

水中保形性に優れたウニ養殖用配合飼料の開発

瀬野修一郎、細川 真明、可児 浩
川崎 琢真^{*}、高原 英生^{*}、福田 裕毅^{**}、清水 健志^{***}

Development of Compound Feed with Good Shape Retention in Water for Sea Urchin Farming

Shuichiro SENO, Masaaki HOSOKAWA, Hiroshi KANI
Takuma KAWASAKI^{*}, Hideo TAKAHARA^{*}, Hiroki FUKUDA^{**}, Takeshi SHIMIZU^{***}

抄 錄

農林水産省の令和5年海面漁業生産統計調査によると、国内ウニ類の年間水揚げ量は約7,200トンで、北海道が約4,100トンと過半数を占め、漁業産出額は106億円にのぼる。一方、国内需要は頭打ちであるが、海外では日本食の普及に伴い、輸出金額が過去10年間で約16倍に急増し、今後もさらなる需要拡大が見込まれている。市場の過半数を占める北海道のウニの生産は特に夏場に水揚げが集中し、秋-冬は品薄となるため高値で取引されており、この時期のウニ市場は利益拡大につながることから非常に可能性を秘めた市場である。北海道日本海沿岸には商品価値のない未利用のキタムラサキウニが多数存在し、近年開発された配合飼料でこの未利用ウニを畜養することにより、秋-冬のウニ市場に参入する養殖事業への展開が期待されている。しかしながら採算性のある持続可能な養殖事業の実現には飼料コストが課題であり、養殖カゴからの脱落による飼料ロスを可能な限り抑制した給餌量の低減が切望されている。そこで、本研究ではセルロースナノファイバーの添加によって、脱落ロスを抑制し、水中での保形性向上を目指したウニ養殖用配合飼料の開発を行った。その結果、波がある状況下やウニの摂餌圧にも耐えうる実用的な水中保形性を有する配合飼料の作製技術を確立できた。

キーワード：ウニ、養殖、配合飼料、水中保形性、セルロースナノファイバー

1. はじめに

農林水産省の令和5年海面漁業生産統計調査によると国内のウニ類の年間水揚げ量は約7,200トン（殻付き）で、北海道における年間水揚げ量は、国内の半分以上に当たる約4,100トンを占め¹⁾、その漁業産出額は106億円となるが、水揚げ量は減少傾向、漁業算出額は横ばいである。しかしながら、国内需要は頭打ちである一方、海外での日本食の普及に伴い国産ウニ輸出金額は近年10年間におよそ16倍（2024年：約300トン、約80億円）に急増しており²⁾、今後もさらなる需要拡大が見込まれている（図1）。

北海道におけるウニの生産は金額ベースで8割が旬である夏場に集中しており、水揚げが少ない秋-冬は品不足により

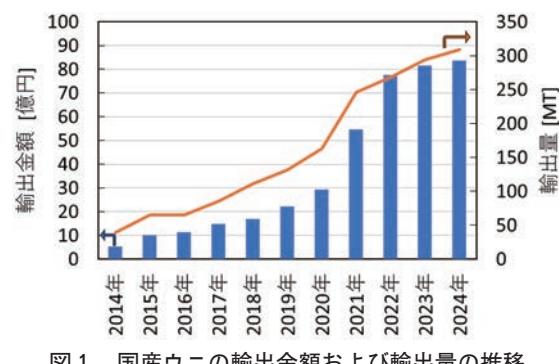


図1 国産ウニの輸出金額および輸出量の推移

取引価格が3.6～4.9万円/kg（2024年）と夏場の1.8～2.5倍の高値で取引されている³⁾。

一方で北海道日本海沿岸部には、未利用なキタムラサキウニ

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

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

*** (公財)函館地域産業振興財団（北海道立工業技術センター）、*** Hakodate Regional Industry Promotion Organization (Hokkaido Industrial Technology Center)

