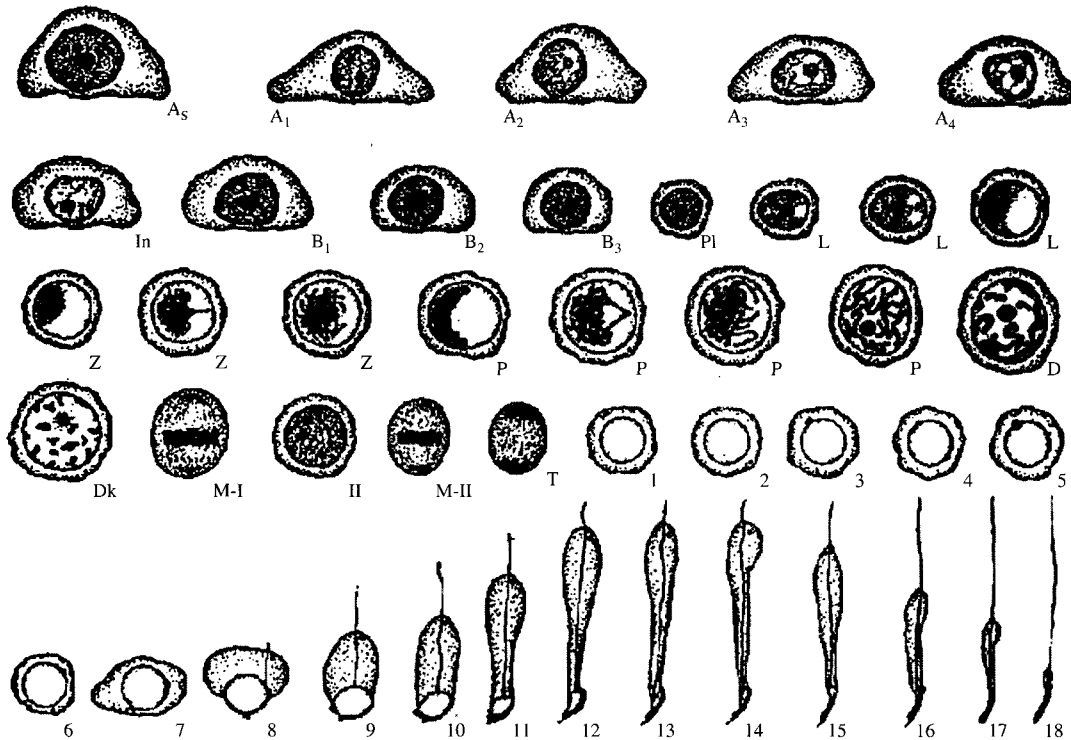


Fig. 1. Spermatogenic stage in fur seal (*Callorhinus ursinus*). A₅, spermatogonial stem cell; A₁, A₁ spermatogonium; A₂, A₂ spermatogonium; A₃, A₃ spermatogonium; A₄, A₄ spermatogonium; In, intermediate spermatogonium; B₁, B₁ spermatogonium; B₂, B₂ spermatogonium; B₃, B₃ spermatogonium; Pl, preleptotene spermatocyte; L, leptotene spermatocyte; Z, zygotene spermatocyte; P, pachytene spermatocyte; Di, diplotene spermatocyte; Dk, spermatocyte at diakinesis stage; M-I, primary spermatocyte at metaphase I; II, secondary spermatocyte; M-II, secondary spermatocyte at metaphase II; T, secondary spermatocyte cell at telophase; 1-18, successive stages in developing spermatids. Adopted and modified from Ashchepkova and Fedoseev (1988).

crystalloids), 미확인소체 (peculiar bodies) 등을 갖는다. 퇴화된 세포 조각들은 간충질에 대식세포에 의해 흡수되거나 림프계에 재흡수된다. Type III는 다량의 지질과립을 가지며 세포내 소기관이 거의 없는 지방저장세포이다 (Sinha *et al.* 1977). Harp seals (*Pagophilus groenlandicus*) 신생 및 성체의 정소의 미세구조가 연구되었다. 생후 1, 5, 10일령의 신생 정소의 세정관 직경은 작고 관강이 없으며 주로 Sertoli cells로 구성된다. 간충조직의 세포는 크고 많은 수의 공포를 가진다. 생후 10일령에는 크기가 축소되며 불활성화 되지만 성체의 세포보다도 더 많은 공포를 갖는다 (Leatherland and Ronald 1979). 이러한 모습들은 생쥐, 백서 등의 실험 설치류와 사람 등 영장류에서 나타나는 fetal, adult type 2종의 Leydig cell과 대략 유사하지만 비번식기에 퇴화하는 Leydig cell이 추가적으로 구분되는 특징이 있다. 이와 반대로 번식기를 따로 갖지 않는 보통의 설치류와 영장류 성체에서 Leydig cell은 노령기에 접어들기까지 퇴화되거나 사멸하지 않으며 간충조직 내 미분화 줄기세포로부터 연속적으로 재생된다 (Faria *et al.* 2003; Davidoff *et al.* 2004). 계절적

