魚と水 Uo to Mizu (45-1) : 10-13, 2008

＜サケマスプロジェクト・サクラマス部会 業績集＞

池産サクラマススモルトの種苗性に与えるクエン酸鉄添加餌料の効果

水野伸也・三坂尚行・安藤大成・虎尾充・卜部浩一・北村隆也

サクラマスは北海道で重要な沿岸漁業資源の一つとなっていますが、その漁獲量は年々減少しています (Nagata and Kaeriyama, 2003)。本種の沿岸資源増大を目的として、池産スモルト（河川から海洋へ回遊する過程の幼魚）種苗の放流事業がこれまで行われていますが（真山, 1992)、目立った回帰率向上には至っていません。この問題を解決する一つの方策は、質（種苗性）の良い種苗を作出し放流することです。しかし、これまで北海道内で、池産スモルトの種苗性向上に成功した例はありません。

降海型サケ科魚類の幼魚は河川（淡水環境）から海洋（海水環境）へ回遊する時、その生残率が低下することが知られています (Bax, 1983)。この原因の一つは海鳥や大型魚類による捕食であり (Nagasawa, 1998; Kawamura and Kudo, 2000)、この場合、幼魚の生残は捕食者から逃避するための遊泳能力（最大遊泳速度）に依存すると考えられています (Jayne and Lauder, 1983)。最大速度遊泳は呼吸能力に依存しており、呼吸に必要な酸素を血液中で運搬するタンパク（ヘモグロビン）の量にも影響を受けます (Pearson and Stevens, 1991)。池産魚は高密度飼育や流速が遅い等の飼育管理上のストレスを受け、この影響で遊泳能力や血中ヘモグロビン量が低下していると考えられます (Woodword and Smith, 1985)。一般に血中ヘモグロビン量を増加させるためには、餌料への鉄剤添加が有効だと知られています (Kawatsu, 1972; 池田ら, 1973; Sakamoto and Yone, 1978; Carriquiriborde et al., 2004)。しかし、池産スモルトにおいてこの鉄剤添加が遊泳能力向上に影響を与えるかどうかはわかっていません。そこで本研究では、池産サクラマススモルトの種苗性向上を目的として、最大遊泳速度及び生理状態に与えるクエン酸鉄添加餌料の効果を調べました。

方　　法

2003年1月28日に北海道立水産孵化場道南支場（当時は熊石支場）で飼育されていた120尾の1+魚を40尾ずつ3群（対照群、鉄添加群①、鉄添加群②）に分け、各々の群を0.24m^{3}のポリカーボネート製タンクに収容しました。対照群にはビタミンE（ユベラフード100：エーザイ）および市販フィードオイル（フィードオイル：日本科学飼料研究所）をそれぞれ内割で0.5%、5%添加した市販さけ・ます用配合餌料を、鉄添加群①,②には餌料添加物及び食品添加物として指定を受けているクエン酸鉄をそれぞれ内割で0.25%、0.75%添加した対照群の餌料を与えました。各群に与えた餌料1kgに含有される総鉄量を調べたところ、対照群 0.8g、鉄添加群① 1.5g、鉄添加群② 3.2gでした。飼育は2003年1月28日から5月8日までの期間、見市川（二海郡八雲町熊石）の河川水を用いて流水条件下で行い、この期間中の水温は 1.0ー8.9℃の範囲内にありました。給餌では、毎日各群に飽食量を与え、餌料効率を算出するため毎日の各群の給餌量を記録しました。また、飼育期間中の生残率を求めるため、毎日の各群の斃死尾数を調べました。1月28日、2月26日、4月24日および5月8日に各群から適宜幼魚をサンプリングし、この日程と合わせ見市川から天然サクラマス幼魚の捕獲を行いました。サンプリングでは、幼魚を麻酔後、尾叉体長(FL)および体重(BW)の測定に供すると共に、血液と鰓の採取に用いました。5月8日には、これらの作業に加え胃内容物のサンプリングと最大遊泳速度の測定を行いました。最大遊泳速度の測定は小林・大熊(1993)の方法に従い、スタミナトンネルを用いて行いました。このスタミナトンネルはサケの遊泳力測定を目的として作成されていたため、本試験にはトンネル部分の口径を3.5cm、長径を55cmに改良したものを用いました。この装置を用いた場合の遊泳速度は以下の回帰式によって算出され、遊泳速度の測定範囲は 0〜140cm/秒でした。

