

각시붕어, *Rhodeus uyekii*의 생식주기에 미치는 광주기 및 수온의 영향

안 철 민

부산수산대학교 해양과학대학 해양생물학과

자연에서 3월 초순 부터 6월 초순까지 산란기를 가지는 각시붕어, *Rhodeus uyekii*를 대상으로 이들의 생식주기 성립기구를 밝히고자 여러가지 광주기 및 수온 조건이 생식소의 활성화와 퇴화 그리고 재생속에 미치는 영향을 실험적으로 조사한 결과는 다음과 같다. 춘계 생식소 활성화를 유도하는 환경요인은 수온상승이고 광주기는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 이 시기의 임계수온은 8℃ 이상이었다. 생식소 퇴화요인으로는 하계 고수온이며, 광주기의 영향은 없었다. 그리고 임계수온은 20℃에서 24℃ 사이에 존재하는 것으로 나타났다. 산란기 수온과 동일한 수온 범위가 존재하는 추계에 생식소가 성숙에 이르지 못하는 요인은 이 시기의 단일 광조건 때문이며, 다른 시기에는 나타나지 않았던 광주성의 발달을 볼 수 있었다. 추계 생식소 재생속에 영향을 미치는 임계광주기는 12L과 13L 사이에 존재하며, 동계에서 춘계로 이행함에 따라 광주성은 사라지는 것으로 조사되었다. 이상의 결과에서 각시붕어의 성숙을 연중 제어할 수 있는 광과 수온범위는 수온은 8℃에서 20℃, 광조건은 13L 이상으로 생각된다.

서 론

종별로 각기 다른 산란기를 가지는 어류의 생식연주기 성립 기구를 이해하기 위하여는 성중추 활동을 지배하는 내적요인 및 외적 환경요인들이 실험적으로 검토되어 그 요인들의 작용이 밝혀져야 한다. 어류의 성숙에 영향을 미치는 환경요인에 관한 초기의 연구는 1937년 Hoover에 의해 이루어졌는데, 그는 조류, 양, 사슴 등의 번식시기에 영향을 미치는 야간조명의 연구에서 암시를 얻어 송어와 연어류의 성숙과 산란에 대한 환경영향 조사를 하였다(隆島, 1982). 이후 꾸준히 연구가 진행되어 현재 수종의 담수 경골어류에서 환경요인의 주기적 변화가 어류의 생식주기 현상을 지배하며, 특히 광주기와 수온이 성중추 활동을 강하게 제어하고 있음이 보고되고 있다(De Vlaming, 1972, 1975; Nishi, 1979; Nishi and Takano, 1979;

Asahina and Hanyu, 1983, 1985, 1991; Shimizu and Hanyu, 1982, 1983, 1993; Razani and Hanyu, 1986a,b; Nakari *et al.*, 1986). 또한 이들 성중추 활동을 조절하는 환경인자로 밝혀진 빛과 수온의 작용 양식에 따라 어류의 번식 계절을 춘계산란형, 춘하계산란형, 추계산란형, 동계산란형으로 구분하여 보고하고 있다(Shimizu and Hanyu, 1983).

우리나라에서도 외적 환경요인중 광과 수온이 생식주기 성립기구에 어떻게 관여하는지에 대한 실험적 연구가 최근에 보고(Lee *et al.*, 1984; Lee and Kim, 1987; Baek and Lee, 1985; Kim and Hur, 1991)되고 있어, 이러한 실험적 연구 결과들이 누적된다면 산업상 유용어종의 인공 종묘생산을 위한 산란제어에 큰 도움을 줄 것이다.

본 연구에서는 자연에서의 광주기와 수온 변화가 이들 생식주기의 성립에 어떻게 관련되고 있는

지를 비교분석한 결과를 토대로 실내사육실험을 통하여 생식소의 활성화 및 퇴화 그리고 재성숙에 영향을 미치는 환경요인을 실험적으로 조사 분석하였고, 아울러 이들 생식주기를 인공적으로 제어할 수 있음을 제시하였다.

재료 및 방법

실험에 사용된 재료들은 실험개시 1주일 전에 경상남도 김해군 상동면 매리마을의 낙동강 지류에서 플라스틱 통발을 사용하여 포획한 것으로, 1주일의 순치 기간을 거친후 Table 1과 같이 여러가지 수온과 광주기를 조합한 실험수조를 설정하여 사육실험을 하였다.

사육수조는 약 50L 유리수조를 사용하였으며, 각 수조당 실험개체는 30~40미 썩 수용하였다. 사육실험은 온도가 조절되는 항온실에서 실시되었으며, 광원은 25W 형광등을 사용하였고, 광주기는 타이머로 조절하였다. 수온조절은 시판되는 열대어용 온도조절기 및 히터를 사용하였으며, 실험개시후 3일 이내의 순치기간을 제외하고 수온은 설정온도 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 이내로 유지하였다. 그리고 먹이

Table 1. Combinations of photoperiod and water temperature in rearing experiments.

Exp. No.	Exp. period	Environmental factors (day length/water temperature)
1	Feb. 7~Mar. 15	15L/8 $^{\circ}\text{C}$, 15L/16 $^{\circ}\text{C}$, 11L/8 $^{\circ}\text{C}$, 11L/16 $^{\circ}\text{C}$
2	Feb. 7~Apr. 19	9L/16 $^{\circ}\text{C}$, 11L/16 $^{\circ}\text{C}$, 15L/16 $^{\circ}\text{C}$, 15L/6 $^{\circ}\text{C}$, 15L/8 $^{\circ}\text{C}$, 15L/10 $^{\circ}\text{C}$ 15L/12 $^{\circ}\text{C}$, 15L/14 $^{\circ}\text{C}$, 15L/16 $^{\circ}\text{C}$
3	May 7~June 6	11L/24 $^{\circ}\text{C}$, 15L/24 $^{\circ}\text{C}$, 11L/26 $^{\circ}\text{C}$ 15L/26 $^{\circ}\text{C}$, 11L/28 $^{\circ}\text{C}$, 15L/28 $^{\circ}\text{C}$, 15L/16 $^{\circ}\text{C}$, 15L/20 $^{\circ}\text{C}$, 15L/24 $^{\circ}\text{C}$, 15L/28 $^{\circ}\text{C}$
4	Sep. 25~Nov. 5	15L/20 $^{\circ}\text{C}$, 15L/24 $^{\circ}\text{C}$, 11L/20 $^{\circ}\text{C}$, 11L/24 $^{\circ}\text{C}$
5	Oct. 5~Dec. 16	15L/12 $^{\circ}\text{C}$, 11L/12 $^{\circ}\text{C}$, 15L/16 $^{\circ}\text{C}$, 11L/16 $^{\circ}\text{C}$, 15L/20 $^{\circ}\text{C}$, 11L/20 $^{\circ}\text{C}$ 11L/16 $^{\circ}\text{C}$, 12L/16 $^{\circ}\text{C}$, 13L/16 $^{\circ}\text{C}$, 14L/16 $^{\circ}\text{C}$, 15L/16 $^{\circ}\text{C}$
6	Oct. 28~Dec. 9	15L/16 $^{\circ}\text{C}$, 15L/22 $^{\circ}\text{C}$, 11L/16 $^{\circ}\text{C}$, 11L/22 $^{\circ}\text{C}$
7	Nov. 15~Feb. 8	11L/20 $^{\circ}\text{C}$, 12L/20 $^{\circ}\text{C}$, 13L/20 $^{\circ}\text{C}$, 14L/20 $^{\circ}\text{C}$

로는 하루 5~6회씩 송어치어용 사료를 충분히 공급 하였다.

