

溶存酸素を使用したシロサケ稚魚飼育環境の簡易モニター法について

誌名	岩手県水産技術センター研究報告
ISSN	13430114
著者名	加賀, 克昌
発行元	岩手県水産技術センター
巻/号	1号
掲載ページ	p. 59-64
発行年月	1997年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



溶存酸素を使用したシロサケ稚魚飼育環境の簡易モニター法について

加賀克昌

A Simple Monitoring Method for the Rearing Environment of Salmon Hatcheries Using Dissolved Oxygen Concentration in the Rearing Water.

Yoshimasa Kaga

Abstract

Rearing density, rate of water exchange, water temperature, dissolved oxygen and ammonium-nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$) levels under fish loading measured to determine the optimum environmental conditions for rearing juvenile chum salmon in salmon hatcheries in Iwate Prefecture since 1979. Conducting such measurements requires much time and effort, so easier monitoring methods for rearing salmon would benefit the salmon hatcheries concerned. We examined the relationship between dissolved oxygen or ammonium-nitrogen concentrations and fish loading in salmon hatcheries from 1988 to 1990 to determine the optimum indicator to estimate environmental conditions for rearing juvenile chum salmon.

Keywords ; salmon hatchery, juvenile chum salmon, fish loading, rate of water exchange dissolved oxygen, ammonium-nitrogen.

キーワード ; さけ・ますふ化場, シロサケ稚魚, 飼育量, 換水率, 溶存酸素, アンモニア態窒素.

はじめに

岩手県におけるシロサケ (*Oncorhynchus Keta*) の資源増大は、1970年代からのさけ・ますふ化場の施設整備による収容能力の増大と、さけます資源増大対策調査をはじめとする試験研究成果に基づく増殖技術の確立によるところが大きい。しかし、限られた飼育水量で増殖努力が続けられるため、水量と飼育池面積を最大限に活用した集約的な飼育が余儀なくされることから、適応能力を超えたストレスを稚魚に与える危険性があった。

このため、岩手県では1979年から沿岸河川のすべてのふ化場について実態調査を実施し、問題点を指摘しながら改善に努めてきた。この調査は、各ふ化場毎に任意の飼育池を選び、水質（溶存酸素 (DO) ・アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) ・化学的酸素要求量 (COD) 等) や飼育密度・注水量・稚魚の状態（肥満度・魚病の有無等）の各項目について行われ、飼育環境面に問題があるふ化場に対して指導することにより、増殖技術の改善・向上が図られてきた。その結果、10年後の1988年には、放流数は約2倍の4億4千万尾となり、岩手県の増殖基盤が完成した。現在もこの放流数が維持され、来遊数についても1千5百万尾前後で安定してきている。

しかし、これらの調査には多大な労力と時間を要することから、飼育現場からはより簡便で迅速な飼育環境把

握の指標が求められている。本報告では、上述した要請に応えるため、1988年から1990年までの3カ年にわたったふ化場実態調査結果をもとに、飼育環境の指標とされる $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度及びDO濃度と稚魚飼育量との関係について検討し、飼育環境の指標としてのDO濃度の変化についても検討を加えた。

方 法

岩手県の増殖基盤が完成したと考えられる1988年から1990年の3カ年間について、県内の沿岸30ヶ所のふ化場（総調査池数220）における飼育池の注水及び排水について、水温・DO・ $\text{NH}_4\text{-N}$ 等を測定するとともに、飼育池毎にpH（水素イオン濃度）・飼育密度・注水量等を計測した。水温は棒状水温計、DOはWinkler-窒化ナトリウム変法¹⁾、 $\text{NH}_4\text{-N}$ はインドフェノール法²⁾、pHは比色法により測定した。これらの結果をもとに、各池のDO濃度及び $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の状況、稚魚飼育量と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の増加量（排水と注水の差）及びDO濃度の減少量（注水と排水との差）との関係について検討した。

結 果

1 稚魚の飼育環境

調査結果の概要についてTable 1に示した。どの項目

も飼育池により測定値に開きが見られるものの、平均値については年による明確な差は認められなかった。1988～1990年の3ヵ年にわたる総調査池数(220)の平均値は、稚魚飼育量が0.74 (kg/L/min)・換水率(1時間当たりの注水量を池の体積で除した値)が2.5 (回/時)

・水深0.42 (m)・水温8.8 (°C)・pH 6.7であった。またDOについては、飼育池の注水、排水がそれぞれ10.2, 7.9ppmであり、NH₄-N濃度の注水と排水についてはそれぞれ0.10, 0.26ppmであった。

Table 1. Rearing Environment Data of The Salmon Hatcheries in Iwate Prefecture from 1988 to 1990.

