

サケ仔魚の発育過程について

山崎 耿二郎*・熊丸 敦郎

本県には鬼怒川、那珂川、久慈川にふ化場があり、放流用のサケ稚魚をふ化、飼育しているが、他県に比較してふ化用水が少なく、放流までの間、飼育用水の管理に細心の注意が心要であり、管理に手落ちがあれば、へい死や疾病をまねくことになる。限られた水量で、最大の生産効果を要求されるわけであるが、そのためには、特に事故発生頻度の高いふ化から浮上までの間の発育状態や代謝等についての基本的知見を把握することが第一歩であり、ここをよりどころとして本県の特徴をふまえた科学的な管理技術が検討され開発される。こうした観点から、ここでは、ふ化後の魚体の成長を栄養源である卵黄の消費との関係や稚魚の代謝変動等から検討した。

材料及び方法

供試魚

実験室内での代謝量測定に用いた仔魚は、鬼怒川ふ化場で入手したものである。これらは、以後1ヶ月の実験期間中、へい死することなく順調に発育した。体成分の一般分析に供した仔魚は同ふ化場で飼育中の同一ふ化槽中から5日毎に採集したものである。浮上はふ化後29日目から始まり、5日間ではぼ完了した。浮上完了後はサケ稚魚クランブルを投与した。

試験の方法

1. 酸素消費量及び $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄量の測定は $10 \pm 1^\circ\text{C}$ で流水方式¹⁾で行った。呼吸室は直径13cm、高さ7.5cmの円型の容器で、仔魚300尾を収容し呼吸室内の酸素量が4.5~55ml/lになるような流量を調節した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、溶存酸素量の測定は、それぞれ、インドフェノール法及びウィンクラー法によった。
2. 溶存酸素量と酸素消費量の関係は、呼吸室に入る流入水量を調節して酸素量を変化させ、その値と酸素消費量の比較検討によって求めた。
3. 魚体分析は、 $9.8 \sim 12.5^\circ\text{C}$ で飼育中の仔魚を5日毎にとりあげホルマリンで固定したあと体重を測定し、注意深く卵黄部分と魚体部分に分離して、それぞれを分析した。分離の際、ごくわずかではあるが、卵黄部分から脂肪が流出した。文析には10尾を1試料とし行いNはマイクロケルダール法、脂肪はソックスレー法によった。

* 現在水産施設課

試験結果

1. 溶存酸素量と酸素消費量の関係

図1に両者の関係を図示した。酸素消費量は、酸素量が 4.5 ml/l (6.3 ppm)以上では、一定値を示しているが、それ以下に低下すると影響が現われ始め、 4 ml/l (5.6 ppm)では、酸素量が十分なときのその85%に低下している。さらに酸素量が低下すると酸素消費量は一層低下し、 3 および 2 ml/l では、それぞれ70および60%にまで低下した。

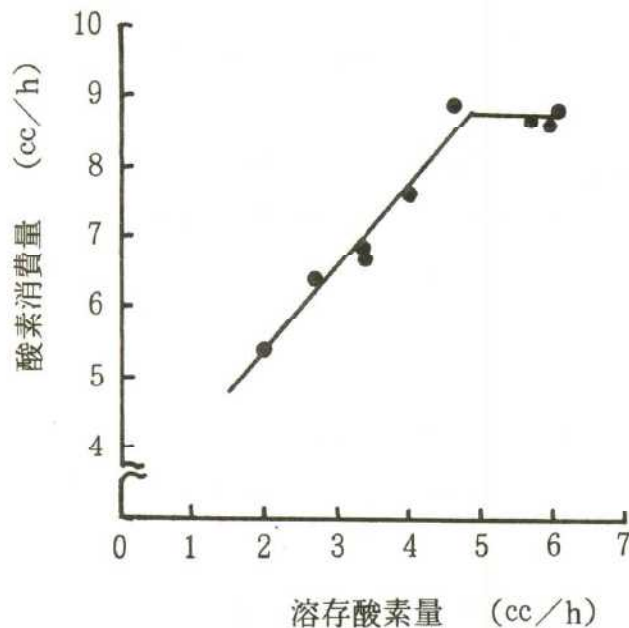


図1. サケ仔魚の溶存酸素量と酸素消費量

以上の結果から、仔魚の正常な代謝や発育には 4.5 ml/l 以上の酸素が必要と考えられる。勿論、酸素量や酸素消費量は水温によって影響を受けるわけであり、仔魚の発育に必要な、この酸素量下限値も変化することがあろうから更に詳細に検討し、一般則を求める必要があるが、本県のふ化場について云えば 5 ml/l を一応の目安とすればよいものと考えられる。