목적에 따라 실험 처리된 각시붕어는 ethyl aminobenzoate로 마취시킨 후 연수 절단에 의해 죽였고, 생식소중량 및 체중은 0.1mg 까지 측정하였으며, 생식소속도지수(GSI)는 생식소중량/체중 $\times 100$ 의 식으로 산출하였다.

결 과

1. 생식소 활성화 요인

자연에서는 2~3월에 걸쳐 암수 모두 GSI가 급상승하고 있는 데, 수컷의 정소에서는 정자형성이 활발히 진행되어 변태된 정자들이 출현하고 있으며, 암컷의 난소에서는 난황형성기 난모세포 및 완숙난이 출현하여 3월 중순부터 산란기가 시작된다. 이때 자연 수온은 2월 초순에 5 $^{\circ}\text{C}$ 전후에서 3월 중순에는 12 $^{\circ}\text{C}$ 전후로 상승하였고, 이 시기의 광주기는 낮의 길이가 점진적으로 증가하고 있는 시기였다.

본 실험에서는 생식소가 활성화되는데 있어 환경요인으로서 광주기의 증가 및 수온의 상승이 어떤 영향을 미치는지를 실험적으로 조사분석하였다.

1) 생식소 활성화에 미치는 수온 및 광주기의 영향

자연에서 월동을 마치고 생식소가 활성화되기 시작하는 2월 7일에 수온 8 $^{\circ}\text{C}$, 16 $^{\circ}\text{C}$ 와 광주기 11L 및 15L을 조합한 4개의 실험구를 설치하여 37일간 사육실험한 결과는 Fig. 1과 같다.

실험을 시작한 2월 7일의 경우 암컷의 GSI는 4.50이었고, 수컷은 1.70이었으나, 37일 후인 실험 종료시에는 암수 모두 모든 실험구에서 실험구 간에 약간의 차이는 있으나 수온 및 광주기의 조건에 관계없이 생식소가 활성화되어 GSI가 상승하였다. 암컷의 경우 16 $^{\circ}\text{C}$ /11L 실험구에서 GSI 값이 9.0 전후로 거의 완숙에 이르고 있고, 16 $^{\circ}\text{C}$ /15L 실험구는 GSI 값이 11L 실험구에 비해 떨어지고 있으나, 생식소는 활성화되어 난모세포들이 활발하게 난황형성을 하고 있었다. 8 $^{\circ}\text{C}$ /11L 실험구와 8

℃/15L 실험구에서도 생식소는 모두 활성화되어 GSI 값은 상승하고 있다. 역시 수컷의 경우도 각 실험구 모두 실험조건에 관계없이 생식소가 활성화되고 있었다.

앞선 실험 결과에서 11L과 15L의 광조건에 관계없이 생식소가 암수 모두 활성화되고 있어, 이들 각시붕어의 경우 자연에서 생식소가 활성화되는 시기에는 광주기가 전혀 영향을 미치지 않는가를 알기 위하여 수온은 적수온이라 볼 수 있는 16℃

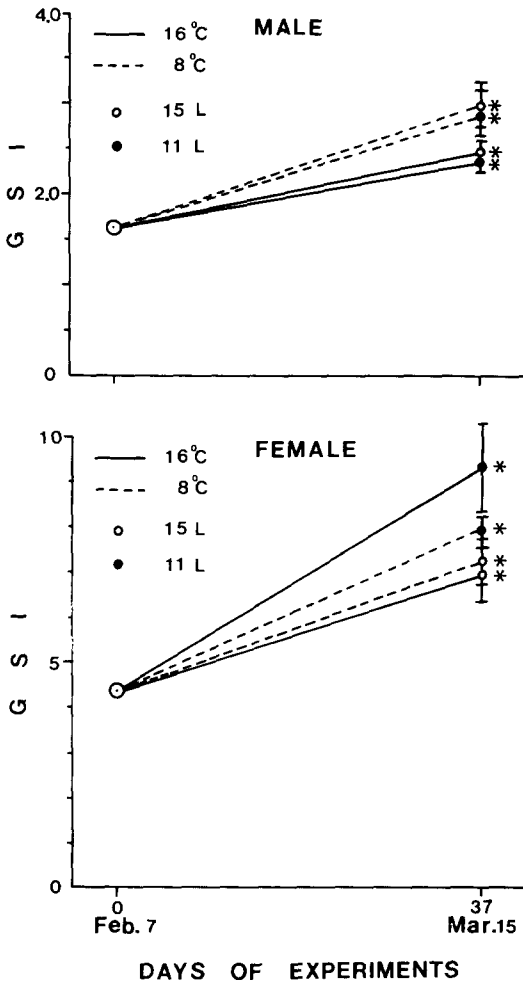


Fig. 1. Effects of photoperiod and temperature on GSI of *Rhodeus uyekii* in late winter. Circles and bars indicate the mean and standard error, respectively.

*Significantly greater than the value for the initial controls($p < 0.05$; by student's t -test).

로 고정하고 광주기를 자연에서 짧은 광조건으로 간주할 수 있는 9L을 추가해 11L, 15L로 조합한 실험구에서 70일간 사육 실험한 결과는 Fig. 2와 같다.

암컷의 경우 실험종류시 9L, 11L, 15L의 모든 실험구에서 광주기의 장단에 관계없이 GSI는 8.5 전후로 실험개시기에 비하여 생식소는 모두 완숙 상태에 이르렀고, 수컷의 경우도 모든 실험구에서 광주기에 관계없이 GSI가 상승하여 완숙에 이르

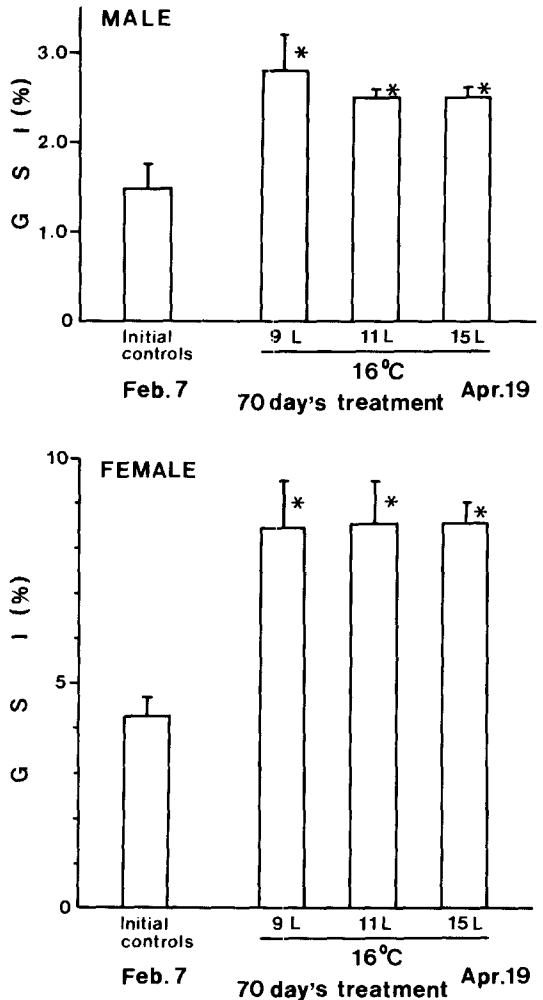


Fig. 2. Effects of various photoperiods on GSI of *Rhodeus uyekii* under warm temperature(16°C) in late winter. Columns and bars indicate the mean and standard error, respectively.

