

ホタテウロを原料とした高機能性養魚用飼料の開発

若杉 郷臣, 平間 政文*, 富田 恵一, 鎌田 樹志, 佐々木 雄真, 吉川 琢也
信太 茂春**, 石田 良太郎***, 石田 宏一***, 佐藤 敦一****

Development of Highly Efficient Feed from Scallop Mid-gut Gland

Motoomi WAKASUGI, Masafumi HIRAMA*, Keiichi TOMITA, Tatsuyuki KAMADA
Takema SASAKI, Takuya YOSHIKAWA
Shigeharu NOBUTA**, Ryotaro ISHIDA***, Kouichi ISHIDA***, Nobukazu SATO****

抄 録

水産系廃棄物として排出されるホタテガイの中腸腺を主とした加工残渣（ホタテウロ）を原料とした魚類摂餌促進物質（Scallop Mid-gut Glands Extract with Cd removal treatment, SMGE）の製造技術開発を行った。自己消化または酸性プロテアーゼで処理して遊離アミノ酸を増加させ、電解法により含有するカドミウムを除去し、中和および濃縮を行いSMGEを得た。ホタテウロエキス電解処理条件の検討の結果、pH3、電解電圧5Vが最適であることがわかった。これらの結果から、1バッチ660kgスケールのミニプラントを構築して実証製造試験を実施した。試験製造品について、いくつかの魚種を対象とした飼育試験を実施したところ、SMGEは摂餌促進効果や成長促進効果を有することが明らかとなった。

キーワード：ホタテウロ、魚類摂餌促進物質、SMGE

Abstract

The manufacturing technology of the feeding stimulant for cultured fish made from scallop mid-gut gland (Scallop mid-gut glands extract with Cd removal treatment, SMGE) was developed. It was treated with a self-digestion or acidic protease to increase free amino acids. And cadmium containing the extract was removed by electrolysis. Then SMGE was prepared by neutralizing and concentrating the extract. It was found that pH of the extract was pH 3 and electrolysis voltage was 5 V were the optimum condition in the electrolysis process. It was built the demonstration production facilities to process the 660 kg of scallop mid-gut gland. And in the several species of fishes, SMGE was found to have the improvement of feeding activity and growth performance in these fishes.

KEY-WORDS : Scallop mid-gut gland, Feeding stimulant for cultured fish, SMGE

1. はじめに

北海道の漁業生産量は全国の27%を占め、全国第1位である。中でもホタテガイの生産は、2013年の生産量で45.4万トンと、魚種別で北海道一を誇る¹⁾。しかし、ホタテガイの加

工に伴い、水産系廃棄物として中腸腺（ウロ）と呼ばれる部位を主とする内臓部分が年間3万トン程度発生している²⁾。これらはタンパク質を60%以上含み、有機質資源としての有効利用が期待されるが、有害重金属のカドミウムを高濃度に蓄積している^{3, 4)}ことが有効利用の足かせとなり、生産者や

* 北海道日油株式会社, * HOKKAIDO NOF Corporation

** 道総研 釧路水産試験場, ** Hokkaido Research Organization Kushiro Fisheries Research Institute

*** 道総研 栽培水産試験場, *** Hokkaido Research Organization Mariculture Fisheries Research Institute

**** 道総研 中央水産試験場, **** Hokkaido Research Organization Central Fisheries Research Institute

事業名：循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業

課題名：ホタテウロの利用技術開発

加工業者および自治体等はその処理に苦慮している。

一方、日本の漁業・養殖業生産量は1984年には1,280万トンを超えたが、200海里問題やマイワシ資源の枯渇などの影響により生産量が漸減し、2014年は479万トンとなった。しかし、養殖業の比重は年々増しており、2014年は漁業・養殖業生産量全体の20%以上の102万トンに達している⁵⁾。そのため、養殖業は水産物供給の安定化に寄与するなど、水産業において今後ますます重要となっていくと考えられる。

しかし、養魚飼料原料として用いられる魚粉は2005年頃までは輸入価格が70円/kg程度であったが、ペルー産のカタクチワシの不漁や中国などの養殖生産量の増加による魚粉の需要増加などの影響を受けて高騰し、現在では200円/kgを超えるまでになっている(図1)⁶⁾。それに伴い養魚飼料の価格も上昇し、飼料代がコストの大半を占めるブリやマダイ等の魚類養殖業の経営を圧迫しており、よりコストの低い養魚飼料の開発が急務となっている。魚粉の一部を大豆かす等の植物性タンパクと置き換えれば養殖コストを削減することは可能だが、摂餌性の低下や成長率の低下を引き起こす問題があるため、摂餌促進物質の利用が提案されている。しかしながら、現在摂餌促進物質として用いられているオキアミエキスは600円/kgと非常に高価なため、養殖業界からは安価な摂餌促進物質の開発が要望されている。

