

## 피라미(*Zacco platypus*)의 난자형성에 관한 연구

장성재 · 김동희 · 류동석 · 등영진\*

### A Study on the Oogenesis of Pale Chub (*Zacco platypus*)

Jang, Seung Jae, Dong Heui Kim, Dong Suck Reu and Young Kun Deung\*  
(Received September 19, 1995)

#### ABSTRACT

The development of pale chub oocyte from the immature oogonium to mature oocyte was investigated by light and electron microscope.

The cytoplasm of pale chub oogonia was acidic and many vesicles were located at inner side of nuclear membrane. In primary oocytes, yolk vesicles were distributed in cytoplasm. Also, fibrous materials and protuberances were distributed on the surface of zona radiata. The nucleus of secondary oocyte was enlarged and yolk vesicles in cytoplasm migrated to zona radiata. In early egg, yolk mass are formed and yolk vesicles were located at inner side of zona radiata. Three-layered zona radiata was about 3 $\mu$ m in thickness. The three layers were an outer fibrous material layer, a middle nurse cell layer in which microvilli of early egg cytoplasm contact with processes of nurse cells, and an inner layer with high electron density. In mature egg, euchromatin and a germinal vesicle were developed, mitochondria, free ribosomes, and yolk mass were distributed in cytoplasm. But, yolk vesicles were disappeared. Specially, zona radiata of matured eggs were better thin than the one of immature eggs

In conclusion, it is summerized that the oogenesis of pale chub were the increase of cell size, the formation and accumulation of yolk, the decrease in nuclear electron density, changes of zona radiata, and the development of microvilli.

**Key words:** Pale chub, Oogenesis, Zona radiata, Yolk vesicle

#### 서 론

피라미(*Zacco platypus*)는 잉어과 황어아과에 속하는

담수어로 한국의 서해와 남해로 유입하는 하천과 내륙의 저수지에 분포하며, 6월과 8월 사이에 깨끗한 물이 완만하게 흐르는 하천의 모래나 자갈위에 산란한다. 암컷은

청주대학교 생물학과, \*연세대학교 원주의과대학 기초과학교실 · 연세대학교 기초의학연구소

Dept. of Biology, Chongju Univ. \*Dept. of Basic Science and Institute of Basic Medicine, Wonju College of Medicine, Yonsei Univ.

등쪽이 청갈색이고 몸통의 옆쪽과 배쪽은 은백색을 띠고 있으며 성숙한 수컷은 등지느러미, 가슴지느러미, 배지느러미 및 뒷지느러미의 가장자리와 몸통에 암청색과 적색을 보여 암·수 구별이 용이한 편이다.

어류의 난소는 한쌍으로 체강상부의 좌우에 위치하며 난소내의 난원세포(oogonia)는 체세포분열을 통하여 제1난모세포가 된다. 제1난모세포는 난황을 보유하지 않으며 난황포(yolk vesicle)가 세포질 가장자리에 형성되어 다당류를 축적하는 것으로 알려졌으며(Lee *et al.*, 1985), 난황은 제2감수분열과정중에 난막 외측의 여포세포에서 합성되어 미세용모를 통하여 세포질 안으로 들어오며 이를 난황형성과정(vitellogenesis)이라고 한다. 이 과정이 끝나면 난황난(yolked egg)인 난세포를 이루어 세포분열을 멈추고 산란 단계에 이르게 된다.

어류의 난자형성과정(oogenesis)은 송사리(*Oryzias latipes*), 문치가자미(*Linmandā yokohamae*), 팽둥어(*Boleophthalmus pectinirostris*), 참돔(*Pagrus major*) 및 무지개 송어(*Salmo gairdneri*) 등에서 보고되었으며(Tesoriero, 1977; Hirose *et al.*, 1979; Chung *et al.*, 1991; Matsuyama *et al.*, 1991; Yoon *et al.*, 1993), 산란은 수온, 광량 및 계절에 따른 호르몬의 변화 등과 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Yoon *et al.*, 1991a, b, c).