$V = 8.73 \times H^{0.519}$ [V: 遊泳速度(cm/秒); H:ドレインパイプ排水口とトンネル部分の落差(cm)]

肥満度(CF)は、$CF = 100 \times BW(g) / FL(cm)^3$ のとおり計算されました。血液はヘマトクリット(Ht)（全血液に占める赤血球の割合；百分率)、ヘモグロビン量 (Hb)、赤血球数の測定に用い、これらデータから平均赤血球ヘモグロビン濃度(MCHC)を $MCHC = Hb\ (g/dL) / Ht\ (\%)$ のとおり求めました。また、胃内容物はフェナントロリン法に従った総鉄量の測定に、鰓は海水適応能の指標として利用される Na^+,K^+-ATPase 活性の測定 (Mizuno et al., 2004) に用いました。

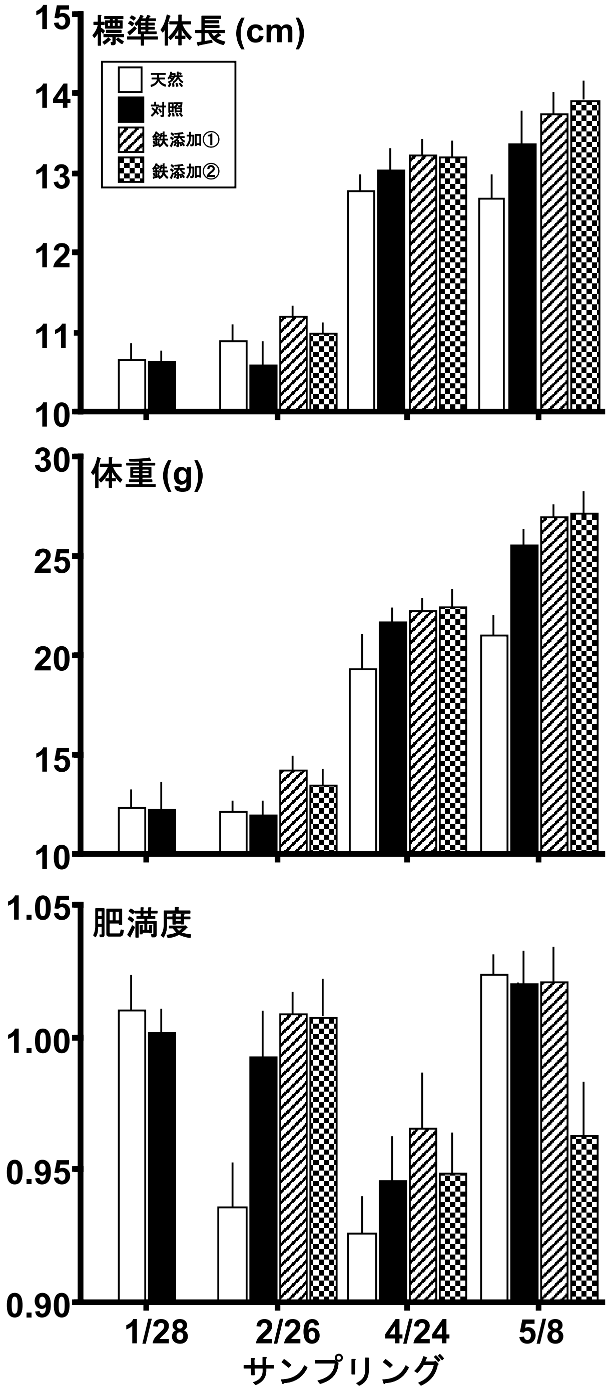

図1　成長に与えるクエン酸鉄添加餌料の影響

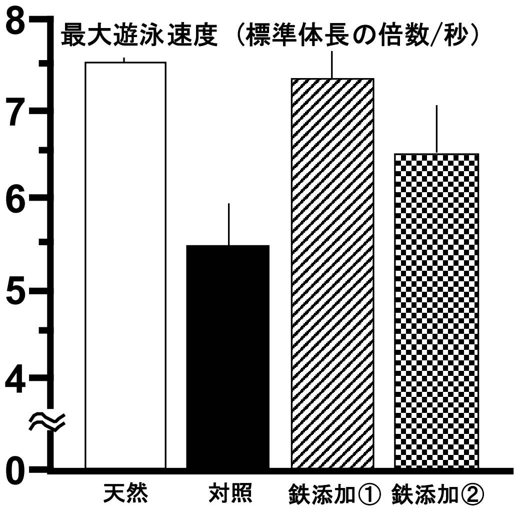

図2　最大遊泳速度に与えるクエン酸鉄添加餌料の影響

表1　餌料効率および生残率に与えるクエン酸鉄添加餌料の影響

	餌料の種類		
	対照	鉄添加①	鉄添加②
餌料効率（%）	28	30	30
生残率（%）	100	100	100

結果および考察

池産魚と天然魚の種苗性の相違点

