

海洋深層水で飼育されたニジマス *Oncorhynchus mykiss* の生残および成長

Survival and growth of rainbow trout
Oncorhynchus mykiss reared in deep seawater

岡本 一利・高瀬 進
Kazutoshi OKAMOTO and Susumu TAKASE

Abstract

Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, were reared in flowing deep seawater (DSW) pumped from a depth of 687 m in Suruga Bay. One hundred and eleven alive fishes (8.6 cm in fork length (FL) in average), cultured in freshwater (FW) for 9 months, were used for this experiment. These fishes were moved to 100 % DSW on the 3rd day after acclimated in mixed waters (1/2 and 3/4 in DSW/FW ratios, 16.5 °C) by adding DSW every day. They were reared at a temperature of 14.7 °C for 330 days by feeding sufficient amounts of formula food daily. The survival rate of fish decreased from the 2nd to 6th day (particularly on the 4th day) but thereafter became stable (27.9 % on the 7th day). The fishes were considered to be successfully acclimated to DSW after 7days because of their stability of survival, silver to white (smolting) body color and good appetite. The survival rates after initial depletion in three size classes (<8 cm, 8-11 cm and ≥11 cm in FL) were 0, 39.7 and 100 %, respectively. Of the 31 acclimated fishes, 9 fishes (29 %) survived 330 (323) days after the start (completion) of acclimation. At the end of culture, alive fishes attained an average FL of 32.9 cm, which was larger than the commercial size in FW culture. Their body colour was silver to white, which was different from those obtained in FW culture. Although some techniques should be revised, these data and the estimated growth and survival patterns in the cases of acclimating larger juveniles (11 and 15 cm in FL) demonstrated the possibility of rainbow trout aquaculture using DSW. Because of its clean, cold and stable nature, use of DSW will support the health of cultured fish (i.e., decrease of pharmaceuticals against fish diseases) and in turn the safety as food.

Key Words: Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, Deep seawater, Survival, Growth, Aquaculture, Acclimation.

要 旨

海洋深層水（以下、深層水）を利用した養殖化の観点から、通常、淡水で養殖されるニジマスの飼育実験を行った。ふ化してから約9ヶ月間淡水で飼育された平均尾叉長8.6 cm、平均体重9.5 gのニジマス111個体を、深層水へ徐々に馴致しながら飼育を開始した。生残率の推移、体色、摂餌行動より、飼育ニジマスは1週間で深層水に馴致したと判断した。飼育開始7日後までの生残数は31個体で、サイズ別生残率は、尾叉長8 cm未満が0 %、尾叉長8 cm以上11 cm未満が39.7 %、尾叉長11 cm以上が100 %であった。飼育開始330日後には9個体が生き残り、平均尾叉長32.9 cm、平均体重628.6 gで、飼料効率は55.6 %、体色は銀色を呈し、通常の淡水養殖の出荷サイズを超えるサイズまでの飼育に成功した。今回の飼育結果に基づき、深層水でニジマスを養殖する場合の飼育開始から出荷目標サイズまでの所要日数と歩留まりについて推定した。海洋深層水の低温性、清浄性、高塩分により、新タイプの商品の養殖生産が可能であることが示唆された。

キーワード：ニジマス、海洋深層水、生残、成長、養殖、馴致

緒 言

ニジマス *Oncorhynchus mykiss* は、国内の内水面養殖生産量約5万トンのうち約1万トンの生産量を占める重要なサケ科魚類である。本種は淡水の流水池などにおいて養殖され、大量の湧水や水温の低い河川水を必要とする（大渡，1993）。しかし、近年、各地で養殖環境が悪化しているばかりでなく、新しい病原体の侵入等による魚病も発生している。養殖生産において、魚病による被害は深刻で、それに対処するための手段の一つとして医薬品が使用されているのが現状である（社団法人日本水産資源保護協会，1988）。病気を予防するためには良好な飼育環境の確保、また、食品としての安全性の面からは医薬品に頼らない養殖技術が求められている。

海洋深層水（以下、深層水という）は、病原菌、細菌数、有害な汚染物質などが少ない‘清浄性’、周年を通して水温が低い‘低水温性’、水質の変動が小さい‘水質安定性’等の水質特性を有する（中島，2002）。例えば、水深350～700mの駿河湾深層水では、生菌数は表層水の約100分の1、水温は約5～10°C、塩分は34psu以上である（安川ら，2002）。