事業名：重点研究

課題名：秋から冬に行うキタムラサキウニの養殖技術開発

ニが高密度に存在しており、この未利用ウニを有効利用しようとする試みがなされている。この未利用ウニに配合飼料を給餌した結果、可食部重量が大きく改善し、可食部の甘味と旨味が強くなり、平均歩留り（可食部重量/個体重量）も15%以上となる高い餌料効果が得られることが浦らにより報告されており⁴⁾、本技術を用いて、取引価格の高い秋一冬に水揚げすることで経済的に持続可能なウニ養殖事業の確立が期待されている。また、この開発された配合飼料は共同開発企業である㈱北三陸ファクトリーより“はぐくむたね[®]”という商品名で現在販売されている。

しかしながら、この配合飼料を利用したウニ養殖事業のコストの大半は配合飼料で占められており、ウニ養殖を持続可能な漁業として成立させるためには、飼料コストをさらに削減させることができるとされている。飼料コストを削減させるには配合飼料の原料および製造コストを下げる、海水中での飼料の脱落ロスを減少させる等が考えられる。配合飼料によるウニ養殖は網目状のカゴ中で行われるが、これまでの実証試験により、ウニの摂餌やカゴの揺れ、海流による崩壊によって配合飼料が四散することで、網目からの脱落が起こることが知られている。さらに現在の配合飼料は給餌期間中に海水中で水に膨潤した後、次第に崩壊していくような性状のため、水中でのさらなる保形性の向上が求められている。

そこで本研究ではセルロースナノファイバー（CNF）と呼ばれる微細纖維を添加することで水中保形性の向上が可能であるか検討を行った。CNFは植物の細胞壁を構成するセルロースを纖維径がナノスケールとなるまで微細に解纖した纖維のことで、植物由来の新素材として様々な製品への応用が期待されている素材である⁵⁾。

CNFはナノスケールの纖維状の物質という形態的な特徴から様々な特性を有し、大きな比表面積もその特性の一つである。比表面積が大きいことから表面エネルギーを下げるために凝集しやすい性質を持つ。また、その凝集はセルロースの構成単位であるグルコース由来の水酸基同士の分子間水素結合によるため、非常に強固な凝集であることが知られている⁶⁾。本研究はその高い凝集力をを利用して、配合飼料における水中保形性の向上を試みた。

さらにセルロースは配合飼料の結合剤としてしばしば用いられるカルボキシメチルセルロース等と異なり、水に不溶性の物質であることから、凝集で形成されたネットワーク構造は水への耐久性を有することも期待される。

2. 実験方法

2.1 CNF添加配合飼料の作製方法

水中保形性を評価するための配合飼料は浦らにより開発された“はぐくむたね[®]”の配合原料および割合をベースに北海道立工業技術センターで調製した原料に対して当場で

CNFを添加し、作製した。CNFにはセリッシュ（KY100S・ダイセルミライズ㈱製）を用いた。

水中保形性の評価は振とう装置を用いた実験室内で実施可能な簡易評価と道総研栽培水産試験場が保有する小型流動水槽を用いたより実用環境に近い評価を行った。小型流動水槽の試験には500g前後の試料量が必要となるため、ミンサーを用いた連続押出式の製造方法を選択した。

簡易水中保形性評価に用いた配合飼料は配合原料、水、およびCNFをかくはん脱泡装置（マゼルスター KK-250S・クラボウ㈱製）で混合した後、プラスチック製カップに流し込み、50°Cで乾燥し、作製した。CNFの添加量は水中保形性との関係を調べるため、固形分に換算した添加量で0.5、1、2、4wt%添加とした。

小型流動水槽を使った保形性評価用の配合飼料は配合原料、水、およびCNFをプラネタリミキサー（ACM-20LAVT・㈱小平製作所製）で混合した後、家庭用電動ミンサー（SG-50・福島産業㈱）を用いて幅50mm、厚み4mmの押出口から吐出することで平板状に成形した後、乾燥して作製した。プラネタリミキサーのかくはん子はスパイラルフック形状のものを用いた。作製した配合飼料の外観は図2のとおりで、CNFの有無による差異はほとんど確認されなかった。