2. 仔魚期の酸素消費量 (q)

仔魚の酸素消費量は、ふ化後2日目には、 1.1 l/10万尾 であるが、以後指数関数にしたがって急激に増大した。詳細に見ると14日目頃に変曲点がみられるようである。そこで、この点を境として値を二分し、それぞれについて、指数回帰をあてはめると、 $0 \sim 14$ の間では、 $q (\text{ml/hr}) = 0.865 e^{0.0834t}$ ($r = 0.777$)を得る。この間では、酸素消費量は1日毎に8.7%ずつ増加している。14日以降になると勾配はゆるやかとなり、 $f = 2.673 e^{0.0408t}$ ($r = 0.973$)にしたがって、1日当たり4.2%ずつ増大している(ただし、 $t = \text{日数}$, $r = \text{相関係数}$)。

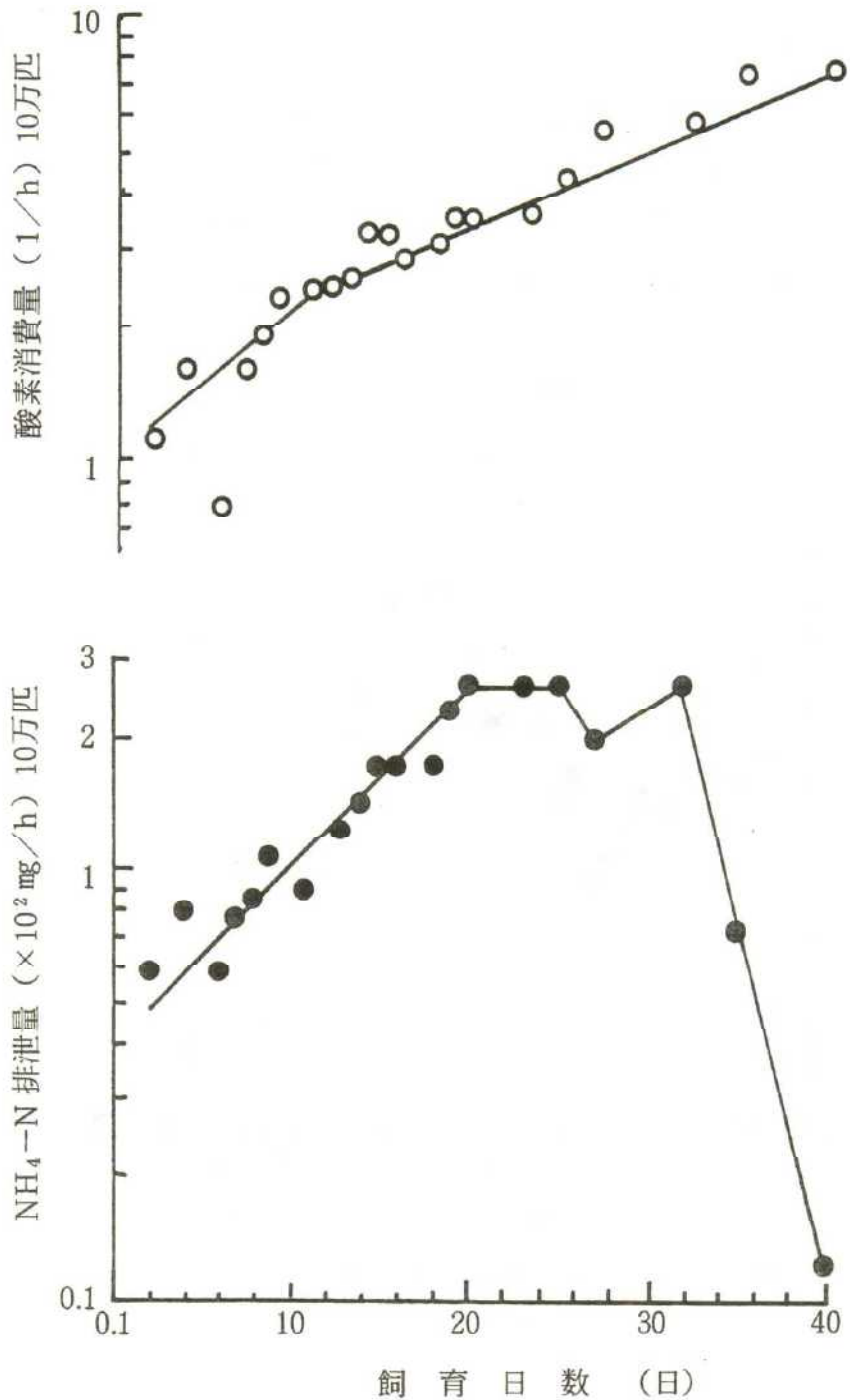


図2. サケ仔魚の飼育日数に伴う酸素消費量 NH₄-N 排泄量

3. NH₄-N 排泄量 (Ni) と q/Ni 比

酸素消費量の変動は、体成分である蛋白質、脂肪および炭水化物の分解と関係するものと考えられる。したがって NH₄-N の排泄量を測定し、酸素消費量の比をとると、おおまかにはその変動から消費されるエネルギー源を推定することができる。