Year	Yearly mean (maximum~minimum)			Overall mean	
	1988	1989	1990		
Number of Ponds	70	68	82	—	
Fish Loading (kg/L/min)	0.71 (2.02~0.24)	0.73 (2.72~0.27)	0.76 (2.33~0.24)	0.74	
Rate of Water Exchange (times/hour)	2.5 (9.5~1.1)	2.5 (8.3~0.8)	2.5 (8.3~0.6)	2.5	
Depth of Water (m)	0.40 (0.65~0.24)	0.40 (0.60~0.18)	0.45 (0.76~0.27)	0.42	
Water Temperature (°C)	8.4 (11.7~5.7)	9.0 (12.6~5.1)	9.0 (13.7~4.4)	8.8	
pH	6.7 (7.2~6.1)	6.7 (7.4~6.3)	6.8 (7.4~6.3)	6.7	
Dissolved Oxygen (ppm)	Inflow (A)	10.2 (12.5~4.6)	9.9 (12.3~5.9)	10.4 (12.7~6.0)	10.2
	Outflow (B)	8.0 (11.4~3.8)	7.6 (11.7~3.7)	7.9 (11.5~3.7)	7.9
	Difference (A-B)	2.2 (5.0~0.0)	2.3 (6.1~0.3)	2.5 (7.4~0.0)	2.3
Ammonium Nitrogen (ppm)	Inflow (C)	0.09 (0.36~0.00)	0.12 (0.61~0.00)	0.09 (0.57~0.00)	0.10
	Outflow (D)	0.24 (0.63~0.01)	0.28 (0.77~0.06)	0.26 (0.67~0.05)	0.26
	Difference (D-C)	0.15 (0.38~0.00)	0.16 (0.49~0.01)	0.17 (0.65~0.02)	0.16

各々の測定値にそれぞれ開きが見られる原因は、ふ化場により水温、水量、水質等の条件が異なることや、飼育水を有効に利用するために多段池で飼育しているためと考えられる。しかし、平均的には本県の適正飼育量である1 (kg/L/min)³⁾、用水基準では飼育池の注水のDO、NH₄-N濃度がそれぞれ7ppm以上、0.1ppm以下、排水のDO、NH₄-N濃度がそれぞれ5ppm以上、0.3ppm以下⁴⁾を満たしていることから、ふ化場の飼育能力内ではほぼ適正なサケ稚魚の飼育管理が行われていたと考えられる。

2 稚魚飼育量とNH₄-N濃度の関係

稚魚飼育量とNH₄-N濃度の増加との関係について検討したところ、両者の間には正の相関(調査池数 n=220,

有意水準 $\alpha=0.01$) が認められた (Fig. 1)。これをもとに、本県の適正飼育量1 (kg/L/min) に対するNH₄-N濃度の増加を推定すると0.2ppmであった。

本県の用水基準は、NH₄-N濃度は注水で0.1ppm以下、排水で0.3ppm以下⁴⁾とされ、その差が0.2ppmとなっていることから、適正飼育量と用水基準とは対応していることが現場データからも裏付けられた。