5月8日時点の最大遊泳速度、ヘモグロビン濃度、平均赤血球ヘモグロビン濃度については、天然魚が池産魚（対照群）に比べ高い値を示しました（図2,3）。最大遊泳速度の差異から、天然魚の持つ捕食者からの逃避能力が池産魚のそれに比べ優れていることが推察されます。また、ヘモグロビン濃度や平均赤血球ヘモグロビン濃度の低下は貧血状態を反映するものであり、得られた結果は、池産魚が貧血状態にあることを示しています。ニジマスで報告されているとおり、サクラマスにおいても池産魚で遊泳速度が遅いことは、ヘモグロビン量が少ないことに起因しているのかもしれません（Pearson and Stevens, 1991）。また、図4では胃内容物の総鉄量について天然魚が池産魚（対照群）に比べ多いという結果が得られました。餌料中の鉄濃度の低下は鉄欠乏性貧血を招くという結果が数種の魚類で明らかになっています（Kawatsu, 1972; 池田ら, 1973; Sakamoto and Yone, 1978; Carriquiriborde et al., 2004）。そのため、池産サクラマスでみられる貧血症状は鉄欠乏性である可能性が考えられました。

池産スモルトに与えるクエン酸鉄の栄養学的および生理学的効果

この試験において、池産魚3群それぞれの1kg餌に含有される総鉄濃度は対照群 800mg、鉄添加群① 1,500mg、鉄添加群② 3,200mgでした。一般にサケ科魚類で推奨される餌料中の総鉄濃度は 100～250 mg/kg 餌料とされており（Ogino et al., 1979）、本試験で使用された3群の餌料中総鉄濃度は一般の推奨濃度と比べ高かったことがわかります。しかし、本試験ではサクラマスの生残率、成長、餌料効率および鰓 Na^+, K^+-ATPase 活性にはクエン

