

飼育ベニザケにおける海水適応能力の季節変化

帰山 雅秀*¹・清水幾太郎*¹・蠣崎 宏*²

Seasonal Changes in Seawater Adaptation of Sockeye Salmon Reared in the Freshwater

Masahide KAERIYAMA*¹, Ikutaro SHIMIZU*¹,
and Hiroshi KAKIZAKI*²

Abstract

Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) 1⁺ and 2⁺ reared in the freshwater were investigated the serum chlorine concentration and the mortality after direct transfer from freshwater to seawater and from seawater to freshwater. The Cl concentration of sockeye salmon 1⁺ increased maximally to 175–180 mEq/l after transfer to seawater for 3days, subsequently decreased and became constant (140–150 mEq/l) 7days after transfer in the winter (January–February). Immediately after the smoltification (from the middle to the late of May), they indicated a maximum osmoregulative ability, and their Cl concentrations reached the seawater-acclimated level (140 mEq/l) 10 hours after transfer to seawater without showing any peak. In this time the maturing male 1⁺ adapted smoothly to seawater. In the summer (August) the sockeye salmon were hard to adapt from freshwater to seawater, and died when the Cl concentration reached over 200 mEq/l. Especially, sockeye 2⁺ had harder adaptability to seawater than 1⁺. There was no significant difference of the Cl concentration in the same developmental stage.

ベニザケ (*Oncorhynchus nerka*) は湖かその上流の河川で産卵し、ほとんどの個体群が浮上後1～2年湖あるいは河川に滞留してから降海行動に移るのに対して、浮上直後に降海する少数の個体群もあり (McDonald 1960, Foerster 1968, French et al. 1976), 生活様式の違いからその生活型は前者が湖沼型あるいは河川型, 後者が海洋型に分けられている (Wood and Riddell 1985)。現在, わが国においてベニザケが自然繁殖している河川はなく, その淡水残留型がヒメマスとして支笏湖や十和田湖などで自然繁殖しあるいは人工再生産されているに過ぎない (徳井 1980)。また, 人工的にベニザケの資源を作出しようという試みが1967年から北海道東部の西別川において行われているが, 現在のところその増殖技術を確立するまでには至っていない。ここでは, ベニザケ資源の作出において最も重要と見なされるスマルト生産技術の観点から, 発育に伴うベニザケの海水適応能力の変化について報告する。

北海道さけ・ますふ化場研究業績第306号

*¹水産庁北海道さけ・ますふ化場 (Hokkaido Salmon Hatchery, Fisheries Agency of Japan, 2-2 Nakanoshima, Toyohira-ku, Sapporo 062 JAPAN)

*²水産庁北海道さけ・ますふ化場千歳支場 (Chitose Branch of Hokkaido Salmon Hatchery, Fisheries Agency of Japan, Rankoshi, Chitose 066 JAPAN)

本文に先立ち、有意義な助言と教示をいただいた北海道さけ・ますふ化場の小林哲夫場長、標本の入手に尽力いただいた真山絃生生態研究室長、採血方法等に関して指導をいただいた野村哲一魚病研究室長および標本の飼育等に尽力いただいた千歳支場の職員各位に深く感謝する。

材料と方法

材料は1984年11月12日十和田湖で受精され、北海道さけ・ますふ化場の八雲事業場および千歳事業場において孵化・飼育管理されたヒメマス産ベニザケを主に用いた。これらは八雲事業場において1985年2月7～13日に孵化し、同年4月25～30日に浮上した後、人工配合餌料により飼育された(水温：7.5～8.5°C)。ベニザケは体重が4gを越えた同年9月13日に千歳事業場に活魚輸送され、飼育が続けられた。千歳事業場における飼育水温は通常8°C(湧水)であるが、スモルト生産技術(真山他 1986)に基づき、冬期間(12月から翌年3月まで)のみ成長抑制のため川水利用により1.4～3.8°Cと低かった。ベニザケは1985年4月下旬から5月上旬にかけて体色の銀白化、背鰭と尾鰭のつま黒化、胸鰭と腹鰭の白色化など、いわゆるスモルト化し、一部を除き5月6、13日に安平川水系美々川へ放流された。また、材料として、上記以外に1983年10月支笏湖で受精され、北海道さけ・ますふ化場実験孵化室において2年飼育されていたベニザケも使用した。ここでは前者を84TN1⁺、そして後者を83SN2⁺と呼称することにする。