어류의 난자는 난막으로 둘러싸여 있으며 난막은 산란 시 외부 환경으로 부터 받는 물리적인 충격과 화학물질에 대해서 방어역할을 하고 미생물의 침입을 막으며 확산에 의한 기체 교환 기능을 가진 것으로 알려져 있다(Yoon *et al.*, 1993). 특히 어류의 난막은 chorion(Hisaoka and Battle, 1958), external membrane(Bell *et al.*, 1969), egg envelope(Wourms and Sheldon, 1976), egg membrane(Stehr and Hawkes, 1979), outer envelope(Dumont and Brummet, 1980), zona radiata(Schmehl and Graham, 1987) 등으로 표현되고 있으며 두층(Flegler, 1977; Kobayashi and Yamamoto, 1981; Yoon *et al.*, 1993) 또는 세층(Anderson, 1974; Cotelli *et al.*, 1986; Kjesbu and Kryvi, 1989)으로 구성되어 있고, 내층은 zona radiata interna로 외층은 zona radiata externa로 불리우는데 특히 외층은 젤라틴으로 구성되어 있으며 산란 직후 돌이나 수초에 부착하는 기능을 갖게 된다.

어류의 생식세포들이 수정을 하고 발생과정을 수행하는 방법에는 태생, 반태생, 난태생 및 난생이 있는데 태생을 하는 종들은 체내수정을 하고 모체의 생식수관 내에서 발생과정을 수행하며, 반태생을 하는 어류는 체내수정을 통하여 배(embryo)를 형성하고 발생초기에는 모체의 보호를 받다가 부화되기 전 외부로 산란한다. 또한 난태생의 경우는 체내수정을 통하여 배가 형성되며 모체내에서 부화를 마친 후 자어가 되는데 난자의 수는 많지 않으며, 난생을 하는 대부분의 경골어류는 체외수정을 통하여 배를 형성하며 부화과정을 통하여 자어가 되고 많은 난자를 형성하여 산란한다.

본 실험은 난생을 통하여 발생과정을 수행하는 피라미의 난자형성과정이 다른 척추동물의 난자형성과정과 다를 것으로 생각되어 광학현미경, 주사전자현미경 및 투과전자현미경을 이용하여 난생 어류의 난자형성과정을 규명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

1993년 6월부터 1994년 8월 사이에 충청남도 연기군 서면 청라리의 하천에서 성숙한 피라미 암컷을 채집하여 실험재료로 사용하였다.

### 2. 실험방법

#### 1) 광학현미경 시료

성숙한 피라미의 난소를 적출하여 0.1M phosphate buffer(pH 7.4)로 조정된 4% glutaraldehyde-formaldehyde로 4°C에서 4시간 고정된 후 흐르는 물로 24시간 세척하고 ethanol 농도 상승순으로 탈수하여 xylene으로 치환시킨 후 paraffin으로 포매하여 2, 3 $\mu$ m 두께로 자른 후 hematoxylin과 eosin으로 이중염색하여 광학현미경으로 관찰하였다.

#### 2) 주사전자현미경 시료

피라미의 난소를 절개한 후 난자를 적출하여 0.1M phosphate buffer(pH 7.4)로 조정된 2.5% glutaraldehyde로 4°C에서 2시간 전고정한 후 동일 완충액으로 세척하여 1% osmium tetroxide로 2시간 동안 후고정하였다. 동일 완충액으로 30분씩 3회 세척하였으며, ethanol농도 상승순으로 탈수시켜 isoamyl acetate로 치

환하고 critical point dryer로 건조시킨 후, JFC 1100E형 ion coater에서 20nm의 두께로 금도금하여 JSM-6300형 주사전자현미경으로 20kV에서 관찰하였다.

### 3) 투과전자현미경 시료

주사전자현미경 시료와 동일한 방법으로 난자를 적출하여 0.1M phosphate buffer(pH 7.4)로 조정된 2.5% glutaraldehyde로 4°C에서 2시간 전고정한 후 동일 완충액으로 세척하여 1% osmium tetroxide로 2시간 후고정하였다. 동일 완충액으로 30분씩 3회 세척하였으며 ethanol농도 상승순으로 탈수시켜 propylene oxide로 치환하여 epon mixture로 포매한 후 50~60 nm의 두께로 초박절편하여 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색하여 JEM-1200EX II형 투과전자현미경으로 관찰하였다.

