

キツネメバル稚魚への標識を目的とした腹鰭抜去の遊泳への影響

金田友紀*

北海道立総合研究機構中央水産試験場

The effect of pelvic fin removal on the swimming of fox jacopever *Sebastes vulpes* fry

TOMONORI KANETA*

Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido, 046-8555, Japan

In artificial seedling release of the fishes, removal of the pelvic fin is widely used because it is a low-cost method that can be implemented in the juvenile stage. However, the effect of pelvic fin removal on swimming ability has not yet been investigated. In this study, we evaluated the effects of pelvic fin removal on the swimming performance of the fox jacopever *Sebastes vulpes* fry. Swimming time was measured at various flow velocities with total lengths of 40, 50, and 60 mm fry, after removing one of two pelvic fins (experiment) or untreated (control). Analysis of swimming time measurements showed that the critical swimming speed (C_{ss}) increased with growth. There were no significant differences between experiment and control groups for the swimming curves and the C_{ss} . Furthermore, the swimming ability indices (SAI) were almost the same. Therefore, we believe that pelvic fin removal does not influence linear swimming.

キーワード：キツネメバル，腹鰭抜去，標識，遊泳能力，臨界遊泳速度

キツネメバル *Sebastes vulpes* は九州から北海道の日本海沿岸，神奈川県以北の太平洋および朝鮮半島東岸から南部に分布するカサゴ目フサカサゴ科の魚類で，沿岸の岩礁域に生息している（佐々木，2003）。北海道では専門に狙う漁業がないため漁獲量は少ないが，大型の個体は市場でおよそ3,000円/kgと高値で取引されており，本道の重要な沿岸漁業資源として資源増大が期待されている。

キツネメバルの人工種苗生産は1983年から福島県で開始された（尾形ら，1984）。北海道における栽培漁業は，日本海に位置するひやま漁業協同組合（種苗放流）および島牧漁業協同組合（種苗生産と放流）で行われ，北海道立総合研究機構栽培水産試験場において，より効率的な放流種苗生産技術の開発が進められている（高畠・川崎，2019）。

種苗放流の効果を確かめるには，試験採捕魚や漁獲物の中で放流魚を見分けるための標識が必要である。ALCを用いた耳石の染色は内部標識として有効であるが（栗田・塚本，1987），北海道のキツネメバルについては，混獲による水揚げが多く，かつ魚価が高値であるため，漁

獲魚のサンプル数を確保することが難しく，標識法としては適さない。一方で，タグ等の外部標識は放流魚の発見が容易であり，有効な方法として多くの魚種で活用されている。しかし，現時点でキツネメバルの種苗放流は全長60~70 mm程度と小さく（村松ら，2018），外部標識の装着は魚体への負担が大きいほか，タグの脱落など追跡期間が限られる難点がある。また，ヒラメやエゾアワビなどでは，人工種苗に特徴的な体色変化が現れるが，キツネメバルではそのような体色変化はみられない。

サケ・マス類では脂鰭切除により標識され，放流効果（サケ・マス類では回帰率）の算定に有効である（関・清水，1996）。脂鰭を持たない魚類では遊泳に影響がないとされる腹鰭を切除して，キジハタ（安部，2014），クロソイ（中川，2008；野田ら，2011），マダイ（北川ら，1983）などで利用されている。しかし，単なる鰭の切除では鰭が再生し，標識として機能しなくなることも報告されている（高場，1986；田子，1997）。これに対し，鰭の腰部部から鰭ごと抜去すると再生率が低くなるとされ（高場，1986；野田ら，2011），青森県においてキツネメバル稚魚

への標識方法として腹鰭抜去が実施されている（村松ら、2018）。ただし、マダイにおける腹鰭抜去による標識放流試験では、飼育下では生残や成長等に影響は無いが、漁獲物では腹鰭抜去標識魚の比率が年を追うごとに低下し、これは片側の腹鰭がないことにより捕食者からの逃避行動が十分に取れないからではないかと考察されている（林ら、1991）。

