

マダイを対象とした閉鎖循環飼育 (3) 種苗生産段階に適したろ材の探索

メタデータ	言語: Japanese
	出版者:
	公開日: 2025-06-25
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 山本, 義久, 荒井, 大介
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014783

This work is licensed under a Creative Commons
Attribution 4.0 International License.



マダイを対象とした閉鎖循環飼育－III ～種苗生産段階に適したろ材の探索～

山本義久・荒井大介
(屋島栽培漁業センター)

世界的な魚需要の急増により、FAO統計では2006年での魚消費量の養殖が占める割合は43%にも達し、今後さらに高まる魚の需要に対して対応できるのは養殖産業のみであると提言している¹⁾。しかし、既存の海上小割網生け簀での養殖形態では自家汚染・疾病の蔓延等による問題が山積し、新たな養殖形態として陸上での閉鎖循環飼育が注目されている。

閉鎖循環飼育の研究は屋島栽培漁業センター(以下、当センター)では、2000年よりマダイを対象とした閉鎖循環飼育システムを用いた種苗生産技術開発を開始し²⁾、現在の技術レベルは5kℓ水槽規模で1日の換水率が0.5%以下で全長30mmサイズまで約20,000尾/ℓの極めて高い種苗生産技術が確立されている。さらに、当センターでは、閉鎖度が高かつ窒素負荷が高い高密度飼育等に対応可能な高効率な閉鎖循環飼育システムを構築するためのシステム開発として、高性能で省コスト化可能な構造を有する泡沫分離装置(特願2007-314248)と新しい濾過方式の高性能且つメンテナンスフリーの生物ろ過装置を開発した(特願2008-203934)。また、より硝化能力が高い生物ろ過装置を構築するための要素解析として、前報ではろ過槽内の回転率とろ過槽の水温及びろ材の種類について検討した³⁾。今回、ろ材の種類についてさらに精査を加え、本閉鎖循環飼育システムに適したろ材の検討を行った。

材 料 と 方 法

供試ろ材 試験に供したろ材を表1と図1に示した。ろ材の種類は15種類を供試した。供試ろ材を素材別に区分すると、セラミック系ろ材は、前報で最も硝化能力が高かった①親水性多孔質セラミック(フィルテックスFB-3:フィルテック)、②ガラス質多孔質セラミック(日本板硝子)、③多孔質珪藻土焼成粒(日本板硝子)、高珪酸質多孔質セラミック(スリーストーン:三石耐火煉瓦)の④中サイズ($\phi 10 \times 40 \sim 60\text{mm}$)と⑤大サイズ($\phi 40 \times 140 \sim 160\text{mm}$)の2種の合計5種、繊維系ろ材は⑥ポリエステル繊維担体(ファビオス担体:ユニチカ)、⑦ポリマーリサイクル繊維(けまり:ユニチカ)、⑧ナイロン繊維(モジ網、105径)の3種、サンゴはサイズ別に⑨サンゴ砂(2

表1 試験に供したろ材の概要

No.	種類	サイズ(mm)	名称・規格
①	親水性多孔質セラミック	30～50	フィルテックス FB-3
②	ガラス質多孔質セラミック	$\phi 23 \times 35$	
③	多孔質珪藻土焼成粒	6～8	珪藻土焼成粒
④	高珪酸質セラミック 中	$\phi 10 \times 40 \sim 60$	スリーストーンM
⑤	高珪酸質セラミック 大	$\phi 40 \times 140 \sim 160$	スリーストーンL
⑥	ポリエステル繊維担体	$\phi 8 \times 8$	ファビオス
⑦	ポリマーリサイクル繊維	100	けまり
⑧	ナイロン繊維網	—	モジ網、105径
⑨	サンゴ砂	2～3	
⑩	サンゴ小	5～10	
⑪	サンゴ中	20～35	
⑫	活性炭	3～8	
⑬	木炭	30～50	
⑭	塩ビ球形スパイラルろ材	15～20	フジノスパイラル、VP-10
⑮	塩ビ管廃材	$\phi 22 \times 25$	

