

博士（水産学）劉 海 金

学位論文題名

ヒラメ幼魚のエネルギー代謝に関する実験的研究

学位論文内容の要旨

ヒラメ (*Paralichthys olivaceus*) は、東アジアの沿岸に広範囲に分布する浅海性魚類である。本種は成長が早く美味で、日本における高価格魚種の一つであるため、栽培漁業と完全養殖の重要な対象種とされている。しかし、その養殖方法は現場での経験的な技術応用を主体として行われていることもあるが、種苗生産を含む高密度な集約的養殖方法に対する生理的対応についての研究は少ないのが現状である。

本研究では、ヒラメ養殖の効率化に関する基礎的知見を得るために、幼魚期に至るまでのエネルギー代謝のパターンの解明を目的として、エネルギー代謝に関する酸素消費量の変動、日周リズム、特異動的作用および温度の影響を調べ、次に、排泄物となるアンモニアと尿素の変動およびそれに与える温度と摂餌量の影響を求めた。さらに、成長に与える摂餌量の影響について実験を行った。これらの結果に基づき、ヒラメ幼魚のエネルギー動態を試算した。

1. 呼吸によるエネルギーの代謝

人工種苗から育成されたヒラメ幼魚（体重範囲：2.4 - 42.3 g）を用いて、水温15°C、20°Cおよび25°Cの3温度区を設定して、平常代謝量および特異動的作用を測定した。

本研究では、絶食後3日目の幼魚の酸素消費量を平常代謝量とし、絶食後7日目の酸素消費量を標準代謝量とした。その結果、標準代謝量は平常代謝量の76%に相当した。幼魚の1個体あたりの酸素消費量は、体重の増加に伴い増加し、単位体重当たりでは体重の増加に従い減少した。絶食時の酸素消費量の日周リ

ズムでは、日中の消費量は変化が少なく、午前3時から6時の間にピークとなる日周期性が認められた。酸素消費量の日周期性の成因を検討するため、活動の日周性を調べたところ、幼魚は昼間にはあまり活動せず、午前0時から6時にかけて活動が活発であった。この幼魚の行動量の上昇、ピークの形成、下降の傾向が酸素消費量の推移とよく一致していたことから、酸素消費量の日周性は幼魚の活動日周期と関連していると考えられた。

酸素消費量に与える水温の影響を調べるために、3温度区について実験を行った結果、酸素消費量と体重との関係にはそれぞれ高い相関が見られ、高温ほど酸素消費量が多く、また、3温度区間での酸素消費量に有意差が認められた。しかし、いずれの温度段階でも、代謝量と体重の関係式の体重指数は約0.65と、円形な遊泳魚の0.75より低かった。これは、異体類であるヒラメが底生魚であるために活動代謝が低いことを意味している。一方、代謝量に与える摂餌量の影響を反映する特異動的作用は、摂餌量（体重の1、2、3%）の増加に伴い高くなるのに対して、特異動的作用と温度との相関関係は認められなかった。

## 2. 排泄によるエネルギーの損失

3温度区における絶食および摂餌時のアンモニアと尿素排泄量を調べた。絶食時のアンモニアはいずれの温度段階でも日中と夜間の変動が小さく、ほぼ一定の値に保たれた。摂餌したヒラメの排泄量は、摂餌直後から摂餌前の4-6倍に急上昇し、摂餌後6-12時間にピークとなり、その後24時間以内に緩やかに摂餌前のレベルに下降した。個体当たりのアンモニア排泄量は、温度の上昇に伴い増加し、15°Cと20°Cの間では有意差が見られなかつたが、25°Cでは15°Cおよび20°Cに対して有意差が認められた。これは、25°Cを超えるとヒラメの排泄量が顕著に増加することを反映していると考えられた。

アンモニア排泄量に与える摂餌量の影響に関しては、いずれの水温でも、摂餌量が高いほどアンモニア排泄量がほぼ直線的に高くなる傾向が示された。尿素排泄量は、絶食時のアンモニアの変動傾向とほぼ同様に日周性は見られなかつたが、アンモニア排泄量の約15%と低い値を示した。また、尿素排泄量は水温の上昇により増加したが、3温度区では有意差は認められなかつた。

尿素に与える摂餌量の影響では、摂餌後緩やかに上昇し、アンモニアのピーク時に高い値となるが、明瞭な日周変化が認められず、異なる摂餌量に対しても、尿素排泄量はほぼ同様な値を示した。20℃におけるヒラメ幼魚の含窒素排泄量（アンモニアと尿素）は、摂取されたエネルギー量の約4.4%（範囲：2.2 - 5.4%）に相当することが明らかとなった。

### 3. 成長に伴う魚体カロリー値の変化および成長に及ぼす摂餌量の影響

幼魚（体重0.6-21.3 g）を用いて、単位乾重量当たりのカロリー値を求めた。また、20℃における異なる摂餌量条件下での成長実験を行い、ヒラメ幼魚の飼育下での摂餌量と成長量の関係を検討した。さらに、摂取されたエネルギー量について成長への配分量を試算した。

ヒラメ幼魚の乾重量当たりのカロリー値は、乾重量5 g以内では個体間のばらつきが大きかったが、5-18.8 gの範囲ではほぼ同じ値(5000cal/g)が得られた。また、乾重量を湿重量に換算すると、湿重量1 gの増加は1440カロリーに相当していた。体重の1%、2%および3%の摂餌量を投与した実験結果を用いて、成長量への影響を調べたところ、1%の摂餌量での日間成長量は1.12%、2%では2.25%、3%では3.19%であり、成長量と摂餌量との間に高い正の相関が認められた。この実験結果から、水温20℃の条件下で摂取されたエネルギーの39.4%（35.2-40.3%）が体成長に配分されると試算された。