## 결 과

피라미(*Zacco platypus*)의 미성숙 난원세포가 성숙한 난세포로 발달하는 과정을 광학현미경, 주사전자현미경 및 투과전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

피라미 난소는 낭상의 원추형으로 부레와 소장 사이에 위치하고 있으며 난소내에는 난원세포, 제 1난모세포, 제 2난모세포 및 난세포 등 분화단계가 다른 생식세포들이 분포하였다(Fig. 1). 난원세포의 세포질은 hematoxylin으로 매우 강하게 염색되었고, 다수의 소포들이 핵막 안쪽에 분포하고 있었으며(Fig. 2), 제 1난모세포의 핵막 안쪽에는 소포들의 분포가 뚜렷하였고 세포질은 hematoxylin으로 강하게 염색되었으며 난막쪽의 세포질에는 난황포들이 형성되어 위치하고 있었다(Fig. 3). 또한, 제 2난모세포의 핵은 제 1난모세포보다 커졌으며 세포질은 hematoxylin으로 비교적 약하게 염색되었다(Fig. 4). 초기의 난세포에서는 난황포들이 난막쪽으로 이동되었으며, 난황들은 융합하여 난황피를 이루어 세포질에 골고루 분포하고 있었고 분화가 계속되면서 난황피의 집적이 뚜렷하였다(Figs. 5, 6). 성숙한 난세포에서는 난막쪽의 난황포들은 사라졌으며(Fig. 7), 특히 성숙한 난세포의 난막은 제 2난모세포의 난막보다 매우 얇아진 것으로 나타났다(Fig. 8). 난원세포에서 난세포로의 분화는 세포와 핵의 크기가 증가하며 난황이 형성되어 난황피를 이루

고 세포질의 구성성분은 산성에서 염기성으로 변하며 난막은 얇아지는 것으로 나타났다.

피라미 제 1난모세포의 외측에는 섬유성 물질들과 다수의 용기들이 관찰되었고(Fig. 9), 난막은 외층, 중층 및 내층의 3층으로 구성되었으며 외층은 7, 8층 정도의 섬유상 물질들이 평행으로 배열하고 있었으며, 중층에는 영양세포(nurse cell)로 보이는 세포의 세포질 돌기들이 불규칙하게 나타나고 내층은 전자밀도가 높은 물질이 분포한 것으로 나타났다. 또한 난막 외측에는 방추형의 여포세포(follicle cell)들이 분포하였으며 이 여포세포의 핵 가장자리에는 이염색질(heterochromatin)이 발달하였고, 핵도 방추형을 이루고 있었다. 초기 난세포의 원형질막은 수많은 미세용모들이 영양세포쪽으로 뻗어 있었으며(Fig. 10), 난세포의 세포질내에는 유리 리보솜들이 조밀하게 분포하고 있었고, 난황은 타원형 혹은 다면체 구조로 난황피를 이루어 수십개씩 가까운 곳에 집적되어 있었으며, 전자밀도는 불균질하였다. 또한 mitochondria는 원통형으로 cristae가 잘 발달하고 있었고 유리 리보솜들의 분포도 뚜렷하였다(Fig. 11). 성숙한 난세포는 배포(germinal vesicle)의 분화가 뚜렷하였으며, 핵의 외막과 내막은 분리되어 있었고, 핵내에는 대부분 진염색질(euchromatin)만이 분포하였다(Fig. 12).

## 고 찰

경골어류는 대부분이 난생을 통하여 발생과정을 수행하며 산란하는 난자의 수는 많고 크기는 작다. 어류의 난자는 침성란과 부성란으로 구분되어 지며, 침성란은 부성란에 비하여 난경이 크고 부화에 소요되는 시간이 길며 부화된 자어는 기관이 잘 발달되어 있다. 피라미의 난자는 침성란으로 산란된 후 난생과정을 통하여 발생과정을 수행한다.

피라미의 난소는 낭상의 원추형으로 부레와 소장 사이에서 꼬리쪽으로 1쌍이 위치하고 있었으며, 짙둥어(*Boleophthalmus pectinirostris*)의 장원추형 난소가 주름진 낭상을 이룬 모양(Chung et al., 1991)과는 달랐으나, 문치가자미(*Linmanda yokohamae*) 난소(Lee et al., 1985)와는 모양이 유사한 것으로 나타났다.