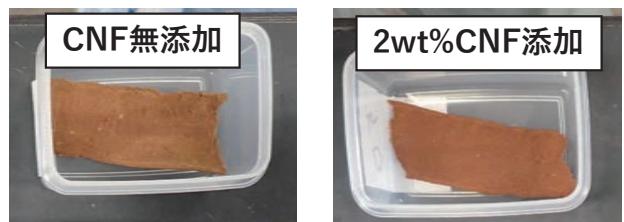


図2 平板状に成形したCNF添加配合飼料の外観

2.2 簡易水中保形性評価

2.1節で作製した配合飼料をプラスチック製容器に入れ、100mLの水中に浸漬した後、室温下で、振とう装置（SHAKER SRR-2・アズワン㈱製）を用いて、回転速度200rpm、振幅30mmで、30分間旋回振とうした。目開き1mmのメッシュの濾過により回収された固形分を乾燥して重量を測定し、乾燥重量当たりの残存率、すなわち、振とう後乾燥重量/初期乾燥重量（乾物当たり）を算出し、その残存率の値により水中保形性を評価した。

2.3 小型流動水槽を用いた水中保形性評価

配合飼料を使ったウニ養殖は網目状のカゴ中で行われており、そのカゴを設置する海中ではカゴの揺れや波、海流等の影響を受けて餌が崩壊することが想定される。そこで小型流動水槽を利用して、養殖中に実際に起こる波を再現した状態でのCNF添加配合飼料の水中保形性の評価を行った。

目開き10mmのメッシュで外壁を構成した養殖カゴ中に配

合飼料を入れた実験区と対照区を各3区画準備し、1区画あたり約100gの配合飼料を投入した(図3)。実験区には事前浸漬は行わず、周期6秒・最大流速0.1m/秒の流れを4時間作用させた。一方で、対照区は波浪のない海水中に4時間浸漬のみとした。カゴ内に残った配合飼料の試験後の重量はすべて湿重量で測定し、対照区に対する湿重量の残存率、すなわち、実験区の湿重量/対照区の湿重量を算出し、その残存率の値により波のある状況での水中保形性を評価した。

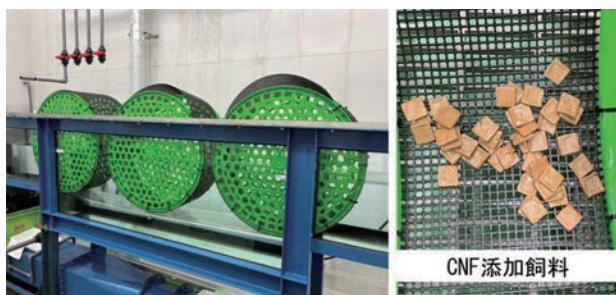


図3 用いた小型流動水槽（左）およびカゴ中のCNF添加配合飼料（右）

2.4 CNF配合飼料のウニへの給餌試験

配合飼料中におけるCNF添加量は4wt%以下とごく少量であるのに加え、ウニはセルロースの消化吸収が可能であるため、摂飢性やへい死の可能性への影響は軽微であると予想されるが、ウニに対するCNF添加の影響が不明であるため、CNF添加配合飼料を実際にウニに給餌して検証した。水槽中のキタムラサキウニ1個体に対してCNF添加量が1、2、4wt%と異なる配合飼料を同重量給餌し、8日間程度静穏な水槽内で経過観察を行った。

3. 結果と考察

3.1 CNF添加が水中保形性に与える影響

CNFを4wt%添加した配合飼料の簡易水中保形性評価の結果を図4に示す。CNF無添加の配合飼料の残存率が0.27であったのに対して、CNF添加配合飼料は0.61となり保形性が約2倍に向上した。これは配合飼料中にCNFの不溶性凝集ネットワークが形成され、配合飼料が水中で崩壊しがたくなつたためと考えられる。

また、ナノ纖維の必要性を確認するために纖維径が30 μ m程度の製紙用パルプをマイクロファイバーの対照サンプルとしてCNFの代わりに添加して比較を行った結果、残存率が0.36と無添加の配合飼料よりはやや保形性が向上したもの、CNF添加配合飼料ほどは保形性の向上が見られなかった。このことから保形性の向上にはナノマテリアルの高い比表面積によって発揮される強い凝集力が必要で、ナノスケールの形状が重要であることがわかった。

