

## 冬季の飼育水温と長日処理がアユの性成熟に及ぼす影響

酒井明久

Effects of water temperature and long photoperiod during winter on sexual maturation  
of cultured ayu, *Plecoglossus altivelis*

Akihisa Sakai

This study was aimed to investigate the effects of water temperature and long photoperiod during winter on sexual maturation of cultured ayu, *Plecoglossus altivelis*.

Ayu were reared under three different water temperatures from December to May. Group A (control) was kept at 18°C throughout the experiment. Group B was treated twice by elevating the water temperature (18°C-23°C, 18°C-27°C) for periods of 3-5 days in December. Group C after processing in the same way as group B, decreased water temperature to 14°C to April 6.

The frequencies of the fish starting sexual maturation (gonadosomatic index, GSI: male > 0.1%, female > 1.0%) were significantly different among the three groups. Increase of the GSI was observed about 20% of the male in group A and about 25% of the male and 10% of the female in group B from March to May. On the other hand, in group C, GSI did not increase both sexes.

Ayu were reared at 18°C under artificial photoperiod conditions in three different periods. Groups D, E and F were kept at 12h daylight from 24 December to 6 March, 21 March and 4 April, respectively. In the group D, increase in the GSI was observed about 80% and 70% of the male and the female, respectively. On the other hand, in the groups E and F, increases in the GSI were 10% or less both sexes.

These results indicate that higher water temperature (18°C) during winter promotes sexual maturation of cultured ayu.

キーワード：アユ、性成熟、飼育水温、長日処理

アユの性成熟は、日長時間や水温などの環境要因により影響を受けることが知られており、<sup>1)</sup>特に日長条件を人為的に操作して成熟時期を制御する技術は、すでにアユ成魚の養殖や産卵用人工河川に放流する親魚の生産に活用されている。<sup>2,3)</sup>

一方、アユの飼育下では、性成熟の制御を目的としない場合でも、成長の促進や病気の予防・治療を目的に日長条件や水温を操作することがあり、<sup>4-7)</sup>これらの操作がアユの性成熟に影響することがある。高橋<sup>8)</sup>は、日長時間が10時間30分を下回る短日条

件下における飼育水温の上昇が、通常の成熟期ではない春季にアユの性成熟を促進させることを報告し、これを防ぐには電照飼育による長日処理が有効であるとしている。しかし、性成熟に影響する水温条件や長日処理に要する期間などの詳細には不明な点が多く残されている。

そこで、本研究では、冬季における飼育水温と日長時間を制御することによって、アユの成熟促進を防ぐ方法を検討したので、その結果を報告する。

## 材料および方法

供試魚には、1999年11月下旬に琵琶湖で漁獲されたアユを用いた。このアユを12月から5月まで飼育水温、加温処理の有無および日長条件の異なる以下の6群に分けて飼育した(Table 1)。

A群は実験期間中を通じて18°C(平均:18.2°C、範囲:14.9–18.7°C)で飼育した。B群は池入れ後10日目(12月10日)から23°Cで3日間、池入れ後18日目(12月18日)から27°Cで5日間の加温処理を実施し、通常は18°Cで飼育した。C群はB群と同じ加温処理終了後、12月24日から4月6日まで14°C(平均:13.5°C、範囲:10.8–16.3°C)で飼育した。A群~C群の日長条件はすべて自然日長とした。D群~F群の飼育水温はB群と同様とし、12月24日から次の要領で長日処理を実施した。すなわち、飼育池中央の水面上0.45mに20W昼光色蛍光灯1本を設置し、6時から18時まで点灯することによって明期を12時間とした。この時の水面直上における照度は、照明の直下と最も離れた壁際でそれぞれ730 lxと240 lxであった。この照明をD群では3月6日まで、E群では滋賀県で日長時間が12時間となる3月21日まで、F群では4月4日までそれぞれ継続し、その後は自然日長とした。

なお、飼育水温の操作は、18°Cの地下水を加温冷却装置MCH-40T(宮原冷熱機工作所)により加温・冷却し、これを飼育池に注入することによって行った。

標本は、2月21日、3月22日、4月21日および5月22日に各群から任意に60尾を採集し、一端冷凍

保存した後、解凍して測定に供した。これらは標準体長・体重を測定するとともに、開腹して実体顕微鏡下で生殖腺を摘出した。生殖腺は本間・田村<sup>9)</sup>を参考に外観から雌雄を判別し、1mgの単位まで重さを測定した。