피라미의 난소내에는 여러 분화단계의 생식세포들이 분포하고 있었으며 난원세포에서 난세포로 분화하는 동안

세포와 핵의 크기가 증가하고 난황이 형성되어 난황괴를 이루며 세포질의 구성성분은 산성에서 염기성으로 변하고 난막이 얇아지는 변화 등이 뚜렷하였다(Figs. 1~8). 이는 문치가자미(Chung *et al.*, 1991)와 짱둥어(Lee *et al.*, 1985)의 난자형성과정에서도 세포의 크기가 증가하고 세포질이 산성에서 염기성으로 변하는 점과 유사한 것으로 확인되었다.

피라미 제1난모세포의 외측에는 섬유성 물질들과 다수의 용기들이 분포하는데(Fig. 9), 섬유성 물질들은 외부 삼투압 또는 미생물의 감염으로부터 난자를 보호하기 위한 것으로 용기들은 미세용모로서 난모세포 외측으로부터 물질을 수송하는 기능을 가진 것으로 보여진다. 난막은 제2난모세포에서 난세포로 분화되면서 얇아지고(Fig. 8), 난막 외측에는 이염색질이 발달한 방추형의 핵을 가진 여포세포들이 존재하였으며(Fig. 10), 이 여포세포들의 물질대사과정은 활발하지 않으며 단순히 난세포를 보호하고 물질을 운반하는 기능만을 담당하는 것으로 판단된다. 또한 핵모양은 세포 모양과 같은 방추형으로 나타났고 이는 대부분의 세포에서 핵모양과 세포모양의 연관성을 보여주는 예로 판단된다. 본 실험에 의하면 피라미의 난막은 3층으로 두께는 약  $3\mu\text{m}$  정도로 균일하였으며(Fig. 10), 무지개 송어의 난막이 2층(Yoon *et al.*, 1993)인 것과는 다르지만 대구의 난막이 3층으로 구성(Kjesbu and Kryvi, 1989)되어 있는 점과 같은 것으로 나타났으며 균일한 난막은 문치가자미의 난막이 거치상(Lee *et al.*, 1985)을 이룬 것과는 다르게 나타났다. 또한 난막의 외층은 7, 8층 정도의 섬유상 물질들이 평행으로 배열하고 있었으며, 중층에는 영양세포로 보이는 세포의 세포질 돌기들이 불규칙하게 배열되어 있었고 내층은 전자밀도가 높은 물질로 구성되어 있었는데 이는 당단백질로 생각된다. 또한 초기 난세포의 원형질막은 수많은 미세용모들이 영양세포쪽으로 뻗어 있었으며 세포질 내에는 유리 리보솜들이 조밀하게 분포하고 있었고(Fig. 10), 난황들은 타원형 혹은 다면체 구조로 전자밀도가 불균질한 상태로 수십개씩 한곳에 집적되어 있었으나 이는 짱둥어와 문치가자미의 난황괴립이 균질하다는 보고(Chung *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 1985)와는 다르게 나타났다. 또한 세포질에는 원통형의 mitochondria와 유리 리보솜들이 조밀하게 산재하고 있었으며 mitochondria는 cristae의 발달이 뚜렷하였다(Fig. 11). 난

세포는 배포의 발달이 뚜렷이 관찰되었으며, 핵의 외막과 내막은 분리되어 있었고, 핵에는 대부분 진염색질만이 나타났다(Fig. 12). 핵내의 진염색질이 발달되어 있는 것은 난세포에서 단백질 합성과 같은 물질의 합성이 활발한 것을 시사하고 있다. 난자의 구성물질은 주로 단백질과 수분인데, 피라미와 같은 담수어류의 난자는 물보다 무거워 침성란이며, 해수어류의 난자는 부성란이 많다. 난자 내부에 있는 수분은 모체의 체내에서 형성된 것으로 해수보다는 가벼워서 난자의 부력을 갖게 하는 가장 큰 요인이 되며, 일반적으로 부성란은 바다의 표층에 위치하며 부화하여 자어가 되었을 때 쉽게 먹이를 찾을 수 있고, 담수어류의 침성란은 하류로 떠내려가지 않도록 자갈 사이에 묻혀 있기도 하지만, 부착사를 이용하여 바위나 수초에 붙어 있거나 점액질을 분비하여 서로 붙어 있게 된다. 이상과 같이 피라미의 난자형성과정은 많은 수의 난자를 산란할 수 있도록 적응되어 있는데 이것은 산란 후 모체가 수정란을 보호하지 않는 습성으로 인하여 천적이나 환경요인으로부터 살아남기 위한 생존기작으로 생각되며 난자 외층의 구조들에 대한 생리학적 기능에 관한 연구는 계속되어야 할 것으로 사료된다.