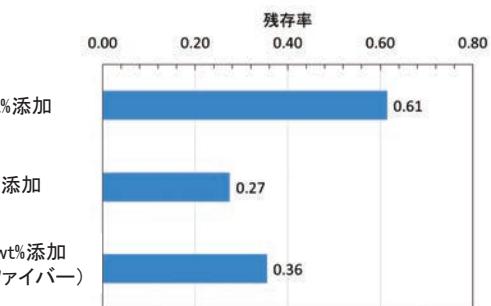


図4 簡易水中保形性評価におけるCNF添加配合飼料の残存率

3.2 CNF添加量と水中保形性の関係

CNFの添加量と水中保形性の関係を調べるために、CNFの添加量を0.5、1、2、4wt%と変えて作製した配合飼料の簡易水中保形性評価結果を図5に示す。CNF添加量の増加とともに単調に残存率の増加が見られ、水中保形性が向上することを確認できた。CNF添加量が増加することによって、凝集ネットワーク構造がより緻密で強固になったため、配合飼料の水中保形性が向上したものと考えられる。

一方で、製紙用パルプについても添加量を変えた配合飼料を作製し、水中保形性を評価した。その結果、添加量の増加とともに保形性の向上は見られたものの0.5、1wt%添加では無添加飼料に比べ保形性が低下し、2、4wt%添加でようやく無添加飼料と同程度の保形性に回復し、CNF添加のような無添加飼料以上の保形性向上は見られなかった。これはマイクロファイバー間での凝集力では水中での崩壊を抑制するほどの強固なネットワーク構造が構築されなかったためと推測され、ナノスケールの材料がもたらす凝集力を必要とする3.1節の結果を支持する結果であった。

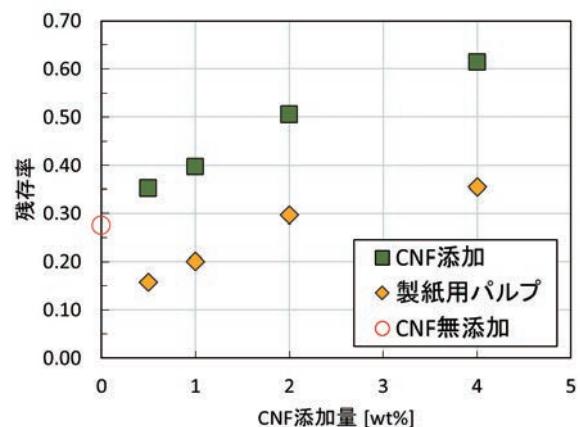


図5 簡易水中保形性評価におけるCNF添加配合飼料の残存率

3.3 波が想定される状況での水中保形性

CNF添加配合飼料の水中保形性評価結果を図6に示す。

水中で配合飼料が崩壊すると、崩壊した飼料はカゴの網目から脱落していくため、試験後の配合飼料の湿重量は小さくなっていく。したがって、残存率が大きいほど水中保形性が高いといえる。

CNF無添加の配合飼料の残存率が0.3程度であったのに対して、CNFを1、2、4wt%添加した配合飼料は0.8～0.9程度となり、いずれの添加量においても無添加のものより高い値となった。このことから波がある環境下においてもCNF添加により水中保形性の向上効果を発揮することが示された。

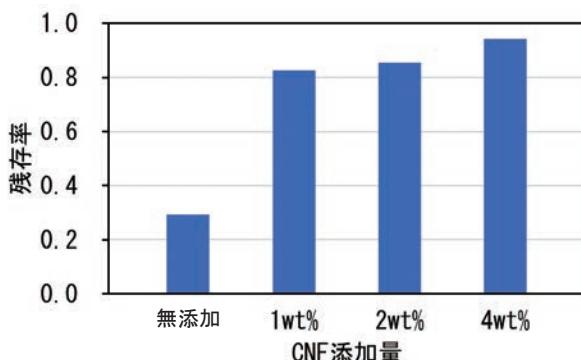


図6 小型流動水槽を用いた水中保形性評価におけるCNF添加配合飼料の残存率

3.4 CNF配合飼料のウニへの給餌試験

配合飼料の給餌開始から8日経過後の水槽中の様子を図7に示す。CNF無添加および1wt%CNF添加配合飼料を給餌したウニでは網の下に崩壊した配合飼料と摂餌した後にウニが排出したと思われる糞が見られ、網の上には配合飼料は全く残っていなかった。

