

博士（水産科学）高橋 隆行

学位論文題名

海産魚類仔稚魚の栄養要求に関する研究

学位論文内容の要旨

1960 年代以降において海産魚類の人工孵化技術の研究・開発により、マダイ、ヒラメ、トラフグおよびシマアジなど主要増養殖対象魚種の種苗生産技術が確立された。また、種苗生産対象魚種の拡大および生産尾数の飛躍的な増大が果たされてきた。しかし、種苗生産量産化技術の確立された魚種においても形態異常や体色異常が発生しており、更なる質的改善が望まれている。また天然種苗に比較して人工種苗は、放流した際に捕食され易いことなどが指摘されている。一方、ブリ類やマハタ、ウナギなどの魚種においては、量産化技術が依然確立されていない。したがって、増養殖業の更なる発展のためには、有用な形質を持った健苗の大量、且つ安定した種苗生産技術の確立が囁きされる。そのためには、親魚養成技術や採卵技術、仔稚魚の飼育技術、栄養要求の解明、疾病対策など多くの知識や知見の集積が必要である。中でも、海産魚類仔稚魚の栄養要求については解明すべき課題が多い。そこで本研究では、海産魚類仔稚魚期に給与する生物餌料（ワムシおよびアルテミア）の栄養価について調べるとともに、その調整技術の確立を検討した。さらに、ワムシに不足する栄養素と推定されたタウリンの強化方法を検討し、その効果を実証した。最後に、人工配合飼料研究開発において海産魚類稚魚期の栄養要求多様性について検討した。

現在、海産魚類種苗生産に不可欠な生物餌料であるワムシおよびアルテミアは、消化吸收性には優れるが、その栄養価は質・量ともに不足する成分が多く、栄養強化が必須である。そこで、市販されている生物餌料栄養強化剤を用いてワムシおよびアルテミアの栄養強化方法とその栄養価について検討した。その結果、生物餌料の栄養強化に影響を及ぼす要因として、栄養強化剤の種類、その添加量、強化時間、強化密度、強化水温などに左右され、それらにより生物餌料に含有される脂質含量および EPA や DHA などの n-3HUFA 含量に差異が生じることが明らかとなり、種苗生産対象魚種の栄養要求を理解した上で各種栄養強化条件を設定する必要があることを示した。

また、ワムシおよびアルテミア中のビタミン含量には、海産魚類の要求量以下であるビタミンが存在し、改善が必要であることを示唆した。

自然界の動物プランクトンと比較してワムシ中に微量しか含有されないタウリンという物質に着目し、タウリンが海産魚類仔魚期において必須性および有効性のある物質であるか検証を試みた。そのためにはワムシにタウリンを強化する必要があり、最初に、ワムシの栄養強化水槽にタウリンを直接溶解させる方法により強化を試みた。その結果、ワムシは水中に溶解しているタウリンを取り込み、蓄積することを初めて明らかにした。また、栄養強化水槽中のタウリン濃度とワムシ中に蓄積されたタウリン量は、直線的な比例関係となることを確認し、アルテミア幼生および天然コペポーダレベルまで強化可能であることを明らかにした。ワムシへのタウリン強化量は、強化開始 16 時間で一定となり、またタウリンを強化したワムシ中のタウリン含量の消失については、強化終了 8 時間後においても終了直後の 70%以上含有しており、仔魚に摂餌されるまで十分量が維持されていた。以上の結果より、直接法によるワムシへのタウリン強化方法が確立された。また、同様な直接法により、数種水溶性ビタミンのワムシへの強化も可能であることを確認した。

ワムシへのタウリン強化方法を確立したことにより、海産魚類仔魚期におけるタウリンの必須性や有効性について検討することが可能になった。そこで、タウリン強化ワムシを用いて、ヒラメ、マダイ、トラフグ、アユなどの海産魚類孵化仔魚の飼育試験を実施した。その結果、ヒラメ、マダイ、アユ、マダラにおいてタウリン未強化ワムシ給与区に比較してタウリン強化ワムシ給与区で成長性および飢餓耐性に対する活力が有意に改善された。但し、ワムシへのタウリン強化量と成長性および飢餓耐性活力向上効果の関係は明確にはならなかった。試験終了時の供試魚中タウリン含量より、ワムシに強化されたタウリンは、仔魚に吸収、蓄積されることが確認され、ワムシ中の強化量に比例して仔魚中蓄積量も増加した。以上の結果より、タウリンはトラフグを除く、ヒラメやマダイ、アユ、マダラなど海産魚類の仔魚期において、成長改善や活力向上に必須および有効な物質であることが明らかになった。換言すると、タウリンはワムシに不足する栄養素の一つであり、EPA や DHA などの n-3HUFA と同様に栄養強化する必要があることを解明した。