本研究では、標識放流を目的としてキツネメバル稚魚の腹鰭を抜去した場合に、正常個体と直線的な遊泳能力に差異が生じるのかを確かめるため、流動水槽を用いた遊泳実験を行った。

材料と方法

供試魚の処置 実験に用いたキツネメバルは、2018年6月5日に道総研栽培水産試験場の飼育水槽で産仔されたもので、実験に供するまで500 Lポリカーボネート水槽で飼育した。餌はシオミズツボコムシ、アルテミアおよび人工飼料を成長段階に合わせて給餌した。飼育海水は15.5℃に調温したろ過海水を毎分5 Lの流量で掛け流した。

全長40 mm、50 mmおよび60 mmの全長クラスを設定し、飼育水槽から一尾ずつ取り上げて麻酔薬（DSファーマアニマルヘルス株式会社、FA100）にて麻酔をかけた後、全長を計測し、それぞれのクラス設定値の ± 2 mmに入るものを、実験区と対照区ともに60尾ずつを選び分けた。全長の計測結果をTable 1に示した。すべての全長クラスの実験区および対照区における全長の平均値は目標全長の ± 0.4 mm以内であった。また、それぞれの全長クラスにおいて実験区と対照区で全長の平均値に有意な差はなかった（*t*-test）。

実験区の稚魚には、対になっている腹鰭のうち、頭部を上にして魚体を腹側から見たときに40 mmは右の、50 mmは左の、60 mmは右の腹鰭をピンセットで抜去するとともに、鰭の基部（腰帯の先端部）もできるだけ引き抜いた（Fig. 1）。対照区の稚魚にはなにも処置しなかった。

Table 1 Mean total lengths of experiment and control fishes for each 40 mm, 50 mm, and 60 mm classes. *p* is the probability that the mean value differs between the experiment fishes and control fishes.

	Total length classes					
	40mm		50mm		60mm	
	E	C	E	C	E	C
Mean	40.28	40.34	49.92	50.02	59.95	59.69
S.D.	1.05	1.06	1.24	1.14	1.27	1.18
n	60	60	60	60	60	60
<i>p</i>	0.720		0.648		0.241	

E: Experiment, C: Control

実験区の処置は、全長40 mmは2018年8月28日、50 mmは2018年9月20日、60 mmは2018年10月23日に行った。腹鰭を処置した実験魚は飼育と同条件の水槽に收容し、餌を食べられるようになった翌日から遊泳実験に供した。対照区はそれぞれのクラスの実験区処置日の約2週間後に選別し、実験を行った。

流動条件 遊泳実験には小型の流動水槽を用いた（Fig. 2）。モーターにより水路下層部のプロペラを回転し、鉛直方向に水を循環する水槽で、観測部はガラス壁面である。観測部は、長さ3,200 mm、幅300 mmおよび高さ350 mmであり、実験魚が定しやすいう、縦方向に白色のビニルテープを等間隔に貼り付けた黒色のプラスチック板を一方のガラス壁の外側に取り付けた。また、観測部の外側底面には、測定のための定規を貼り付けた。この水槽に調温ろ過海水を満たし、飼育水温と同じ15.5℃~16.0℃に調整した。流動は一方向流とし、予備実験で得られた1時間泳ぐことのできる流速を最小値、数秒間しか泳げない流速を最大値とした。最大と最小の流速では2尾で実験を行い、そのほかの流速では各10尾ずつで実