まず、NH₄-N 排泄量であるが、20日頃までは、変動はみられるが、マクロには、酸素消費量

同様に指数関数にしたがって増大し、 $Ni (mg/hr) = 44.28 e^{0.0767t}$ ($r = 0.896$) したがっている。しかし、さらに詳細に見ると、この間でも11日のところに変曲点があり、0~11日の間は、 $Ni = 56.8 e^{0.0391t}$ ($r = 0.584$)、12~20日の間は、 $Ni = 86.5 e^{0.083t}$ と、後半で勾配が約2倍に増加している。20日から30日の間は、ほぼ横ばい状態が続くが、以後急激に減少している。こうした発育過程における代謝の質的变化は、 q/Ni 比を見ると一層明らかとなる。図3は q/Ni 比を示したものであるが12日までは、 q/Ni 比が50からやや下がり気味で推移する。12~20日の間では35から急上昇し20日には全期間中の最大値76をとっており、この間、エネルギー源として主として蛋白質が利用されたことを伺い知ることができる。20日以降、 q/Ni 比は、再び減少に向い28~32日の間で、37を維持したあと、更に減少し40日目には、2まで低下した。

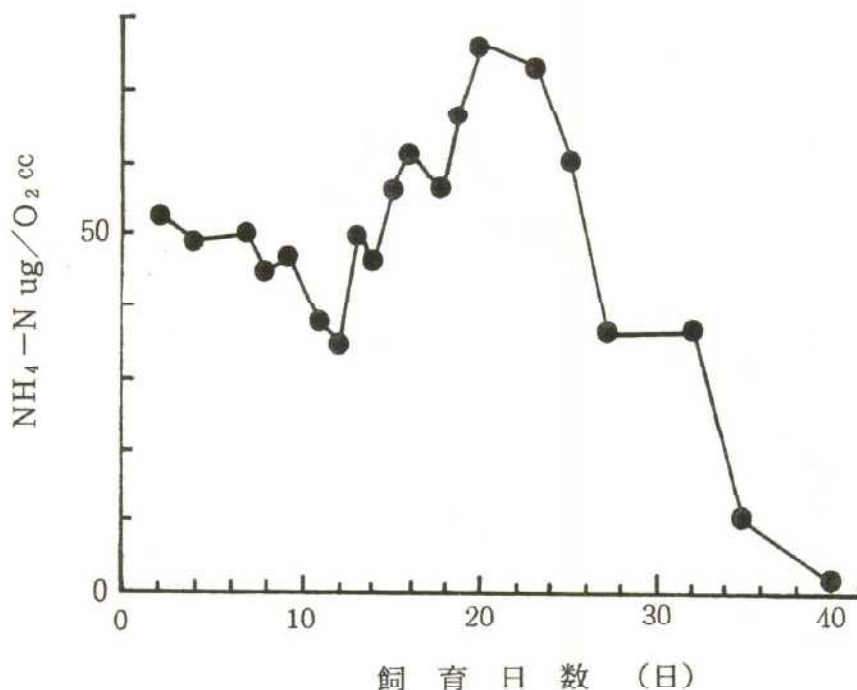


図3. サケふ化仔魚の飼育日数に伴う
 NH_4-N 排泄量 (ug) / 酸素消費量 (cc) の変化

4. 仔魚の成長

仔魚は卵黄を栄養源として利用し発育していくから、ここでは消費されていく卵黄と成長していく魚体両者の重量変化と一般成分を追跡し図4の結果を得た。

魚体重は35mg (乾重) から出発し、初めの30日間は、ほぼ直線的に成長している。30日目には、140 mgで、ふ化直後の4倍に達するが、この時点を経として以後、魚体重は急増し43日目には、ふ化時の11倍の350 mgに達したあと、ほぼ一定の値をとる傾向がみられる。全期間を通してみるとS字状の成長曲線となっているようである。