*Significantly greater than the value for the initial controls($p < 0.05$; by student's t -test).

렸다.

2) 생식소 활성화를 유도하는 임계수온

춘계 생식소 활성화는 수온상승에 의해 유도되고 있음이 실험적으로 밝혀졌기에 생식소 활성화를 유도하는 임계수온을 알기 위하여 광주기는 장일(15L)로 고정하고 6℃에서 2℃ 간격으로 16℃ 까지 6개의 실험구를 설정하여 70일간 사육실험한 결과는 Fig. 3과 같다.

2월 7일 실험개시시에 암수의 GSI는 각각 4.50, 1.70이었으나, 실험 종료시에는 암수 모두 8℃ 이상의 실험구에서는 GSI가 각각 7.20, 2.70 이상으로 생식소가 현저히 발달하여 성숙 개체의 GSI 값을 나타내고 있다. 그러나 6℃ 실험구에서는 생식소의 활성화가 전혀 일어나지 않고 있어 GSI는 실험개시시에 비해 변화를 보이지 않고 있다.

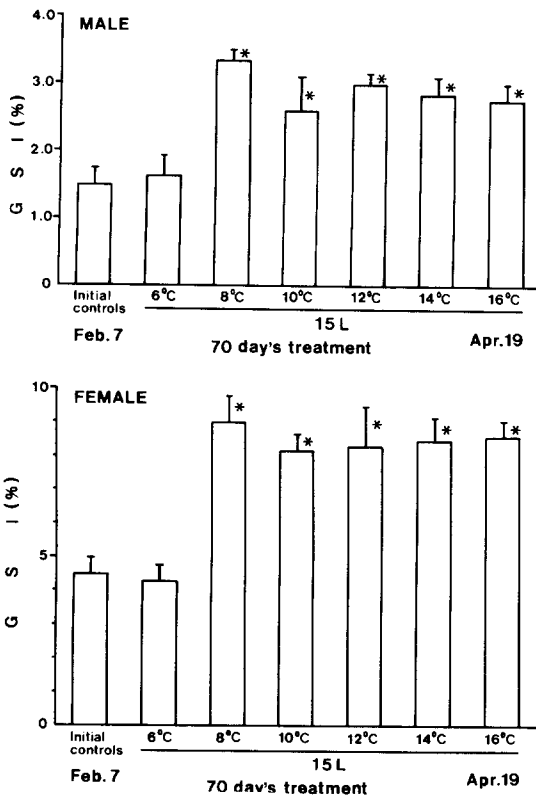


Fig. 3. Effects of various temperatures on GSI of *Rhod. uyekii* under long daylength(15L) in late winter. Columns and bars indicate the mean and standard error, respectively.

*Significantly greater than the value for the initial controls($p < 0.05$; by student's t-test).

실험개시시에 비해 변화를 보이지 않고 있다.

2. 생식소 퇴화요인

각시붕어의 산란기 종료시에는 GSI의 급격한 감소 및 생식소 퇴화가 급속하게 일어나고 있으며, 이 시기의 자연 수온은 24℃ 이상이고, 광주기는 일년 중 가장 긴 시기이다. 산란기의 종료는 이 시기의 수온 변화에 따라 해마다 약간 다르게 나타났다. 본 실험에서는 생식소 퇴화를 유도하는 환경요인을 밝히고자 광주기 및 수온을 조합한 사육실험을 실시하였다.

1) 생식소 퇴화에 미치는 수온 및 광주기의 영향

생식활동을 중지시키고 생식소를 퇴화시켜 산란기 종료를 유도하는 환경요인을 밝히고자 완숙 및 산란기인 5월 초순에 자연수온 변화를 감안한 24℃, 26℃, 28℃의 수온구에 광주기 11L과 15L을 조합하여 30일간 사육한 6개 실험구의 GSI 변화는 Fig. 4와 같다.

암컷의 경우 실험개시일인 5월 7일에 평균 GSI는 8.79로 완숙 상태였는데, 30일 후에는 11L과 15L의 광주기에 관계없이 전 실험구에서 생식소가 퇴화되어 GSI는 급격히 저하되었다. 수컷의 경우도 유사한 결과를 보였다.

따라서 완숙 개체들은 일정한 산란기를 가지는 동안 24℃ 이상의 고수온기에 이르면 광주기에 관계없이 생식소 퇴화가 일어나 산란기를 종료하고 있음을 알 수 있다.

2) 생식소 퇴화를 유도하는 임계수온

완숙 및 산란기인 5월 초순에 15L의 광조건하에서 16℃부터 28℃까지의 수온구를 조합한 4개의 실험구를 설정하여 산란기 종료에 대한 임계수온을 조사한 결과는 Fig. 5와 같다.

암컷의 경우 실험개시일인 5월 7일에 평균 GSI는 8.79로 완숙상태였는데, 30일간 사육 후에는 24℃, 28℃ 실험구는 GSI의 급격한 감소가 일어난 반면, 16℃, 20℃ 실험구는 실험개시기와 비슷한 수준을 유지했다. 수컷의 경우 20℃ 실험구에서의 GSI는 실험개시시에 비하여 다소 감소하였으나($p < 0.05$), 생식소는 여전히 활성화를 나타내고 있었

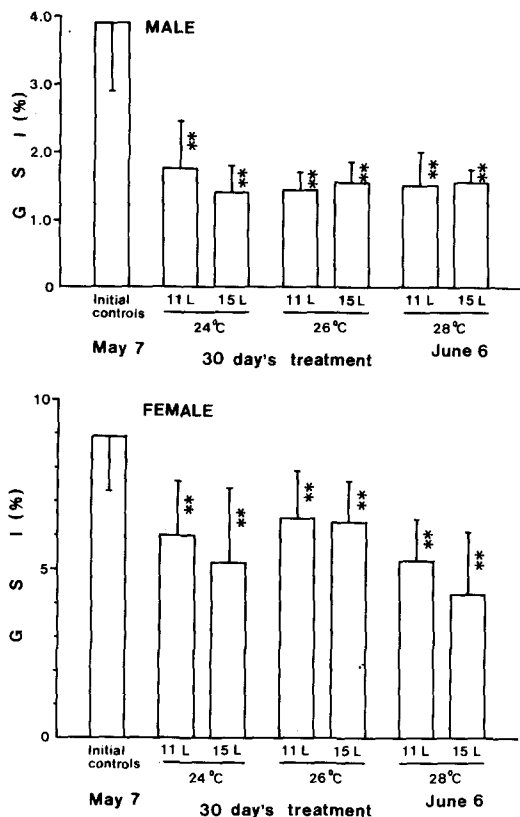


Fig. 4. Effects of photoperiod and temperature on GSI of *Rhodeus uyekii* in late spring. Columns and bars indicate the mean and standard error, respectively.