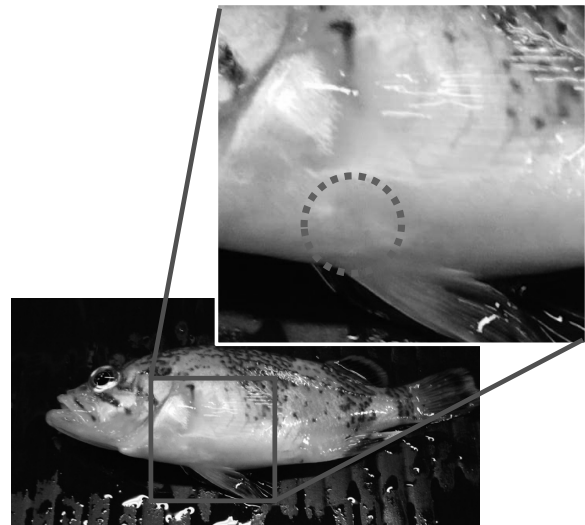


Fig. 1 View of a fox jacopever fry (total length: 60 mm) with one of the two pelvic fins removed. Dashed circle indicates the position of removed pelvic fin.

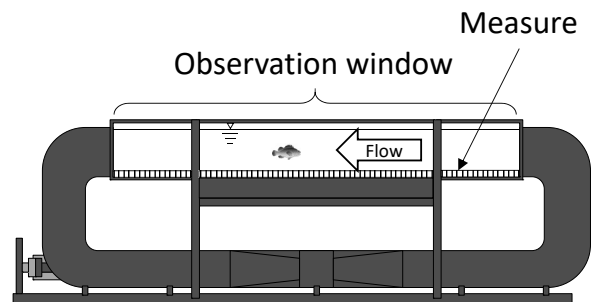


Fig. 2 Diagram of small waterflow tank.

験を行った。流動水槽の流速は電磁流速計（株式会社ケネック：VE20およびVET-200-10PⅡ（検出器））を用いて計測した。なお、後述する遊泳能力指数SAI（塚本・梶原，1973）の比較のため、流速の単位をcm/sとした。**遊泳時間** 実験は、まず止水状態の流動水槽に供試魚一尾を収容し、エアレーションを施して10分間馴致させた。その後、エアレーションを取り除いた上で設定流速の流動を発生させた。水槽を作動させてから、設定流速ごとに15～30秒程度の増速時間を設け、流速が設定値に達した時を遊泳開始とし、遊泳時間をストップウォッチで計測した。遊泳時間は計測を開始してから、流れに逆らって泳ぎながら、1 m後退するまでの時間とした。移動距離は観測部外側の定規で目測した。この時、下流方向に向かって泳ぐ、上下左右に移動する際の斜行による後退は、1 m分の後退には含めなかった。供試魚は一度のみ実験に供し、別の流速での試験には用いなかった。この実験を実験区および対照区で行った。

遊泳曲線 実験時の流速は、供試魚の遊泳速度と言い換えることができる。遊泳速度と遊泳時間の関係に当てはまる遊泳曲線を次の式（塚本・梶原，1973）で求めた。

$$Vt^k = a$$

ここにVは遊泳速度、tは遊泳時間、aおよびkは係数である。aは1秒間だけ維持できる突進速度の理論値、kは遊泳曲線の形状に関する係数で0<k<1である。ここで上式をtについて解いて、等分散化のために両辺を平方根変換した後、正規分布を用いた最尤推定法により係数a、kおよび誤差項σを推定した。

$$t = (a/V)^{1/k}$$

係数の推定には表計算ソフトExcelの最適化分析ツールであるソルバーを用いた。

また、遊泳曲線は、全長クラスごとに、実験区と対照区を別々にした場合（対立仮説H1）と両者を一緒にした場合（帰無仮説H0）とを推定し、尤度比検定を実施し、両者の遊泳力に差があるか検証した。

