

사료공급 횟수가 방류용 연어(*Oncorhynchus keta*) 치어 성장에 미치는 영향

여인규 · 최미경
북해도대학 증식학과

Effects of Starvation and Feeding Frequency on Growth of Juvenile Chum Salmon *Oncorhynchus keta*

In-Kyu Yeo* and Mi-Kyung Choe

Faculty of Fisheries, Hokkaido University, 3-1-1 Minato, Hakodate 041-8611, Japan

*Present address : Department of Aquaculture, Pukyong National University,
Pusan 608-737, Korea

The effects of feeding frequency on growth and body composition of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) were compared among five groups at different feeding frequencies : 4 times daily, 2 times daily, once a day, 4 times every other day, and 2 times every other day. The effects of 1~2 nonfeeding days per week were also examined. Growth rates, feed efficiencies, survival rates, and condition factors of fish fed twice and 4 times daily were higher than for the other groups, and were also higher for fish fed 6~7 days per week than those fed 5 days per week. Hepatocyte nuclei of fish were larger in the daily feeding groups than others, which suggested fish daily fed would have higher metabolic rate. These results suggested that captive juvenile chum salmon should be fed 2 or more times per day, and 6~7 days per week.

Key words : Feeding frequency, Growth rate, Condition factor, Feed efficiency, Survival rate, Chum salmon

서 론

최근, 인공종묘생산 기술의 눈부신 발전을 통하여, 연근해 자원량의 확보가 가능해지고 있다. 특히 일본 북해도의 연어자원은 급격히 증가되었으며, 그 원인의 하나로, 1960년대부터 시작된 인공종묘생산에 의한 방류 치어의 대형화와 방류시기의 적정화에 따른 회귀율의 향상에 의한 것으로 여겨진다(Kobayashi, 1980 ; Mayama, 1985 ; Kaeriyama and Urawa, 1992). 치어를 대형화하여 적절한 시기에 방류하기 위해서는 일정기간 치어를 건강한 상태로 사육할 필요가 있다.

한편, 어류의 소화기관은 자어기에는 난황을 영양소로 이용하여 급속한 형태적 분화를 가지지만, 각 기관의 조직학적 구조가 성체의 그것에 달해 기능화 되는 것은 치어기 이후로 알려져 있다(歸山, 1986 ; 中野 등, 1985a, 1985b ; 伴 등, 1995a). 특히, 연어과 어류의 해수 적응능력은 치어기 이후에 높아지는 것으로 알려져 있으며(中野 등, 1985c ; 伴 등, 1995b). 이러한 치어기의 안정적인 발육을 위해서는 사료 공급에 의한 사육이 가장 효율성이 높으며, 방류후의 생존율 또한 높은 것으로 생각되어지고 있다(Kobayashi, 1980).

일본의 경우, 1961년 이후부터 연어과 어류의

집약적 사육을 위해 시판의 건조사료 등에 의한 사육이 행하여져 왔다(橋本, 1982). 어류 체내 대사와 성장에 영향을 미치는 요인들 중 가장 큰 요인은 먹이이며(Brown, 1957; Smith, 1935), 일반적으로 먹이의 영양소 이용률은 어종, 사료의 품질, 사료공급량, 사료공급 횟수 및 사육환경에 따라 달라진다고 보고되어져 있다(Brett and Higgs, 1970). 특히, 사료는 증양식 생산단가의 큰 비중을 차지할 뿐만 아니라, 사육환경의 관리적 측면에서도 중요한 부분을 차지한다. 그러므로, 효율적인 생산을 하기 위해서는 적절한 사료효율과 성장이 보장되어야 한다. 지금까지의 연어류의 치어사육을 위한 사료공급 방법으로는 1일 3~6회의 공급이 가장 적절한 것으로 인식되어져 왔다. 그러나, 최근 참돔(*Chrysophrys major*) 양식에 있어서는 과식과 부적절한 사료공급이 원인으로 보이는 질병이 다량으로 발생하고 있으며(樋田·吉越, 1995), 小林(1997)은 산천어(*Oncorhynchus masou*) smolt를 이용하여 매일공급보다 하루건너 2번의 시료를 공급할 경우에 가장 빠른 성장을 보인다고 보고하여, 연어와 이외의 많은 어종에 있어서도 먹이공급에 대한 검토가 요구되고 있다.