번식을 진행하는 물개류 성체의 정소에서 나타나는 Leydig cell의 사멸 현상은 1차적으로 멜라토닌 등의 호르몬에 의한 것으로 추정할 수 있으나 그 구체적인 조절 기작은 규명되지 않고 있다.

4. 정자형성에 필요한 정소 내부 온도 조절 기작

포유동물의 정자형성은 사춘기 이후 진행되는 정소하강을 통해 정소가 음낭 (scrotum) 속으로 진입하여 체강과 분리된 환경에 놓임에 따라 정소 내 온도가 보통 체온보다 3°C 가량 낮게 유지될 때 진행된다. 물범류의 생식기관의 독특한 해부학적 특징은 음낭을 갖지 않는다는 점이다. 따라서 체강 내부에 존재하는 정소의 온도가 상승하여 정자형성이 불가능할 수 있다. 그러나 phocid seals에서 연구 결과 대량의 혈액이 지느러미발의 표면의 피부 밑을 순환하여 냉각된 후 후지정맥과 골반정맥 사이의 분합 (anastomoses)을 통해 둔근, 골반, 또는 외음부상부정맥으로 순환된다. 이 정맥들은 몸통 내부 깊숙이 순환하는 대퇴부정맥과는 분리된 경로를

형성하며 서해부, 북강과 골반강 체벽 표면에 정맥총을 형성한다. 따라서 정소 주변에 발달한 정맥계를 따라 체표에서 해수에 의해 냉각된 혈액 순환을 통해 북강 내부에 위치한 정소는 정자형성에 필요한 온도를 낮게 유지할 수 있다(Rommel *et al.* 1995).

5. 정자형성의 계절적 조절

광주기는 동물의 뇌의 송과선(pineal gland)에서 멜라토닌의 분비를 직접적으로 조절하며, 이는 다시 중추신경계와 생식소에서 멜라토닌의 하위에 조절을 받는 생식소자극호르몬, sex steroid 생성 조절을 통해 번식을 조절하게 된다. 물개류는 온대지역으로부터 극지역까지 폭넓게 분포한다. 극지역은 여름과 겨울에 걸쳐 광주기가 극단적으로 바뀌는 지리적 특성이 있다. 따라서 극지에 서식하는 물개류에서 나타나는 멜라토닌을 비롯한 sex steroid의 연중 변동은 이 지역에 서식하는 물개의 번식 특성에 많은 영향을 미친다(Griffiths *et al.* 1979; Boyd 1991). 비번식기에는 낮은 testosterone 수치가 유지되며 정자형성은 실질적으로 정지해 있다(Sinha *et al.* 1977). 정자형성 단계는 계절에 따라 (1) 정자형성 개시기, (2) 증식기, (3) 세정관상피 퇴화기, (4) 휴지기의 4 단계로 구분된다. 웨델물범에서는 휴지기 동안 세정관의 극단적인 퇴화가 일어나는 반면 crabeater, leopard seal, Ross seals에서는 이러한 극단적인 세정관상피의 퇴화는 일어나지 않는다. 다른 포유동물에서와 마찬가지로 번식이 끝난 후 정자형성과 혈중 testosterone이 감소한다. 혈중 testosterone 수치는 crabeater seals의 경우 112~116 ng 100 mL⁻¹, leopard seals 80 ng 100 mL⁻¹, Ross seals의 경우 80~125 ng 100 mL⁻¹ 정도이다(Short and Mann 1966; Erickson *et al.* 1968; Joffre and Joffre 1973).