** Significantly lower than the value for the initial controls ($p < 0.05$; by student's t -test).

다. 그러나 24°C, 28°C 실험구는 급격한 GSI의 감소가 일어났다.

따라서 각시붕어의 생식소 퇴화에 영향을 미치는 임계수온은 20°C에서 24°C 사이에 존재함을 알 수 있다.

3. 추계의 생식소 재생속을 억제하는 요인

생식소 활성화에는 춘계의 수온상승, 생식소 퇴화에는 하계의 고수온이 영향을 미치는 것이 분명하였지만, 가을에 수온이 저하하여 생식소의 성숙에 호적한 범위가 되어도 자연에서는 생식소가 완숙에 이르지 못하고 난황포기 난모세포와 정모세포 형성 단계에 머물러 있다.

본 실험에서는 추계 호적수온에서도 생식소의 발달이 더 이상 진행되지 못하는 요인을 밝히고자

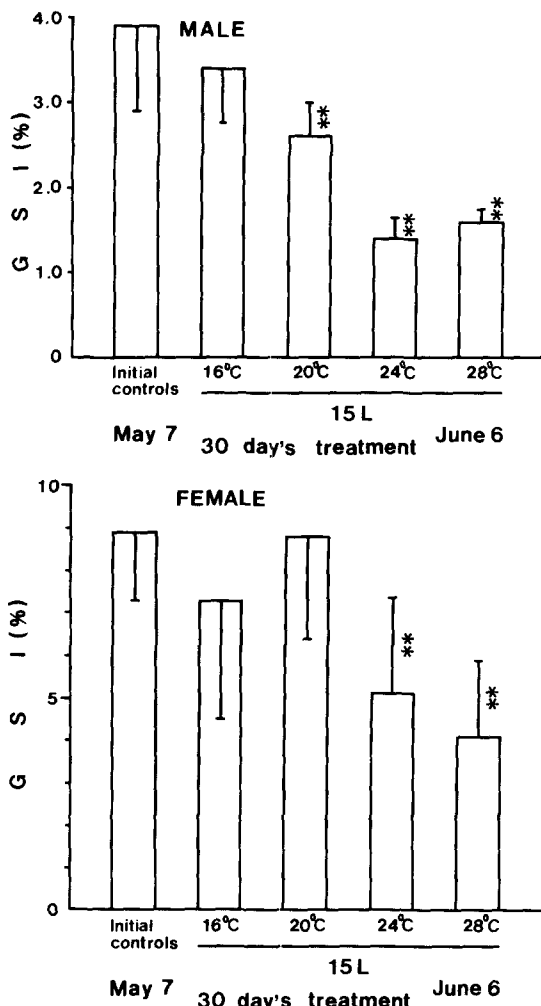


Fig. 5. Effects of various temperatures on GSI of *Rhodeus uyekii* under long daylength (15L) in late spring. Columns and bars indicate the mean and standard error, respectively.

** Significantly lower than the value for the initial controls ($p < 0.05$; by student's t -test).

수온 및 광주기를 조합한 실험 조건을 설정하여 실내 사육실험을 행하였다.

1) 추계 재생속을 억제하는 수온 및 광주기의 영향

(실험 1)

자연에서 산란기를 마치고 생식소가 퇴화 위축되어 평균 GSI가 암컷이 1.3, 수컷이 0.3을 나타내는 9월에 20°C, 24°C 수온과 11L, 15L 광조건을 조합한 4개의 실험구를 설정하여 42일간 사육 실험

험한 결과는 Fig. 6과 같다.

사육실험 결과, 20℃/15L 실험구에서는 암수 모두 생식소의 활성화가 유도되어 실험개시시에 비하여 급격한 GSI의 상승이 일어나 암컷은 7.0, 수컷은 1.9를 나타내 거의 완숙 상태에 이르고 있다. 그러나 같은 20℃ 수온구일지라도 11L 실험구에서는 수컷은 전혀 GSI의 변화가 없으며 암컷들은 실험개시시에 비하여 다소 상승된 유의한 차이($p < 0.05$)가 인정되나 평균 GSI가 2.8로 생식소의 활성화는 여전히 낮은 상태로 완숙까지 유도되지 못하고 있다. 24℃ 수온구에서는 광주기의 장단(11L, 15L)에 관계없이 실험개시기에 비해 생식소는 활성화되지 못하고 GSI가 오히려 저하되고 있다.

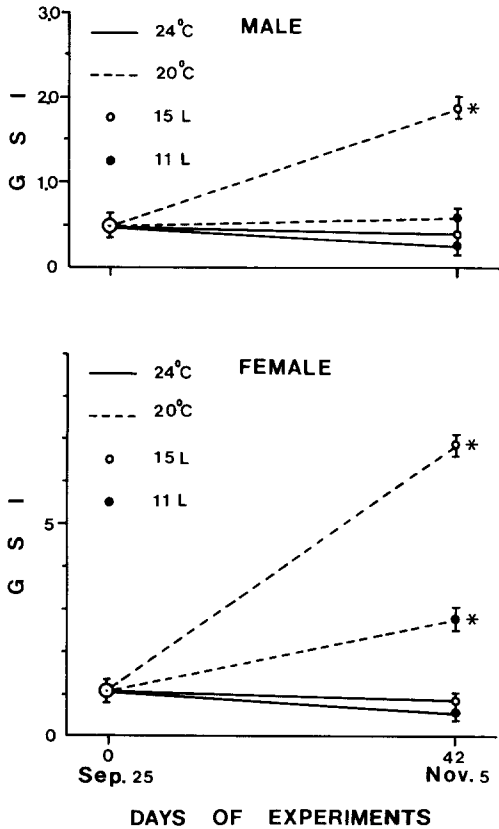


Fig. 6. Effects of photoperiod and temperature on GSI of *Rhodnius yekii* in early autumn. Circles and bars indicate the mean and standard error, respectively

*Significantly greater than the value for the initial controls ($p < 0.05$; by student's t -test).

(실험2)

실험1에서 고수온(24℃)이 아닌 20℃ 수온구에서 장일 광조건이 주어지면 생식소가 재생숙에 도달하였으므로, 호적수온 범위내에서 광주기 영향을 보다 세밀히 조사하기 위해 10월 5일에 산란기 수온범위인 12℃, 16℃, 20℃ 수온조건과 11L, 15L의 장,단 광조건을 조합하여 42일간 사육실험한 결과는 Fig. 7과 같다.

실험 결과 암수 모두 장일 광조건하에서는 모든 실험구가 실험개시시에 비하여 GSI의 급격한 상승이 일어났으나, 단일 광조건하에서는 실험개시시와 비슷한 수준을 유지하거나 다소 상승하고 있었다. 그러나 단일 광주기에서 GSI가 약간 상승된 실험구의 개체들은 생식소가 재생숙까지 유도되지 못하고 있다.