生殖腺の発達具合を比較するため、次式により生殖腺重量指数(Gonadosomatic index, GSI)を求めた。

$$GSI(\%) = GW/BW \times 100$$

GW:生殖腺重量(g) BW:体重(g)

なお、各群間および雌雄間の性成熟が開始した個体数の比較には、Fisherの直接確率計算法を用いた。

## 結果

**GSIの変化** 各飼育群のGSIの変化をFig.1に示した。GSIは、2月にはすべての飼育群においてほぼ同レベルであり、雄では0.1%以下、雌では1.0%以下であった。しかし、3月~5月にはC群以外の飼育群でGSIの上昇した個体が現れ、同一群内でも個体ごとのGSIにはばらつきが認められた。

ところで、未成熟期のアユのGSIは、雌では1.0%以下、雄ではこれよりさらに低値を示す。<sup>10)</sup> 実験期間を通じてGSIの上昇した個体が現れなかったC群では、すべての個体のGSIは雄で0.1%以下、雌で1.0%以下であった。そこで、本研究ではGSIが雄で0.1%、雌で1.0%を超えた個体を性成熟が開始した個体(以下、成熟開始個体という)と判断し、各群について雌雄それぞれの標本数のうち、成熟開始個体の割合を求め、群間でその割合を比較した。

Table 1 Conditions of water temperature and photoperiod

Groups	Water temperature	Elevated water temperature treatment	Photoperiod (treatment period)
A	18°C	-	Natural
B	18°C	23°C, 27°C	Natural
C	14°C	23°C, 27°C	Natural
D	18°C	23°C, 27°C	12L12D (24 Dec. - 6 Mar.)
E	18°C	23°C, 27°C	12L12D (24 Dec. - 21 Mar.)
F	18°C	23°C, 27°C	12L12D (24 Dec. - 4 Apr.)