遊泳能力指数 遊泳曲線の推定で得られた係数aおよびkを用い、上式をVについて解いて、これをt=0～3,600で積分して10⁴で除した値である遊泳能力指数SAI（Swimming Ability Index）（塚本・梶原，1973）を計算した。なお、各全長クラスの実験区および対照区についてSAIを求めた。

$$SAI \times 10^4 = \int_0^{3,600} V dt = \int_0^{3,600} at^{-k} dt$$

臨界遊泳速度 臨界遊泳速度C_{ss}（Critical swimming speed）（Brett, 1964）を次式から求めた。

$$C_{ss} = V_m + (V_s - V_m) \times (t_s / 3,600)$$

ここにV_mは60分間を完泳した中で最高段階の流速、V_sは完泳できなくなった流速およびt_sはV_sにおける遊泳時間

(s)である。t_sについては平均値を用いた。また、各全長クラスの実験区および対照区についてC_{ss}を求め、推定誤差（標準偏差）と両者の差異の有意水準をブートストラップ法で求めた。また、C_{ss}を平均全長で除した標準化臨界遊泳速度stdC_{ss}も計算した。

結果

遊泳時間 各全長クラスの流速ごとの遊泳時間をFig. 3～Fig. 5に示した。すべての全長クラスの実験区および対照区で、1時間完泳できる速度があり、その流速を5 cm/s越えた速度では、遊泳時間は急激に減少し、いずれも遊泳時間は1,000 s（約17分）を下回った。その後、流速の増加とともに遊泳時間は漸減した。

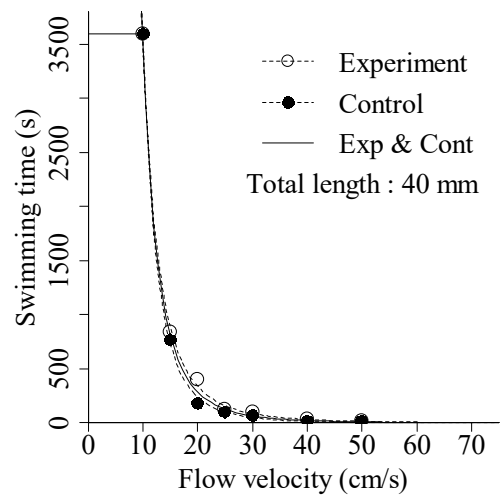


Fig.3 Relationship between flow velocity and swimming time of fox jacopever fry (total length: 40 mm).

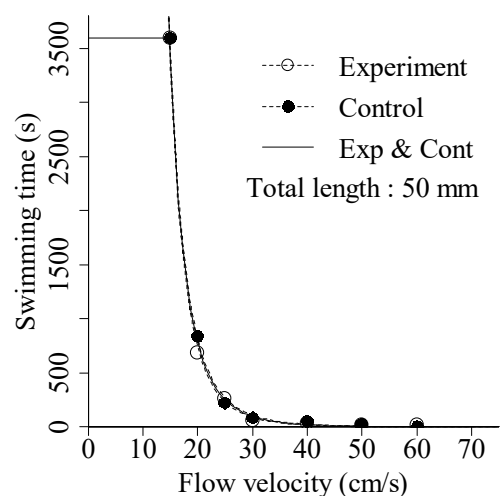


Fig.4 Relationship between flow velocity and swimming time of fox jacopever fry (total length: 50 mm).

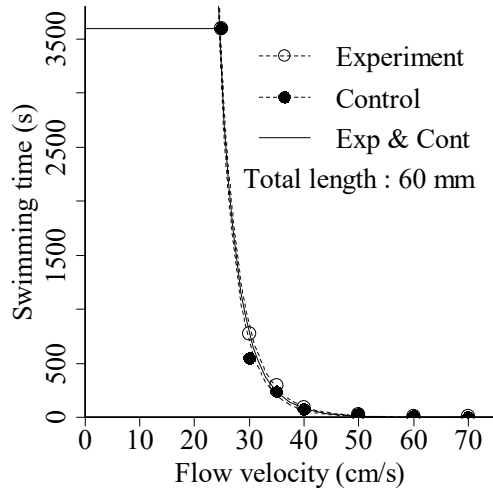


Fig.5 Relationship between flow velocity and swimming time of fox jacopever fry (total length: 60 mm)

Table 2 Estimated coefficients a , k , and error term σ of experiment, control, and experiment and control for every total length classes and results of likelihood ratio test. T is statistical value of the likelihood ratio test, df is degree of freedom.