ベニザケの海水適応能力は魚を淡水から直接海水へ移行した後の10日間における血清中の塩素イオン濃度を測定することにより判定した。すなわち、淡水で飼育中のベニザケは北海道さけ・ますふ化場実験孵化室に運搬され、流水中(10.3～10.8°C)で2～3日馴致した後、瀑気中の海水(33～34‰)と淡水の円形水槽(容量150L)にそれぞれ50～60個体投入され、所定の時間毎に海水区5個体、淡水区3個体ずつ魚体測定、採血に供された。採血は供試魚を撲殺後直ちに体長と体重を測定して尾柄部を切断し、血液をキャピラリー管からマイクロスピッツ管(0.4ml)に受け、3,000 r. p. m.、10分間遠心分離し血清を得る方法によった。血清中の塩素イオン濃度は採血から30～60分以内に電量滴定法(平沼製クロライド・カウンターCL-6)により測定した。また、14日間海水に放置したベニザケを再び淡水に移行し、24時間後の塩素イオン濃度も併せて測定した。これらの実験は全て絶食状態で、84TN1⁺が1986年1～8月に5回、83SN2⁺が1986年8月に1回それぞれ行った(表1)。なお、5月と8月の実験には魚体測定時に生殖腺重量も測定し、生殖腺指数(GSI, %)を生殖腺重量/体重×100で求めた。

表1 海水適応実験に用いたベニザケ1⁺と2⁺の大きさ、個体数、死亡率および実験時期とその水温

Table 1. Size and mortality of sockeye salmon 1⁺ and 2⁺ after direct transfer from freshwater to seawater for 14 days during January and August in 1986

Date	Water temperature (°C)*1		Fork length*1 (mm)	Body weight*1 (g)	Mortality (%)	Number
	Freshwater	Seawater				
Jan. 24-Feb. 7	10.4±0.4	9.8±1.1	103±9	9.7±2.5	2.0	50
Feb. 27-Mar. 13	10.2±0.4	9.6±0.6	107±7	11.0±2.6	0	55
Apr. 14-28	10.4±0.5	10.1±0.7	112±8	13.1±3.2	0	40
May 19-Jun. 2	10.6±0.6	11.1±1.1	132±6	19.0±2.8	0	45
Aug. 18-30	10.7±0.8	13.2±0.6	146±10	30.2±6.7	100.0	45
			186±11*2	71.3±16.0*2	100.0*2	21*2

*1 Ave. ± S.D.

*2 Sockeye salmon 2⁺

結 果

海水適応能力の季節変化 成長の停滞期に相当する1986年1月24日に海水に投入された84TN1⁺の血清中の塩素イオン濃度は、投入直後から対照区に比べ15~25mEq/l高く、その後も増加を続け、投入3日後に約180mEq/lの最大値を示し、対照区との差は約50mEq/lに及んだ。塩素イオン濃度はその後減少し始め、7日以降には対照区より20mEq/lほど高い、およそ150mEq/lで安定した(図1)。海水へ投入した50個体のベニザケのうち1個体が海水移行3日後に死亡した(表1)。このような塩素イオン濃度の変化は2月27日に海水へ移行したベニザケにおいても観察されたが、海水移行後に死亡する個体は出現しなかった(図1, 表1)。ベニザケ84TN1⁺は4月に入ると再び飼育水温が8°Cに高められ、摂餌も活発になり、4月下旬にはスマルト化した。4月14日に海水へ移行した84TN1⁺の塩素イオン濃度の変動は1~2月に比べて小さく、移行6時間後に対照区より15mEq/l高い約140mEq/lとなり、その後徐々に増加し、移行2日後に対照区より25mEq/l高い約155mEq/lで最大値を示し、移行6日後には140mEq/lで安定し、実験期間中に死亡するベニザケも出現しなかった。形態的には明らかにスマルト変態後とみられる5月19日に海水へ投入されたベニザケの塩素イオン濃度の変動は4月よりさらに小さく、海水移行10時間後に対照区より15mEq/lほど高い約140mEq/lに達し、その水準のまま推移した(図1)。5月においても実験期間中死亡するベニザケは見られなかった。