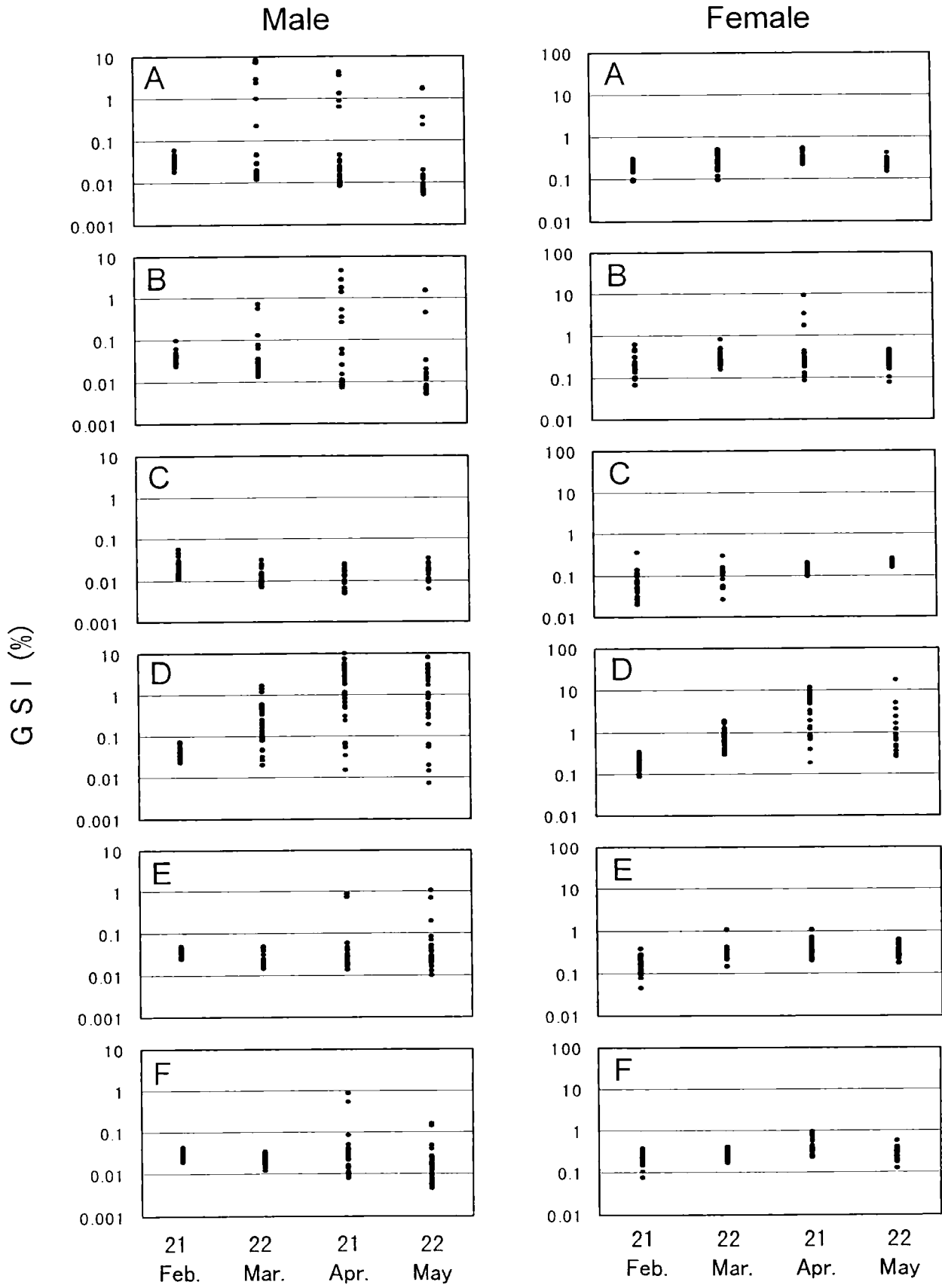


Fig. 1 Changes of the gonadosomatic index (GSI) in each groups.

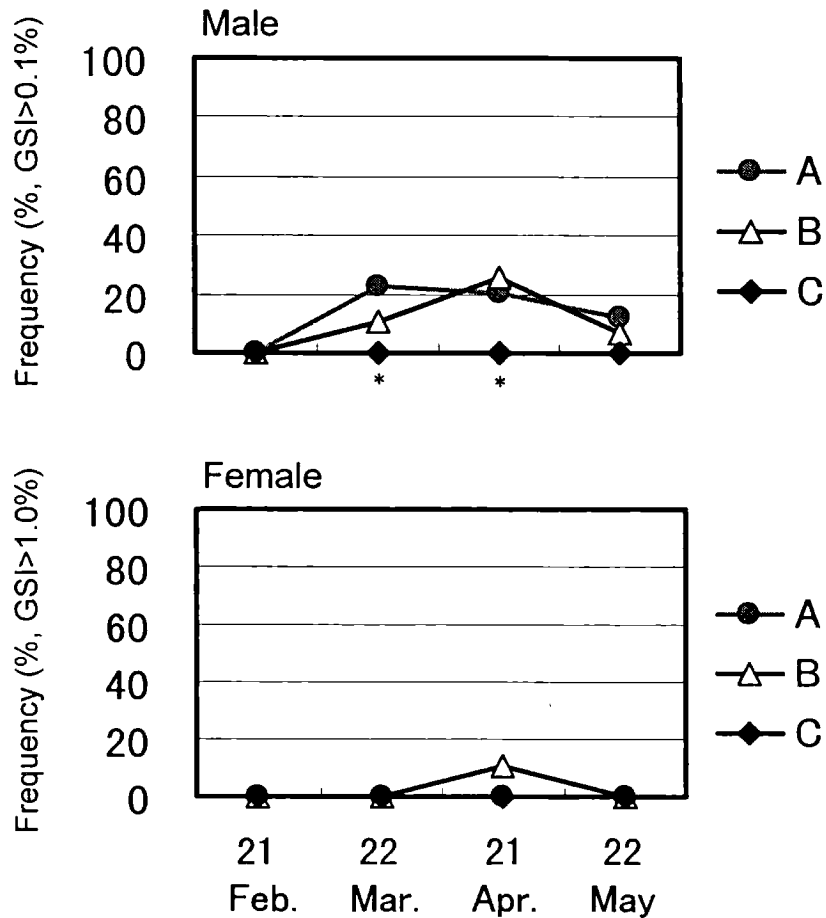


Fig. 2 Frequency of individuals of gonadosomatic index (GSI) over 0.1% in male, 1.0% in female. \*,\*\* : Significantly different from the value of group A at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively.