## 결 론

피라미의 미성숙한 난원세포가 성숙한 난세포로 발달하는 과정을 광학현미경과 전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

피라미 난원세포의 세포질은 산성이었으며, 다수의 세포들이 핵막 안쪽에 분포하고 있었다. 또한 제1난모세포의 세포질에는 난황포들의 분포가 뚜렷하였고 난막 외측에는 섬유성 물질과 다수의 용기들이 분포하였으며, 제2난모세포는 핵의 크기가 증가하였고 난황포들은 난막쪽으로 이동하였다. 초기 난세포의 세포질에는 난황괴가 형성되었고 난황포들은 난막쪽에 분포하였다. 난막은 외층이 섬유상물질로 구성되었고, 중층은 영양세포들의 돌기와 난세포의 원형질막에서 형성된 미세용모들이 접촉하며 내층은 전자밀도가 높은 물질로 구성되어 3층을 이루었으며 두께는 약  $3\mu\text{m}$  정도였다. 또한 난막의 외측에는 여포세포들이 분포하였다. 성숙한 난세포의 핵에는 진염색질들이 분포하였으며 핵막의 두층은 분리되어 배포를 형성하였고 세포질에는 cristae가 잘 발달된 원통형의 mi-

tochondria, 유리 리보솜 및 난황괴의 분포가 뚜렷하였으나 난황포들은 사라졌다. 특히 성숙한 난세포의 난막은 미성숙한 난세포의 난막보다 매우 얇아진 것으로 나타났다.

이상의 결론을 요약하면 피라미 난자형성과정은 세포 크기의 증가, 난황형성 및 축적, 핵의 전자밀도 감소, 난막의 변화 및 물질수송을 위한 미세융모 발달로 요약할 수 있다.

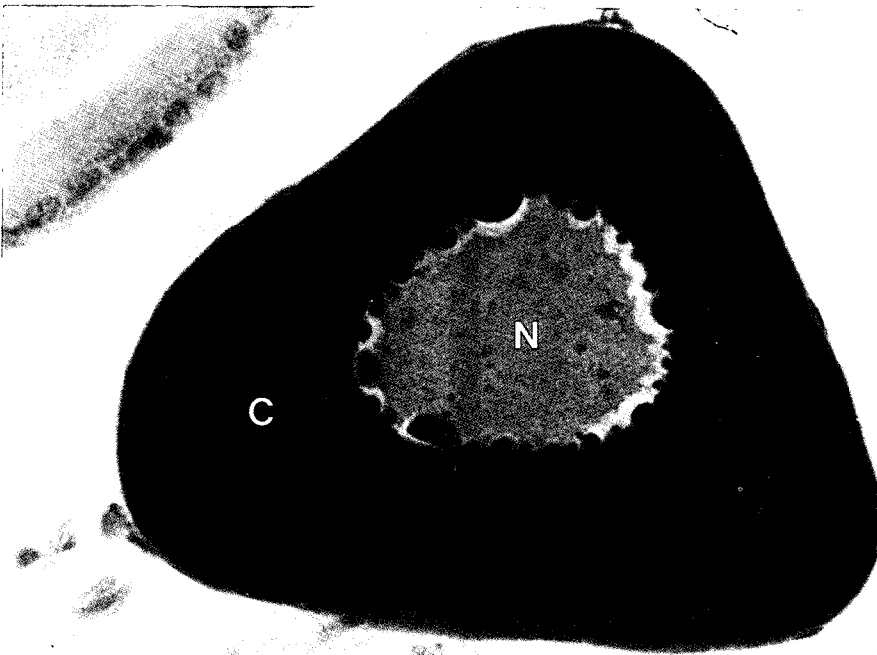
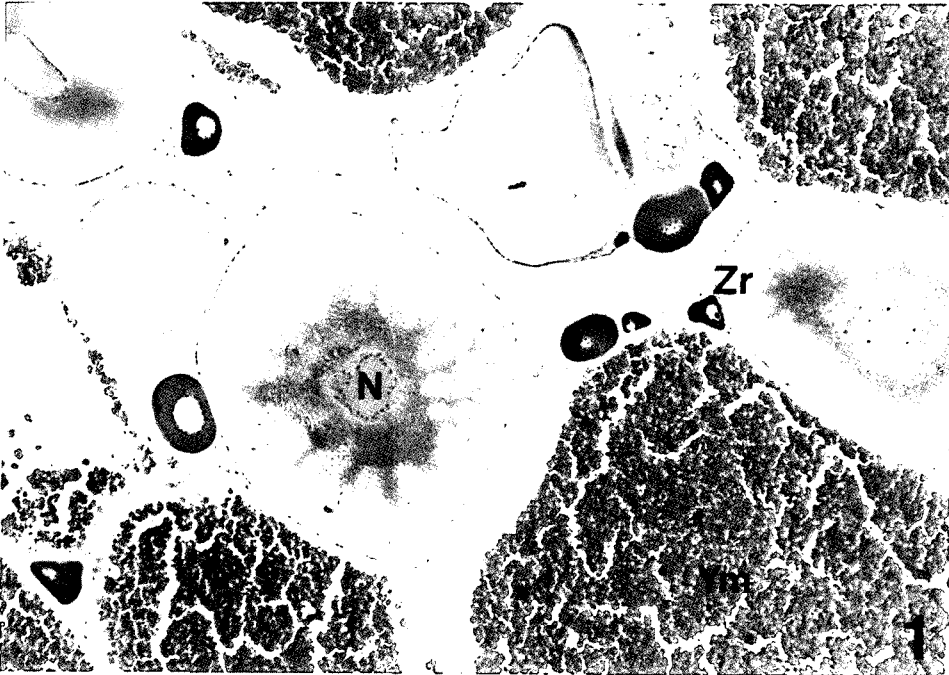
### 참 고 문 헌