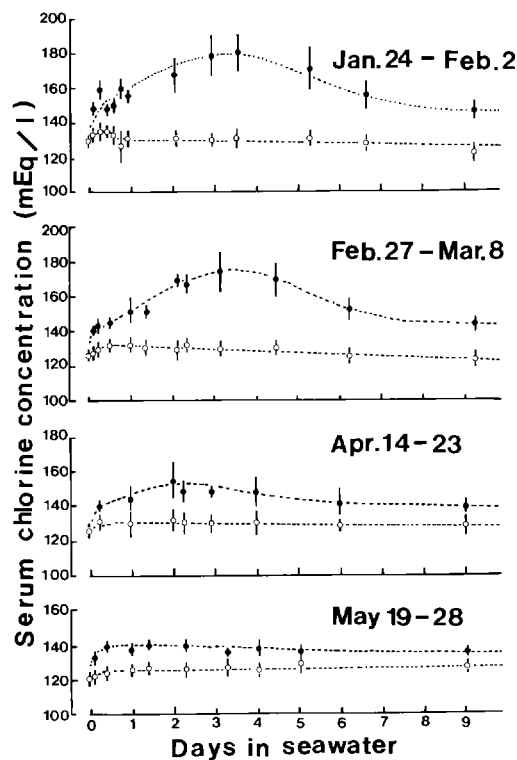


Fig. 1. Changes in average serum chlorine concentrations with standard deviation of sockeye salmon 1⁺ after direct transfer from freshwater to seawater during January and May in 1986. Solid: seawater, Open: freshwater

図1 淡水から海水へ移行したベニザケ1⁺における血清中の塩素イオン濃度の変化

ベニザケ84TN1⁺はそのほとんどが1986年5月に放流されたが、一部は更に飼育され、8月18日に海水に投入された。同時に、83SN2⁺も海水へ移行した。84TN1⁺と83SN2⁺の塩素イオン濃度は海水移行直後から著しく増加し始め、移行3時間後にそれぞれ147.1mEq/lと155.4mEq/l、24時間後にはそれぞれ177.9mEq/lおよび227.7mEq/lに及び、83SN2⁺はそれまでに10個体中4個体が死亡し、さらに移行4日後までに全個体死亡した。84TN1⁺はその後一時小康状態を維持するが、移行6日後より再び増加して190mEq/l前後に達し、移行8日後に2個体、9日後に1個体死亡し、移行12日後までに全個体死亡した(図2)。なお、実験期間中における海水の温度は、1月から5月まで対照区との差が1°C以下と小さいのに対して、8月には2.5°Cほど対照区より高かった。

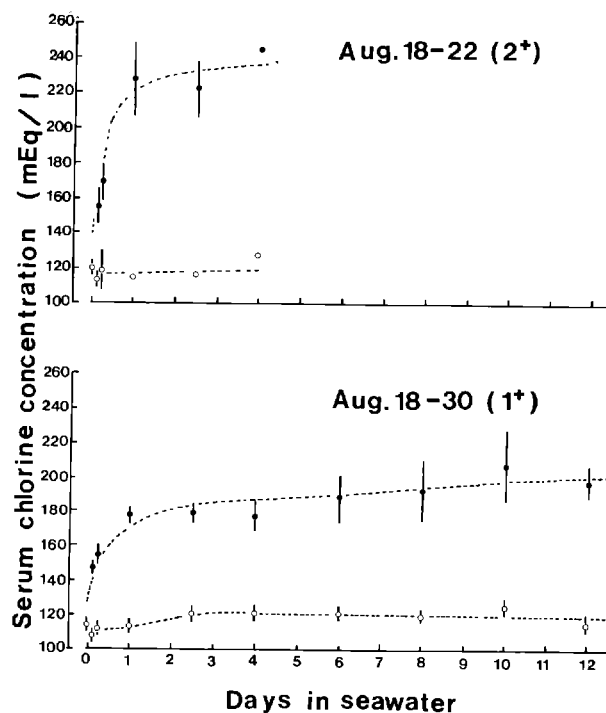


Fig. 2. Changes in average serum chlorine concentrations with standard deviation of sockeye salmon 1⁺ and 2⁺ after direct transfer from freshwater to seawater in August of 1986. Solid: seawater, Open: freshwater