ニジマスは、淡水で養殖されてはいるが、河川と海を回遊する習性もあり、清浄性の面で優れた深層水を使用すれば飼育水への医薬品の添加が不要になると期待される。ハワイでは深層水を用いた本種の飼育試験が行われており、成熟や産卵が確認されている（Katase *et al.*, 1988）が、生残や成長に関するデータは示されていない。また、ニジマス以外の魚類についても、深層水を利用した飼育事例は多数ある（村田ら，1996；Inoue *et al.*, 1998a；Inoue *et al.*, 1998b；森岡・堀田，2001；中島，2002；森岡・堀田，2005）が、養殖が事業化された事例はみあたらない。そこで、今回、深層水を利用した魚類養殖産業創出の可能性を見出す目的で、淡水飼育中のニジマスを海洋深層水に移行して飼育し、生残と成長に関する知見を得たので報告する。

2. 材料および方法

静岡県水産試験場富士養鱈場において2003年10月23日に採卵し淡水で飼育していたニジマス111個体を、翌2004年7月22日に同水産試験場の駿河湾深層水水産利用施設へ搬入した。輸送は70lの容器2個にニジマスを収容して行い、所要時間は1時間30分、輸送開始前と終了時の水温はそれぞれ10.7°C、16.2°Cであった。搬入したニジマスは、平均体重9.5g、平均尾叉長8.6cm、総重量1055gで、これを以下のように、馴致しながら段階的に深層水に移行した。まず、500l容ポリカーボネイト製水槽1個に水道水300lを3日間汲み置きし、輸送当日に深層水（水深687mから取水）を100l加えて1/4深層水条件を設けた。輸送後、この水槽にニジマスを収容し、ウォーターパス方式により水温16.5°Cに調節した。1日後、飼育水の半量を排水し、深層水約100lを加えて1/2深層水条件とした。2日後には、この飼育水の半量を排水して深層水約150lを加え、3/4深層水条件とした。3日後、深層水を汲んだ3.5トン容水槽にニジマスを移し換えて100%深層水条件とした。以降は表層海水やボイラー加温水の熱源水と熱交換した深層水を約5回転/日程度の換水率となるように注入することにより、水温を平均14.7(13.0～15.8)°Cに調節し、水槽内を流水状態とした。実験開始228日後に20トン容水槽にニジマスを移し換え、実験開始330日後まで飼育した。

餌料はニジマス用配合飼料（富士製粉株式会社製、富士養鱈用配合飼料）を、飼育魚の生残数や平均体重、へい死魚数やその体重により調整しながら、給餌率表の分量を参考に実験開始時から終了時まで毎日3-4回に分けて投与した。実験中、生残状況を確認するとともに、隨時、尾叉長、体重を測定した。実験終了後、試験場職員5人により飼育魚の刺身試食試験を行なった。

3. 結果および考察

輸送中、ニジマスのへい死個体はなく、111個体

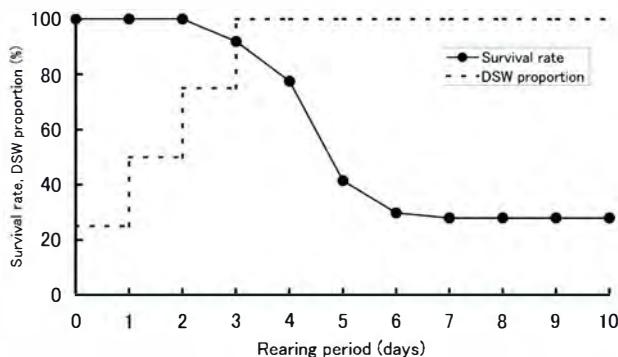


Fig. 1. Daily changes in the survival rate of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and the proportion of deep seawater (DSW) in rearing water (fresh water and DSW) for 10 days after the experiment was initiated.