- Anderson, E., 1974, Comparative aspects of the ultrastructure of the female gamete, Int. Rev. Cytol. Suppl., 4, 1-70.
- Bell, G. R., G.H. Hoskins, and J.W. Bagshaw, 1969, On the structure and enzymatic degradation of the external membrane of the salmon egg, Can. J. Zool., 47, 146-148.
- Chung, E.Y., C.M. An, and T.Y. Lee, 1991, Sexual maturation of the bluespotted mud hopper, *Boleophthalmus pectinirostris*(Linnaeus), Bull. Korean Fish. Soc., 24(3), 167-176.
- Cotelli, F., F. Andronico, R. Bassi, M. Brivio, C. Ceccagno, S. Denis-Donini, M.L. La Rosa, and C.L. Lamia Donin, 1986, Studies on the composition, structure and differentiation of fish egg chorion, Cell Biol. Int. Rep., 10(6), 471.
- Dumont, J.N. and A.R. Brummet, 1980, The vitelline envelope, chorion, and micropyle of *Fundulus heteroclitus* eggs, Gamete Res., 3, 25-44.
- Flegler, C., 1977, Electron microscopic studies on the development of the chorion of the viviparous teleost *Dermogenys pusillus*(Hemirhamphidae), Cell Tissue. Res., 179, 255-270.
- Hirose, K., Y. Machida, and E.M. Donaldson, 1979, Induced ovulation of Japanese flounder (*Linmanda yokohamae*) with human chorionic gonadotropin and salmon gonadotropin, with special reference to changes in quality of eggs retained in the ovarian cavity after ovulation, Bull. Japan Soc. Fish., 45(1), 31-36.
- Hisaoka, K.K. and H.I. Battle, 1958, The normal developmental stages of the zebrafish, *Brachydanio rerio*(Hamilton-Buchanan), J. Morphol., 102, 311-328.
- Kjesbu, O.S. and H. Kryvi, 1989, Oogenesis in cod, *Gadus morhua* L., studied by light and electron microscopy, J. Fish. Biol., 34, 753-746.
- Kobayashi, W. and T.S. Yamamoto, 1981, Fine structure of the micropylar apparatus of the chum salmon egg, with a discussion of the mechanism for blocking polyspermy, J. Exp. Zool., 217, 269-275.
- Lee, T.Y., Y.J. Kang, and B.D. Lee, 1985, Reproduction and population dynamics of marbled sole *Linmanda yokohamae*, 1. Reproduction, Bull. Korean Fish. Soc., 18(3), 253-261.
- Matsuyama, M., Y. Nagahama, and S. Matsuura, 1991, Observation on ovarian follicle ultrastructure in the marine teleost, *Pagrus major* during vitellogenesis and oocyte maturation. Aquaculture, 92, 67-82.
- Schmehl, M.K. and E.F. Graham, 1987, Comparative ultrastructure of the zona radiata from eggs of six species of salmonids, Cell Tissue Res., 250, 513-519.
- Stehr, C.M. and J.W. Hawkes, 1979, The comparative ultrastructure of the egg membrane and associated pore structure in the starry flounder, *Platichthys stellatus*, and pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha*, Cell Tissue. Res., 202, 347-356.
- Tesoriero, J.V., 1977, Formation of the chorion (zona pellucida) in the teleost, *Oryzias latipes*. II. Polysaccharide cytochemistry of early oogenesis, J. Histochem. Cytochem., 25, 1376-1380.
- Wourms, J.P. and H. Sheldon, 1976, Annual fish oogenesis; Formation of the secondary egg envelope, Dev. Biol., 50, 355-366.
- Yoon, J.M., G.Y. Kim, H.T. Huh, J.M. Kim, and H.Y. Park, 1993, Studies on genetics and breeding in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* IX. Ultrastructural changes of ovarian follicle during oocyte growth, Korean J. Zool., 36(2), 304-317.
- Yoon, J.M., G.Y. Kim, and H.Y. Park, 1991a,