そこで、本道のホタテガイ漁業の持続的な発展を支援するとともに、日本の養殖業界のニーズにも対応した研究として、ホタテウロからカドミウムを除去し、付加価値性の高いホタテウロ由来魚類摂餌促進物質(SMGE)への有効利用技術の開発を行ったので報告する。

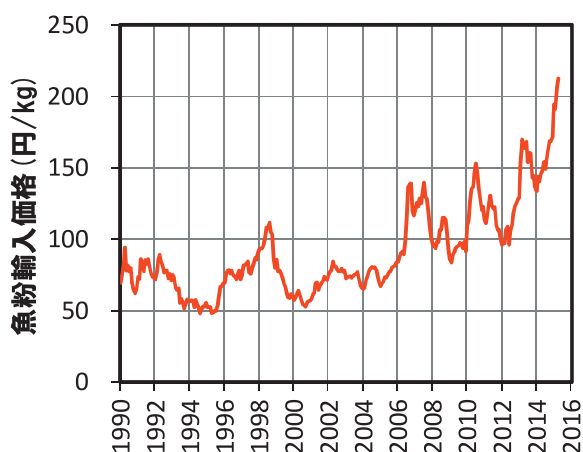


図1 魚粉輸入価格の推移

2. 実験方法

2.1 SMGEの製造方法の検討

魚類に摂餌促進効果を持つ物質として、遊離アミノ酸が知られている⁷⁾。また、ホタテウロには高濃度でカドミウムが

蓄積している問題がある。そこで、SMGEの製造方法として、以下の処理工程の検討を行った。

2.1.1 ホタテウロのエキス化条件の検討

魚類摂餌促進物質となる遊離アミノ酸を増加させるため、ホタテウロのタンパク質の分解(エキス化)処理を検討した。ホタテウロの加工業者からの排出形態は、煮熟処理された物(ボイルウロ)と生のまま排出された物(生ウロ)があり、性状が異なるため、各ウロについてエキス化条件を検討した。各ウロに対し水を0.6倍量添加後、ボイルウロでは酵素添加によるエキス化を行い、pH、温度、酵素の種類、酵素添加量の条件を検討した⁸⁾。また、生ウロについて自己消化によるエキス化を行い、pH、温度条件を検討した⁹⁾。

2.1.2 カドミウム除去のための電解処理条件の検討

ホタテウロにはカドミウムが含まれているため、飼料として利用するにはカドミウム規制値¹⁰⁾の3 mg/kg以下に低減する必要がある。そこで、電解処理法によるホタテウロのエキス化物に含まれるカドミウム除去を検討した。ポリエチレン(PE)製容器の中に加温用のコイル状の銅製パイプと、その内側に容量500mLのポリスチレン(PS)製容器を設置し、その中にエキスを350mL入れ、さらにステンレスSUS304製の陰極板と、白金酸化物をチタン板表面に焼成した不溶性電極(ペルメック電極¹¹⁾)の陽極板をそれぞれ1枚ずつ配置した。各電極板表面はテフロン製テープでマスキングし、一面あたり20cm²がエキス中に浸漬するようにした。PE製容器にはPS製容器の2/3程度が浸る程度の水を入れ、電解装置を一定温度に保つよう、銅製パイプの内部に湯浴で作成した湯を循環した。直流電源は¹²⁾高砂製作所製 GP08-20を使用した。ボイルウロエキスを用い、エキスのpHが2~4、印加電圧が3.2~6 V、液温は約45℃の条件で検討し、カドミウム除去に及ぼす影響について検討した。図2に実験の状況を示す。



図2 電解装置(電解条件検討用)

試験中、一定時間ごとにエキスを採取し、マイクロウェーブ分解装置（マイルストーンゼネラル㈱製 1200MEGA）により分解処理を行った後、ICP質量分析装置（アジレントテクノロジー㈱製 Agilent7700x）によりカドミウムの測定を行った。

2.2 実験室スケールでのSMGEの製造検討

2.1節にて検討したエキス化条件と電解処理条件により、実験室スケール規模（3～9 L）でのSMGEの製造試験を行い、製造技術の確立を図った。

原料にはボイルウロまたは生ウロを用い、自己消化によるエキス化処理後、珪藻土ろ過を行い清澄なエキスを得た。その後、電解処理によりホタテウロエキスに含まれるカドミウムを除去し、濃縮または乾燥処理を行ってSMGEを作製するプロセスについて検討した。

2.2.1 ホタテウロのエキス化

エキス化の方法については、以下に示す方法により行った。まず、水をウロの0.6倍量添加して混合粉碎した。続いて、ボイルウロには硫酸を加えpH2.5に調整し、酸性プロテアーゼをウロの重量に対して0.3%添加した。一方、生ウロには硫酸を加えてpH3.75とした。その後、ボイルウロ、生ウロともに45℃にて40時間振とうしてエキス化を行い、珪藻土ろ過により清澄なエキスを得た。