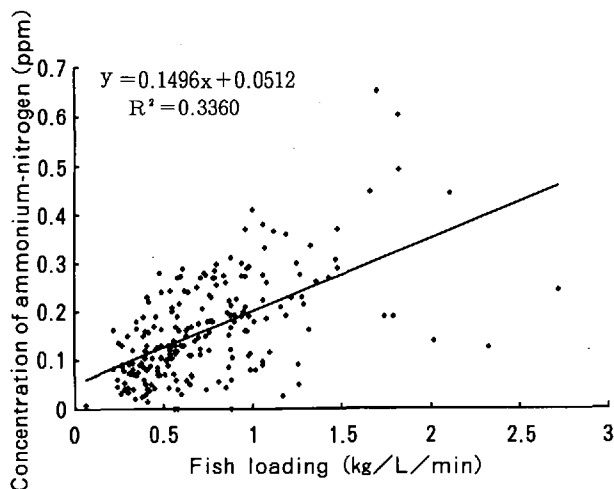


Fig. 1. Relationship between fish loading of juvenile chum salmon and increase in concentration of total ammonium-nitrogen in rearing water at salmon hatcheries in Iwate Prefecture from 1988 to 1990.

3 稚魚飼育量とDO濃度の関係

稚魚飼育量とDO濃度の減少との関係について検討したところ、両者の間には正の相関 ($n=220$, $\alpha=0.01$) が認められた (Fig. 2)。この相関は $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と飼育量の関係よりも高く、これにより推定される飼育量1 (kg/L/min) に対するDO濃度の減少は2.9ppmであった。

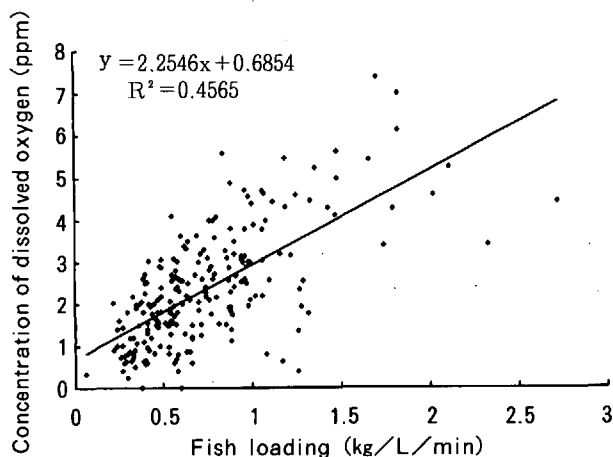


Fig. 2. Relationship between fish loading of juvenile chum salmon and decrease in concentration of dissolved oxygen in rearing water at salmon hatcheries in Iwate Prefecture from 1988 to 1990.

4 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の増加とDO濃度の減少との関係

$\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の増加とDO濃度の減少との間にも正の相関 ($n=220$, $\alpha=0.01$) が認められ (Fig. 3), これにより推定される $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の増加0.2ppmに対するDO

濃度の減少は2.8ppmであった。

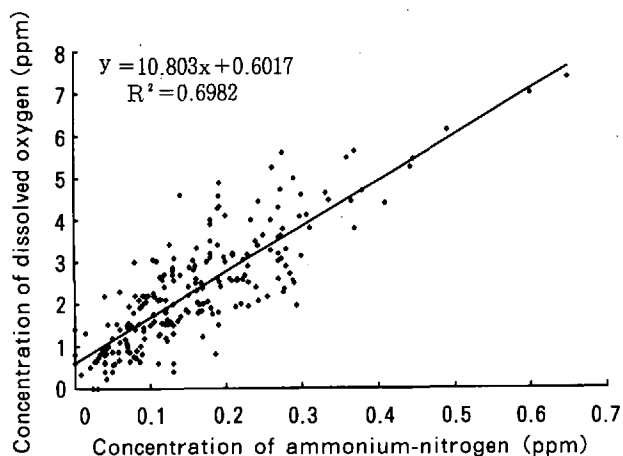


Fig. 3. Relationship between increase in concentration of total ammonium-nitrogen and decrease in concentration of dissolved oxygen in rearing water at salmon hatcheries in Iwate Prefecture from 1988 to 1990.