**水温条件の異なる飼育群の比較** 水温条件の異なる A 群～C 群の成熟開始個体の割合を Fig. 2 に示した。加温処理を実施しなかった A 群では、雄にのみ成熟開始個体が出現し、この割合は 3 月に最も高く 22.6% であった。23°C と 27°C の加温処理を実施した B 群では雌雄ともに成熟開始個体が出現した。この割合は 4 月に最も高く雄で 25.8%、雌で 10.7% であったが、5 月にはそれぞれ 6.6% と 0% に低下した。一方、2 回の加温処理後 14°C で飼育した C 群では、雌雄ともに成熟開始個体は出現しなかった。

B 群、C 群それぞれの成熟開始個体の割合を対照群となる A 群と比較すると、雄では B 群のそれは A 群に対して有意差は認められなかったが、C 群の 3 月と 4 月の割合は、A 群に対して有意に差が認められ、低値を示した。雌の成熟開始個体の割合は、B 群、C 群ともに A 群に対して有意な差は認められな

かった。

なお、同一群における成熟開始個体の割合は雌雄間で異なっていた。特に A 群については、3 月と 4 月の値に有意差が認められ、雄の方が高かった。

**長日処理期間の異なる飼育群の比較** 長日処理の実施期間が異なる D 群～F 群および長日処理を実施しなかった B 群の成熟開始個体の割合を Fig. 3 に示した。長日処理を 3 月 6 日まで継続した D 群では、処理終了後間もない 3 月 22 日には雌雄ともに成熟開始個体が出現し、その割合は雄では 5 月に 86.5% に達した。D 群の雌では 4 月に 74.1% に達したが 5 月には 33.4% に低下した。長日処理を 3 月 21 日まで継続した E 群では、雌雄ともに成熟開始個体が出現し、その割合は雄では 4 月に 10.0%、雌では 3 月に 3.1% であった。長日処理を 4 月 4 日まで継続した F 群では、雄にのみ成熟開始個体が出現し、その割合は 4

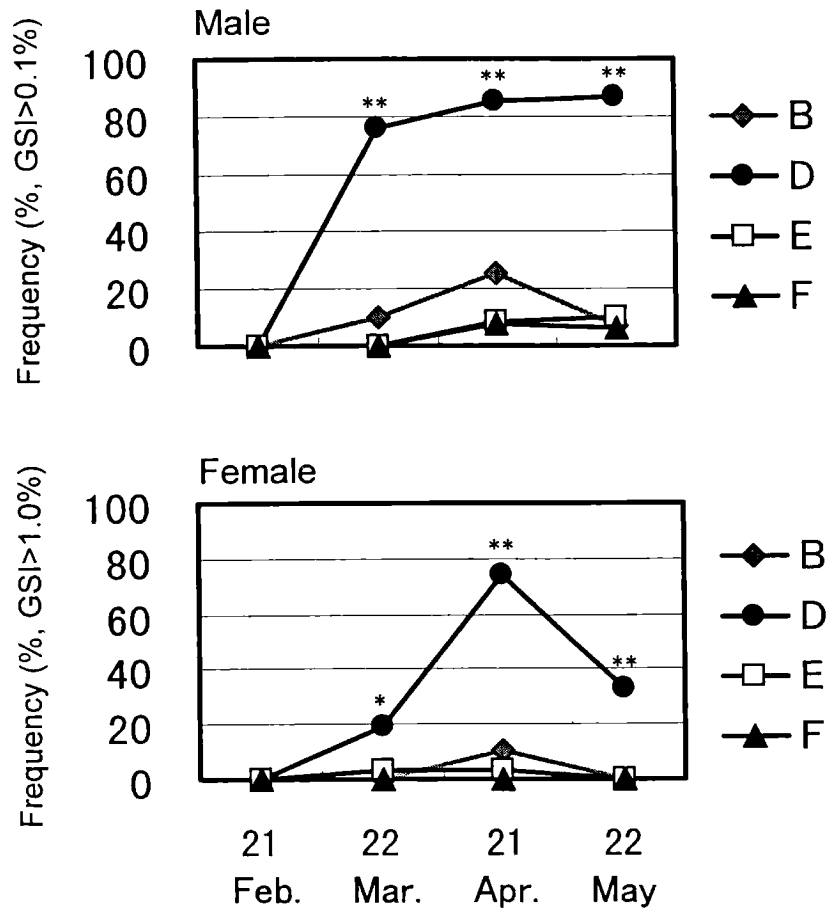


Fig. 3 Frequency of individuals of gonadosomatic index (GSI) over 0.1% in male, 1.0% in female. \*,\*\* : Significantly different from the value of group B at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively.