2.2.2 電解処理によるウロエキス中カドミウムの除去

ウロエキスに含まれるカドミウムについて、表1の条件にて、図3に示す装置により電解法による除去処理を行った。水浴内に容器を設置して、その中にエキスを入れて電極板を配置し、電解処理中に攪拌を行えるよう、水浴をマグネチックスターラーに載せた。陰極板にはステンレス（SUS304製）を、陽極板には不溶性電極（ペルメレック電極㈱製）を用い、それぞれの電極板表面は表1に示す面積となるよう、テフロン製テープでマスキングした。直流電源を電極板に接続し、定電圧モードで所定の電圧を印加し、電解処理を行った。試

表1 SMGE製造試験における電解条件

原料	ボイルウロ	生ウロ
容器	テトラフルオロエチレン・パーフルオアルキルビニルエーテル共重合体(PFA)製 4L容器	ポリカーボネート(PC)製 13L容器
エキス使用量(L)	3	6～9
電極板面積(cm ²)	160	400
pH	2.5	3
電圧(V)	3.2	5
電流(A)	1～2	10～14
液温(℃)	45	45

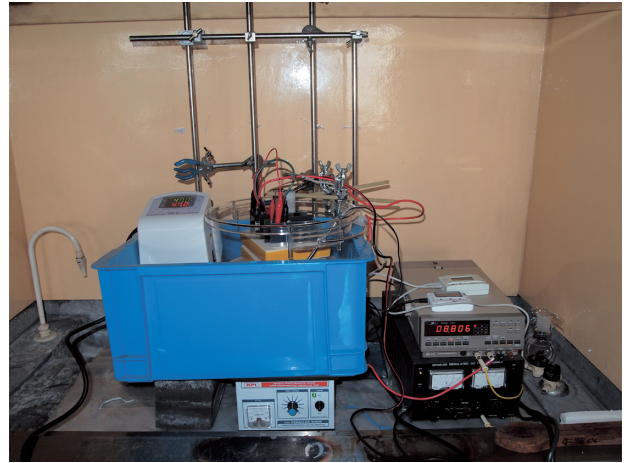


図3 電解装置（SMGE製造検討用）

験中、2.1.2項と同様に一定時間ごとにエキスを採取し、カドミウムの測定を行った。

2.2.3 ウロエキスの濃縮・凍結乾燥・粉末化

カドミウムを除去したエキスは、20%水酸化ナトリウム溶液でpH 7まで中和後、ロータリーエバポレーターを用いて60℃で減圧濃縮を行ってSMGE濃縮エキスを得た。さらに、濃縮液を真空凍結乾燥機（東京理化器械㈱製 FDU-830）により乾燥後、超遠心粉碎機（レッチェ製 ZM200）により粉碎し、SMGE乾燥粉末を得た。

2.3 ミニプラント試験装置によるSMGEの製造試験

実験室規模での製造試験の検討結果をもとに、北海道茅部郡森町のホタテウロ処理施設（ホタテ未利用資源リサイクル施設）内に、ホタテウロをエキス化し、脱カドミウム処理を行うための660kgバッチ規模のミニプラントを構築するとともに、リサイクル施設に隣接する飼料製造会社（北天ハイミール㈱）内に設置されているホタテウロ濃縮・乾燥施設を利用してエキスの濃縮処理を行い、実証試験レベルでのSMGE製造技術確立のための検討を行った。

本試験は平成25～26年度に生ウロを原料として5回、ボイルウロを原料として2回、計7回実施した。以下、本報では、平成26年9月下旬から実施した、生ウロを原料とした場合の試験について示す。

2.3.1 装置の概要

ミニプラントの概略図を図4に示す。装置はエキス化を促進させるためのウロ破砕ポンプ、ウロ分解槽と自己消化処理に最適な温度を維持するための加温用の貯湯槽、カドミウム除去処理で使用する電解装置と電源装置、電解時に発生する泡を除去するための泡取器、エキス循環ポンプなどから構成されている。以下、主要な装置について詳細を示す。

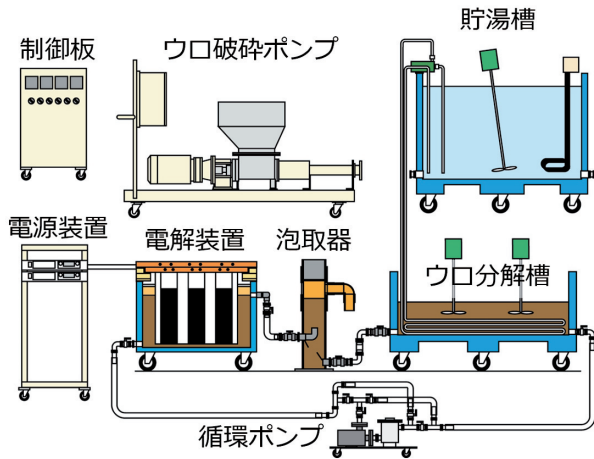


図4 ミニプラントの概略図



図5 ミニプラントの電解装置

a) ウロ破碎ポンプ

最大2トン/hのウロ破碎能力があり、移送機能が一体化しコンパクトな装置として、ハイシンモノポンプ フードクラッシュシリーズ（兵神装備㈱製）を選択した。

b) 貯湯槽

エキシ化時の熱源として、60℃程度の湯を1,000L程度生成し利用するため、ポリプロピレン（PP）製1,400L水槽に攪拌機と投げ込みヒーター（7.5kW）、およびウロ分解槽に湯を供給するための湯循環ポンプを設置し、貯湯槽として用いた。