すべてについて 1/4 海洋深層水条件で飼育を開始した。1/4 深層水条件で飼育を開始（以下、飼育開始という）してから 10 日間のニジマスの生残率の推移を Fig. 1 に示した。飼育開始 1, 2 日後、す

なわち 1/4 および 1/2 深層水条件においては、へい死個体は認められず、生残率は 100 % であった。3 日後、すなわち 3/4 深層水条件において生残率が 91.9 % となり、100 % 深層水条件となった 4 日後から生残率は著しく低下し、7 日後には 27.9 % となった。この後、生残率は安定した。

ニジマスの体色は、飼育開始時にはパーマークが認められていた (Fig. 2A) が、飼育開始 3 日後 (3/4 深層水条件) 以降は銀色を呈し始めた。摂餌行動は、飼育開始時には活発であったが、飼育開始 3 日後以降は不活発になった。しかし、6 日後頃から再び摂餌行動が確認されるようになり、8 日後には約半数の個体に活発な摂餌行動が認められ、11 日後以降、全体に飼育開始時の活発さに回復した。以上の生残率の推移、体色および摂餌行動の変化より、飼育ニジマスが 1 週間で深層水に馴致したことが示唆された。

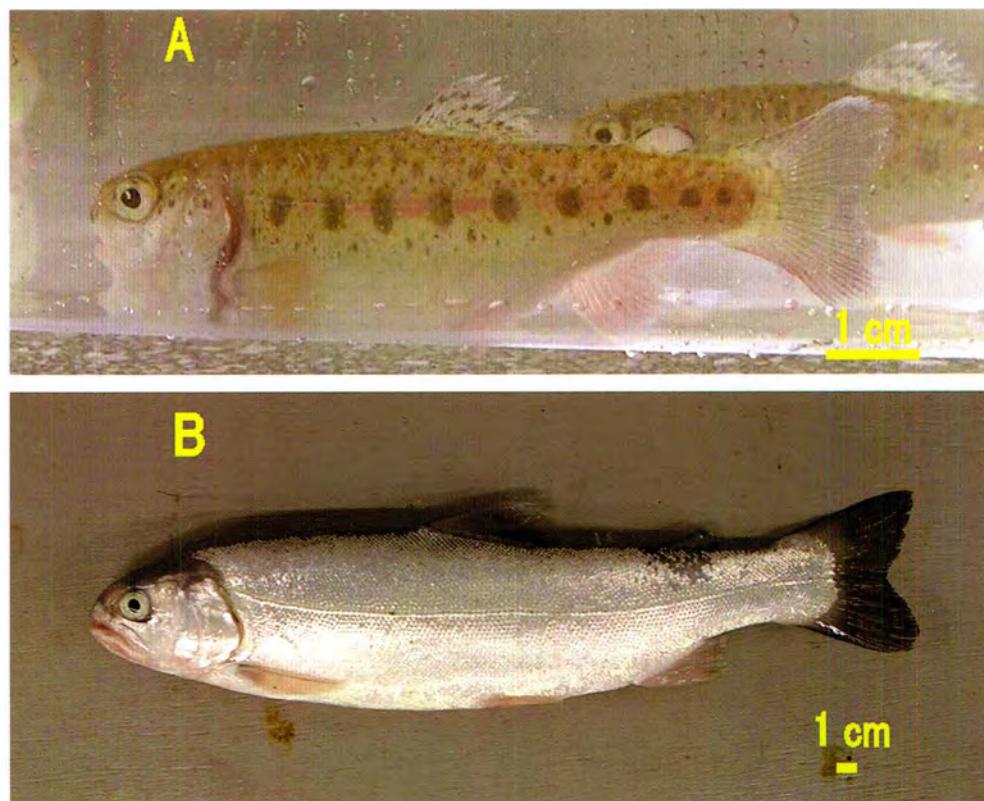


Fig. 2. Rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* before (A) and after (B) rearing in the deep seawater. A: A fish (FL 8.6 cm, BW 9.5 g on average) that had been cultured in freshwater (FW) for 9 months, with yellow-green body color, parr marks and a vague pink blush and a large number of small dark spots. B: A fish (FL 32.9 cm, BW 628.6 g on average) that was harvested 330 days after rearing in deep seawater, with silver-white body color (smolting).

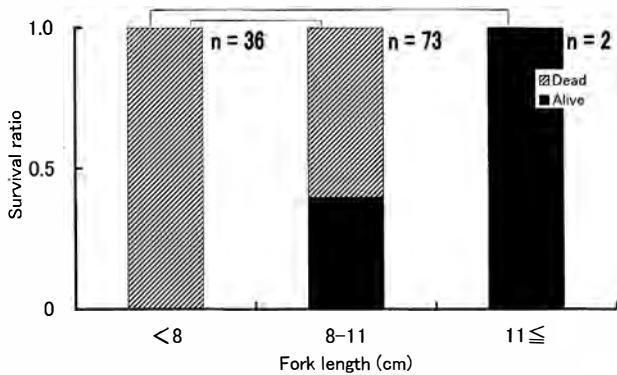


Fig. 3. Survivorship of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in three fork length classes, 7 days after gradual acclimation from freshwater to deep seawater. Bars indicate significant differences (Fisher's exact-test, $p < 0.01$).