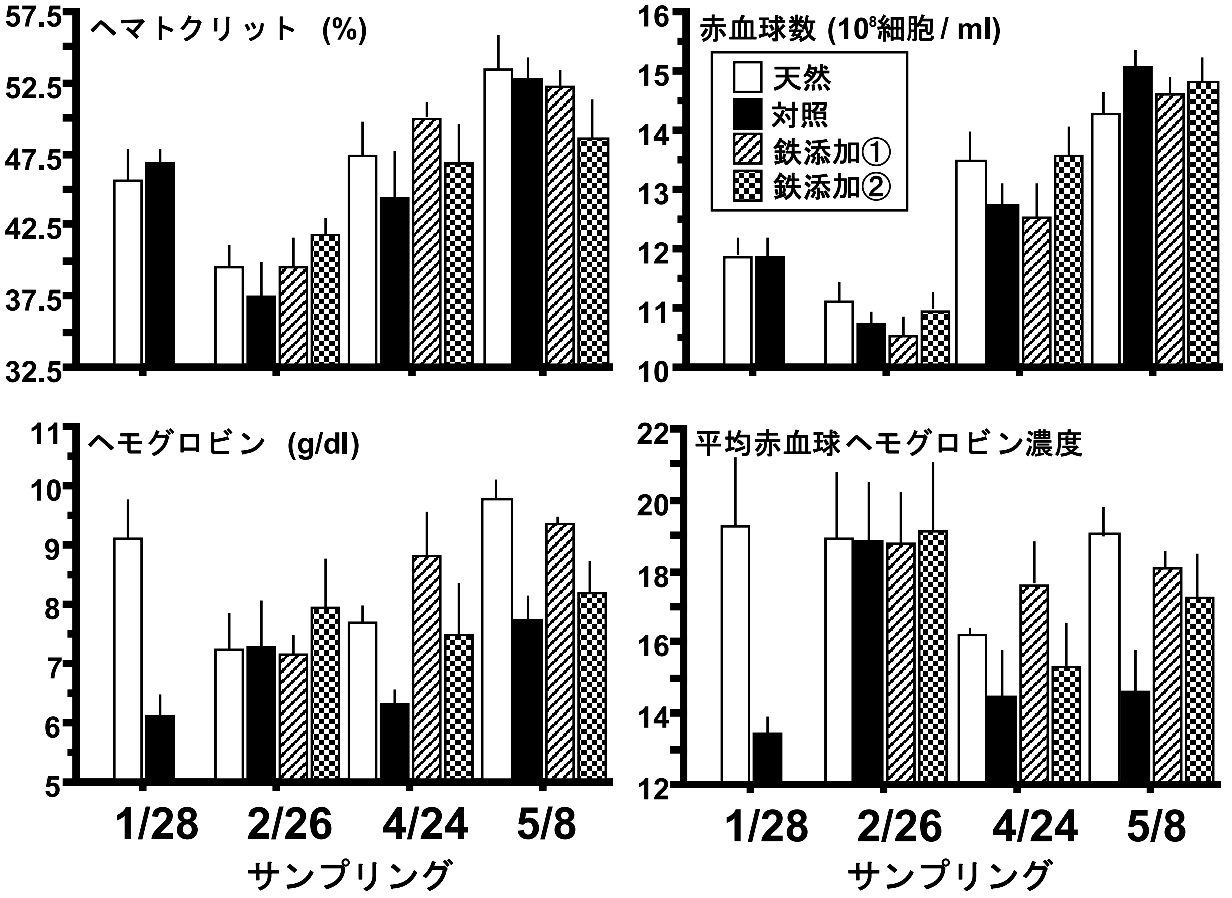

図 3　血液性状に与えるクエン酸鉄添加餌料の影響

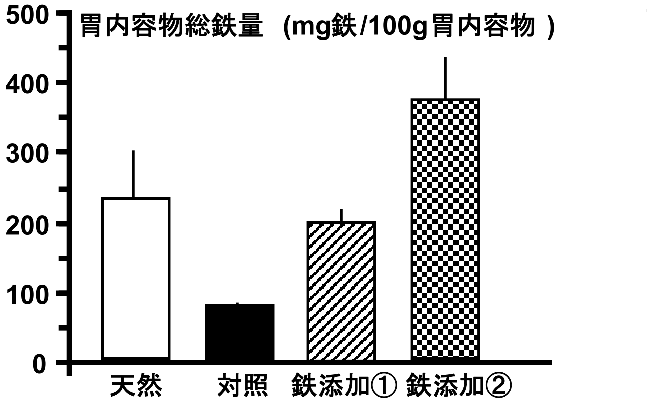

図 4　天然魚および池産魚の胃内容物総鉄量

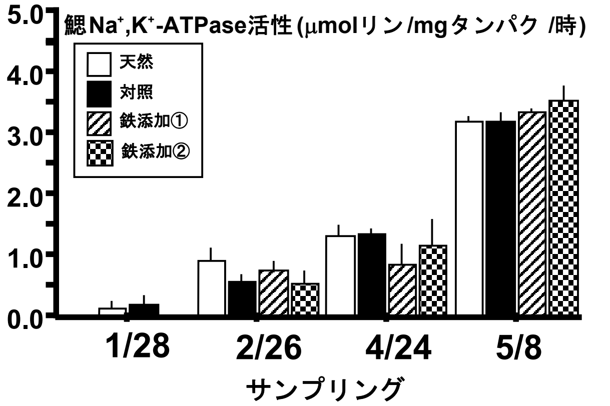

図 5　鰓 Na^+,K^+-ATPase 活性に与えるクエン酸鉄添加餌料の影響

酸鉄添加①及び②の効果は全くみられませんでした（表 1, 図 1,5）。一方、最大遊泳速度、ヘモグロビン量と平均赤血球ヘモグロビン量には 5 月 8 日時点でクエン酸鉄添加①群で有意な増加がみられましたが、鉄添加②群ではこの増加は認められませんでした（図 3）。250 mg/kg 餌料以上の高濃度の鉄添加試験を他のサケ科魚類で行った過去の論文では、大西洋サケ（Andersen et al., 1996）およびニジマス（Carriquiriborde et al., 2004）の成長と餌料効率に高濃度鉄添加の効果はないと報告されています。しかし、2,500 mg/kg 餌料以上の過剰量の鉄添加は、大西洋サケやニジマスでヘモグロビン量の低下を招くとされています。これは主に、高濃度鉄添加により餌料中の不飽和脂肪酸が酸化され、結果として餌料の質が低下することに起因していると考えられています