図2 淡水から海水へ移行したベニザケ1⁺と2⁺における血清中の塩素イオン濃度の変化

海水から再び淡水へ移行した場合の塩素イオン濃度の変化 14日間、海水に放置後再び淡水に移行したベニザケの塩素イオン濃度と24時間後の生存率を表2に示した。海水移行14日後の1986年2月7日に再び淡水に投入した84TN1⁺の10個体は24時間後までにその半数が死亡し、生存した個体の塩素イオン濃度も対照区より50mEq/lほど低い72mEq/lであった。3月13日に海水から再び淡水へ移した84TN1⁺は、6個体のうち1個体が24時間以内に死亡した。また、生存した5個体の塩素イオン濃度は淡水移行直前より30mEq/l、また対照区より15mEq/l低い113.1mEq/lを示した。

4月28日に海水から淡水へ再移行した84TN1⁺の24時間後の塩素イオン濃度は対照区より10mEq/lほど高いものの、移行前とほとんど差が見られず、死亡する個体も無かった。6月2日に淡水へ再移行した84TN1⁺

飼育ベニザケにおける海水適応能力の季節変化

表2 海水へ14日間投入後、再び淡水へ移行したベニザケ1⁺の24時間後における血清中の塩素イオン濃度および死亡率
Table 2. Average serum chlorine concentrations with standard deviation and mortality of sockeye salmon 1⁺ at transfer from seawater to freshwater

Date	Serum chlorine concentration (mEq/l)			Mortality (%)
	Seawater* ¹	Freshwater* ²	Control	
Feb. 7-8	153.9±7.6	72.3± 1.6	121.5±2.3	50.0
Mar. 13-14	143.5±4.1	113.1± 6.4	128.3±2.8	6.7
Apr. 28-29	140.0±6.9	142.5±11.4	131.8±6.0	0
Jun. 2-3	135.9±2.4	118.8± 6.8	128.3±0.8	0

*¹14 days after transfer from freshwater to seawater

*²24 hours after transfer from seawater to freshwater

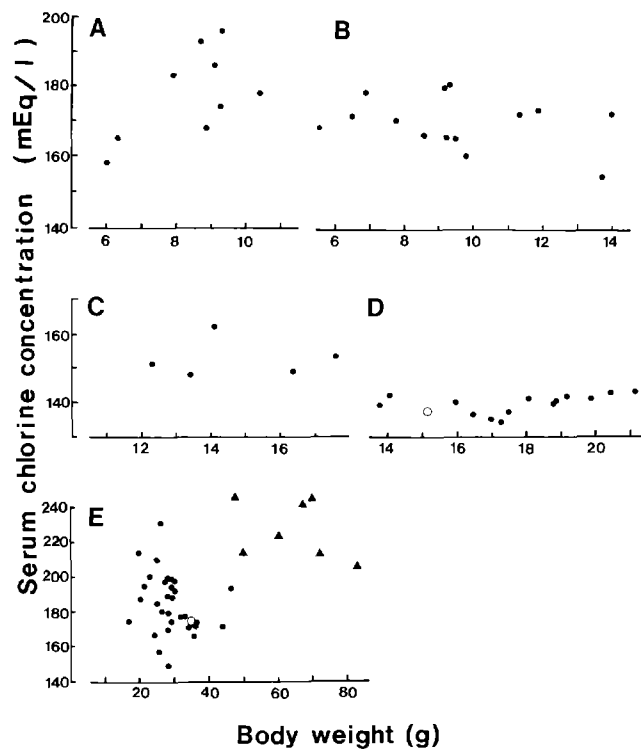


Fig. 3. Relationships between body weight and serum chlorine concentration of sockeye salmon 1⁺ (circles) and 2⁺ (triangles) at increasing maximally after transfer from freshwater to seawater. A: January 26-27, B: February 1-3, C: April 16, D: May 19-20, E: August 18-22, Open: maturing male, Solid: immature male and female