飼育開始 7 日後における尾叉長別の生残・へい死割合を Fig. 3 に示した。生残総数は 31 個体、へい死総数は 80 個体であった。尾叉長 8 cm 未満はすべてへい死した。尾叉長 8 cm 以上 11 cm 未満の生残率は 39.7 %, 尾叉長 11 cm 以上の生残率は 100 % であり、両者の生残率は尾叉長 8 cm 未満のものと比較して明らかに高かった (Fisher's exact-test, $p < 0.01$)。深層水へ馴致する場合には尾叉長 11 cm 以上が適していると示唆された。

Fig. 4 には深層水馴致後のニジマスの生残率、尾叉長の推移を示した。ここでは飼育開始 7 日後の生残率を 100 % として表した。飼育開始 50 日後に 90.3 %, 100 日後に 58.1 %, 200 日後に 45.2 %, 330 日後(実験終了時, 馴致 323 日後)に 29 % と低下傾向を示し、最終生残個体は 9 個体であった。飼育期間中、飼育水槽からの飛び出し事故によるへい死が 2 個体確認された(飼育開始 213, 222 日後)。それ以外のへい死個体は、すべて遊泳行動が鈍くなり最後に水槽底に横たわる症状を示したが、明らかに病気とみなせるようなへい死は特に認められなかった。平均尾叉長は、飼育開始日に 8.6 cm, 29 日後に 10.6 cm, 64 日後に 13.8 cm, 97 日後に 16.5 cm, 330 日後(実験終了時)に 32.9 cm であった。330 日後の魚体は Fig. 2B に示した通りで、体色は銀色を呈し、黒点は認められず、スマルト化が認められた。飼育日数(x)と平均尾叉長(y)の関係は、 $y = 0.0728x + 8.9744$ ($R^2 = 0.9982$, $n = 4$)

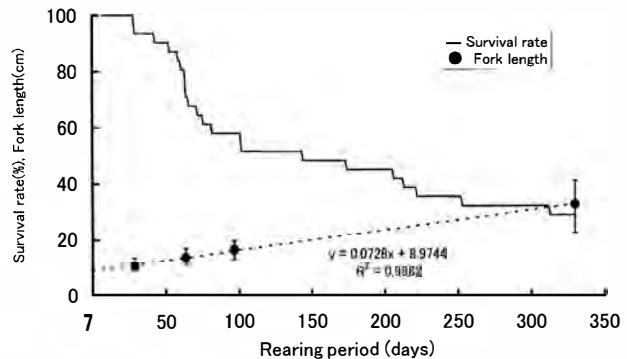


Fig. 4. Changes in the survival rate and fork length of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared in deep seawater from 7 days (after acclimation) to 330 days after the experiment was initiated. Bars indicate the maximum and minimum values.

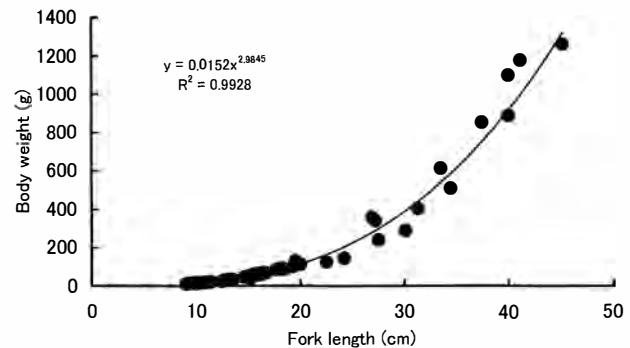


Fig. 5. Relationship between fork length and body weight of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared in deep seawater.