Coefficients		Total length classes		
		40 mm	50 mm	60 mm
E & C	σ	5.28	5.42	3.87
E	k	0.30	0.19	0.14
E	a	113.13	71.34	75.21
C	k	0.26	0.20	0.13
C	a	81.59	76.93	68.27
E & C	σ	5.42	5.44	3.98
E & C	k	0.28	0.20	0.13
E & C	a	95.89	74.09	71.84
Likelihood ratio test	T	5.51	0.76	5.90
	df	2.00	2.00	2.00
	p	0.06	0.68	0.05

E: Experiment Group, C: Control

遊泳曲線 各全長クラスの流速ごとの遊泳曲線をFig. 3～Fig. 5に示した。また、推定された各係数の値と検定結果をTable 2に示した。いずれの全長クラスにおいても実験区と対照区で遊泳曲線に有意差はなかった。

遊泳能力指数 (SAI) 各全長クラスの実験区および対照区のSAIをTable 3に示した。全長クラスの大型化にとともにSAIは大きくなったが、実験区と対照区ではほぼ等しかった。

臨界遊泳速度 (C_{ss}) 各全長クラスの実験区および対照区のC_{ss}をTable 4に示した。全長クラスの大型化にとともにC_{ss}とstdC_{ss}は大きくなったが、実験区と対照区では

Table 3 Estimated SAI (Swimming Ability Index) for every total length classes.

	Total length classes		
	40 mm	50 mm	60 mm
E	5.1	6.6	10.2
C	4.8	6.7	10.1
E & C	4.9	6.7	10.2

E: Experiment Group, C: Control

Table 4 Estimated C_{ss} (Critical swimming speed), its estimation error (SD), significant level p between experiment and control groups, and standardized C_{ss} (stdC_{ss}) of experiment and control for every total length classes.

Total length classes(mm)	E or C	C _{ss}	SD*	p^*	stdC _{ss}
40	E	11.3	0.27	0.27	2.8
	C	11.1	0.15		2.8
50	E	16.1	0.26	0.32	3.2
	C	16.3	0.24		3.3
60	E	26.2	0.19	0.04	4.4
	C	25.8	0.10		4.3

*: Estimated by bootstrap method

E: Experiment Group, C: Control

有意差はなかった。60mmの全長クラスでは有意水準が0.04であるが、この表におけるボンフェローニ法の多重性を考慮した有意水準(0.05/3=0.0176)よりは大きく、有意差があるとはいい難い。特に、C_{ss}を全長で除したstdC_{ss}については、実験区と対照区で有効数字2桁における値の差が1以下とほとんど同じ値であった。

考察

流速が低速な場合、実験区、対照区とも、位置がまったく変わらないまま流れに逆らって泳ぎ続けていることが多かった。流れに頭部を向けて泳ぐ走流性がキツネメバルの成魚では強いと報告されており(今井・高谷1998)、稚魚期のキツネメバルも成魚と同様に走流性があると考えられる。一方で、一部の個体では水面やガラス壁面を口で突く動作や、下流方向に泳ぐなど、自由に遊泳する様子も観察された。

各全長クラスの低速または高速な流速を除く、中程度の流速条件の時、10回の試行のうち0～1回程度の頻度で、水槽内の底面と壁面がなす隅や底面の鋼製部と観測部ガラス面とのわずかな隙間で遊泳を停止する個体のみられた。摩擦および粘性により水槽中央部より流速が遅い場所にたどり着いたと思われる。このような場合、一旦時間計測を停止し、塩ビパイプなどで静かに水槽中心部へ

追いやり、再び計測を開始した。ただし、実験区と対照区で発生頻度の偏りは認められなかった。また、各全長クラスの実験区および対照区のそれぞれ52回の試行のうち1~2回程度、何度も遊泳を停止する場合があった。そのようなときは、その個体での実験を中止し、別の個体を用いて改めて実験を行った。