본 연구에서는 북해도의 어류방류사업의 가장 중요한 비율을 차지하고 있는 연어(*Oncorhynchus keta*)의 치어를 대상으로 사료공급 횟수에 따른 성장을 비교 분석하여 가장 효율적인 사료공급 방법을 알아내는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

실험어는 1996년 12월 5일 日本 北海道 戸切 地川에서 산란된 알을 上磯郡 연어부화장에서 1997년 2월에 부화시킨 연어(*Oncorhynchus keta*)를 이용하였다. 실험은 1997년 3월 24일 첫 먹이공급 후 3주간 매일 4회의 사료를 공급한 연어를 上磯郡 연어부화장의 부화용 유수식 사각수조(길이, 170 cm; 넓이, 33 cm; 수심, 6 cm)에 옮겨 1주간 사육한 후 이용하였다. 공급사료량은

1981년에 실시된 일본의 연어과어류 부화산업화의 결과에 따라 공급하였다. 공급사료는 단백질 46.0% 이상, 지방 4.0% 이상, 섬유질 7.0% 이상 및 회분 16.0% 이상의 성분이 함유된 연어·송어과 어류의 치어용배합사료((株)科學飼料研究所)를 이용하였다. 사육수로서는 지하수와 하천수를 이용하여 각 수조당 매분 54 ℓ를 공급하였고, 수온은 9.8~10.1℃를 유지하였다.

본 연구의 사료공급은 매일공급과 격일공급 및 주 1, 2회 공급 중지 등의 다양한 사료공급 방법으로 다음과 같은 두 가지의 실험을 행하였다. 먼저, 실험 1로서는 전장 44.4 mm, 체중 0.54 g 전후의 연어를 이용하여 사료공급 횟수에 따라 5개의 실험 군을 설정하고, 200마리씩을 각 실험 군에 넣어 실시하였다. 사료공급은 1일 4회, 1일 2회, 1일 1회, 하루건너 4회 및 하루건너 2회 실시하였고, 실험은 1997년 4월에서 6월에 걸쳐 6주 동안 행하였다. 총 사료공급량은 1일 4회의 실험 군을 기준으로 같은 양을 공급하였다. 성장에 대한 측정 항목으로는 전장, 체중, 비만도, 일간성장률, 사료전환효율 및 생존율을 조사하였으며, 비만도, 일간성장률 및 사료전환효율은 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$\text{비만도} = [\text{체중(g)}/\text{전장(mm)}^3] \times 10^3$$

$$\text{일간 성장률(\%)} = \ln[\text{사육종료시체중(g)}/\text{사육개시시체중(g)}] \times 100/\text{일수}$$

$$\text{사료전환효율(\%)} = \ln[\text{사육종료시체중(g)} + \text{기간중사망어의전체중(g)} - \text{사육개시시전체중(g)}] / \text{사료공급량(g)}$$

그리고, 어체의 물질대사 활성을 조사하기 위해서 간장의 조직절편을 작성하여 간실질세포의 밀도 및 핵경을 측정하여 비교하였다. 핵경은 마이크로메타를 이용하여 측정하였고, 세포의 밀도는 일정한 두께를 가진 TP롤에 TV모니터 상에 비친 세포를 그려 넣어 그 속에 있는 세포 수와 TP롤의 무게를 측정하는 방법으로 계산하였다.

실험 2에서는 전장 55.9 mm, 체중 1.03 g 전후의 연어를 이용하여 주 1회 또는 2회의 사료

공급 중지에 따른 성장을 비교 분석하였다. 각 실험군에는 각각 80마리의 연어 치어를 이용하였으며, 실험군은 매일 공급군, 주 1회 사료공급 중지군, 주 2회 불연속 사료공급 중지군 및 주 2회 연속 사료공급 중지군으로 나누어 실험을 행하였다. 각 실험군의 사료공급량은 매일공급군의 한 마리당 총 사료공급량을 기준으로 하였으며, 각 실험군의 사료 공급은 1일 3회 실시하였다. 성장에 대한 측정항목은 실험 1과 동일하고, 실험 개시 후 2주와 4주째의 두차례에 걸쳐 측정하였다.