考 察

1 $\text{NH}_4\text{-N}$ の稚魚飼育に及ぼす影響

Fig. 1, 2より $\text{NH}_4\text{-N}$ 増加量よりもDO減少量の方が稚魚飼育量との相関が高いという結果となった。これは、飼育池のDOの収支については魚による酸素消費の他に、供給面では植物プランクトンの光合成や池面からの拡散溶入があり、消費面では残餌やプランクトンの死骸などの有機堆積物を含む底土及び水表面からの拡散損失があるが、通常清澄な水が多量に注入されている場合はこれらの供給量および消費量は無視できると考えられる⁵⁾のに対し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は稚魚から糞や尿として直接排泄される他に、残餌の分解によっても生成されることが原因と考えられる。

飼育状況の反映の他に $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を測定する最も重要な目的は、過剰な $\text{NH}_4\text{-N}$ による魚病の防止である。これらの $\text{NH}_4\text{-N}$ は魚類に対して毒性を持ち、その中でも粘膜上皮細胞を容易に透過できる非解離アンモニア (NH_3) の毒性が高いことが知られている^{6) 7) 8) 9) 10)}。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の毒性は、DO濃度が低い時には増加することも報告されている^{11) 12) 13)}。Larmoyeux・Piper¹⁴⁾によれば、ニジマス (*Salmo gairdneri*) でDO濃度が5.0ppm以下になると、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が0.5ppm程度の濃度でも成長率の低下や鰓の損傷を招くが、DO濃度が7.0ppm以上あれば、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が0.8~1.0ppmあっても成長率は低下しないとされている。

水中のNH₃濃度を測定する簡便な方法はないが、水中の総NH₄-N中におけるNH₃濃度の割合は、水温及びpHが高いほど増加することが知られている¹⁵⁾。そこでこれらの例をもとに実態調査により得られた水温、pH、NH₄-Nの平均値（水温8.8℃、pH6.7、NH₄-N濃度0.26 ppm）よりNH₃濃度を推定すると2.3×10⁻⁴ ppmとなる。ニジマスを12ヵ月間飼育した結果によると、NH₃濃度の最高安全濃度は0.0125 ppmとされているが¹⁶⁾、本県のふ化場のNH₃濃度はこの約1/50であることから、飼育水中のDO濃度が5.0 ppm以上あれば魚類に対する毒性は問題とならないと考えられる。

2 稚魚飼育量とDO濃度減少量

結果の項で述べたように、稚魚飼育量とNH₄-N濃度増加量およびDO濃度減少量との間の相関はDOの方がより高かった。このことから、飼育環境のモニタリングにおいては、DO濃度の変化を把握することがより有効であると考えられた。そこで、以下ではDO濃度をモニタリング指標とするための有用性について検討を加えた。

魚の酸素消費量は水温や遊泳状態等によって大きく変化し、食物を摂取することによっても代謝量が増加することが知られている¹⁸⁾。海中飼育サケ稚魚の酸素消費量(Y) (mLO₂/kg/h) と水温(X) (°C) の関係について、佐々木・菊池¹⁹⁾ は水温4.8~18.0 (°C) において平均体重5 g以下の稚魚では魚体重と酸素消費量の間には有意な差が認められないとして、次のような関係式を求めている。

$$\log Y = 0.0433X + 1.9165 \dots (1)$$

また、ニジマスの平常時の酸素消費量として安静時の1.2~1.3倍の値が適用できるとされていることから²⁰⁾、平均水温を8.8 (°C) として(1)式より酸素消費量を計算すると、酸素消費量は約6 (mgO₂/kg/min) となった。Fig. 2より求められた酸素減少量は約3 (mgO₂/kg/min) と計算値の約半分であり、水産庁さけ・ますふ化場の酸素減少量と比べても低いことは、本県のふ化場の換水率の平均が2.5と水産庁さけ・ますふ化場の換水率1.0~1.5に比べて高かったためと考えられる。野川・八木沢が釧路事業場において求めた酸素減少量は4.8~6.9 (平均6.0) (mgO₂/kg/min) となり計算値とほぼ一致した²¹⁾。換水率が高くなれば稚魚の運動による酸素消費量が増大することも考えられるが、北海道などと比較して水温が高く、水量及び飼育池面積が限られている本県では、残餌や排泄物を除去し良好な飼育環境を保全する目的からも給餌の開始にともない換水率を高める(2以上)ように指導している²²⁾。