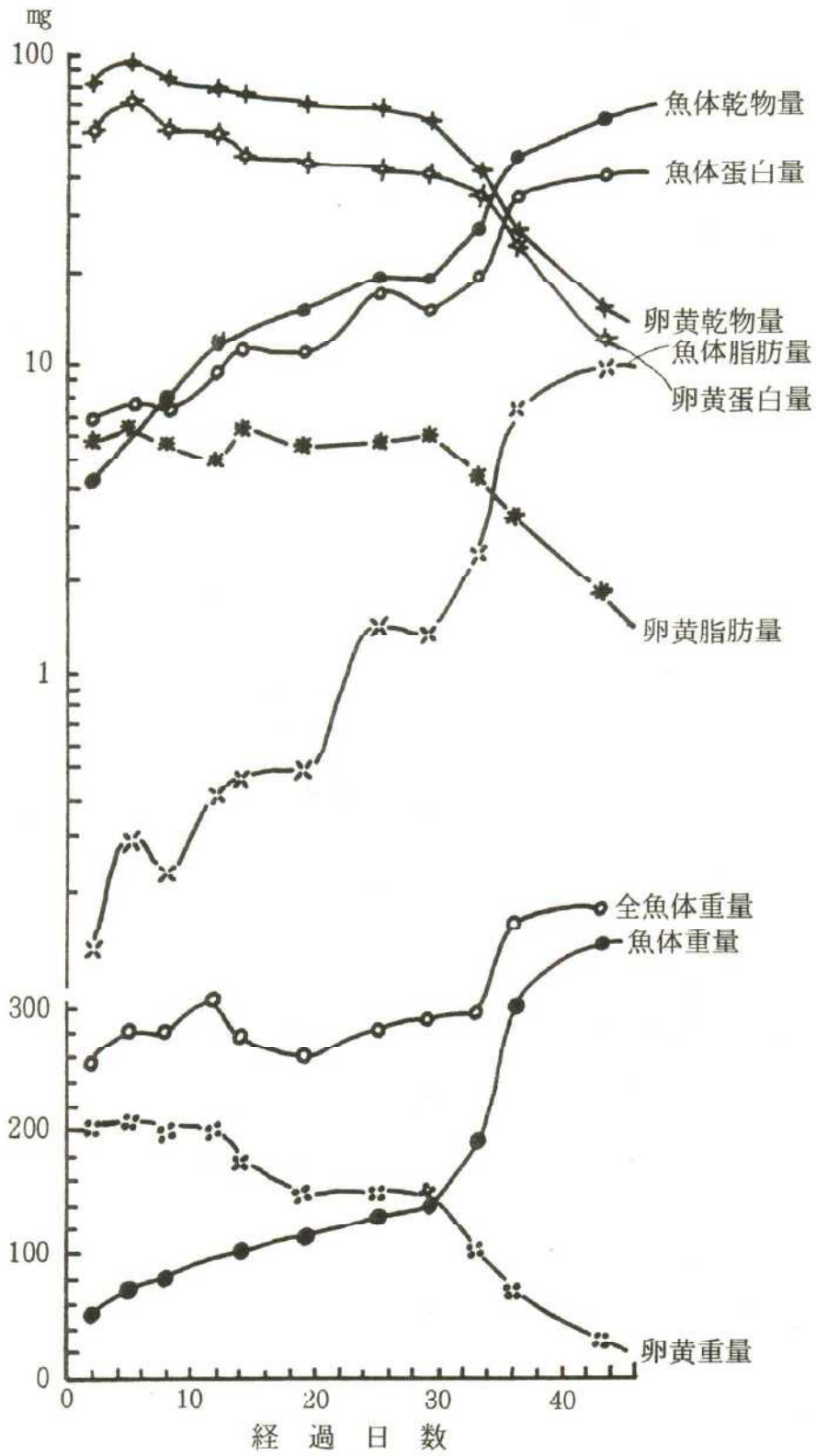


圖 4. 體成分變化

次に、内臓の発育状態を知る目的で肝臓の容積をとりあげた（図5）。この場合にも魚体重の成長とはほぼ同傾向で成長し、まず30日頃までは、ゆるやかな増加を示しているが、それ以降急増し、43日以降急増ると一定値に近づくような変動を示している。全体をとうして見るとS字状の成長曲線を示しているが、詳細には、前半は飽和曲線、後半はS字曲線と二つの異質な過程から成り立っているようである。その変曲点は前述した酸素消費量やNH₄-N排泄量の変曲点と対応しているようである。