海産魚類仔魚期においては、消化器官が未発達であり、人工配合飼料の単独飼育は依然不可能であり、生物餌料が不可欠となっている。しかし、胃腺が分化して成魚型

の消化系が完成する稚魚期においては、人工配合飼料の有効利用により生物飼料の大部分を代替可能となるが、それ単独で必要十分な栄養価が求められるため、各魚種の栄養要求の把握が必要である。本研究では、トラフグ稚魚期のリン要求量を把握するため、実用飼料におけるリン酸塩の適正添加量を検討した。飼育試験の結果、成長や飼料効率などの飼育成績および試験終了時における軟 X 線撮影による脊椎骨形態異常発生率もリン酸塩混合物 1.0%以上にて改善された。さらに、供試魚全魚体中のミネラル分析により、全魚体中のリンおよびカルシウム含量は、リン酸塩混合物 1.5%以上の添加により、ほぼ一定となった。また亜鉛、鉄、銅などの微量元素はリン酸塩混合物の添加量が増加するに従って全魚体中含量が低下した。以上の結果より、トラフグ稚魚期における実用飼料へのリン酸塩混合物の至適添加量は、飼育成績および脊椎骨形態異常発生率から判断すると 1.0%以上であり、魚体成分も考慮すると 1.5%であり、その際の有効性リン含量（水溶性リン含量）は、飼料中 0.55 および 0.64%であることを示した。

最後に、ヒラメ無眼側体色異常（黒化）の発生に及ぼす因子の解明のために各種飼料原料の相違による黒化出現率を比較した。その結果、幾つかの原料ロットにおいて黒化発生が助長されることが確認され、ビタミン D 以外の栄養要因によっても黒化出現を助長する物質が存在することが明らかとなった。また、栄養的要因以外に黒化出現に大きく影響を及ぼすことが推定されるストレス要因について、コルチゾルを飼料に段階的に添加して飼育試験を実施した。その結果、コルチゾル高濃度添加区（0.1mg/g および 1.0mg/g）で成長性および飼育成績が低下した。また、コルチゾルの添加量に比例して黒化度+3 の出現率が増加し、コルチゾルが黒化出現の因子であることを示唆した。

以上本研究において、ワムシおよびアルテミアの栄養価の過不足と実用的な生物飼料の栄養強化方法を明らかにした。また、ワムシへのタウリン強化方法を初めて確立し、海産魚類仔魚期におけるタウリンの必須性や有効性について解明した。さらに、稚魚期の栄養要求多様性に対応するために人工配合飼料研究開発を進めた。これらの結果は、海産魚類仔稚魚期の栄養要求研究を進展させ、種苗生産技術の向上に繋がることが期待される。

学位論文審査の要旨

主査教授 足立伸次
副査教授 原彰彦
副査教授 都木靖彰
副査助教授 東藤孝

学位論文題名

海産魚類仔稚魚の栄養要求に関する研究

1960年代以降において海産魚類人工孵化技術の研究・開発により、種苗生産対象魚種の拡大および生産尾数の飛躍的な増大が果たされてきた。しかし、種苗生産量産化技術が確立された魚種においても形態異常や体色異常が発生し、更なる質的改善が望まれている。一方、有用魚種においても量産化技術が依然確立されていない魚種も存在する。増養殖業の発展のためには、有用な形質を持った健苗の大量、且つ安定した種苗生産技術の確立が囁きされる。そのためには、親魚養成技術や成熟・採卵のコントロール技術、仔稚魚の飼育技術の向上が必要である。そこで、本研究では、海産魚類仔稚魚の栄養要求を解明し、種苗生産技術の向上に寄与することを目的とした。