c) ウロ分解槽

エキシ化処理において、加温と攪拌を行うため、PP製1,000L水槽に攪拌機2機を設置し、ステンレスフレキパイプを槽の底面に這わして貯湯槽からの湯を循環し、ウロ分解槽を加温できるようにした。

d) 電解装置

PP製400L水槽に、ステンレス製（SUS304）の陰極板と不溶性電極（ペルメレック電極㈱製）の陽極板を交互に配置した（図5）。

e) 電源装置

定格出力8V・600Aの直流電源装置（菊水電子工業㈱製）2台を並列接続し、最大1,200Aの出力を可能とした。

2.3.2 処理工程

a) ウロの破碎・エキシ化

図6に示す生ウロ（冷凍品）660kgを原料とし、シャーベット状となるまで解凍後、ウロ破碎ポンプにて破碎してウロ分解槽に投入した。その後、ウロ分解槽に水をウロの重量に対して0.3倍量添加し、攪拌機で均一になるように混合した。その後、硫酸を添加してpH3～4に調整し、45℃に加温し



図6 ミニプラント試験に使用した生ウロ（660kg）



図7 ホタテウロ濃縮・乾燥施設

ながら2日間自己消化によるエキシ化処理を実施した。

b) 電解処理

電解槽とウロ分解槽をホースで接続し、ポンプでエキスを循環しながら電極板に電圧を印加してカドミウムを陰極板に析出除去した。エキスのpHは3.1、電源装置の運転条件は5V（電極間）定電圧モードとした。

c) 濃縮処理

脱カドミウム処理後のエキスについて、pH計で測定しながら20%水酸化ナトリウムを混合しpH7に調整した。その後、森町でのホタテウロの処理に利用しているホタテウロ濃縮・乾燥施設(図7)を使用し、エキスを濃縮作業した。かきとり式熱交換器(アルファ・ラバル(株)製 コンサーム)によりエキスを90℃以上に急速加熱後、デカンター(アルファ・ラバル(株)製)にて残渣を除去した。その後、薄膜蒸発機(株)櫻製作所製 ハイエポレーター)にて水分50%以下を目標にエキスの減圧濃縮処理を行い、SMGE濃縮エキスを製造した。

2.4 飼育試験による評価

実験室またはミニプラントにて製造したSMGEについて、クロソイ稚魚、マダイ稚魚、ハマチなどの魚種を対象とし、SMGEを数%配合した飼料を摂餌する飼育試験を数週間の期間で実施してSMGEの摂餌促進効果を検討した。クロソイ稚魚については実験室で製造したボイルウロ原料SMGEを、マダイ稚魚には実験室で製造した生ウロ原料SMGEを、ハマチにはミニプラントで製造した生ウロ原料SMGEを用いた。

2.5 コスト試算

本ミニプラント試験にかかるコストのうち、ホタテウロのエキス化、脱カドミウム処理および中和にかかるランニングコストについて、本試験に使用した電力量および薬品量から試算した。

3. 結果と考察

3.1 SMGEの製造方法の検討

3.1.1 ホタテウロのエキス化条件の検討

ボイルウロのエキス化処理について検討したところ、酸性条件で処理しなければ腐敗することが判明した⁸⁾。そこで、pH2.5を至適pHとする酸性プロテアーゼ(エイチ・ビィ・アイ(株)製 オリエンターゼAY)を用いてエキス化条件を検討した。その結果、pH2.5~3.5、45℃の条件がエキス化に適していた。また、酵素の添加量について0~0.6%の範囲で検討したところ、酵素添加量を増加させるとそれに応じて遊離アミノ酸生成量も増加することがわかった⁸⁾。

また、生ウロについては、pH3以上で遊離アミノ酸生成量が多くなり、pH4、40℃で遊離アミノ酸生成量が最大となった。しかし、pH5では腐敗したため、安定的に処理するにはpH3~4の範囲が適していることが判明した⁹⁾。