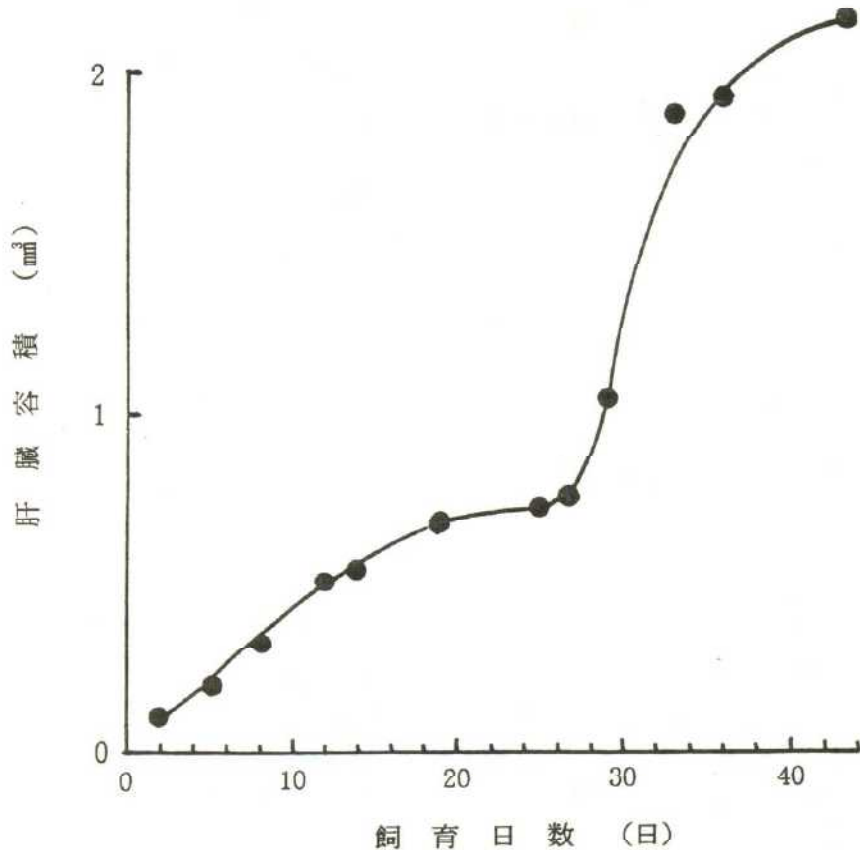


図5. サケ仔魚の肝臓容積の変化

一方、エネルギー源となる卵黄は、重量では殆んど変化の見られない第1段階（0～12日）、急減する第2段階（13～20日）、再び横ばい状態となる第3段階（21～29日）および最も急激な減少を示す第4段階の4過程から成り立っているように見える。

5. 体成分の変化

図6、7中に、卵黄成分比および卵黄を除去した体部分の一般成分比を示した。卵黄成分について見ると、水分比は、61%から減少に向い55%に低下したのち再び上昇、12日目に出発点に戻っている。この下降・上昇期間は、丁度、前述の第1段階に当る。水分は、このあと再び下降・上昇の1サイクルを経るが、この期は前述の第2、3段階に当り下限・上限とも、61%および54