図3 淡水から海水へ移行したベニザケ1⁺と2⁺における体重と血清中の塩素イオン濃度の関係

においても同じ傾向を示したが、ベニザケの塩素イオン濃度は移行前に比べて17mEq/l, 対照区より10mEq/lほど低かった。

8月の84TN1⁺と83SN2⁺は海水移行14日までに全ての個体が死亡したため、海水から淡水への再移行実験は出来なかった。

大きさおよび成熟度合による塩素イオン濃度の相違 海水移行後、塩素イオン濃度の最大時期におけるベニザケの体重と血清中の塩素イオン濃度との関係を図3に示した。海水移行後71~95時間における1月27~28日のベニザケには体重と塩素イオン濃度との間に弱い正の相関が見られるものの ($r=0.600$, $0.05 < P < 0.10$), 他の時期のベニザケには両者に全く相関が認められなかった ($|r| < 0.3$, $P > 0.1$)。

5月の放流時における84TN1⁺雌の生殖腺指数 (GSI) は約0.04~0.15%の範囲内であったのに対して、雄はGSIが0.04%以下のほとんどの個体 (未成熟型雄) と比較的成熟が進んでいる0.15%以上のGSIを示す少数個体 (成熟型雄) とに分かれた (図4)。5月19~28日における84TN1⁺の血清中の塩素イオン濃度は雌が $138.2 \pm 3.0 \text{ mEq/l}$ ($n=26$), 未成熟型雄が $136.6 \pm 3.2 \text{ mEq/l}$ ($n=14$), そして成熟型雄が 137.3 mEq/l ($n=1$) を示し、3者に有意な差は認められなかった ($P > 0.1$)。また、8月18~30日における84TN1⁺の塩素イオン濃度は雌が $193.3 \pm 15.3 \text{ mEq/l}$ ($n=26$), 未成熟型雄が $179.1 \pm 20.9 \text{ mEq/l}$ ($n=19$) および成熟型雄が 174.3

mEq/l ($n=1$) となり、雄の成熟型と未成熟型とに差は見られないものの ($P > 0.3$), 明らかに雌の塩素イオン濃度の方が雄に比べて高い傾向を示した ($P < 0.005$)。8月18~22日の83SN2⁺の血清中の塩素イオン濃度は雌が $225.6 \pm 20.0 \text{ mEq/l}$ ($n=12$), 未成熟型雄が $224.0 \pm 18.1 \text{ mEq/l}$ ($n=9$) を示し、両者に有意な差は見られなかった ($P > 0.8$)。

考 察

以上の結果から明らかなように、淡水飼育したベニザケ1⁺の海水適応能力には季節的变化が見られる。McInerney (1964) はサケ属魚類5種の海水嗜好性を調べ、ベニザケが浮上直後の稚魚期にすでに海水嗜好性を有しており、その嗜好性が6月まで持続するものの、9月から翌年1月には淡水嗜好に変化し、スモルト期の5月から7月初旬に再び高い海水嗜好性を示すと述べている。また、Baggerman (1960) も同様な結果を報告しているが、8月から10月のベニザケ1⁺は海水および淡水の両方に嗜好性を示さないことを明らかにしている。今回得られた実験結果では、ベニザケは、スモルト直後に最も高い海水適応能力を示し、海水から淡水への逆馴致にもスムーズに移行できることから、この時期に高い浸透圧調節能を有し、様々な生息環境

への適応能力に優れていることを示唆している。また、冬期間においても、長時間を要し、高い血清中の塩素イオン濃度を示しながらも海水へ馴致する個体が多かったことと、少数ではあるが5月に出現した成熟型雄も海水へ馴致することは、ベニザケの海水への馴致能力がサクラマスと異なり (野村・大熊 1983, 小島 1983, 小島・泉 1985), スモルト期以外のより広い発育段階にも及ぶことを示している。

サケ科魚類の大きさと海水適応能力あるいは海水嗜好性との関係において、サケでは成長に伴って海水適応能力が増加するという報告 (Houston 1961, 中野他 1985, 高橋 1986) と、それとは逆に成長に伴って浸透圧調節能が低下するという報告 (Iwata et al. 1982) がある。小島・泉 (1985) は、スモルト期のサクラマスでは大きい個体ほど海水適応能力に優れていると述べている。スチールヘッド・トラウトでは大型の