간장의 조직학적 관찰은 고정 후 5 μm 의 파라핀 절편을 작성하여 헤마토키시린 및 에오신의 이중 염색 후 광학현미경으로 행하였다. 성장에 대한 측정항목 중 전장, 체중, 비만도, 그리고 간세포의 밀도 및 핵경의 크기의 실험 결과는 One-way ANOVA-test를 실시하고 Scheffe's의 F-test를 이용하여 다중 검정을 행하였다.

결과 및 고찰

실험 1에 있어서의 각 실험군의 전장은 1일 4회가 가장 큰 수치를 나타내었고, 사료의 공급 횟수가 적어짐에 따라 성장이 늦어지는 것으로 나타났다(Fig. 1). 체중의 변화에 있어서도 전장의 결과와 같이 1일 4회의 공급이 가장 좋은 결과를 나타내었다(Fig. 2). 그러나, 1일 4회 공급군과 1일 2회 공급군에 있어서는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 비만도는 어류의 영양상태를 형태적으로 파악하는 방법으로 보편적으로 이용되어 지는 항목으로(Kenneth and McRuer, 1989; 木村, 1994), 본 실험결과에서는, 2주째에는 매일 공급의 세 실험군이 격일공급의 실험군에 비해 유의적으로 높은 수치를 나타내었으며($P < 0.05$), 4, 6주째에 있어서도 매일 공급군이 높은 수치를 나타내었으나, 개체간의 차이가 커 유의적인 차이는 나타나지 않았다(Fig. 3). 연어과 어류의 천연 종묘나 방류된 인공종묘의 비만도는 체장이 약 60 mm 까지는 증가하나, 그후에는 일정한 수치를 유지하는 것으로 알려져 있다(歸山·文谷, 1982).

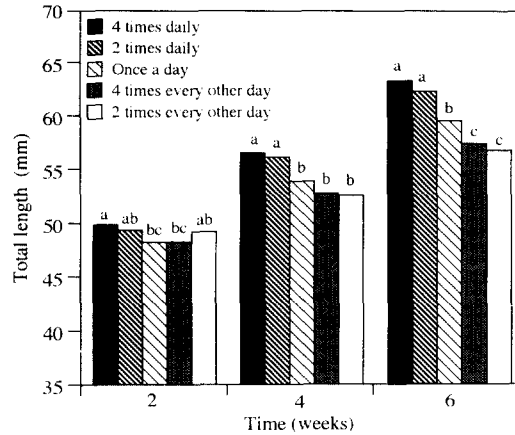


Fig. 1. Changes in total lengths of juvenile salmon at different feeding frequencies. The different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). Initial total length (mm) = 44.44 ± 2.34 .

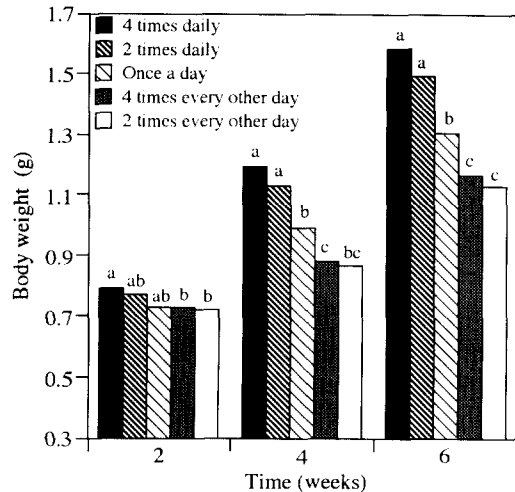


Fig. 2. Changes in body weights of juvenile salmon at different feeding frequencies. The different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). Initial body weight (g) = 0.54 ± 0.11 .

본 연구의 결과에서는 전장이 실험 종료 시에 60 mm 전후였음에도 불구하고 비만도의 지속적인 증가는 나타나지 않았다. 그러나, 1일 2회 이상의 사료공급군에서는 실험 4주째까지 증가하는 경