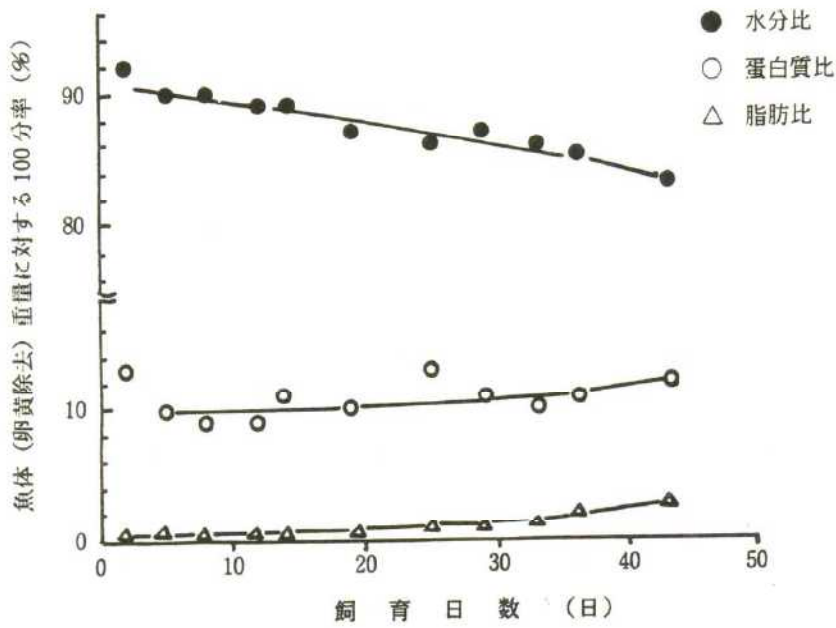


図6. サケ仔魚の飼育日数に伴う体成分 (卵黄除去) 比の変化

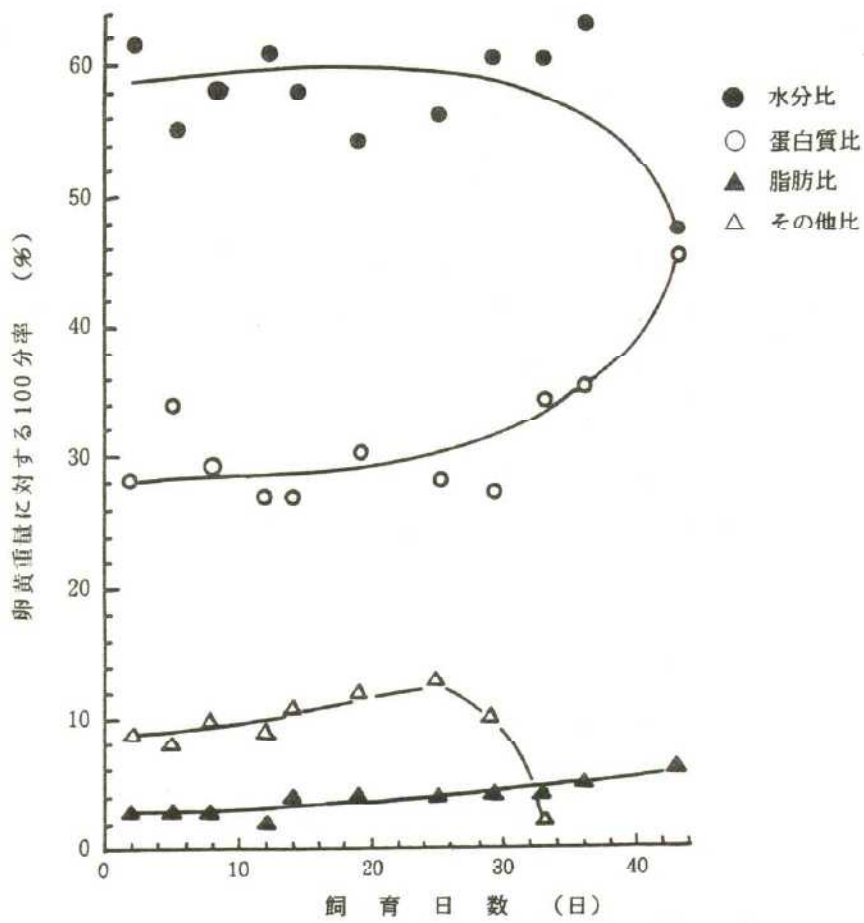


図7. サケ仔魚の飼育日数の経過に伴う卵黄成分比の変化

％で、それぞれ、第1段階の値とよく一致している。前述の第4段階では、水分比は60％を維持したあと急激に低下し43日目には47％となった。水分比の、上述のような変動は、卵黄中に含まれる蛋白質、脂肪、および炭水化物の燃焼、代謝の結果と考えられる。蛋白質比の変動をみると、水分比と丁度、反対に、初め28％であったものが、まず上昇する。全体で、3つのピークを示しているが、これらの出現は、水分比の谷間と一致し、水分比の変動が物質代謝の結果であることを裏づけている。その他の成分は、主に炭水化物と考えられるが、浮上する頃から急激な減少を示している。脂肪比は、2～6％と占める割合が少なく詳細な変動は把握し難いが時間経過にともない、やや増加している。

一方、魚体成分比は、明らかな特徴が認められる。すなわち、水分比は、ふ化時には90％であるが、日数の経過にともない直線的に減少し40日を過ぎる頃には83％にまで減少した。蛋白質比は9～13％の範囲を変動するが、増加又は減少傾向は認められないようである。これに対し脂肪は指数関数的に増大している。

次に、一般成分の量的変化を図4から見ると、ふ化後30日頃まで片対数紙上で、卵黄及び魚体成分ともに直線的に変化している。浮上後、摂餌を行う時期に入ると、その勾配は強調され卵黄成分では、指数曲線的な減少を、魚体成分ではS字曲線状の増大を示している。今、稚魚が卵黄を唯一の栄養供給源として生活している期間を浮上が始まる以前の0～29日としてこの期の各成分の変化を求めると、