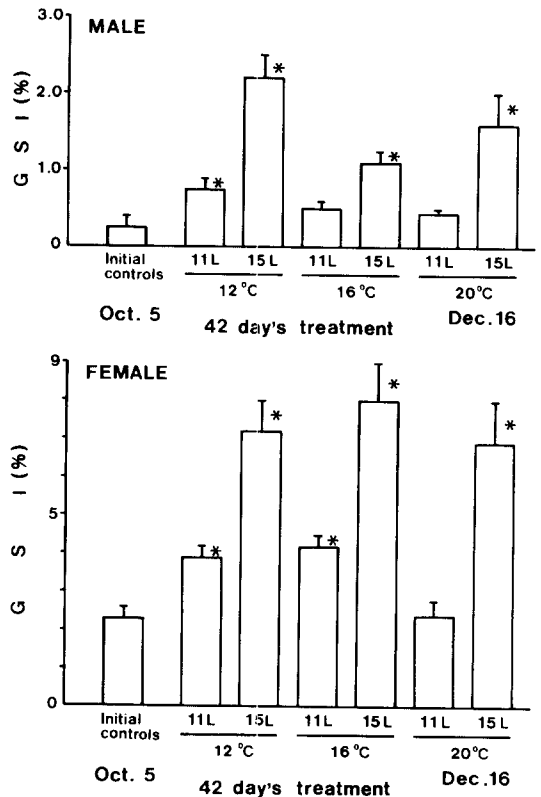


Fig. 7. Effects of photoperiod and temperature on GSI of *Rhodnius yekii* in autumn. Columns and bars indicate the mean and standard error, respectively.

*Significantly greater than the value for the initial controls ($p < 0.05$; by student's t -test).

따라서 산란기를 마친 추계 개체들은 12℃ - 20℃ 범위의 호적수온 범위에서 장일 광주기가 작용하면 생식소는 활성화되어 재생속됨을 알 수 있다.

2) 추계 재생속을 유도하는 임계광주기

앞선 실험에서 호적수온하에서는 장일 광조건을 처리하면 추계에도 생식소의 재생속이 일어나는 것이 밝혀졌다. 따라서 호적수온 범위인 16℃ 수온하에서 임계광주기를 밝히기 위해 11L 부터 15L까지 여러가지 광조건을 조합하여 42일간 사육실험을 실시하였다(Fig. 8).

암컷의 경우 실험개시일인 10월 5일에는 GSI가 2.3으로 생식소는 미숙한 상태였으나, 42일간 사육 후 11L, 12L 실험구에서는 GSI가 4.2 전후로 실

험개시시에 비해 약간 상승하였지만 자연에서도 GSI는 10월에 2.3에서 11월에 4.2로 상승하고 있어 실험결과와 이 시기의 자연산 각시붕어의 GSI 변화가 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 13L 실험구는 GSI가 6.2로 실험개시시에 비하여 생식소는 매우 활성화된 상태였으며, 14L, 15L 실험구는 GSI가 8.0 전후로 생식소는 활성화되어 완숙상태에 이르고 있었다.

수컷의 경우도 11L, 12L 실험구는 GSI가 각각 0.5, 0.6으로 실험개시시의 0.3에 비해 약간 상승하였으나 자연에서의 GSI 변화와 일치하고 있다. 13L 실험구는 GSI가 1.2로 실험개시시에 비하여 생식소는 활성화되고 있는 상태였다. 그리고 14L, 15L 실험구는 GSI가 2.2로 생식소는 활성화되어 조직상으로도 변태된 정자가 나타나고 있었다.

따라서 추계 재생속을 유도할 수 있는 임계광주기는 12L과 13L 사이에 존재함을 알 수 있다.

3) 추계 광주성 소실시기

추계에 나타난 광주성은 춘계 생식소 활성화 시기 및 하계 생식소 퇴화 시기에는 관찰되지 않았는데, 이러한 결과는 동계를 전후한 어느 시기가 광주성의 소실시기인지에 대한 문제를 제기하고 있다. 따라서 여기서는 호적수온 범위내에서 장, 단 광조건을 조합하여 추계에서 동계로 이행하는 시기(실험 1), 동계에서 춘계로 이행하는 시기(실험 2)에 광주성의 소실 유무를 검토하였다.

(실험1)

추계에서 동계로 이행되는 10월 28일에 16℃, 22℃ 수온조건과 11L, 15L 광조건을 조합하여 42일간 사육실험한 결과는 Fig. 9와 같다.

실험종료 후 암컷은 15L 장일 광조건인 경우 수온 22℃와 16℃ 실험구 모두 GSI가 각각 11.3, 10.0으로 급격한 상승이 일어나 생식소는 완숙 상태였으나, 11L 단일 광조건하의 수온 22℃ 실험구는 생식소의 변화가 거의 없어 GSI는 실험개시시와 비슷한 수준을 유지하고 있으며, 16℃ 실험구는 GSI가 6.3으로 실험개시시의 3.9에 비하여 다소 상승된 유의한 차이($p < 0.05$)가 인정되나 생식소는 완숙까지 유도되지 못하고 있었다. 수컷에서는 15L의 장일 실험구일지라도 수온 16℃ 실험구만이 GSI가 3.4로 급격한 상승이 일어나 생식소는

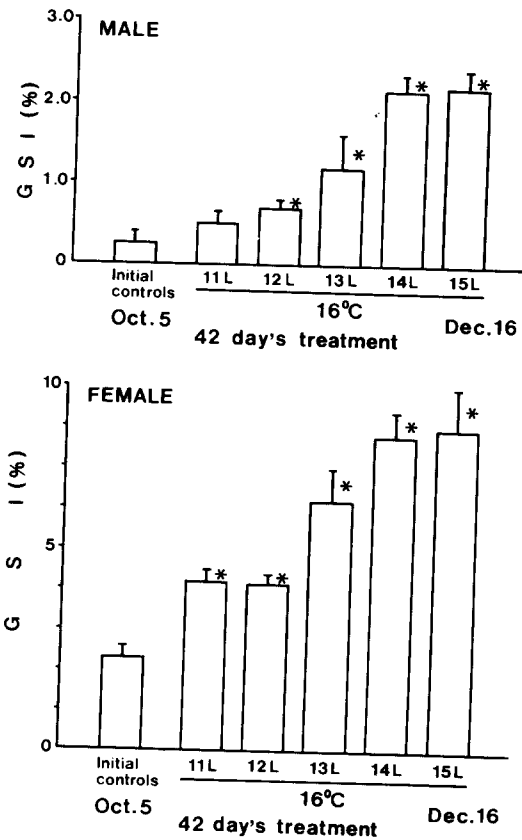


Fig. 8. Effects of various photoperiods on GSI of *Rhodeus uyekii* under warm temperature(16℃) in autumn. Columns and bars indicate the mean and standard error, respectively.

*Significantly greater than the value for the initial controls($p < 0.05$; by student's t - test).

완숙 상태를 나타냈다. 그러나 15L/22℃와 11L/16℃ 실험구는 GSI가 1.5 전후로 실험개시시의 1.0에 비하여 다소 상승되었으나($p < 0.05$), 생식소의 활성은 실험개시시와 비슷한 수준을 유지하고 있었다. 그리고 11L/22℃ 실험구는 GSI가 0.4로 실험개시시에 비하여 오히려 감소가 일어났다.