現在、海産魚類種苗生産に不可欠な生物餌料であるワムシおよびアルテミアの栄養価は質・量ともに不足する成分が多く、栄養強化が必須である。本研究では、ワムシおよびアルテミアの栄養強化方法とその栄養価について検討した。その結果、生物餌料の栄養強化は、栄養強化剤の種類、その添加量、強化時間、強化密度、強化水温などに左右され、種苗生産対象魚種の栄養要求を理解した上で各種栄養強化条件を設定する必要があることを示した。

自然界動物プランクトンと比較してワムシ中に微量しか含有されないタウリンという物質に着目し、タウリンが海産魚類仔魚期において必須性および有効性のある物質であるか検証を試みた。まず、ワムシの栄養強化水槽にタウリンを溶解させる直接法を用いることによって、ワムシが水中に溶解しているタウリンを取り込み、蓄積することを初めて明らかにした。次に、栄養強化水槽中のタウリン濃度とワムシ中に蓄積されたタウリン量は、直線的な比例関係となることを確認し、アルテミア幼生および天然コペポーダレベルまで強化可能であることを明らかにした。また、ワムシ中に強化されたタウリンは、強化終了8時間後においても終了直後の70%以上含有して

おり、仔魚に摂餌されるまで十分量が維持されるなど、直接法によるワムシへのタウリン強化方法を確立した。さらに、同様な直接法により、数種水溶性ビタミンのワムシへの強化も可能であることを明らかにした。次に、タウリン強化ワムシを用いてヒラメ、マダイ、トラフグ、アユなどの海産魚類孵化仔魚期におけるその必須性や有効性を検証する飼育試験を実施した。その結果、各魚種においてタウリン未強化ワムシ給与区に比較してタウリン強化ワムシ給与区で成長性及び飢餓耐性に対する活力が有意に改善することが明らかとなった。試験終了時の供試魚中タウリン含量より、ワムシに強化されたタウリンは、仔魚に吸収、蓄積されることが確認され、ワムシ中の強化量に比例して仔魚中蓄積量も増加していることが明らかとなった。以上の結果より、タウリンはトラフグを除く、ヒラメやマダイ、アユ、マダラなど海産魚類の仔魚期において、成長改善や活力向上に必須および有効な物質であることが明らかになった。換言すると、タウリンはワムシに不足する栄養素の一つであり、EPA や DHA などの n-3HUFA と同様に健全な種苗を得るために栄養強化する必要があることを解明した。

人工配合飼料は、それ単独で必要十分な栄養価が求められるため、各魚種の栄養要求の把握が必要である。本研究では、トラフグ稚魚期のリン要求量を検討する目的にて実用飼料におけるリン酸塩の適正添加量を検討した。その結果、飼育成績および脊椎骨形態異常発生率の防除は、リン酸塩混合物 1.0%以上にて改善された。さらに、供試魚全魚体中のミネラル分析により、その至適添加量は、1.5%であることが解明され、その際の有効性リン含量（水溶性リン含量）は、飼料中 0.64%であることを示した。

ヒラメ無眼側体色異常（黒化）発現因子の解明のためにヒラメ飼育試験を実施した結果、ビタミン D 以外の栄養要因によっても黒化出現を助長する物質が存在することが明らかとなった。また、栄養的要因以外に黒化出現に大きく影響を及ぼすことが推定されるストレス要因について、コルチゾルを飼料に段階的に添加して飼育試験を実施した。その結果、コルチゾルの添加量に比例して黒化度+3 の出現率が増加し、コルチゾルが黒化出現の因子であることを示唆した。

以上本研究において、ワムシおよびアルテミアの栄養価の過不足と実用的な生物飼料の栄養強化方法を明らかにした。また、ワムシへのタウリン強化方法を初めて確立し、海産魚類仔魚期におけるタウリンの必須性や有効性について解明した。さらに、稚魚期の栄養要求多様性に対応し、人工配合飼料研究開発を進めた。これらの成果は、海産魚類仔稚魚期の栄養要求研究を進展させ、種苗生産技術の向上に関して極めて重要な知見を提供したものと高く評価され、本論文が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。