3.1.2 電解処理によるカドミウム除去条件の検討

図8に印加電圧を変化させた場合、図9にエキスのpHを

変化させた場合のカドミウム濃度変化について示す。図8より、電圧が5Vおよび6Vではカドミウム除去速度がほぼ同等であったのに対し、3.2V、4Vでは除去速度が遅いことがわかった。しかし、3.2V以上の印加電圧の場合、9~10時間で乾物換算3mg/kg程度となる0.3mg/L以下まで低減できた。図9より、pH2での条件が最もカドミウム除去速度が大きかったが、pH2.5、3と大きな差は見られなかった。一方、pH4ではカドミウム濃度が1mg/L以下になると除去速度が低下する様子が見られた。これらのことから、電解条件としてはpH2~3、電圧3.2~5Vの条件が適することがわかったが、薬品コストや処理時間を考慮すると、pH3、電圧5Vの条件が最適であると考えられる。

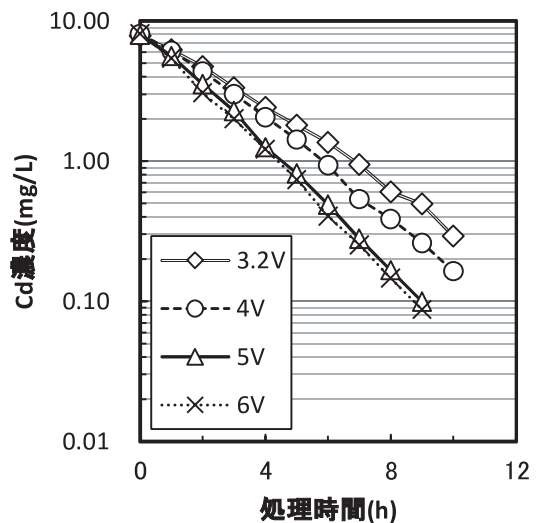


図8 電圧を変化させた場合の電解処理によるカドミウム除去への影響 (pH2.5)

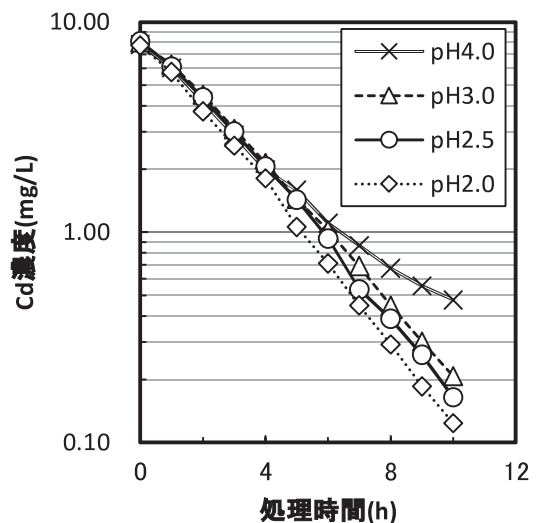


図9 エキスのpHを変化させた場合の電解処理によるカドミウム除去への影響 (電圧4V)

3.2 実験室スケールでのSMGEの製造検討

3.2.1 エキスの電解処理によるカドミウム除去

表1の処理条件によりウロエキスの電解処理を行った。図10にカドミウム濃度変化を示す。ボイルウロエキスについては電解処理9時間で、生ウロエキスについては7時間で、カドミウム濃度が乾燥物換算で3 mg/kgとなる0.3mg/L以下となった。これらの差は原料の違いによるものではなく、処理条件、特に電圧条件の違いによるものと考えられ、処理時間は3.1.2項の小スケールでの電解処理結果とほぼ同様である。これらのことから、電極板の面積を処理量に応じて大きくすることで、性能を維持したままスケールアップ可能と考えられる。

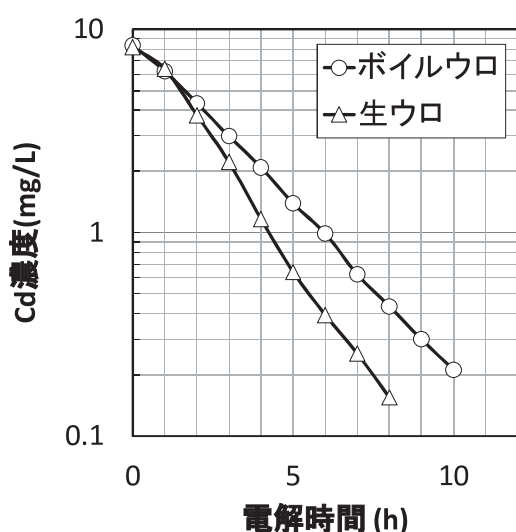


図10 実験室スケールでのSMGEの製造検討における電解処理によるカドミウム濃度変化

3.2.2 濃縮・凍結乾燥・粉末化

得られたSMGE粉末の写真を図11に示す。SMGE粉末には遊離アミノ酸が4割程度含まれていた。しかし、非常に吸湿性が高く、すぐ潮解するため、取り扱いに注意が必要であった。また、凍結乾燥は実用規模での製造に用いるにはコスト高となるため、魚粉等に混合して乾燥する方法を用いるか、あるいは乾燥せず濃縮エキスにとどめるなどの方法を取る必要があると考えられる。