で表すことができた。

飼育魚の総重量は、飼育開始 7 日後に 378.2 g (31 個体), 29 日後に 512 g (29 個体), 97 日後に 1284 g (18 個体), 330 日後(実験終了時)に 5657.4 g (9 個体) であった。実験終了時の 1 個体あたりの体重は 125.1~1180.5 (平均 628.6) g で、深層水で従来の淡水飼育の出荷サイズ (100~200 g) 以上に飼育することに成功した。飼育開始 7 日後から実験終了までの増重量は 5279.2 g, 給餌量は 9496.8 g, 飼料効率は 55.6 % であった。飼育個体及びへい死個体の尾叉長と体重の関係を Fig. 5 に示した。尾叉長(x)と体重(y)の関係は、 $y = 0.0152x^{2.9845}$ ($R^2 = 0.9928$, $n = 65$) で表すことができた。

Fig. 4 および Fig. 5 の結果をもとに、飼育

Table 1. Estimate of periods and survivals from the initial size to the harvest size on rearing under the deep seawater condition.

| Initial size | | Harvest size | | Rearing period ² (days) | Survival rate ² (%) |
|----------------|-------------------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Fork length cm | (Weight ¹ g) | Weight g | (Fork length ¹ cm) | | |
| 11 | (19.5) | 100 | (19.0) | 110 | 55.2 |
| | | 150 | (21.8) | 148 | 48.3 |
| | | 200 | (24.0) | 178 | 44.8 |
| 15 | (49.2) | 100 | (19.0) | 55 | 88.9 |
| | | 150 | (21.8) | 93 | 77.8 |
| | | 200 | (24.0) | 123 | 72.2 |

¹: Estimated by Fig. 5.²: Estimated by Fig. 4.

目標サイズまでの所要日数と歩留まりを求め、その概要を Table 1 に示した。尾叉長 11 cm (体重 19.5 g) のニジマスを海洋深層水で飼育した場合、100 g まで飼育するための所要日数は 110 日で歩留まりが 55.2 %となり、150 g までは所要日数 148 日、歩留まり 48.3 %、200 g までは所要日数 178 日、歩留まり 44.8 %と推定された。同様に、尾叉長 15 cm (体重 49.2 g) のニジマスを深層水で飼育した場合、100 g までは所要日数 55 日、歩留まり 88.9 %、150 g サイズまでは所要日数 93 日、歩留まり 77.8 %、200 g サイズまでは所要日数 123 日、歩留まり 72.2 %と推定された。

ニジマスは、淡水飼育の場合、ウィルス病などの発生がなければ体重 10 g から 700 g までの生残率が約 95 %とされているので（大渡、1993），今回、深層水飼育で得られた生残率 29 %は明らかに低い。しかし、淡水では水温 15 °Cにおいて体重 20 g から 150 g までに成長するのに約 170 日かかるとされており（大渡、1993），今回推定された 147 日（Table 1）はこれと比べて遜色なく、成長に関しては淡水飼育と同等であったと推察される。表層海水による飼育事例としては、大型サイズからの飼育例しか見当たらないが、それによると体重 111 g から 368 g までの所要日数は 128 日間で生残率は 29.1 %、143 g から 723 g までの所要日数は 140 日間で生残率 85 %とされている（花田ら、1987, 1988）。今回の結果より推定すると、111 g から 368 g までの所要日数は 133 日間で生残率は 66.7

%であり、生残・成長は表層海水飼育と同等と推察される。飼料効率は、淡水飼育で 65 %（大渡、1993），表層海水で 49～59 %とされ（花田ら、1987, 1988），今回の 55.6 %と同等であった。いずれにしても、淡水飼育、表層海水飼育および深層水飼育の間でニジマスの生残や成長を厳密に比較するには、飼育水温、飼育サイズ、飼育飼料等の条件をそろえて検討する必要がある。さらには、表層海水や深層水などの高塩分環境下において飼育しやすい系群の探索により生残率を向上させることも今後の検討課題である。

刺身試食試験の結果、「臭みがない」、「脂が甘い」、「くどくない」、「身はきれいなオレンジ色」、「柔らかい」、「油があるがあっさりしている」、「食べやすい」、「淡水魚というよりは海水魚の食感である」との評価を得た（Table 2）。これについても、淡水飼育されたニジマスとの同時比較ではないので、今後詳細に試験を行なう必要がある。

ニジマスの飼育に適した水温範囲は 13～18 °C とされている（大渡、1993）が、日本沿岸の表層海水は夏季水温が 20 °C 以上になる場合が多く、越夏や周年飼育が困難である。今回の飼育実験では、深層水の特徴の一つである低温安定性がニジマスの飼育を可能にしたと考えられる。汚染物質が少ない深層水を利用し、医薬品等の投与を行う必要がないため、今回のニジマスは食品として高い安全性が確保されている。表層海水では、「清浄性」は確保されず、深層水の特徴の一つである清浄性も、ニジマス