月に 8.0%であった。

D 群～F 群それぞれの成熟開始個体の割合を B 群を対照群として比較すると、雌雄ともに D 群の 3 月～5 月の値は B 群に対して有意に差が認められ、高い値を示した。

### 考 察

アユの性成熟は、日長時間や水温などの環境因子により制御されるが、その影響は水温よりも日長時間のほうが強いと言われている。<sup>11)</sup> 冬の飼育水温により性成熟が促進される現象も、日長時間が 10 時間 30 分を下回る短日条件下においてのみ起こると報告されている。<sup>8)</sup>

このため、本研究では短日条件下で性成熟に影響する水温条件を明らかにし、さらに長日処理により

成熟促進を防ぐ方法を検討する目的で実験を行った。この結果、飼育水温が継続して 18°C の条件下では雄で約 2 割、雌で約 1 割の個体の性成熟が促進され、14°C ではこれが起こらないことが示された。また、23°C と 27°C で数日間の加温処理を実施したことによる性成熟への影響は、認められなかった。

これらのことから、春にアユの性成熟が促進される現象は、短日条件下で一定以上の水温で継続して飼育することによって起こり、この臨界温度は 14°C ～18°C の間にあると考えられた。

高水温飼育による性成熟への影響は短日条件下で起こることから、これを長日処理により抑制する方法が検討され、12 時間の長日処理が有効であることが確認されている。<sup>8)</sup> 本研究においても明期を 12 時間とする長日処理の成熟抑制効果を検討したところ、日長時間が 12 時間に達する 3 月 21 日まで長日

処理を継続した飼育群では、成熟開始個体の割合は統計的に有意ではないが対照群より低く抑えられた。長日処理を実施したにもかかわらず若干の成熟開始個体が出現したのは、これらの飼育群では飼育開始から 24 日間は長日処理を実施せずに高水温飼育をしたために、この時点で既に性成熟を開始した個体があったものと思われる。

一方、日長時間がおよそ 11 時間 30 分である 3 月 6 日に長日処理を終了した飼育群では、雄で約 8 割、雌で約 7 割の個体の性成熟が促進された。アユの性成熟を開始させる日長時間の臨界値は、季節や人為的な長日処理により変動するが、春にはこの値が 11 時間 30 分から 13 時間の間に存在するという。<sup>11)</sup> したがって、わずか 30 分の日長時間の短縮化であっても、これが臨界日長時間を下回っていたために著しい性成熟への影響が認められたものと考えられる。

これらのことから、春に性成熟を引き起こさないアユの飼育条件は次のように考えられる。日長時間が 10 時間 30 分を下回る冬の間飼育水温は、14°C 以下にすることが必要である。なお、数日間の加温処理であれば性成熟に影響は認められないので、実施しても差し支えない。一方、アユを高水温飼育する場合に長日処理により成熟促進を抑制するには、12 時間の長日処理であれば、日長時間がこれを越えるまで処理を継続することが重要である。長日処理の期間が不足した場合には、アユの性成熟が著しく促進されるので注意を要する。

本研究では、同じ飼育条件であっても性成熟は一樣には進まず、一部の個体の性成熟が促進された。伏木<sup>11)</sup> は、発育段階の異なるアユでは長日処理による成熟促進効果が一樣でないことを報告し、この原因はシラス型仔魚後期までのアユは光に反応しない時期を持つためと推察している。また、大家ら<sup>12)</sup> は、長日処理により成熟促進効果が現れるアユのサイズは、体重が 0.04g 以上の個体であると報告している。本研究の供試魚とした 11 月に琵琶湖のエリで漁獲されたアユは、漁獲時の体重は 0.1g 以上であるが、シラス型仔魚後期から鱗の形成が始まった稚魚まで異なる発育段階の個体を含むことから、<sup>13)</sup> 日長や水温などの環境因子への反応にばらつきがあるものと考えられる。

B 群の雌雄と D 群の雌では、成熟開始個体の割合が 4 月から 5 月にかけて低下した。産卵期のアユで

は、未排卵のまま卵巣内に残された成熟卵は退化・吸収されるという。<sup>9)</sup> 実験期間中にこれらの飼育群において産卵は認められなかったことから、本研究で見られた成熟開始個体の割合の低下は、発達した卵巣および精巣が吸収され、GSI が低下したことによるものと考えられる。