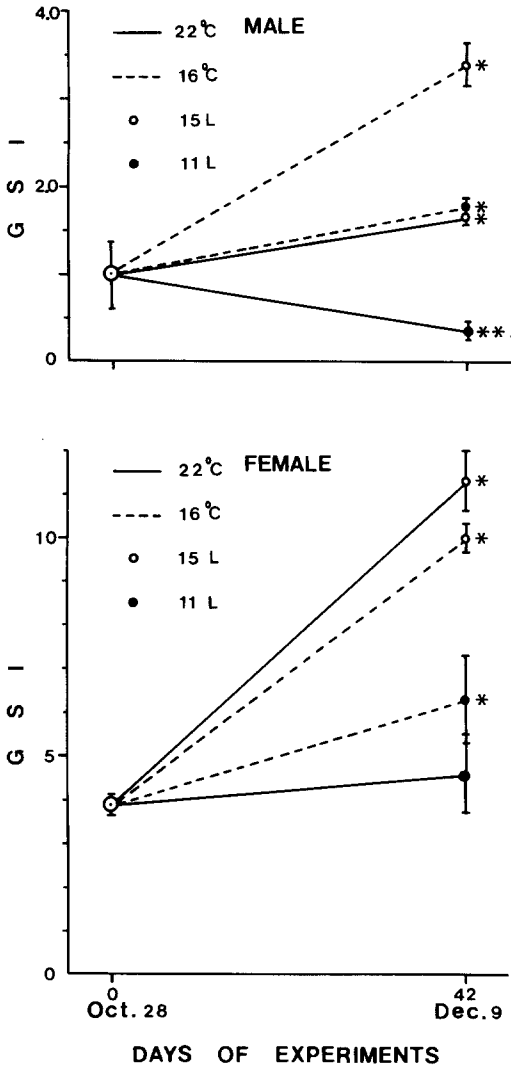


Fig. 9. Effects of photoperiod and temperature on GSI of *Rhodnius uyekii* in late autumn. Circles and bars indicate the mean and standard error, respectively.

*Significantly greater than the value for the initial controls ($p < 0.05$; by student's t -test).

**Significantly lower than the value for the initial controls ($p < 0.05$; by student's t -test).

(실험2)

동계로 접어드는 11월 15일에 광주성 퇴화 유무를 알기 위하여 수온을 20℃로 고정하고 11L, 12L, 13L, 14L 광조건을 조합하여 56일간 사육실험한 결과는 Fig. 10과 같다.

사육실험 결과 광조건의 장단에 관계없이 암수 모두 모든 실험구에서 GSI의 증가가 일어났다. 암컷의 경우 14L 실험구의 GSI가 7.9로 실험구들중 가장 낮은 값으로 나타났으나 생식소는 완숙 상태였다. 수컷의 경우도 12L, 14L 실험구의 GSI가

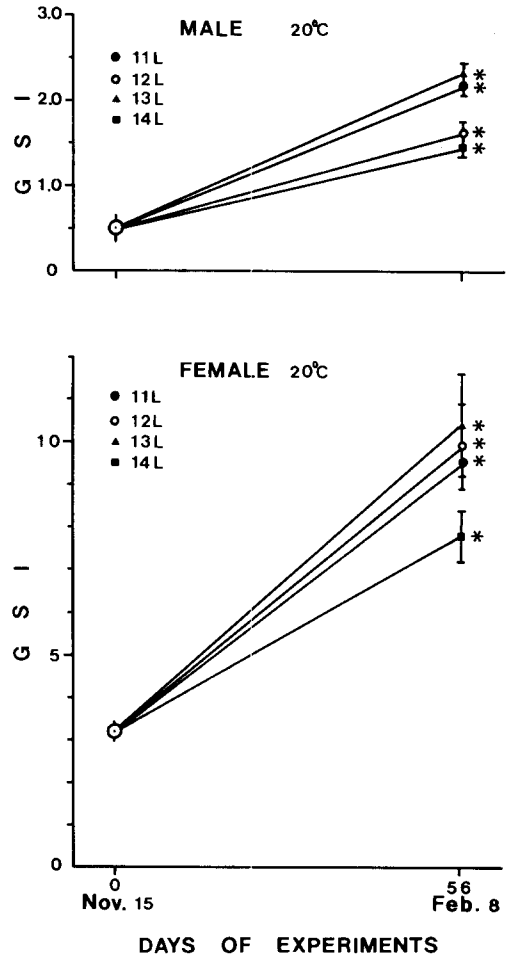


Fig. 10. Effects of various photoperiods on GSI of *Rhodnius uyekii* under warm temperature (20°C) in late autumn. Circles and bars indicate the mean and standard error, respectively.

*Significantly greater than the value for the initial controls ($p < 0.05$; by student's t -test).

1.7, 1.4로서 11L, 13L 실험구의 2.2, 2.3 보다 GSI 값이 보다 낮게 나타났으나 생식소는 재활성화되어 성숙 상태를 나타냈다.

고 찰

생식소 활성화 요인에 관한 2월의 사육실험에서 8℃, 16℃ 수온조건과 11L, 15L 광조건을 조합한 실험구들은 실험개시기에 비하여 모두 GSI가 상승하였다. 따라서 각시붕어의 경우 자연 서식처에서 8℃ 이하의 동계 저수온을 경험한 개체들은 광주기에 관계없이 8℃ 이상의 춘계 수온상승이 될 경우 생식소는 활성화 되고 있음을 알 수 있다.

춘계 생식소 활성화 시기에 광주성의 영향을 보다 세밀히 밝힌 사육실험 결과 9L에서 15L 범위의 광조건은 생식소 활성화에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 따라서 이 시기 각시붕어의 생식소 성숙에는 광주성은 보이지 않는다고 결론 지을 수 있다.

그리고 춘계 생식소 활성화에 영향을 미치는 임계수온을 조사한 실험결과 6℃와 8℃ 사이에서 임계점이 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 자연의 경우 지역에 따라 동계 저수온으로부터 춘계에 어느 지역이 빨리 8℃ 이상의 수온에 이르느냐에 따라 자연 산란기의 차이가 있을 것으로 판단된다.

산란기 생식소를 가진 개체를 대상으로 5월에 생식소 퇴화에 미치는 환경요인을 조사한 실험에서 24℃ 이상의 모든 실험구들은 광조건에 관계없이 30일 이내에 GSI의 현저한 감소와 함께 생식소가 퇴화하고 있어, 각시붕어는 하계 고수온에 의해 생식소의 지속적 성숙이 억제되고 산란기를 마치는 것으로 생각된다. 그리고 생식소 퇴화에 영향을 미치는 임계수온은 20℃와 24℃ 사이에서 나타나고 있는 데, 수컷에서는 20℃에서도 다소 영향이 나타나고 있어 생식소 퇴화에 영향을 미치는 임계수온은 암수간에 약간의 차이가 있는 것으로 생각된다.

산란후 휴지기를 마친 9월 하순에 생식소 재생속에 미치는 요인을 조사한 실험에서 20℃/15L 실험구는 42일만에 생식소 재생속이 현저하게 일어났으나, 같은 수온구일지라도 11L 실험구에서는

생식소의 변화가 거의 없었다. 따라서 각시붕어의 생식소 활성화 시기와 동일한 수온대가 존재하는 추계에 생식소가 재활성화 되어 완숙상태에 도달하지 못하는 것은 자연조건하의 단일 광조건 때문임이 분명하다. 그러나 24℃ 실험구에서는 광조건의 장단에 관계없이 GSI는 실험개시시와 비슷한 수준을 유지하였다. 이 시기에도 고수온하에서는 생식소의 활성이 억제됨을 알 수 있다.