Table 2. Results of 'sashimi tasting tests' of *Oncorhynchus mykiss* cultured in deep seawater for 330 days.

| Testee* | Comment given in free style |
|---------|---|
| A | Not smelly, Oily but not heavy, Not the taste of freshwater fish but marine fish. |
| B | Not smelly, Oily but light. |
| C | Good to eat, Soft meat. |
| D | Not smelly, Not heavy. |
| E | Oily but not heavy, Meat of beautiful orange color. |

*Researchers working in Shizuoka Prefectural Fisheries Experiment Station.

の飼育および食品価値に好影響を及ぼすと考えられた。実験終了時のニジマスの体色は銀色を呈し黒点が認められず、緑褐色を呈し黒点を有する淡水養殖のニジマスとは、明らかに異なっていた。海産サケ科魚類は、淡水産のものと比較して呈味成分の一種である遊離アミノ酸が多い等、食品の視点から見て異なる特徴をもっており（村田ら, 1998）、30 psu以上の塩分条件下の深層水で飼育された今回のニジマスについても、同様に食品として付加価値がつくと推察される。ニジマスは内水面養殖が盛んであるため、種苗の確保が容易であり、深層水で飼育されたニジマスも、釣堀等の観光用としても利用可能である。以上、深層水を飼育水に利用した新たな養殖の可能性が示唆され、新産業の創出に役立つことが期待される。

謝 辞

ニジマスの入手にご協力頂いた静岡県水産試験場富士養鱈場 安井 港前分場長（現同水試利用普及部）、中村永介氏、川合範明氏、および飼育にご協力頂いた同水試駿河湾深層水水産利用施設職員の方々に深く感謝します。

文 献

大渡 齊（1993）ニジマス新水産学全集 16 淡水養殖技術。恒星社厚生閣、東京、pp. 268-291.
 Katase, S. A., A. W. Fast and D. K. Barclay (1998) Induced maturation, ovulation, and spawning of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in an OTEC seawater system. OTEC Aquaculture in Hawaii, 132-142.

- 村田 修・高橋範行・亀島長治・矢田 茂・来田秀雄・熊井英水（1996）深層水によるヒラメの飼育. Bull. Fish. Lab. Kinki Univ., 5, 125-130.
 中島敏光（2002）－21世紀の循環型資源－海洋深層水の利用. 緑書房、東京、263 pp.
 花田 博・上村信夫・上原正道・吉田正勝（1987）アマゴおよびドナルドソン系ニジマスの海水での飼育. 昭和61年度静岡栽漁事報、56-59.
 花田 博・上村信夫・吉田正勝（1988）アマゴおよびドナルドソン系ニジマスの海水での飼育. 昭和62年度静岡栽漁事報、67-70.
 Inoue, K., K. Morioka, I. Shioya, T. Mitsuboshi, Y. Itoh, A. Obatake and M. Satake (1998a) Short-term rearing of red sea bream in deep seawater and its effects on rigor mortis. Fish. Sci., 64, 798-803.
 Inoue, K., K. Morioka, I. Shioya, T. Mitsuboshi, Y. Itoh, A. Obatake and M. Satake (1998b) Effects of deep seawater acclimation on components and texture of the muscle of red sea bream. Fish. Sci., 64, 804-807.
 村田裕子・金庭正樹・山下由美子・飯田 遥・横山雅仁（1998）サケ科魚類可食部中の遊離アミノ酸組成. 中央水研研報、11, 65-73.
 森岡泰三・堀田和夫（2001）海洋深層水で飼育されたハタハタの成熟と産卵. 海深研, 2, 65-71.
 森岡泰三・堀田和夫（2005）海洋深層水を用いて飼育したハタハタ *Arctoscopus japonicus* 親魚の産卵とふ化制御. 海深研, 6, 19-29.
 社団法人 日本水産資源保護協会（1988）魚類防疫技術書シリーズ VI マス類の魚病. 東京, 68 pp.
 安川岳志・筒井浩之・三森智裕・黒山順二・豊田孝義・中島敏光（2002）駿河湾海洋深層水取水予定海域における海水特性. 海深研, 3, 77-82.

(2006. 6. 19 受付, 2006. 10. 17 受理)