また、同じ飼育条件であっても雌雄で成熟開始個体の出現割合は異なり、雄の方が高かった。マツカワ *Verasper moseri* では水温が性成熟の進行に及ぼす影響は雌よりも雄に強く働くことが報告されており、<sup>14)</sup> アユにおいても日長や水温などの環境因子の作用が、雄により強く影響しているのかもしれない。

## 謝 辞

本稿をまとめるに当たり、滋賀県農政水産部水産課藤岡参事には有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

## 摘 要

1. 日長時間が短い冬の間、アユを継続して 18°C の水温で飼育したところ、春に雄の約 2 割の個体で GSI の上昇が認められた。
2. 飼育開始から 24 日間は 18°C で飼育し、この間に 2 回の加温処理を施した飼育群を、4 月まで 14°C で飼育したところ、GSI の上昇は認められなかった。
3. 飼育水温が 18°C の条件下で 12 時間の長日処理を施した飼育群では、日長時間が 12 時間を超える 3 月 21 日、またはこれ以降まで長日処理を継続したところ、GSI が上昇した個体の割合は長日処理を実施しなかった飼育群より低かった。
4. 一方、長日処理を日長時間が 12 時間に達する前に終了した飼育群では、雄で約 8 割、雌で約 7 割の個体で GSI の上昇が認められた。
5. 以上のことから、春に性成熟を引き起こさないためのアユの飼育条件は次のように考えられた。
  - (1) 日長時間が 10 時間 30 分を下回る冬の間には、飼育水温を 14°C 以下にすることが必要である。なお、数日間の加温処理であれば性成熟に影響は認められないので、実施しても差し支えない。
  - (2) 一方、アユを高水温飼育する場合に長日処理により成熟促進を抑制するには、12 時間の長日処理を

日長時間がこれを超えるまで継続することが重要である。長日処理の期間が不足した場合には、著しくアユの性成熟が促進されるので注意を要する。

## 文 献

- 1)伏木省三(1982):アユ. 水産学シリーズ 41 魚介類の成熟・産卵の制御. 恒星社厚生閣. 104-114. 東京.
- 2)伏木省三(1979):アユ. 特用水産養殖ハンドブック (水産庁振興部監修), 281-295, 株式会社地球社, 281-295.
- 3)岩崎治臣(1987):ビワ湖産アユ種苗の現状と増殖対策, 滋賀県水産試験場研究報告, **39**, 68-75.
- 4)大家正太郎・清水壽一・堀川芳明・山本慎一・仲和弘(1996):春季における人工生産幼アユの性的成熟, 近畿大学水産研究所報告, **5**, 103-105.
- 5)遠藤 誠・孝橋賢一・高橋 誓・岩崎治臣(2001):アユの冷水病に対する加温処理の予防効果 I, 滋賀県水産試験場研究報告, **48**, 1-4.
- 6)酒井明久・二宮浩司・太田滋規・遠藤 誠(2001):アユの冷水病に対する加温処理の予防効果 II, 滋賀県水産試験場研究報告, **48**, 5-10.
- 7)山本充孝・二宮浩司・高橋 誓(2001):加温と薬剤を併用したアユ冷水病の予防効果, 滋賀県水産試験場研究報告, **48**, 11-16.
- 8)高橋 誓(1998):昇温処理によるアユの性成熟への影響について, 滋賀県水産試験場研究報告, **47**, 124-127.
- 9)本間義治・田村栄光(1962):ビワ湖産コアユの生殖腺における周年変化, 魚類学雑誌, **9(1-6)**, 135-152.
- 10)Aida, K., Phan-Van-Ngan, T. Hibiya(1973) : Physiological studies on gonadal maturation of fishes- I, sexual difference in composition of plasma protein of ayu in relation gonadal maturation, *bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **39(11)**, 1091-1106.
- 11)伏木省三(1979):アユの成熟への春季長日処理の効果に関する研究, 滋賀県水産試験場研究報告, **31**, 1-56.
- 12)大家正太郎・清水壽一・堀川芳明・山本慎一・仲和弘(1996):冬季の長日処理による早熟幼アユの性状, 水産増殖, **44(2)**, 181-184.
- 13)田中秀具(2003):琵琶湖産アユのふ化時期から見た漁期・漁法別特徴, 滋賀県水産試験場研究報告, **50**, 1-17.
- 14)萱場隆昭・杉本 卓・佐藤敦一・尾崎雄一・足立伸次・高丸禮好・山内皓平(2000):水温操作によるマツカワ雌雄の性成熟の同調, 北海道水産試験場研究報告, **58**, 9-16.