고수온에 의한 산란종료후 휴지기를 지난 개체에서 나타나는 광주성이 어느 수온 범위내에서 언제까지 지속되는지를 알기 위하여 10월 5일부터 42일간 실시한 실험에서 12℃~20℃ 범위에서는 여전히 수온에 관계없이 장일(15L)에 의해 생식소는 재활성화 되어 완숙되고 있으며 단일(11L)하에서는 영향을 받지 못하는 것으로 나타나고 있다. 10월 28일에 16℃와 22℃ 수온구에 장일(15L)과 단일(11L) 광조건을 주어 42일간 사육한 실험구에서도 역시 단일 실험구는 변화가 없으나 장일 실험구에서는 급격한 생식소 성숙이 일어나고 있음을 볼 수 있다.

자연에서 9월 중순에 휴지기를 지난 생식소가 일단 재활성화 되어 일단계 성장을 하다가 11월 하순에 성장이 정지되는 것은 9월 중순에는 24℃ 이하의 수온 하강에 12L 이상의 광조건에 의해 생식소는 일단 활성화 되나 10월 중순 이후 11월에 걸쳐 광조건은 11L 이하의 단일 광주기로 변화하고 있기 때문에 추계 광주성을 가지는 각시붕어들이 이에 반응하여 더 이상의 성숙이 억제되는 것으로 간주된다.

어종에 따라 광주성의 발달시기나 생식소 발달에 미치는 영향이 서로 다르게 나타나고 있다. 각시붕어의 근연종이며 춘하계산란종인 흰줄납줄개, *Rhodeus ocellatus ocellatus*(Asahina and Hanyu, 1983 ; Nishi and Takano, 1979), 춘계산란종인 다비라납지리, *Acheilognathus tabira*(Shimizu and Hanyu, 1982)에서는 각시붕어와 비슷한 양상을 보인 반면, 담수어인 파랑볼우럭, *Lepomis macrochirus*(Lee and Kim, 1987)은 하계산란종으로 장일 광주기가 생식소 성숙을 촉진하며 이때 수온은 보상적으로 작용한다. 그리고 추계에도 광주성은 지속되어 재생속에도 관여하고

있다. 금붕어(Razani and Hanyu, 1986a,b)에서는 추계 재성숙시 장일 광주기만으로는 자극이 되지 않고 저수온을 경험시킨후 장일 광주기와 호적수온을 조합해야만 재성숙에 도달한다. 그리고 잉어(Davies *et al.*, 1986 ; Davies and Hanyu, 1986)도 재성숙시키기 위해서는 금붕어와 유사하게 수온의 자극이 필요하며, 장일 광주기가 보상적 작용을 한다.

해산어류이며 춘계산란종인 점망둑, *Chasmichthys dolichognathus*(Baek and Lee, 1985)은 생식소 활성화에 장일 광주기가 보상적으로 작용하며, 그물코취치, *Rudarius ercodes*(Lee *et al.*, 1984)는 산란기가 5월부터 10월까지로 봄, 여름, 가을에 걸쳐있는 특이한 종으로서 장일 광주기가 생식소 성숙을 촉진시키며, 생식소 휴지기 상태에서는 장일 광주기에 의해 재성숙이 촉진된다.

이상의 춘계 및 춘계산란종 뿐만 아니라 추계산란종인 곱사연어, *Oncorhynchus gorbushcha*(Macquarrie *et al.*, 1979), 무지개송어, *Salmo gairdneri*(Nomura, 1962 ; Nakari *et al.*, 1986), 은어, *Plecoglossus altivelis*(Shiraishi, 1965) 등에서도 광주성을 이용하여 산란기를 촉진시킨 결과를 보고하고 있다. 따라서 광주성의 발현시기와 생식소 성숙에 미치는 영향 등은 종에 따라 다르게 나타남을 알 수 있다.

광주성의 발달로 성숙을 촉진하는 종과, 성숙이 억제되는 종에서 임계광주기는 비슷하거나 약간 다르게 나타난다. 전자의 경우에 속하는 파랑볼우럭(Lee and Kim, 1987)은 14L 이상, 후자에 속하는 각시붕어와 흰줄납줄게는 각각 12L과 13L, 13L과 14L 사이에 존재하는 데, 이러한 차이는 산란시기의 차이 및 광주성의 발현 양식 등에 의한다고 생각된다.

추계에 나타난 광주성이 어느 시기에 퇴화하는지를 알기 위하여 추계에서 동계로(10월 25일~12월 9일), 동계에서 춘계(11월 15일~2월 8일)로 이행되는 시기에 사육실험을 실시하였는 바, 각시붕어의 광주성은 동계에서 춘계로 이행함에 따라 퇴화되는 것으로 밝혀졌다.

본 연구 결과들을 토대로 각시붕어의 생식주기를 인공적으로 제어할 수 있음을 제시할 수 있었다

(Fig. 11). 각시붕어의 생식활동은 8℃ 이상으로 수온이 상승하기 시작하는 초봄에 생식소가 활성화되어 수온이 8℃에서 24℃ 사이를 유지하는 3월에서 6월까지 산란기는 지속되고, 수온이 24℃ 이상되는 7월부터 생식소는 퇴화된다. 그리고 수온이 24℃ 이하로 하강하는 9월말부터 생식소는 또 다시 활성화가 시작되나 광주성 발달로 인하여 광주기가 12L로 짧아지는 11월말부터는 생식소는 더 이상 활성화되지 못하고 억제된다. 광주성이 사라지는 동계에서 춘계로 이행하는 시기에는 저수온으로인하여 생식소의 활성이 정체되고 있다. 따라서 연중 제어 가능한 생식 활동 범위는 8℃~20℃

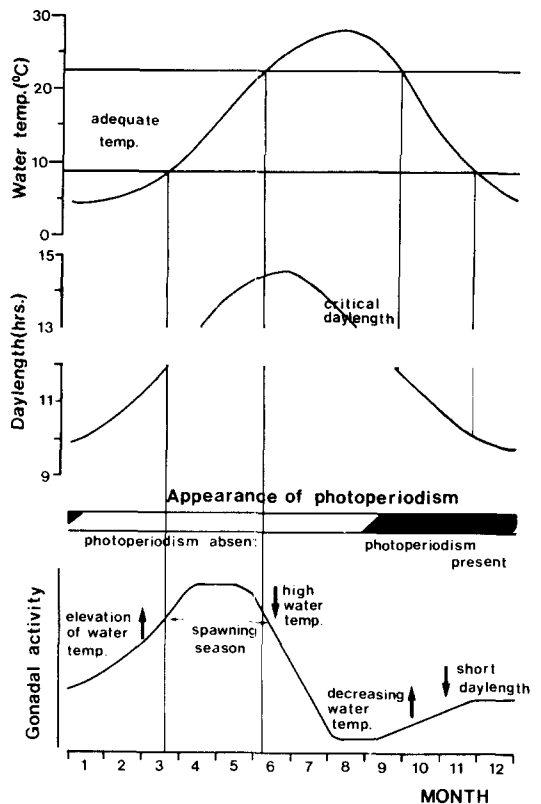


Fig. 11. Schematic diagram of the environmental regulation of gonadal activity of *Rhodeus uyekii*. Periods with adequate temperatures for gonadal maturation appear twice a year, but gonadal development is prevented by short daylength during the autumn when photoperiodism is present. The upward arrows indicate promotive factors and the downward arrows indicate suppressive or inhibitory factors.