以上に示したヒラメ幼魚の代謝に関わる酸素消費量、排泄量および成長量の実験結果に基づいて、20℃で摂餌量2%の場合に摂取されたヒラメ幼魚のエネルギー動態を試算した。なお、排出量（糞）は本実験で測定しなかったため、既往の知見（13%）を用いた。その結果、代謝量では、標準代謝量9.3%、活動代謝量16.7%、特異動的作用17.2%、また、排泄量4.4%、成長量39.4%と試算された。

ヒラメ幼魚のエネルギー動態の算出は、本研究が初めての試みであるが、今後は各成長段階および異なる温度条件下でエネルギー動態を詳細に調べる必要がある。これらの結果に基づく養殖技術の進歩や飼育環境の改善がさらに期待される。

# 学位論文審査の要旨

主査 教授 島崎健二  
副査 教授 小城春雄  
副査 教授 中尾繁  
副査 助教授 桜井泰憲

## 学位論文題名

### ヒラメ幼魚のエネルギー代謝に関する実験的研究

ヒラメ(*Paralichthys olivaceus*)は、サハリンより東シナ海に至る沿岸域に分布する浅海性魚類である。わが国では高級魚として評価されているため、各地で養殖されている。しかし、その養殖方法は現場での経験的な技術応用を主体としているため、種苗生産を含む陸上での高密度な集約的養殖方法に対する生理学的対応についての研究は少ないのが現状である。

本論文は、ヒラメ養殖の効率を向上させることに関連する基礎的知見を得るために、幼魚期のエネルギー代謝のパターンの解明を目的として、様々な水温と摂餌量の飼育下での、1)酸素消費量を指標とした呼吸によるエネルギーの代謝、2)アンモニアと尿素を指標とした排泄によるエネルギーの損出、3)成長によるエネルギーの蓄積等を実験で明らかにし、エネルギーを指標とするヒラメ幼魚のエネルギー動態の試算を行っている。なお、飼育水温区は15°C、20°C、25°Cとし、餌はヒラメ用配合餌料を用いた。従って、各実験での幼魚の湿体重当たりの摂餌量(1、2、3%)は乾重量とした。なお、ヒラメ幼魚のサイズは体重2-45gの範囲であった。かかる内容の本論分の結果を要約すると以下の如くまとめられた。

#### 1) 酸素消費量を指標とした呼吸によるエネルギーの代謝

絶食後3日目の酸素消費量を平常代謝量、そして7日目の酸素消費量を標準代謝量とした。標準代謝量は平常代謝量の76%に相当した。幼魚1個体当たりの酸素消費量は、体重の増加に伴い増加したが、単位体重当たりでは減少した。酸素消費量の日周性は絶食時で午前3-6時にピークとなり、そして活動の日周性は午前0-6時にピーク

となつた。すなわち酸素消費量の日周性は幼魚の活動日周性と関連していた。酸素消費量と水温との関係では、高温ほど酸素消費量が高くなつた。摂餌量が代謝に与える影響を評価する特異動的作用は、摂餌量(体重の1、2、3%)の増加に伴い高くなつたが、温度との相関は見出せなかつた。

## 2) アンモニアと尿素を指標とした排泄によるエネルギーの損出

絶食時のアンモニア排泄量はいずれの飼育水温区でも日中と夜間の変動が小さく、ほぼ一定に保たれた。摂餌したヒラメの排泄量は、摂餌直後から摂餌前の4-6倍に急上昇し、摂餌後6-12時間にピークとなり、その後24時間以内に緩やかに摂餌前のレベルに下降した。個体当たりのアンモニア排泄量は、温度の上昇と共に増加したが、特に25°Cを越すと顕著になつた。アンモニア排泄量に与える摂餌量の影響では、いずれの水温でも、摂餌量が高いほどアンモニア排泄量はほぼ直線的に高くなつた。

絶食時の尿素排泄量に日周性は見られず、アンモニア排泄量の約15%と低い値を示した。また、尿素排泄量は水温の上昇により増加したが、3飼育水温区では有為差はみられなかつた。尿素排泄量に与える摂餌量の影響では、摂餌後緩やかに上昇し、アンモニアのピーク時に高い値となるが明瞭な日周性は無く、異なる摂餌量に対しても尿素排泄量はほぼ同様な値を示した。20°Cにおける含窒素排泄量(アンモニアと尿素)は、摂取されたエネルギー量の約4.4%(2.2-5.4%)に相当した。

## 3) 成長によるエネルギーの蓄積

20°Cにおける異なる摂餌条件下での成長実験を行い、ヒラメ幼魚の飼育下での摂餌量と成長量の関係を検討した。さらに、摂取されたエネルギー量についての成長への配分を試算した。

ヒラメ幼魚の乾重量当たりのカロリー価は5000cal/gで、また湿重量1gの増加は1440calに相当した。体重の1%、2%、3%の摂餌量での日間成長量は、それぞれ1.12%、2.25%、3.19%であった。摂取されたエネルギーの39.4%(35.2-40.3%)が体成長に配分された。

以上の実験結果から、20°Cで摂餌量2%の場合に摂取されたヒラメ幼魚のエネルギー動態を試算した。その結果、代謝量では標準代謝量9.3%、活動代謝量16.7%、特異動的作用17.2%、また排泄量4.4%、成長量39.4%、排出量(糞)13%(文献値より引用)となつた。

上述のように、本研究では、ヒラメ幼魚が餌として取り込んだエネルギーが代謝、排泄、排出、成長に如何に配分されるかについて

詳細に調べた。これらの結果は、ヒラメの集約的養殖方法に対する生理的対応を解明する初めての研究であり水産学上極めて重要な知見であるとして高く評価され、本論文が博士（水産学）の学位請求論文として相当の業績であると認定した。