3.3 ミニプラント試験装置によるSMGEの製造試験

3.3.1 ウロ破碎・エキス化処理

エキス化前後の様子について、図12および図13に示す。エキス化前には、図12のように破碎ポンプにて破碎されなかった外套膜等が多量に残っている状態であったが、1日経過すると図13のように分解液の粘性が下がっており、外套膜等は完全に分解していた。しかしながら、分解液には非常に微細な未分解残渣が懸濁状態で存在しており、製品への混入によ

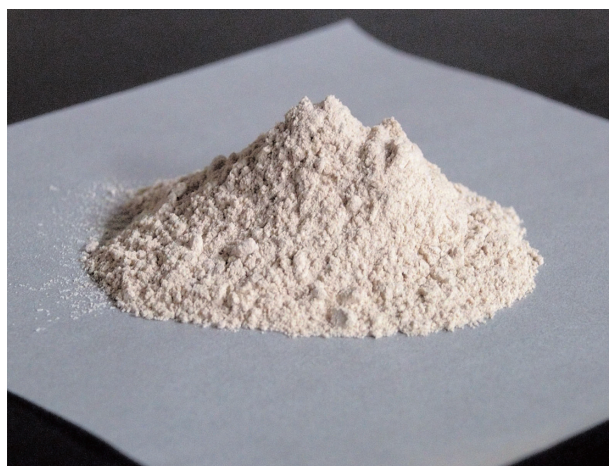


図11 SMGE乾燥粉末



図12 生ウロのエキス化処理開始時の様子

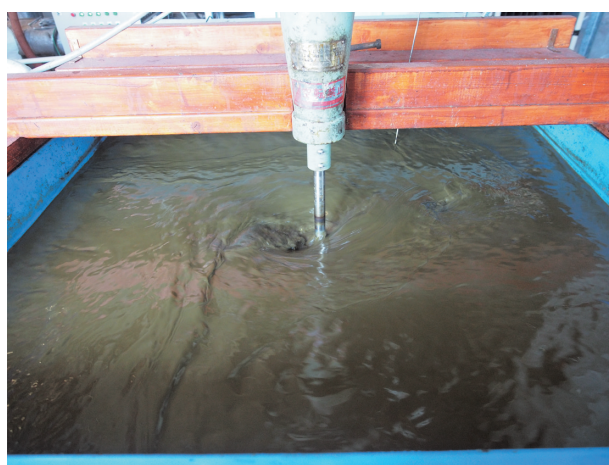


図13 生ウロのエキス化処理後（1日経過）

りアミノ酸含有率を低下させるだけでなく、残渣には油脂分が多く含まれるため、製品の酸化など、品質に悪影響を及ぼす。そこで、遠心分離による油脂分と未分解残渣の除去処理を実施したところ、図14に示すように油脂分と未分解残渣量は低減しており、エキス中の油脂濃度が処理前14%（乾燥物換算）に対し、処理後は5.9%（乾燥物換算）だった。

作品に遜色なく、ミニプラント規模でも十分な品質のSMGEを製造可能であることが判明した。



図14 遠心分離前後の未分解残渣量
(左：遠心分離前，右：遠心分離後)

3.3.2 電解処理

図15に電解処理時間とカドミウム濃度変化を示す。本試験で使用したエキスの水分量は87%であったため、乾燥物換算で3 mg/kgになるような濃度として、0.4mg/L以下を目標に処理を実施した。初期濃度は15.5mg/Lであったが、電解処理開始後、徐々にカドミウム濃度が低下し、10時間後には目標の0.4mg/Lを下回る0.35mg/Lまで低下したため、ここで電解処理を終了した。電流は電解処理中のエキスの温度上昇に比例し、開始時830Aから最終的に1,200Aまで増加した。電解処理に要した電力消費量は77.5kWhであった。

3.3.3 エキスの濃縮処理

図7の濃縮・乾燥施設の設備を用いて、エキスを濃縮処理した結果、得られた濃縮エキスの重量は109.6kg、水分率は43.8%であった。表2に遊離アミノ酸組成を示す。遊離アミノ酸総量は乾燥物換算で約35%と、3.2.2項の実験室規模の試

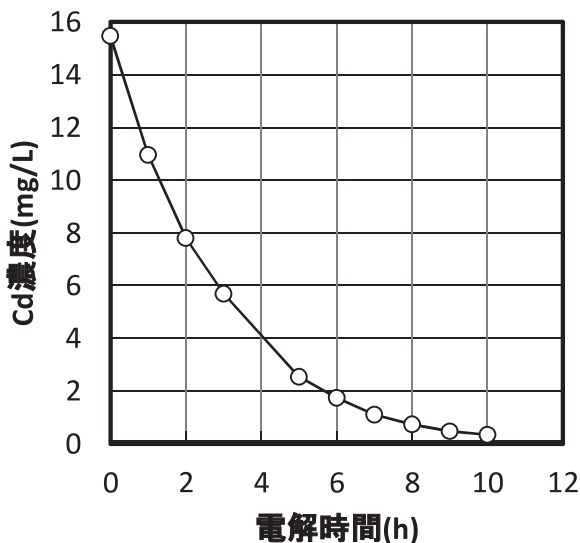


図15 電解処理によるカドミウム濃度変化

表2 ミニプラント製造SMGEの遊離アミノ酸組成
(mg/100g, 乾重量基準)