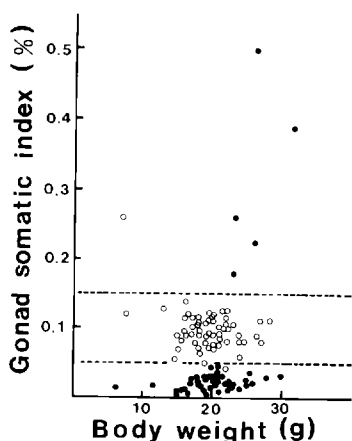


Fig. 4. Relationship between body weight and gonad somatic index of sockeye salmon 1⁺ released in the Bibi River on May 6, 13 of 1986. Solid: male, Open: female

図4 1986年5月6, 13日, 安平川水系美々川に放流されたベニザケ1⁺の体重と生殖腺指数の関係

post-smolt より smolt の方が海水への適応が早く、塩素イオン濃度の低いことが報告されている (Houston 1961)。今回得られたベニザケの体重と血清中の塩素イオン濃度との関係において、同じ発育段階のベニザケでは1月の実験結果を除いて両者に明瞭な相関は認められなかった。一方、ベニザケはサクラマスと同様(野村・大熊 1983)に血清中の塩素イオン濃度が200mEq/l を越えると死亡するが、8月の実験結果に見られるように、1⁺より淡水生活期間の長い2⁺の方が海水に対する適応能力に劣ることがうかがわれた。これらのことから、ベニザケの海水適応能力は同じ発育段階では体の大きさによって差が見られないものの、淡水生活期間の長さに応じて変化するものと考えられる。

引用文献

- Baggerman, B. (1960): Salinity preference, thyroid activity and the seaward migration of four species of Pacific salmon (*Oncorhynchus*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **17**(3), 295-322.
- Foerster, R. E. (1968): The sockeye salmon. *Fish. Res. Bd. Can. Bull.*, (162), xv+422.
- French, R., H. Hilton, M. Osako, and A. Hartt (1976): Distribution and origin of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in offshore waters of the north Pacific ocean. *INPFC Bull.*, (34), 1-113.
- Houston, A. H. (1961): Influence of size upon the adaptation of steelhead trout (*Salmo gairdneri*) and chum salmon (*Oncorhynchus keta*) to sea water. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **18**(3), 401-415.
- Iwata, M., S. Hasegawa, and T. Hirano (1982): Decreased seawater adaptability of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry following prolonged rearing in freshwater. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **39**(3), 509-514.
- 小島 博 (1983): 河川の天然サクラマス幼魚血清ナトリウム濃度の変動. 道立水研研報, (38), 75-84.
- 小島 博・泉 孝行 (1985): 天然サクラマス幼魚のスマルト変態過程における海水適応能の変化. 道立水研研報, (40), 77-86.
- 真山 紘・大熊一正・野村哲一(1986): サクラマスのスマルト化幼魚の標識放流試験—1985年における回帰一. 大型別枠研究サクラマス研究グループレポート, (6), 82-91. 北海道さけ・ますふ化場.
- McDonald, J. (1960): The Behaviour of Pacific salmon fry during their downstream migration to the freshwater and salt water nursery areas. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **17**(5), 655-676.
- McInerney, J. E. (1964): Salinity preference: an orientation mechanism in salmon migration. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **21**(5), 995-1018.
- 中野 広: 安藤義秀・白旗総一郎 (1985): サケ稚魚の浸透圧調節能力について. 北水研報告, (50), 87-92.
- 野村哲一・大熊一正 (1983): 天然スマルトの生理生態. 大型別枠研究サクラマス研究グループレポート, (3), 82-91. 北海道さけ・ますふ化場.
- 高橋清孝 (1986): 各種濃度海水に対するシロサケ *Oncorhynchus keta* 稚魚の反応. 宮城水試研報, (11), 59-80.
- 徳井利信 (1980): ヒメマス—適湖適魚. 日本の淡水生物—侵略と攪乱の生態学 (川合禎次・川那部浩哉・水野信彦編), 第1版, p. 71-78. 東海大学出版会, 東京.
- Wood, C. C. and B. E. Riddell (1985): Alternative juvenile life histories of sockeye salmon and their contribution to production in the Stikine River, Northern British Columbia. Abstract of "Sockeye'85: International sockeye salmon symposium", 11-12. Canada Department of Fisheries and Oceans.