이며, 암수간의 성숙에 이르는 온도내성의 차로 인하여 16℃ 수온조건이 가장 좋을 것으로 생각된다. 추계 생식소의 재성숙을 유발시키며, 산란을 마친 개체들의 생식활동을 제어할 수 있는 광주조건은 13L 이상이라 할 수 있으며, 이때 수온은 보상적으로 작용하므로 호적수온을 수반하여야 한다.

이상의 결과는 춘계산란종인 다비라납지리 (Shimizu and Hanyu, 1982, 1993)와 유사하므로 다른 담수산 춘계산란종의 생식주기 제어기구도 비슷할 것으로 생각되나 단정하기는 어렵다. 그러므로 양식대상 어종의 개발 가능성이 많으며, 현재 많은 양식 생산량을 올리고 있는 해산어종에서도 생식주기 조절기구에 관한 실험적 연구 결과들이 누적된다면, 어류의 생식기작 해명에 보다 진전이 있을 것으로 생각되며, 응용분야에서도 인위적 산란제어로 인한 계획 생산에 많은 도움을 줄 것으로 생각된다.

인용문헌

- Asahina, K. and I. Hanyu. 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49 : 61 - 67.
- Asahina, K. and I. Hanyu. 1985. Development of photoperiodism involved in the gonadal activity of the bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 51 : 1665 - 1670.
- Asahina, K. and I. Hanyu. 1991. Effects of temperatures during winter on gonadal recrudescence in spring in the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 57 : 255 - 260.
- Baek, H. J. and T. Y. Lee. 1985. Experimental studies on the mechanism of reproductive cycle in the longchim goby, *Chasmichthys dolichognathus* (Hilgendorf). Bull. Korean Fish. Soc. 18(3) : 243 - 252.
- Davies, P. R. and I. Hanyu. 1986. Effect of temperature and photoperiod on sexual maturation and spawning of the common carp - I. Under conditions of high temperature. Aquaculture 51 : 277 - 288.
- Davies, P. R., I. Hanyu., K. Furukawa and M. Nomura. 1986. Effect of temperature and photoperiod on sexual maturation and spawning of the common carp - II. Under conditions of low temperature. Aquaculture 52 : 51 - 58.
- De Vlaming, V. L.. 1972. The effects of temperature and photoperiod on reproductive cycling in the estuarine gobbid fish, *Gillichthys mirabilis*. Fish. Bull. 70(4) : 1137 - 1152.
- De Vlaming, V. L.. 1975. Effects of photoperiod and temperature on gonadal activity in the cyprinid teleost, *Notemigonus crysoleucas*. Biol. Bull. 148 : 402 - 415.
- Kim, Y. and S. B. Hur. 1991. Spawning inducement of flounder, *Paralichthys olivaceus* by the control of water temperature and photoperiod. J. Aquacul. 4(2) : 85 - 95.
- Lee, T. Y., I. Hanyu and K. Furukawa. 1984. Effects of photoperiod and temperature on the gonadal activity in small filefish, *Rudarius ercodes*. Bull. Korean Fish. Soc. 17(6) : 523 - 528.
- Lee, T. Y. and S. Y. Kim. 1987. Experimental studies on the mechanism of reproductive cycle in the bluegill, *Lepomis macrochirus*. Bull. Korean Fish. Soc. 20(6) : 489 - 500.
- Macquarrie, D. W., W. E. Vanstone and J. R. Markert. 1979. Photoperiod induced off season spawning of pink salmon(*Oncorhynchus gorbuscha*). Aquaculture 18 : 289 - 302.
- Nakari, T., A. Soivio and S. Pesonen. 1986. Effects of advanced photoperiod cycle on the epidermis and gonadosomatic index of 2 - year - old rainbow trout, *Salmo gairdneri* R., reared at natural temperature. J. Fish Biol. 29 : 451 - 457.
- Nishi, K. and K. Takano. 1979. Effects of photoperiod and temperature on the ovary of the bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 30(1) : 63 - 73.
- Nishi, K.. 1979. A daily rhythm in the photosensitive development of the ovary in the bitterling, *Rhodeus ocellatus*. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 30(2) : 109 - 115.
- Nomura, M.. 1962. Studies on reproduction of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, with special reference to egg taking - III. Acceleration of spawning

- by control of light. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 28 : 1070 - 1076.
- Razani, H. and I. Hanyu. 1986a. Annual reproductive cycle 2 - 3 years old female goldfish and its artificial modification by manipulations of water temperature and photoperiod. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 52 : 965 - 969.
- Razani, H. and I. Hanyu. 1986b. Effects of continued short photoperiod at warm temperature and following change of regimes on gonadal maturation of goldfish. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 52 : 2061 - 2068.
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1982. Environmental regulation of annual reproduction cycle in a spring - spawning bitterling, *Acheilognathus tabira*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 48 : 1563 - 1568.
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1983. Environmental regulation of spawning - period in autumn - spawning bitterling, *Pseudoperilampus typus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49 : 895 - 900.
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1993. Factors involved in the development of and decline in photoperiodism as it relates to the gonadal activity of a spring - spawning bitterling, *Acheilognathus tabira*. J. Exp. Zool. 265 : 134 - 143.
- Shiraishi, Y. 1965. The influence of photoperiodicity on the maturation of ayu fish, *Plecoglossus altivelis* - II. Relation between the maturation and day - length. Bull. Fresh. Res. Lab. 15(1) : 59 - 98.
- 隆島史夫. 1982. 7. サケ・マス類, 魚介類の成熟・産卵の制御(日本水産學會編). 恒星社厚生閣. 東京. 90pp.

**Effects of Photoperiod and Water Temperature on the Reproductive
cycle of the Spring – Spawning Bitterling, *Rhodeus uyekii*
(Pisces : Cyprinidae)**

Cheul Min An

Department of Marine Biology, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608 – 737, Korea

Based on the reproductive cycle of *Rhodeus uyekii*, the reproductive control mechanism was examined under the several combinations of photoperiod and temperature regimes at different phases of their reproductive cycle.

In early spring, the gonads developed rapidly under the warm temperature condition(above 8℃), regardless of the photoperiod. In late spring or early summer, gonads intensely regressed under the high temperature condition(above 24℃), regardless of the photoperiod. Thus, it is concluded that the spawning period of *R. uyekii* is initiated by the rising of water temperature in spring and is terminated by the high temperature in early summer.

In autumn, the gonadal recrudescence occurs under the conditions of artificial long daylength with warm temperature(15L/9D, 12℃~20℃), whereas the gonads remain in the existing condition under the short daylength. Therefore, in autumn the gonadal recrudescence is prevented by the short daylength although the temperature is still in favorable condition. In bitterling, the responsiveness of the gonads to photoperiod varies clearly with seasons, which was declined during the winter but increased during the autumn. The critical photoperiod for maturation ranges 12~13 hours of light per day.

The results indicate that the proper ranges of temperature and photoperiod for gonadal maturation of this species are from 8℃ to 20℃ and from 13L to 15L, respectively.