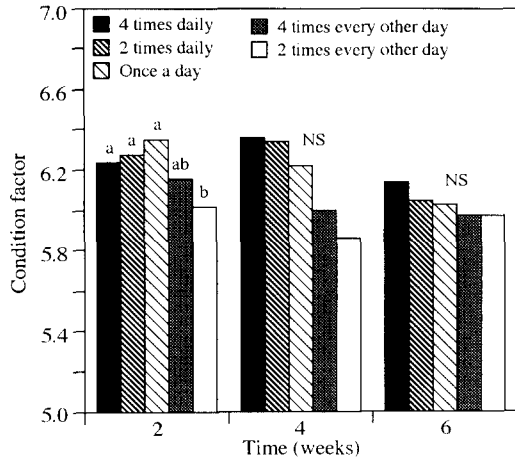


Fig. 3. Changes in condition factors of juvenile salmon at different feeding frequencies. The different superscripts are significantly different ($P<0.05$) and NS indicates that there are no significant difference between data obtained from different experimental groups. Initial condition factor = 6.09 ± 0.77 .

향을 나타내어, 실험군 중에서 가장 영양상태가 좋은 것으로 나타났다.

실험종료시의 사료전환효율은 1일 4회의 공급이 0.71로 가장 높은 수치를 나타내었고, 격일 2회의 공급이 0.34로 가장 낮은 수치를 나타내었다 (Table. 1). 성장률 및 생존율에 있어서도 사료공급의 횟수가 많은 1일 4회가 가장 높은 수치를 나타내었다 (Table. 1). 간세포의 밀도에 있어서는 전 실험군에서 유의적인 차이는 나타나지 않았으나 (data not shown), 핵경의 크기에 있어서는 1일 4회 및 2회의 사료공급군이 다른 군에 비해 높은 수치를 나타내었다 (Fig. 4). 간장은 각종 소화액을 분비하는 기관이며, 글리코겐 등의 영양소

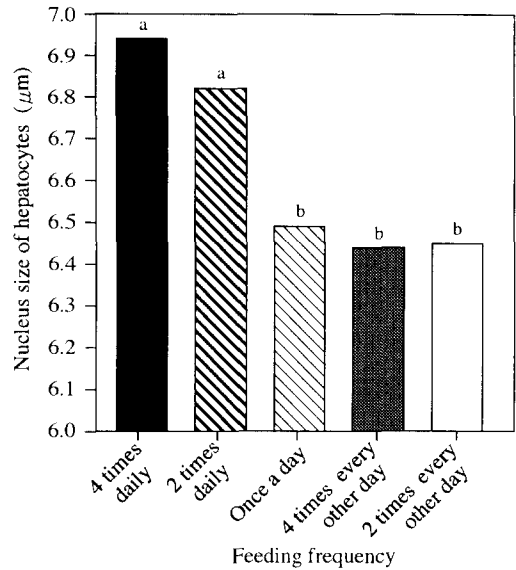


Fig. 4. Changes in nuclei size of hepatocytes of juvenile chum salmon at different feeding frequencies. The different superscripts are significantly different ($P<0.05$). Initial nuclear size (μm) = 6.15 ± 0.25 .

를 축적하는 기관으로 그 크기는 어류의 성장과 영양상태에 따라 달라진다 (赤崎, 1987). 그러나 최근, 방류용 연어의 치어에 있어서는 사료공급량에 따른 간중량지수는 거의 변화가 없고 조직상의 변화에 있어 차이를 가진다고 보고되어져 있다 (仲 등, 1995a). 본 연구에서는 간세포의 핵경이 1일 4회 및 2회의 사료공급군에서 큰 것으로 나타나, 한번에 많은 양의 사료를 공급하는 것보다 수차례에 걸쳐 조금씩 사료를 공급할수록 연어 치어에 있어서의 물질대사가 활발해지는 것으로 여겨진다.

Table 1. Feed efficiency, growth rate (g/day), and survival rate of juvenile chum salmon at different feeding frequencies

Factors investigated (%)	Feeding frequency				
	4 times daily	2 times daily	Once a day	4 times every other day	2 times every other day
Feed efficiency	0.71	0.61	0.44	0.36	0.34
Growth rate	2.7	2.5	2.2	1.9	1.8
Survival rate	92.6	88.9	86.8	86.8	85.7