飼育密度については換水率から飼育量に換算することができる。1時間に1回以上の換水が望ましい²³⁾とされていることから換水率を1、適正飼育密度10 (kg/m²)、総調査池の水深の平均値0.42 mより計算された飼育量は約1.4 (kg/L/min) となり、適正飼育量1 (kg/L/min) のほうが厳しい基準となる。

以上のことから、適正飼育量、適正飼育密度、注水と排水との間のNH₄-N濃度の増加量0.2 ppm以下を満たす基準として、注水と排水との間のDO濃度の減少量が3.0 ppm以下であることが考えられた。

3 溶存酸素と飼育環境

DO濃度の低下が直接的に与える影響についても多くの報告があり、サケ科魚類等の活動性の高い魚類は、5 ppm以下で深刻なストレスを受ける²⁴⁾とされている。またサケ科魚類を高密度に飼育するふ化場では、排水部のDO濃度は5~6 ppm以上あることが望ましい²⁵⁾とされており、シロサケ仔魚の発育比較試験結果から、排水部のDO濃度を5 ppm以下で管理すると安静な状態に保つことが難しく、発育に影響を及ぼす²⁶⁾ことが知られている。また前述のようにDO濃度が5 ppm以下になると非解離アンモニアの毒性が強まることから、排水部のDO濃度は常に5 ppm以上あることが必要と考えられる。

以上のことから飼育管理の指標をまとめると、各飼育池において次の2つの条件を満たすことが必要である。

- ① 排水のDO濃度が5 ppm以上あること。
- ② 注水と排水との間のDO濃度の減少が3 ppm以下であること。

これらの条件を満たす状態から外れる場合として、過密飼育、水温の上昇、水質の悪化及び水量の不足等が考えられるが、このような場合に飼育量の調整以外に人為的にすぐ対処できる方法が瀑気であることからDOを指標とする利点がある。現在、精度の良いDOメーターが開発・普及してきており、これを利用すればふ化場の現場での簡易な飼育環境のモニタリング手法として適用も可能になると考えられる。

和文要旨

さけ・ますふ化場における簡易な飼育状況の判定法として、溶存酸素濃度の変化を指標としてモニタリングすることを検討してみた。1988~1990年の実態調査の結果より、現状では非解離アンモニアの魚毒性は問題にはならないことが推測され、岩手県の飼育基準1 (kg/L/min) 以下、10 (kg/m²) 以下、用水基準 (NH₄-N濃度は注水で0.1 ppm以下、排水で0.3 ppm以下であり、その

濃度変化は0.2ppm)を酸素減少量(注水と排水の濃度変化)3ppmに換算できることが示唆された。また、文献等より飼育用水の溶存酸素濃度の下限値が5~6ppmであることから、排水部で5ppm以上の溶存酸素濃度を維持することが必要であり、これらを測定することにより事業規模での簡易な飼育管理が可能になると考えられた。

謝 辞

本稿の取りまとめにあたり、校閲の労と種々の有益な助言を頂いた北海道さけ・ますふ化場調査課資源研究室長の清水幾太郎氏に深謝いたします。また、本調査の遂行にあたり数々の便宜を図って頂いた、県内さけ・ますふ化場の職員各位に謝意を表します。