アミノ酸	ミニプラント製造 SMGE
ホスホセリン	183
タウリン	2,718
アスパラギン酸	2,555
スレオニン	906
セリン	1,752
グルタミン酸	1,834
グルタミン酸	594
サルコシン	0
α-アミノアジピン酸	109
グリシン	4,967
アラニン	2,268
シトルリン	0
α-アミノ酪酸	74
バリン	1,983
シスチン	118
メチオニン	888
シスタチオニン	0
イソロイシン	1,832
ロイシン	2,591
チロシン	288
フェニルアラニン	1,503
β-アラニン	84
β-アミノイソ酪酸	0
γ-アミノ酪酸	601
トリプトファン	100
ヒドロキシリジン	109
オルニチン	1,770
リジン	2,304
1-メチルヒスチジン	14
ヒスチジン	73
3-メチルヒスチジン	25
アンセリン	420
カルノシン	171
アルギニン	64
ヒドリキシプロリン	177
プロリン	1,514
合計	34,591

3.3.4 エキス化・電解処理コストの試算

生ウロを原料とした場合のランニングコストを表3に示す。まず、電力消費量は計333.31kWhとなり、単価18円/kWhとすると、合計6,000円となるが、このうち、加温用の投げ込みヒーターの電力消費量をA重油に換算すると23.2L相当となり、80円/Lで計算すると1,853円となるため、合計3,324円となる。また、薬品使用量については硫酸、水酸化ナトリウムその他で計1,617円となった。生ウロ660kgあたりのホタテウロのエキス化・脱カドミウム処理・中和にかかるランニングコストは4,940円、1トンあたりに換算すると7,484円となる。

表3 エキス化・脱Cd処理コスト

	単価	使用量	生ウロ 660kgあ たりコスト (円)	投げ込み ヒーターを A重油換算 (円)
電力				
投げ込みヒーター	18 円/kWh	251.61 kWh	4,529	1,853
電解用電源	18 円/kWh	77.46 kWh	1,394	1,394
その他	18 円/kWh	4.24 kWh	76	76
計		333.31 kWh	6,000	3,324
薬品				
硫酸	25 円/kg	10.6 kg	265	265
20%NaOH溶液	34 円/kg	23.2 kg	789	789
その他			563	563
計			1,617	1,617
合計			7,616	4,940

3.4 飼育試験による評価

クロソイ稚魚の結果を図16¹¹⁾に、マダイ稚魚の結果を図17¹²⁾に示す。クロソイ稚魚では飼料に2%配合することで無添加区と比べて伸長率や増重率および飼料効率が有意に改善し(図16)、マダイ稚魚は2%添加により摂餌性や成長が向上した(図17)。これらの結果から、原料がボイルウロまたは生ウロのどちらでも摂餌促進効果や成長促進効果が得られることがわかった。

また、ミニプラントにて製造したSMGEについて、ハマチを対象とした飼育試験を実施したところ、図18に示すようにSMGE添加区は無添加区よりも増重量や摂餌量が向上しており、日本の代表的な養殖魚であるハマチにも効果があることを確認し¹²⁾、ミニプラント製造品も実験室試作品と同様に摂餌促進効果や成長促進効果があることがわかった。

しかし、過剰な添加量では成長に悪影響を及ぼすことも判明しており¹²⁾、魚種ごとにSMGEの適正添加量を把握し、遊離アミノ酸の少ない飼料を補完するような使用方法を示す必要があると考えられる。

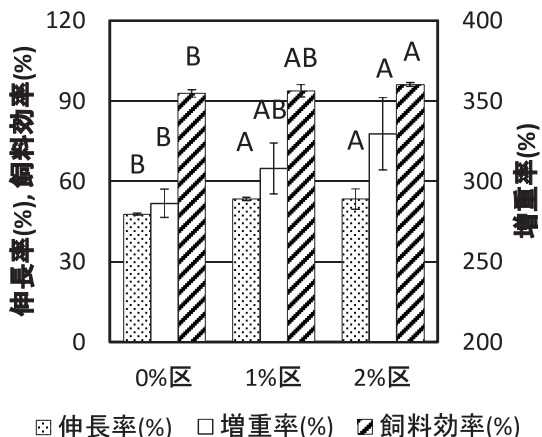


図16 クロソイ稚魚飼育試験によるSMGEの成長促進効果

※異なるアルファベットを有する値同士は統計的有意差がある(有意水準5%, ダンカンの多重比較検定)