실험 2의 주 1회 및 2회의 사료공급 중지에 따른 성장 비교는 4주간 실시하였으며, 전장, 체중 및 비만도는 2주 간격으로 측정하였다. 그 결과, 연어의 전장은 실험 2주까지는 전군에서 유의적인 차이를 나타내지 않았으나, 실험 4주째에는 각군의 성장이 차이를 나타내어 매일 공급군이 가장 빠른 성장을 나타내었다(Fig. 5). 그러나, 매일 공급군과 주 1회 사료공급 중지군에 있어서는 유의적인 차이는 나타나지 않았으며, 주 2회의 사료공급 중지군에 있어서는 연속적으로 2일간 사료공급을 중지하는 것이 연어의 치어 성장을 늦추는 결과를 가져왔다(Fig. 5). 체중의 변화에 있어서도 전장의 변화와 같은 경향을 나타내었다($P < 0.05$, Fig. 6). 비만도에 있어서는 실험 2주까지는 전 실험군이 증가하는 경향을 나타내었고, 상호간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 그러나, 실험 종료 시에는 매일 공급군과 주 1회 공급 중지군에 비해 주 2회 연속, 불연속 사료공급 중지군이 유의하게 낮은 수치를 나타내었다(Fig. 7). 사료전환효율 및 성장률은 매일 사료공급군이 주 1회 및 2회의 사료공급 중지군에 비해 높은 수치를 나타내었으나, 생존율에 있어서는 먹이공급 방법에 따른 영향은 나타나지 않았다(Table 2). 이러한 결과로 보아, 연어 치어사육에 있어서 주 2회 이상의 사료공급 중지는 성장 및 영양상태의 유지에 악영향을 미치는 것으로 판단된다.

小林(1997)은 산천어(*Oncorhynchus masou*) smolt는 매일 사료공급군 보다 오히려 격일 2회의 사료공급군이 빠른 성장을 가진다고 보고하였다. 그러나 본 연구에 있어서는 매일 수차례에 걸쳐

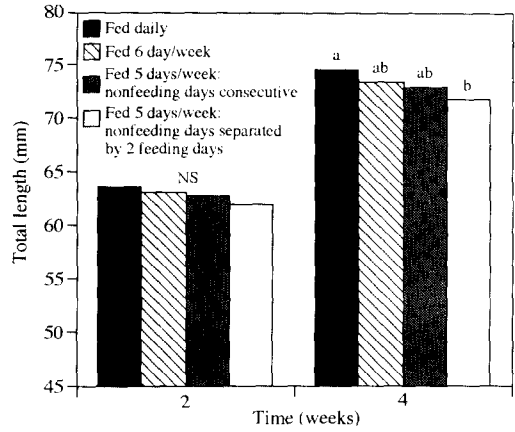


Fig. 5. Changes in total lengths of juvenile chum salmon with different feeding schedules. The different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). Initial total length (mm) = 55.87 ± 1.85 .

사료공급법이 연어 치어의 성장에 좋은 것으로 나타났다. Grove *et al.*(1978)은 전장 10~35 cm의 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)에 있어서는 장내의 소화물의 감소율에 따른 먹이 공급횟수의 증가가 보다 빠른 성장을 가져올 수 있을 것이라고 보고하였다. 본 연구에 이용된 연어 치어사육의 경우에는 성체에서와 같이 많은 양의 먹이를 한꺼번에 섭취하여 체내에 축적할 수 있는 기능이 아직 갖추어져 있지 않은 결과로 인해 적은 양을 수차례에 걸쳐 공급하는 것이 빠른 성장을 나타낸 것으로 판단된다.

최근, 中川 등(1997)은 은어(*Plecoglossus altivelis*)에 있어서는 사료공급 횟수는 1일 4회의 공급이 가장 적합하며, 1일 6회 이상의 공급에서

Table 2. Feed efficiency, growth rate (g/day), and survival rate of juvenile chum salmon with different feeding schedules

Factors investigated (%)	Feeding frequency			
	Fed daily	Fed 6 day/week	Fed 5 days/week : nonfeeding days consecutive	Fed 5 days/week : nonfeeding days searated by 2 feeding days
Feed efficiency	1.12	1.07	0.95	0.72
Growth rate	3.5	3.3	3.0	2.8
Survival rate	95	100	97.8	98.8