今回のキツネメバル稚魚の実験では、1時間以上泳ぎ続けられる流速（持続速度）から流速を5 cm/s増加させただけで、遊泳時間が17分以下に急激に減少した。このような流速の増加にともなう遊泳時間の急激な減少は他の魚種でもみられる（塚本・梶原, 1973; Xu *et al.*, 1994; 橋本ら, 1996）。持続速度以下では血合筋の活動により疲労することなく泳ぎ続けられるが、その速度を超えると普通筋が関与し始め、乳酸の蓄積により疲労することで遊泳時間が短くなるとされる（Xu *et al.*, 1994; 有元, 1996）。キツネメバル稚魚においても同様な筋肉の作用により遊泳時間が急激に変化すると考えられた。

今井（1998）によるキツネメバル成魚（全長235~327 mm）の水槽実験では、 C_{ss} は全長によらず497~644 mm/s程度とほぼ一定であった。そのため C_{ss} を全長で除した、 $stdC_{ss}$ （単位：TL/s）は全長277 mmで3.2 TL/s、全長356 mmで2.1 TL/sと、全長の増加にともない低下した。一方で、本実験におけるキツネメバル稚魚では、全長の増大にともない $stdC_{ss}$ は増加した。これは稚魚段階では成長にともない筋力が増し、成長の度合いよりも C_{ss} の増加の度合いの方が大きくなるためと考えられる。ヤマメ（泉・加藤, 2011）やミナミメダカ（清水ら, 2016）などでも、全長（または体長）と $stdC_{ss}$ の間に正の相関がみられることが報告されている。これらの結果から、 $stdC_{ss}$ は成長にともない増大するが、ある成長段階でピークとなったあと減少に転じると推察される。

腹鰭を抜去した実験区と対照区において、遊泳曲線と臨界遊泳速度（ C_{ss} ）には有意差がなく、遊泳能力指数（SAI）もほぼ同等であったことから、腹鰭抜去の遊泳能力に対する影響はないと考えられる。

腹鰭の役割は上下移動のブレーキであるとされる（井上, 1978）。また、実験中の目視観察でも遊泳中の腹鰭は体に沿うように畳まれ、広げるなどの様子はみられなかった。以上より、機能面や遊泳姿勢からも、腹鰭抜去は直線的遊泳能力に対して影響を及ぼさないと推察される。

一方で、魚類は逃避時、驚愕反射（C-start）することが知られている（植松, 1996）。これは、刺激を受けた際、刺激がきた方向と反対側の全体側筋が同時に収縮し、魚体がC字型に曲がり、その後、尾を振り戻して刺激源から遠ざかる方向に移動するものである。この動作に腹鰭の機能が関与するとして、片側の腹鰭の有無による逃避