体成分

$$\text{乾物量 (mg)} = 6.23 \text{ Exp. } [0.0340 t], r = 0.955 \quad (1)$$

$$\text{蛋白質 (mg)} = 5.30 \text{ Exp. } [0.0507 t], r = 0.937 \quad (2)$$

$$\text{脂 肪 (mg)} = 0.141 \text{ Exp. } [0.0811 t], r = 0.811 \quad (3)$$

卵黄成分

$$\text{乾物量 (mg)} = 91.18 \text{ Exp. } [-0.0136 t], r = 0.906 \quad (4)$$

$$\text{蛋白質 (mg)} = 66.97 \text{ Exp. } [-0.0183 t], r = 0.888 \quad (5)$$

$$\text{脂 肪 (mg)} = 5.76 \text{ (一定)} \quad (6)$$

となる。

考 察

稚魚を飼育しようとする場合、一般的には飼育水の酸素量が十分存在するように飼育水を管理すればよいものと考えられる。本県では、用水が十分でない場合があり、限られた水量をより効果的に利用しなければならない。注水量管理の目安の第1は酸素量と考えられるので、本報告では、まず酸素量の検討をとりあげた。図1で明らかなように、サケ稚魚が正常な代謝を維持していくため

には $4.5 \text{ ml}/\ell$ ($6.4 \text{ mg}/\ell$) の酸素を維持することが、不可欠の条件である。こうした考えにもとづいて、注水量 (Q) を求めると次式となる。ここで、 R は酸素消費量、 C は注入水の酸素量である。

$$Q \geq \frac{R}{C - 6.4} \quad (7)$$

R は、図で検討したように、ふ化後の時間経過にともない指数関数にしたがって増大し、14日目頃に変曲点がある。しかし、近似的には、40日間全体について指数回帰を適用しても、(8)式で表わすことができ相関係数も 0.929 と比較的高く、十分使用に耐え得るものである。

$$R \text{ (10万尾当り, } \ell/h) = 1.11 \text{ Exp. [0.0553 } t] \quad (8)$$

ただし、 t はふ化後経過日数である。これより10万尾飼育に必要な注水量は、 10°C では C を 10.9 とし、 $Q(\text{m}^3/h) = 0.25 \text{ Exp. [0.0553]} = 4.2 \text{ Exp. [0.0553 } t]$ を得る。これより 10°C における注水量は、表1のとうりとなる。

表1. 10万尾当りの注水量下限値 (10°C)

ふ化後日数	0	5	10	15	20	25	30	35	40
注水量 (ℓ /分)	4.2	4.3	7.3	9.6	12.6	16.7	22.1	29.1	38.4

しかし、これは、注水された用水が均等に稚魚に供給された場合で、用水が少ない場合には、酸素供給に片寄りが生じたり、流速が小さいために槽内の流れが層流に近づき境界層が形成されるなどして必要酸素量 $4.5 \text{ ml}/\ell$ ($6.4 \text{ mg}/\ell$) が保障されず発育に異常が生ずることがある。このような事故を防止する目的で用水を循環、再利用を行うこともあるが、この場合には代謝産物の $\text{NH}_4\text{-N}$ の毒性が問題となる。用水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の予測は、稚魚の酸素消費量と $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄量の比から求めることができる。すなわち、図3で求めた $\text{NH}_4\text{-N}$ (μg)/ O_2 (ml) が、それで卵黄が消費されてしまう30日以前の値は35~76の範囲にあって平均値は約60である。したがって、飼育水の下限の酸素量を $4.5 \text{ ml}/\ell$ とすると、 $(7.6 - 4.5) = 3.1 \text{ ml}/\ell$ が消費量となるから排泄される $\text{NH}_4\text{-N}$ は、 $3.1 \times 60 = 186 \mu\text{g}/\ell$ となる。したがって、一度ふ化場を通過した用水を十分曝気して循環すると $\text{NH}_4\text{-N}$ は $186 \times 2 = 372 \mu\text{g}/\ell$ となる。アンモニアの稚魚に対する毒性は非解離性の $\text{NH}_3\text{-N}$ の毒性が問題とされ酸素量が、ここで求めた下限値の 4.5 ml ($6.4 \text{ mg}/\ell$) の場合、その96時間 LC_{50} は $0.6 \text{ mg}/\ell$ である³⁾。本県ふ化場の用水の pH は、おおむね 8.0 以下であるから、非解離性アンモニアの毒性が問題となるとは考えられない。しかし、浮上後餌付けを開始すると、飼料中に殆ん

と脂肪が含まれていないために $\text{NH}_4\text{-N}/\text{O}_2$ の比が小さくなり飼育水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ あるいは $\text{NH}_3\text{-N}$ が高くなる危険性も考えられる。又、ふ化槽の中でも上層に比較して下層で $\text{NH}_4\text{-N}$ が高くなり酸素条件の悪化とあいまって、下層の稚魚の発育が抑制されるといわれる。本県のように用水が限られるふ化場では、この点は、前述したように強調される傾向にあるものと考えられるから、今後詳細な検討が必要である。