(Desjardins et al., 1987)。この過去の報告に述べられた結果と本試験の結果は、ほぼ一致していることがわかります。また、最大遊泳速度は血中ヘモグロビン量に左右されることが以前にニジマスで報告されていることから(Pearson and Stevens, 1991)、クエン酸鉄添加①のみで最大遊泳速度が増加したのには、血中ヘモグロビン量の増加が関与しているのかもしれません。以上の結果から、池産サクラマススモルトにクエン酸鉄を 0.25%内割で添加 (1,500 mg 総鉄/kg 餌料) した餌料を約 3 ヶ月間与えると、貧血状態解消や最大遊泳速度向上といった種苗性向上につながることが明らかとなりました。

謝　辞

本試験を行うに当たり、有益なご指導ご助言を賜った水産孵化場の河村博副場長、伊澤敏穂支場長、神力義仁科長、青山智哉科長、飯嶋亜内研究職員に厚くお礼申し上げます。

参考文献

Andersen, F., Maage, A., and Julshamn, K. (1996). An estimation of dietary iron requirement of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr. *Aquaculture Nutrition,* 2, 41-47.

Bax, N. J. (1983). Early marine mortality of marked juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) released into Hood Canal, Puget Sound, Washington, in 1980. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science,* 40, 426-435.

Carriquiriborde, P., Handy, R. D., and Davies, S. J. (2004). Physiological modulation of iron metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low and high iron diets. *Journal of Experimental Biology,* 207, 75-86.

Desjardins, L. M., Hicks, B. D., and Hilton, J. W. (1987). Iron catalyzed oxidation of trout diets and its effect on growth and physiological response of rainbow trout. *Fish Physiology and Biochemistry* 3, 173-182.

池田弥生・尾崎久雄・上松和夫 (1973). ハマチへの鉄剤添加配合餌料の効果. 東京水産大学研究報告, 59, 91-99.

Jayne, B. C. and Lauder, G. V. (1993). Red and white muscle activity and kinetics of the escape response of the bluegill sunfish during swimming. *Journal of Comparative Physiology,* A175, 495-508.

Kawamura, H. and Kudo. S. (2000). Seabird predation on juvenile chum salmon. *North Pacific Anadromous Fish Commission Technical Report,* 2, 9-10.

Kawatsu, H. (1972). Studies on the anemia of fish-V. Dietary iron deficient anemia in brook trout, *Salvelinus fontinalis. Bulletin of Freshwater Fisheries Research Laboratory,* 22, 59-67.

小林哲夫・大熊一正 (1983). サケマス稚魚の体力測定装置について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 38, 41-44.

真山紘 (1992). サクラマス *Oncorhynchus masou* (Brevoort) の淡水域の生活および資源培養に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 46, 1-156.

Mizuno, S., Misaka, N., Ando, D., and Kitamura, T. (2004). Quantitative changes of black pigmentation in the dorsal fin margin during smoltification in masu salmon, *Oncorhynchus masou. Aquaculture,* 229, 433-450.

Nagasawa, K. (1998). Fish and seabird predation on juvenile chum salmon (*Oncorhyncus keta*) in Japanese coastal waters, and an evaluation of the impact. *North Pacific Anadromous Fish Commission Bulletin*, 1, 480-495.

Nagata, M. and Kaeriyama, M. (2003). Salmonid status and conservation in Japan. In Proceedings from the World Summit on Salmon (Gallaugher, P. and Wood, L. eds.), pp. 89-97. Burnaby.

Ogino, C., Takeuchi, T., Takeda, H., and Watanebe, T. (1979). Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 45, 1527-1532.

Pearson, M. P. and Stevens, E. D. (1991). Size and hematological impact of the splenic erythrocyte reservoir in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss. Fish Physiology and Biochemistry,* 9, 39-50.

Sakamoto, S. and Yone, Y. (1978). Iron deficiency symptoms of carp. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries,* 44, 1157-1160.

Woodword, J. J. and Smith, L. S. (1985). Exercise training and the stress response in rainbow trout, *Salmo gaidneri* Richardson. *Journal of Fish Biology,* 26, 435-447.

(みずの　しんや：養殖病理部研究職員)