経路の変化がシロクラベラにおいて報告されている（Kawabata *et al.*, 2016）。さらに、標識放流したマダイの逃避行動への腹鰭抜去の影響が、放流後の生残比の低下に関与している可能性が示されている（林ら, 1991）。キツネメバルでも同様な影響があるかもしれない、放流後の生残比への影響については、今後、室内や野外試験を通じて調査する必要がある。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、道総研釧路水産試験場場長の馬場勝寿博士には大変貴重な指導をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- 安部昌明. キジハタにおける腹鰭切除および尻鰭棘切除標識の有効性. 香川県水産試験場研究報告 2014; 15: 7-14.
- 有元貴文. 6. 魚類の遊泳行動と漁法. 「水産学シリーズ108魚の行動生理学と漁法（有元貴文・難波憲二編）」恒星社厚生閣, 東京. 1996; 60-73.
- Brett JR. The Respiratory Metabolism and Swimming Performance of Young Sockeye Salmon. *J. Fish. Res. Board Can.* 1964; 21: 1183-1226.
- 橋本 新, 平石智徳, 鈴木健吾, 山本勝太郎, 梨本勝昭. ヒラメの網生簞内における遊泳能力について. 日本水産学会誌 1996; 62: 12-16.
- 林 泰行, 檜山節久, 木村 博. マダイ種苗放流における腹鰭抜去標識の弊害について. 栽培漁業技術開発研究 1991; 20 (1): 41-45.
- 今井義弘. ホッケ・キツネメバルの遊泳速度（短報）. 北水試研報 1998; 53: 25-27.
- 今井義弘, 高谷義幸. 回流水槽による北海道南西沿岸の魚類の行動観察. 北水試研報 1998; 52: 9-16.
- 井上 実. 4. 遊泳行動. 「魚の行動と漁法」恒星社厚生閣, 東京. 1978; 148-174.
- 泉 完, 加藤 幸. 河川水を用いたヤマメ稚魚の臨界遊泳速度に関する実験. 農業農村工学会論文集 2011; 273: 1-6.
- Kawabata Y, Yamada H, Sato T, Kobayashi M, Okuzawa K, Asami K. Pelvic fin removal modifies escape trajectory in a teleost fish. *Fish. Sci.* 2016; 82: 85-93.
- 北川 衛, 山口光明, 萩野節雄. マダイの腹鰭抜去による標識法について. 栽培漁業技術開発研究1983; 12 (1): 5-9.

- 栞田 博, 塚本勝巳. アリザリン・コンプレクソンによるマダイ稚仔魚の耳石標識 - I 標識液の濃度と標識保有期間. 栽培漁業技術開発研究1987; 16 (2): 93-104.
- 村松里美, 鈴木 亮, 吉田雅範. 放流効果調査事業 (キツネメバル). 平成28年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告 2018; 442-443.
- 中川雅弘. クロソイの栽培漁業技術開発に関する研究. 水産総合研究センター研究報告 2008; 25: 223-287.
- 野田 勉, 中川雅弘, 長倉義智, 大河内裕之. 飼育試験と放流試験におけるクロソイ腹鰭抜去標識の残存率の比較. 水産技術 2011; 3: 127-130.
- 尾形康夫, 石井孝幸, 鈴木章一, 泉 茂彦. 2キツネメバル種苗生産研究. 昭和58年度事業報告書 (福島県水産種苗研究所) 1984; 24-26.
- 佐々木正義. 41. キツネメバル. 「漁業生物図鑑 新北のさかなたち (上田吉幸, 前田圭司, 嶋田 宏, 鷹見達也編)」, 北海道新聞社, 北海道. 2003; 194-195.
- 関 二郎, 清水幾太郎. 広尾川におけるサケ幼稚魚の放流時期の違いによる回帰率について. 水産海洋研究 1996; 60: 339-347.
- 清水秀成, 泉 完, 東 信行, 丸居 篤, 矢田谷健一. ミナメダカの臨界遊泳速度に関する実験. 農業農村工学会論文集 2016; 302: II_11-II_18.
- 田子泰彦. 放流標識として切除したサクラマスの腹鰭および背鰭の再生. 水産増殖 1997; 45: 479-483.
- 高場 稔. マダイの種苗放流・追跡 - V 腹鰭標識放流魚の腹鰭再生について. 栽培漁業技術開発研究1986; 15 (2): 177-186.
- 高島信一, 川崎琢真. 3.2 放流基礎調査事業 (キツネメバル). 平成29年度道総研栽培水試事業報告書 2019; 15-16.
- 塚本勝巳, 梶原 武. 魚類の遊泳速度と遊泳能力. 水産土木 1973; 10: 31-36.
- 植松一眞. 5. 魚類遊泳運動の神経機構. 「水産学シリーズ108魚の行動生理学と漁法 (有元貴文・難波憲二編)」恒星社厚生閣, 東京. 1996; 50-59.
- Xu G, Shirai T, Arimoto T. Endurance and Muscle Lactice Acid of Swimming Jack Mackerel. *Fish. Sci.* 1994; 60: 657-659.