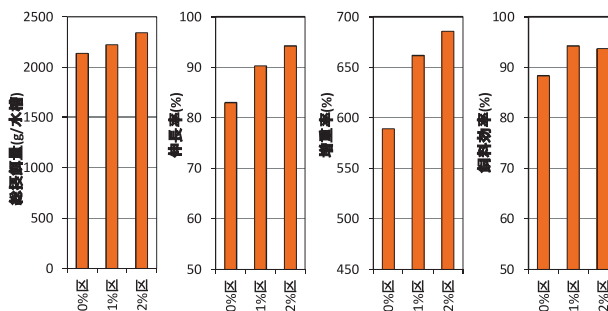


図17 マダイ稚魚飼育試験によるSMGEの成長促進効果

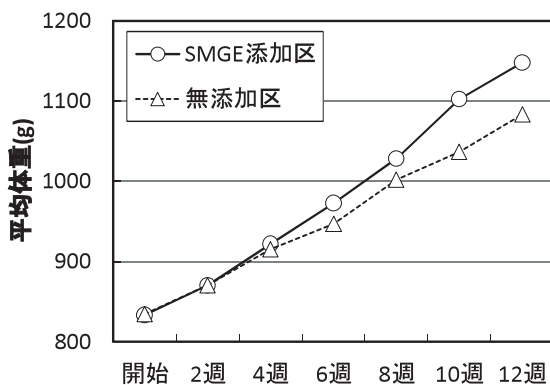


図18 ハマチ飼育試験によるSMGEの成長促進効果

4. おわりに

水産系廃棄物として排出されるホタテウロ原料とした魚類摂餌促進物質の製造技術開発について検討した結果、以下のことがわかった。

- 1) ボイルウロでは、pH2.5~3.5, 45°C, 生ウロではpH 3~4, 40°Cの条件が最も適したエキス化条件であることがわかった。
- 2) 電解条件はpH2~3, 電圧は3.2~5 Vの条件で基準値以

下までカドミウムを除去でき、処理コスト、処理時間を考慮するとpH 3、電圧 5 Vが最適であった。

- 3) ミニプラント装置を用いたSMGE製造実証試験を行ったところ、検討した条件でウロをエキス化でき、電解処理時間10時間程度で規制値以下までカドミウムを除去できることがわかった。
- 4) 実証試験により製造したSMGEは約35%の遊離アミノ酸を含有し、SMGEには摂餌促進効果や成長促進効果があることがわかった。

今後、SMGE中の未分解残渣量の低減など、製造工程の改善を図り、より高品質なSMGEを製造するための検討を実施する予定である。

謝辞

本研究は、北海道が北海道循環資源利用促進税の税金の一部を充て、平成22年度から実施している「循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業」により、当研究機構が「ホタテウロの利用技術開発」を実施したものです。

本研究は、森町、北天ハイミール株式会社、株式会社朝日エンジニアリングのご協力で実施しました。記して感謝いたします。

本研究で使用したICP質量分析装置は財団法人JKAの機械振興補助事業により整備されました。記して感謝いたします。

引用文献

- 1) 北海道水産林務部：平成25年北海道水産現勢，p2（2014）
- 2) 北海道水産林務部：水産系廃棄物発生量（平成22年度）
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/ssk/hasseijoukyou.htm>
- 3) 作田庸一，富田恵一，田辺雄三：“ホタテガイ副産物の処理・利用技術に関する研究開発（第1報）”，北海道立工業試験場報告，291,13-19（1992）
- 4) 富田恵一，作田庸一，藤島勝美：“ホタテガイ副産物の処理・利用技術に関する研究開発（第2報）”，北海道立工業試験場報告，292,1-8（1993）
- 5) 農林水産省：平成26年度漁業・養殖業生産統計（2015）
- 6) 財務省貿易統計より算出
- 7) 竹内俊郎：“2. 魚類の摂餌と消化吸収 2.2 摂餌”，『改訂魚類の栄養と飼料』，恒星社厚生閣，20-22（2009）
- 8) 信太茂春，秋野雅樹，福土暁彦，麻生真悟，飯田訓之：“釧路水産試験場 平成23年度事業報告書”（2012）
- 9) 信太茂春，秋野雅樹，麻生真悟，飯田訓之：“釧路水産試験場 平成24年度事業報告書”（2013）
- 10) 昭和63年10月14日付け63畜B第2050号農林水産省畜産局長通知：“飼料の有害物質の指導基準について”
- 11) Nobukazu SATOH, Motoomi WAKASUGI, and

Shigeharu NOBUTA : “Availability of Fisheries By-Product Materials with Cadmium Removal Treatment as a Feed Ingredient for Fingerling Black Rockfish *Sebastes schlegeli*”, 水研センター研報，第40号，61-65（2015）

- 12) 若杉郷臣ら：“循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業報告書 ホタテウロの利用技術開発”（2015）