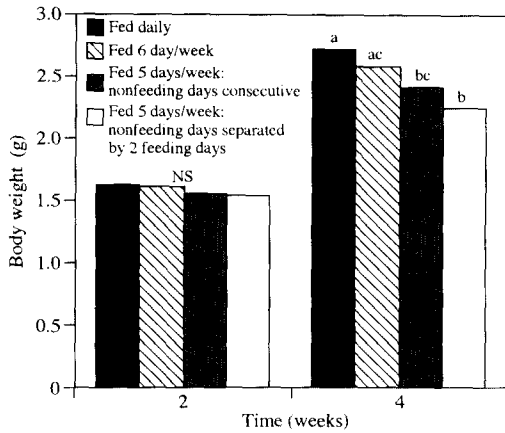


Fig. 6. Changes in body weights of juvenile chum salmon with different feeding schedules. The different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). Initial body weigh (g) = 1.03 ± 0.07 .

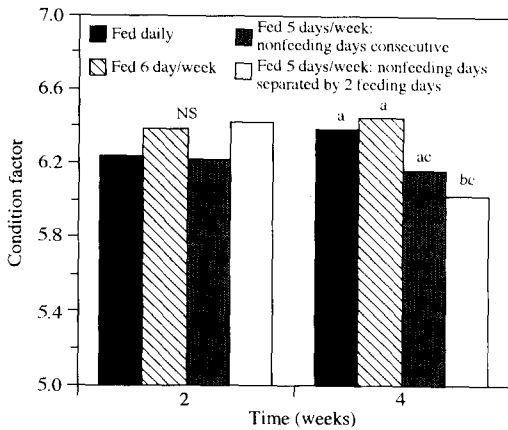


Fig. 7. Changes in condition factors of juvenile chum salmon with different feeding schedules. The different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). Initial condition factor = 5.90 ± 0.51 .

는 오히려 사료효율이 저하하는 것으로 보고하였다. 그들은 또한, 참돔(*Chrysophrys major*)의 幼魚에 있어서는 사료공급 빈도가 증가하면 전장에 대한 장관 길이의 비율이 낮아지며, 사료공급 빈도가 幼魚의 생체대사에 많은 영향을 미친다고 보고하였다(中川 등, 1995). 그리고 橋本(1982)

은 대규모의 치어 사육에 있어서, 사료공급 횟수가 3회 이상인 경우에는 사료효율에 있어 차이를 나타내지 않으며, 지나친 공급횟수의 증가는 1회의 공급량이 줄어 약한 개체의 먹이 섭취율이 저하되는 결과를 가져와 오히려 전체적으로 나쁜 결과를 가져올 수 있다는 것을 지적하였다. 이와 같이 사료공급 빈도는 어류의 성장이나 생체내 대사에 있어 중요한 영향을 미치고 있으며, 어종과 성장에 따른 적절한 사료공급 방법이 존재하는 것으로 여겨진다.

본 연구에서는 주 6일, 1일 2회 이상의 사료공급군이 가장 빠른 성장결과를 가져온 1일 4회 사료공급과 유의적인 차이를 나타내지 않아 연어 치어의 사육에 있어서 적합한 먹이공급 빈도로 여겨진다.

요 약

본 연구에서는 북해도의 연어(*Oncorhynchus keta*) 치어에 있어서 1일 4회, 1일 2회, 1일 1회, 하루건너 4회 및 하루건너 2회의 각기 다른 사료공급 조건에 의한 성장을 비교 분석하였다. 또한, 주 1회 및 2회의 사료공급 중지에 따른 영향을 조사하였다. 치어의 성장은 매일 2회 및 4회의 사료공급군이 다른 실험군에 비해 성장률, 비만도, 사료전환효율 및 생존율에서 좋은 성장 결과를 나타내었다. 그리고 주 5회 사료공급한 실험군보다 매일공급 및 주 6회 사료공급한 실험군이 좋은 성장을 나타내었다. 어류의 간세포 핵의 크기는 매일 공급한 실험군이 큰 수치를 나타내어 체내 물질 대사가 좋은 것으로 나타났다. 이러한 결과로 보아, 연어 치어의 사육에 있어서는 주 6일이상, 1일 2회 이상의 사료공급이 적합한 것으로 판단 된다.

사 사

본 연구에 많은 도움을 주신 日本 北海道 上磯郡 연어부화장의 직원 여러분들에게 감사드립니다.

또한, 원고 작성에 많은 협조를 아끼지 않은 부경대학교 유성규 교수님께 심심한 사의를 포함합니다.