文 献

- 1) 澤田保夫, 町田喜弘: 水質分析法, 「新編 水質調査汚濁指針」(日本水産資源保護協会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1980, pp. 154-160.
- 2) 澤田保夫, 町田喜弘: 水質分析法, 「新編 水質調査汚濁指針」(日本水産資源保護協会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1980, pp. 183-185.
- 3) 岩手県林業水産部: 岩手県さけ増殖振興計画, 1986, pp. 8.
- 4) 岩手県林業水産部漁業振興課: サケ・ふ化飼育管理の手引, 1990, pp. 15-16.
- 5) 野村稔: 流水池の環境と魚類生産, 「淡水養魚と用水」水産学シリーズ32(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 1980, pp. 64-83.
- 6) R. E. Burorouws: Effects of Accumulated Excretory Product on Hatchery-reared Salmonids. *U. S. Fish and Wildlife Service, Research, Report*, 66, 1-12 (1964).
- 7) 板沢靖雄: 呼吸, 「魚類生理」(川本信之編), 恒星社厚生閣, 1970, pp. 45-88.
- 8) G. A. Wedemeyer, F. P. Meyer, and L. Smith: Environmental Stress and Fish Diseases, Book 5. In *Diseases of Fishes* (edited by S. F. Snieszko, and H. R. Axelrod). T. F. H. Publ., New Jersey. pp. 1-192. (1976).
- 9) G. Smart: Aspects of Water Quality Producing Stress in Insensitive Fish Culture. In *Stress and Fish* (Edited by A. D. Pickering). Academic Press. London. pp. 277-292 (1981).
- 10) R. G. Piper, I. B. McElwain, L. E. Orme, J. P. McCraren, L. G. Fowler, and J. R. Leonard: *Fish Hatchery Management*. U. S. Fish and Wildlife Service, Washington. D. C. pp. 1-157 (1982).
- 11) K. M. Downing, and J. C. Merckens: The Influence of Dissolved-Oxygen Concentration on The Toxicity of Un-ionized Ammonia to Rainbow Trout (*salmo gairdneri* Richardson). *Ann. appl. Biol.*, 43, 243-246 (1955).
- 12) R. V. Thurston, R. V., G. R. Phillips, R. C. Russo, and S. M. Hinkins (1981): Increased Toxicity of Ammonia to Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) Resulting from Reduced Concentrations of Dissolved Oxygen. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38, 983-988. (1981).
- 13) J. K. Morrison, and R. G. Piper: Effect of Reused Water on Atlantic Salmon. *Prog. Fish-Cult.*, 50, 110-112 (1988).
- 14) J. D. Larmoyeux, and R. D. Piper: Effects of Water Reuse on Rainbow Trout in Hatcheries. *Prog. Fish-Cult.*, 35, 2-8 (1973).
- 15) R. P. Trussell: The Percent Un-ionized Ammonia in Aqueous Ammonia Solutions at Different pH Levels and Temperatures. *J. Fish. Res. Board Can.*, 29, 1505-1507 (1972).
- 16) K. Emerson, R. C. Russo, R. E. Loud, and R. V. Thurston: Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of pH and Temperature. *J. Fish. Res. Board Can.* 32, 2379-2383 (1975).
- 17) C. E. Smith, and R. G. Piper: Lesions Associated with Chronic Exposure to Ammonia. In *The Pathology of Fishes* (Edited by W. E. Ribelin, and G. Migaki). Univ Wisconsin Press, Madison. pp. 497-514 (1975).
- 18) 能勢健嗣: 魚類のエネルギー代謝, 「魚類の栄養と餌料」(萩野珍吉編), 恒星社厚生閣, 1985, pp. 61-80.
- 19) 佐々木実, 菊池省吾: 海中飼育シロザケの酸素消費量と温度との関係, 「別梓研究さけ海中飼育放流昭和56年度報告」, 東北水研, 1982, pp. 89-93.
- 20) 大渡斉, 山崎隆義: 適正収容量と飼育環境, 「養鱒の研究」, 緑書房, 1976, pp. 20-30.
- 21) 野川秀樹, 八木沢功: サケ稚魚の適正な飼育環境, 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 48, 31-39

(1994).

- 22) H. Westers : Carrying Capacity of Salmonid Hatcheries. *Prog. Fish-Cult.* , **32**, 43-46 (1970).
- 23) G. A. Wedmeyer : Physiological Response of Juvenile Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) to Handling and Crowding Stress in Intensive Fish Culture. *J. Fish. Res. Board. Can.* , **33**, 2699-2702 (1976).
- 24) H. Westers, and K. M. Pratt : Rational Design of Hatcheries for Intensive Salmonid Culture, Based on Metabolic Characteristics. *Prog. Fish-Cult.* , **39**, 157-165 (1977).
- 25) 松島豊 : 「魚と卵」 Tech. Rep. Hokkaidou Salmon Hatchery, **162**, 69-75 (1993).