6. 환경오염물질에 의한 물개류 정자형성 장애

내분비계장애물질과 중금속류에 의한 생태독성 평가가 진행되어 왔다. 1998~1999년 grey seals (*Halichoerus grypus*)의 체지방과 혈액을 대상으로 1년생 새끼의 체지방 내 polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) 평균 농도는 170~460 ng g⁻¹ 정도로 PBDEs 농도와 thyroid hormone, cholesterol과 albumin 농도 사이에 상관성이 확인되어 내분비계장애 영향 하에 있는 것으로 확인되고 있다(Hall *et al.* 2003). 또한 xenobiotic 탈독화 기작과 스테로이드 합성에 관여하는 간조직의 cytochrome P450 (CYP450) isozymes 양상에 대한 조사 결과 polychlorinated biphenyls (PCBs)에 노출되어 있는 물범에서 CYP450의 유의적 증가가 관찰되었다. Harbor seal (*Phoca*

vitulina) 간 조직에서 PCB 농도와 CYP450 발현관계에 대한 조사 결과 조직 내 PCB 0.2~5.73 µg g⁻¹ 구간에서 양성적 상관관계가 확인되었고, 혈중 progesterone 대사는 유의적으로 감소한 반면 testosterone 생성은 유의적으로 증가하는 것이 보고되어 PCB 오염에 따른 sex steroid 대사의 변형이 확인되었다(Troisi and Mason 2000). 한편 정소조직을 대상으로 polychlorinated biphenyl (Aroclor 1254), methyl mercury (MeHg), arsenic (As), cadmium (Cd)과 같은 환경오염물질에 의한 sex steroid hormones 생성에 관한 in vitro 연구 결과 Aroclor 1254에 의해 11-ketotestosterone이 증가하며, methyl mercury, cadmium 처리 시 testosterone 생성이 증가하는 것으로 보고되었다(Freeman and Sangalang 1977). 이 같은 결과에서 내분비계장애물질 뿐 아니라 중금속 등과 같은 주요 환경오염물질에 의해 정소 조직 내 sex steroid 대사에 변화가 초래될 수 있으며 물개류의 번식을 잠재적 위협하는 원인 중 하나로 추측되고 있다.

결 론

극지방의 지구 지리적 특성에 따라 이곳에 서식하는 물개는 번식주기는 극명하게 구별된다. 비번식기의 정소에는 정자형성이 정지해 있으며 낮은 남성호르몬 수치를 유지한다. 번식기에는 혈중 남성호르몬의 상승과 함께 정자형성이 개시된다. 몇 종에서 확인된 정자형성 단계는 정세포의 분화 단계에 따라 18 단계로 구분되어 다른 포유류와 유사하다. 정자형성에 필수적인 남성호르몬을 생성하는 Leydig cell은 설치류와 영장류에서 나타나는 fetal, adult type 2종과 비번식기에 퇴화하는 Leydig cell이 추가적으로 구분되어 총 3 type으로 구분된다. 중금속, 내분비계장애물질 등의 체내 축적과 스테로이드 대사 이상 현상이 극지방에 서식하는 물개류에서도 확인되어 서식지 감소와 함께 이들의 생존을 위협하고 있다. 국내에도 백령도 인근에서 점박이물범 (spotted seal)의 서식이 보고된바 있으나 이들의 번식에 관한 정보는 매우 제한되어 있다. 다양한 환경오염과 서식지 감소로 위협에 처해 있는 이들 거대 포유동물의 보존을 위한 생식생물학적 기초연구와 보조생식술 개발이 요구된다.

사 사

본 연구는 극지연구소 연구비지원으로 수행되었음 (KOPRI Project No. PP05001).