一方で、2、4wt%CNF添加配合飼料を給餌したウニでは網の下にCNF無添加および1wt%CNF添加配合飼料と同様に崩壊した配合飼料と摂餌した後に排出したと思われる糞が見ら

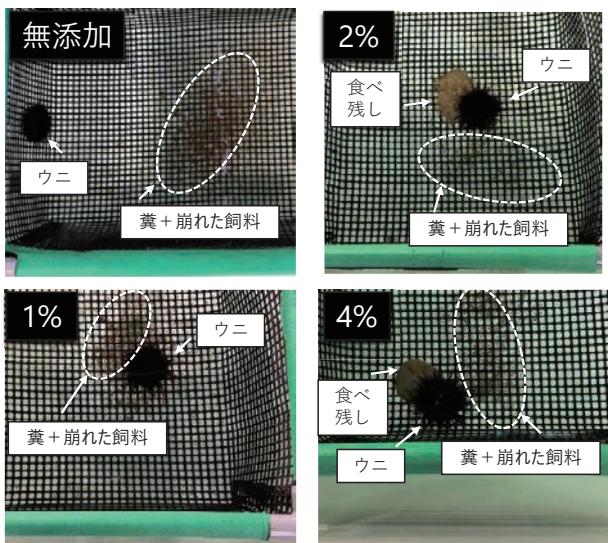


図7 CNF添加配合飼料のウニへの給餌8日後の様子
(各写真内の左上の数字はCNFの添加量)

れたが、相違点として網の上には食べ残しの配合飼料の存在が確認された。

いずれの配合飼料においても網の下に糞が見られたことから、摂餌性に与える影響はほとんどないものと考えられる。さらに、CNF添加配合飼料を摂餌しても死が見られなかったことから、CNFの消化不良によって生存に影響を与える可能性が低いことがわかった。また、2、4wt%添加配合飼料においては網の上に食べ残しの飼料が残っていたことから2wt%以上のCNF添加によりウニの摂餌圧にも耐えうる実用的な水中保形性を有することが示唆された。

4. おわりに

本研究では水に不溶性のナノ纖維であるCNFを添加することで水中保形性を向上させたウニ養殖用配合飼料の開発を行った。市販の配合組成の飼料にCNFを均一に添加する混合技術を確立するとともに、CNF添加配合飼料におけるCNF添加量と水中保形性の関係、波がある状況下での水中保形性向上およびウニの摂餌性への影響を与えないこと等を明らかにした。以上より本研究の成果であるCNFの添加により水中保形性が向上した配合飼料を利用することでウニ養殖の給餌コスト削減が期待される。また、本研究で開発したCNF添加配合飼料については共同研究機関と共に特許を出願した。

今後はCNF添加配合飼料のラボ設備での押出成形から量産機での製造へのスケールアップの検討や、大量生産した配合飼料を用いて実海域での実証試験等を行い、CNF添加配合飼料のコスト削減効果を検証するとともに、展示会への出展や学会発表等を通じ研究成果の公表を図り、本技術の普及に努める予定である。

参考文献

- 農林水産省海面漁業生産統計調査：https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html#r
- 財務省貿易統計：<https://www.customs.go.jp/toukei/info/>
- 東京都中央卸売市場-市場統計情報（月報・年報）：<https://www.shijou.metro.tokyo.lg.jp/torihiki/geppo>
- 浦和寛、萩野裕貴 他：養殖ビジネス, 56 (13), pp.41-44, (2019)
- 矢野浩之：構造用CNFの現状と将来展望, 工業材料, 第68巻, 第8号, pp.14-16, (2020)
- 永田員也、尾崎郁彦 他：日本ゴム教会誌, 第96巻, 第4号, pp.100-105, (2023)