2. 卵黄から魚体への卵黄の転換

浮上までの期間の発育のエネルギーは、すべて卵黄成分に依拠している。したがって前述した卵黄および魚体成分の時系列変化から卵黄への転換効率を計算することができる。すなわち、

$$\text{転換効率} = \frac{\text{魚体各成分の日間増重量}}{\text{卵黄各成分の日間減耗量}}$$

となる。各成分の日間変動量は、前述(1)~(6)式を微分したものとなる。

体成分の日間増重量

$$\text{乾物量 (mg)} = 0.212 \cdot \text{Exp.} [0.0340 t] \quad (9)$$

$$\text{蛋白質量 (mg)} = 0.269 \cdot \text{Exp.} [0.0507 t] \quad (10)$$

$$\text{脂肪量 (mg)} = 0.0114 \cdot \text{Exp.} [0.0811 t] \quad (11)$$

卵黄成分の日間減耗量

$$\text{乾物量 (mg)} = 1.240 \cdot \text{Exp.} [-0.0316 t] \quad (12)$$

$$\text{蛋白質量 (mg)} = 1.226 \cdot \text{Exp.} [-0.0813 t] \quad (13)$$

上式から転換効率を算出すると

$$\text{乾物量} = 5.849 \cdot \text{Exp.} [0.0204 t] \quad (14)$$

$$\text{蛋白質量} = 4.558 \cdot \text{Exp.} [-0.0306 t] \quad (15)$$

(16)および(17)式は、それぞれ、蛋白質および脂肪の転換効率を示す式であるが、転換効率が飼育日数の経過にともなって良くなり、従って乾物重量も同傾向の転換効率を示す結果となっている。乾物重量で見るとふ化直後約20%であったものが29日目には約90%となっている。蛋白質では約20%のものが75%へ上昇、脂肪も50%から730%へ急上昇と、それぞれ転換効率が上向くが、脂肪では特に著しく、吸収脂肪の7倍の生合成が行われていることになる。ふ化直後からふ化直前の約30日間の転換効率の平均値は、乾物で約60%、蛋白質で50%、脂肪では320%である。

サケ仔稚魚の卵黄吸収に伴う生化学的変化については、すでに関根⁴⁾が、卵黄吸収に伴って魚体中に多量の水分を取り入れること、蛋白質や脂肪が著しく消費されること等を報告している。又、白旗⁵⁾は卵黄から魚体への増肉係数が日数の経過とともによくなることを観察し、その原因として、体外からの水分吸収をあげている。このことについては、本報告においても同様の現象がみられている。それらの結果にしたがい湿重での転換効率 (Ewet) を前述の方法にしたがって

算出すると、 $E_{wet} = 0.58e^{0.0422t}$ が得られる。湿重の転換効率は、0.6から3.6へ日数の経過にともない指数で上昇する。この転換効率は、白旗の報告（増肉係数で2.2から0.3）の転換効率は、0.45から3.3とほぼ一致している。湿重の転換効率は、 $0.58e^{0.0422t}$ であった。一方、乾重の転換効率（ E_{dry} ）は、 $E_{dry} = 0.2e^{0.0458t}$ であったから、乾重の転換効率は、湿重のそれを、若干、上まわることになる。したがって、仔魚期における増肉係数の変化は、水分吸収によってのみ起こる現象ではない。体水分比が日数経過とともに低下し、蛋白質および脂肪の転換効率の変化が水分量の変化を上まわることを考えると、水分吸収による増肉係数の変化は、むしろ副次的なものといえそうである。本報告では、この点を論議する実験結果をもたない。今後、更に検討しなければならない課題である。

参考文献

- 1) Hall, F.G., M.E. Brown編, The PHYSIOIOGY of Fishes (1957) より引用
- 2) 永田光博・宮本真人・外崎 久 (1986): 北海道立水産卵浮化場研究報告No41, P. 1-12. サク卵, 仔魚の酸素消費量と注水量, 収容密度およびふ化盆の位置の違いが立体式ふ化器内ふ出仔魚の成長に及ぼす影響。
- 3) R. V. Thurston, et al (1981): *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 38 (8), P. 983-988.
Increased toxicity of ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) resulting from reduced concentration of dissolved oxygen.
- 4) 関根秀三郎 (1921): 鮭卵より稚鮭に至る発育期間中に起る生物化学的变化について, 第1報, 水講試報7.2. P. 25-32.
- 5) 白旗芳一・内田 至 (1957): 鮭 (*Onchorhynchus keta* (W.)) 仔魚期の卵黄吸収に伴う諸形質の変化について, 魚類学雑誌No 5 (3, 4, 5, 6 合併号) P. 85-92.