참 고 문 헌

- Brett, J. R. and D. A. Higgs, 1970. Effects of temperature on rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. J. Fish. Res. Bd. Can., 27 : 1767-1779.
- Brown, M. E., 1957. Experimental studies on growth. p. 361-400. The physiology of fishes (edited by M. E. Brown) Vol. 1, Academic Press, New York.
- Grove, D. J., L. G. Loizides, and J. Nott, 1978. Satiation amount, frequency of feeding and gastric emptying rate in *Salmo gairdneri*. J. Fish. Biol., 12 : 507-516.
- Kaeriyama, M. and S. Urawa, 1992. Future research by the Hokkaido salmon Hatchery for the proper maintenance of Japanese salmonid stocks. p. 57-62. Proceeding of international workshop on future salmon research in the north pacific ocean (edited by Y. Ishida *et al.*). National research institute of far sea fisheries, Shimizu, Japan.
- Kenneth, T. F. and J. K. McRuer, 1989. Nutritional status of field-collected haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) larvae from south western nova scotia : an assessment based on morphometric and vertical distribution data. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46 : 125-133.
- Kobayashi, T., 1980. Salmon propagation in japan. In Salmon ranching (edited by J. E. Thorpe). Academic Press, New York, 91-107.
- Mayama, H., 1985. Technical innovations in chum salmon enhancement with special reference to fry condition and timing of release. p. 83-86. Proceeding of the eleventh U.S.-Japan meeting on aquaculture, Salmon enhancement, Tokyo, Japan, October 19-20, 1982, NOAA Tech. Rep. NMFS, 27.
- Smith, H. W., 1935. Metabolism of the lung fish. II. Effects of feeding on meat on the metabolic rate. J. Cell. Comp. Physiol., 6 : 335-349.
- 橋本 進, 1982. 放流用稚魚飼育關研究-II. 餌の堅さ, 給餌の熟練度, 回数, 時刻 及用水不足. 北海道さけ・ますふ化場研報, 36 : 19-37.
- 歸山雅秀, 1986. サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum)의 初期生活に關する生態學的研究. さけ・ますふ研報, 40 : 31-92.
- 歸山雅秀·文谷俊雄, 1982. サケの稚魚期から幼魚期への發育段階における形態的, 生態的特徴. 日本誌, 48 : 1537-1544.
- 木村 量, 1994. 飢餓. 魚類の初期減耗研究 (日本水産學會編), 厚生社恒星閣, 東京, 47-59.
- 伴 眞俊·長谷川裕康·阿部邦夫, 1995a. サケの發育にともなう消化器官系の組織學的變化. さけ・ますふ研報, 49 : 21-26.
- 伴 眞俊·長谷川裕康·阿部邦夫, 1995b. ふ化場産サケの發育初期段階における攝餌量と健苗性の關係. さけ・ますふ研報, 49 : 27-33.
- 小林美樹, 1997. サクラマス幼魚はどうして大きくなったか?-給餌法の検討. 日本水産學會春季大會要旨集(639), 112 p.
- 赤崎正人, 1987. 消化器官. 魚類解剖學, 綠書房, p. 73-100.
- 中野 黄·安藤義秀·白旗總一郎, 1985a. 成長にともなうサケ稚魚の酸性フォスファターゼ活性. 北水研報, 50 : 87-92.
- 中野 黄·安藤義秀·白旗總一郎, 1985b. 成長にともなうサケ稚魚の酸性フォスファターゼ活性の變化. 北水研報, 50 : 87-92.
- 中野 黄·安藤義秀·白旗總一郎, 1985c. サケ稚魚の浸透壓調節能力について. 北水研報, 50 : 87-92.
- 中川平介·武田高明·海野徹也·Md. G. Mustafa, 1995. マダイ幼魚の代謝に及ぼす給餌頻度の影響. 日本水産學會春季大會要旨集(234), 49 p.
- 中川平介·海野徹也·溝上英幸·張 家源, 1997. アユの飼育成績に及ぼす給餌條件の影響. 日本水産學會春季大會要旨集(754), 134 p.
- 樋田史郎·吉越一馬, 1995. 養殖マダイ成長におよぼす餌の種類, 給餌量および給餌方法等の影響. 日本水産學會春季大會要旨集(237), 51 p.