- Studies on genetics and breeding in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. II. Relationships between levels of serum LH, FSH and estradiol-17  $\beta$ ; and levels of albumin, total protein, and triglycerides; and their effect on the changes of gonadosomatic indices in the ovarian development in the rainbow trout, J. Aquacul., 4(2), 97-110.
- Yoon, J.M., G.Y. Kim, and H.Y. Park, 1991b, Studies on genetics and breeding in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. VI. Developmental stages of oocytes in reproductive cycles, Korean J. Ichth., 3(2), 148-165.
- Yoon, J.M., Y.K. Kim, and H.Y. Park, 1991c, Studies on genetics and breeding in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, VIII. Ultrastructural changes of oocytes in reproductive cycles, Korean J. Anim. Reprod., 15(3), 207-220.

### FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** A lightmicrograph of oogonia, secondary oocytes, early eggs and mature eggs in pale chub ovary ( $\times 40$ ). N; nucleus, Zr; zona radiata, Ym; yolk mass.
- Fig. 2.** A lightmicrograph of an oogonium in pale chub ( $\times 200$ ). N; nucleus, C; cytoplasm.
- Fig. 3.** A lightmicrograph of primary oocytes in pale chub ( $\times 100$ ). N; nucleus, Zr; zona radiata, Yv; yolk vesicle.
- Fig. 4.** A lightmicrograph of secondary oocytes in pale chub ( $\times 100$ ). N; nucleus, Zr; zona radiata, Yv; yolk vesicle.
- Fig. 5.** A lightmicrograph of an early egg in pale chub ( $\times 100$ ). N; nucleus, Zr; zona radiata, Ym; yolk mass, Yv; yolk vesicle.
- Fig. 6.** A lightmicrograph of early eggs and mature eggs in pale chub ( $\times 100$ ). N; nucleus, Zr; zona radiata, Ym; yolk mass, Yv; yolk vesicle.
- Fig. 7.** A lightmicrograph of mature eggs in pale chub ( $\times 40$ ). Zr; zona radiata, Ym; yolk mass.
- Fig. 8.** A lightmicrograph of zona radiata in an early egg (lower side) and a mature egg (upper side) ( $\times 200$ ). Zr; zona radiata, Ym; yolk mass, Yv; yolk vesicle.
- Fig. 9.** A scanning electron micrograph of primary oocytes in pale chub. Fm; fibrous material.
- Fig. 10.** A transmission electron micrograph of zona radiata in an early egg of pale chub. N; nucleus, Fc; follicle cell, Nc; nurse cell, Cy; cytoplasm, Ym; yolk mass, Ri; ribosome, Gl; glycoprotein layer, Fl; fibrous layer, Mv; microvillus.
- Fig. 11.** A transmission electron micrograph of yolk in cytoplasm of a mature egg. Mi; mitochondria, Ym; yolk mass, Ri; ribosome.
- Fig. 12.** A transmission electron micrograph of a mature egg in pale chub. Gv; germinal vesicle, Ym; yolk mass, arrow; gap between inner membrane and outer membrane.



2