참 고 문 헌

- Ashchepkova LIu. 1990. Spermatogenic cycle in seals (*Callorhinus ursinus* L.). *Arkh. Anat. Gistol. Embriol.* 98:79-82.
- Ashchepkova LIu and VIa Fedoseev. 1988. Development of male germ cells in the fur seal (*Callorhinus ursinus*). *Arkh. Anat. Gistol. Embriol.* 95:59-66.
- Boyd IL. 1991. Changes in plasma progesterone and prolactin concentrations during the annual cycle and the role of prolactin in the maintenance of lactation and luteal development in the Antarctic fur seal (*Arctocephalus gazella*). *J. Reprod. Fertil.* 91:637-647.
- Daniel JC. Jr 1974. Circulating levels of oestradiol-17beta during early pregnancy in the Alaskan fur seal showing an oestrogen surge preceding implantation. *J. Reprod. Fertil.* 37:425-428.
- Daniel JC. Jr 1981. Delayed implantation in the northern fur seal (*Callorhinus ursinus*) and other pinnipeds. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 29:35-50.
- Davidoff MS, R Middendorff, G Enikolopov, D Riethmacher, AF Holstein and D Muller. 2004. Progenitor cells of the testosterone-producing Leydig cells revealed. *J. Cell Biol.* 167:935-944.
- Erickson AW, HW Mossman, RJ Hensel and WA Troyer. 1968. The breeding biology of the male brown bear (*Ursus arctos*). *Zoologica Sci. Contri., N.Y. Zool. Soc.* 53:85-105.
- Faria MJ, ZL Simoes, LO Lunardi and K Hartfelder. 2003. Apoptosis process in mouse Leydig cells during postnatal development. *Microsc. Microanal.* 9:68-73.
- Freeman HC and GB Sangalang. 1977. A study of the effects of methyl mercury, cadmium, arsenic, selenium, and a PCB, (Aroclor 1254) on adrenal and testicular steroidogenesis in vitro, by the gray seal *Halichoerus grypus*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 5:369-383.
- Gibney L. 1953. Delayed implantation in the elephant seal. *Nature* 172:590-591.
- Griffiths D, RF Seamark and MM Bryden. 1979. Summer and winter cycles in plasma melatonin levels in the elephant seal (*Mirounga leonina*). *Aust. J. Biol. Sci.* 32:581-586.
- Hall AJ, OI Kalantzi and GO Thomas. 2003. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in grey seals during their first year of life: Are they thyroid hormone endocrine disrupters? *Environ. Pollut.* 126:29-37.
- Harrison RJ, LH Matthews and JM Roberts. 1952. Reproduction in some Pinnipedia. *Trans. Zool. Soc. Lond.* 27:437-540.
- Joffe J and M Joffe. 1973. Seasonal changes in the testicular blood flow of seasonally breeding mammals: Dormouse, *Glis glis*, ferret, *Mustella fero*, and fox, *Vulpes vulpes*. *J. Reprod. Fertil.* 34:227-233.
- Kovacs KM. 2005. Birds and Mammals of Svalbard. Norwegian Polar Institute. Tromso.
- Laws RM. 1956. The elephant seal (*Mirounga leonina* L.). 2. General, social and reproductive behavior. *Sci. Rep. Falkl. Isl. Depend. Surv.* 13:1-88.
- Leatherland JF and K Ronald. 1979. Structure of the testis in neonate and adult harp seals, *Pagophilus groenlandicus*. *Cell Tissue Res.* 201:45-49.
- Lopes FL, JA Desmarais and BD Murphy. 2004. Embryonic diapause and its regulation. *Reproduction* 128:669-678.
- Mansfield AW. 1958. The breeding behaviour and reproductive cycle of the Weddell seal: (*Leptonychotes weddelli* Lesson). *Sci. Rep. Falkl. Isl. Depend. Surv.* 18:1-41.
- Oritsland T. 1970. Sealing and seals research in the Southwest Antarctic pack ice, September-October 1964. vol 1, pp. 367-376. In *Antarctic Ecology* (Holdgate MW ed.). Academic Press. New York.
- Rommel SA, GA Early, KA Matassa, DA Pabst and WA McLellan. 1995. Venous structures associated with thermoregulation of phocid seal reproductive organs. *Anat. Rec.* 243:390-402.
- Russell LD, RA Ettlilm, AP Sinha-Hikim and ED Clegg. 1990. Histological and Histopathological Evaluation of the Testis. Cache River Press, Clearwater, FL.
- Short RV and T Mann. 1966. The sexual cycle of a seasonally breeding mammal, the roebuck (*Capreolus capreolus*). *J. Reprod. Fertil.* 12:377-351.
- Sinha AA, AW Erickson and Seal U.S. 1977. Fine structure of seminiferous tubules in antarctic seals. *Cell Tissue Res.* 178:183-188.
- Sinha AA, AW Erickson and US Seal. 1977. Fine structure of Leydig cells in crabeater, leopard and Ross seals. *J. Reprod. Fertil.* 49:51-54.
- Simith MSR. 1966. Studies on the Weddell seal in McMurdo Sound, Antarctica. Ph.D. Thesis, pp. 1-161, University of Canterbury.
- Stirling I. 1971. Population dynamics of the Weddell seal (*Leptonychotes weddelli*) in McMurdo Sound, Antarctica, 1966 ~ 1968. *Antarctic Res.* 18:141-161.
- Temte JL. 1985. Photoperiod and delayed implantation in the northern fur seal (*Callorhinus ursinus*). *J. Reprod. Fertil.* 73:127-131.
- Troisi GM and CF Mason. 2000. PCB-associated alteration of hepatic steroid metabolism in harbor seals (*Phoca vitulina*). *J. Toxicol. Environ. Health.* A 61:649-655.

Manuscript Received: October 1, 2005

Revision Accepted: January 27, 2006

Responsible Editorial Member: Wonchoel Lee
(Hanyang Univ.)