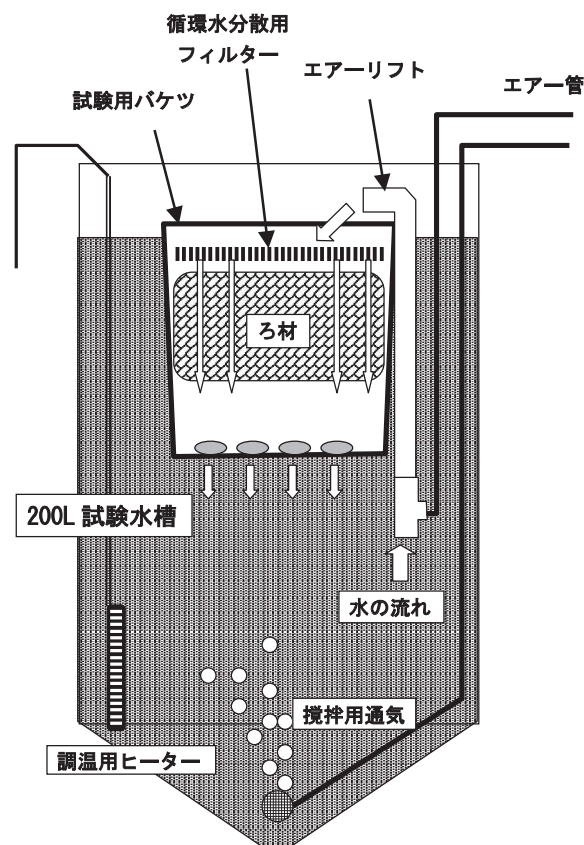


図1 硝化能力測定用の試験装置の概要

～3mm), ⑩サンゴ小 (5～10mm), ⑪サンゴ中 (20～35mm) の3種, また, ⑫活性炭 (3～8mmのヤシガラ活性炭) と⑬木炭 (30～50mm) の炭系素材2種及び塩化ビニール素材の⑭塩ビ球形スパイラルろ材 (フジノスパイラルVP-10) とφ16mmの塩ビ単管を25mm幅で切断した⑮塩ビ管廃材の2種をそれぞれ試験した。

ろ材の熟成 ろ材は塩化アンモニウムを適宜添加して約3ヶ月間熟成させ, 硝化細菌を増殖させた後に硝化能力試験を実施した。熟成方法はろ過海水を満たした4kℓ水槽に, 各ろ材10ℓと硝化細菌の元種用に十分に熟成させたセラミックろ材1ℓを収容したタマネギ袋を垂下し, エアーストーンで終日通気し, 熟成させた。硝化細菌着床のための栄養源として, 塩化アンモニウムを1日当たり20g添加した。熟成期間中は2005年8月26日から12月2日までの98日間で, ろ過海水で微換水 (0.2回転/日) とした。

3態窒素濃度の測定と硝化能力試験 アンモニア態窒素, 亜硝酸態窒素および硝酸態窒素の濃度は, DR/2000 (HACH) によりそれぞれサリチル酸法, ジアゾ化法, カドミウム還元法で測定した。

硝化能力試験は以下の試験設定条件で2反復行った。ろ過海水を満たした200ℓのアルテミアふ化槽に12ℓのバケツを改良した試験装置を用い (図2), 装置内にタマネギ袋に詰めた各ろ材 (熟成用のセラミックろ材を除去後) を5ℓ収容し, ろ材の全てが浸漬する様に配置し, エアーリフトで試験装置に12ℓ/分

の割合で通水する条件で行った。ろ材への通水の際には満遍なく循環水が行き渡るようにろ材上部にトリカルネットを設置した。また試験水を攪拌するために試験水槽底部にエアーストーン1個を設置し, 弱い通気を施した。

アンモニア態窒素の硝化速度の測定方法は, 水温を22℃に調整し試験装置に各ろ材を設置した後に塩化アンモニウム5gを添加し, 23時間後のアンモニア態窒素濃度 (N) を測定した。また, ろ材なしの区を設け同条件で試験し, 各試験のブランク値 (B) として補正した。硝化速度 (Y) はろ材1ℓ当りに換算して, 1時間当たりのアンモニア態窒素の硝化速度を以下の計算式で求めた。

$$Y = WV (B - N) / T / FV$$

Y: 硝化速度 (mg/h/ℓ), WV: 試験水量 (ℓ),

B: ブランク値 (mg/ℓ),

N: 試験終了後のアンモニア濃度 (mg/ℓ),

T: 試験時間 (h), FV: ろ材容量 (ℓ)

結 果

試験結果の概要を図2に示した。各ろ材の硝化能力を比較すると, 硝化速度が高い順にサンゴ小>サンゴ砂>活性炭>親水性多孔質セラミック>木炭>ナイロン繊維モジ網>ポリエステル繊維担体>サンゴ中>塩ビ球形スパイラルろ材>ガラス質多孔質セラミック>

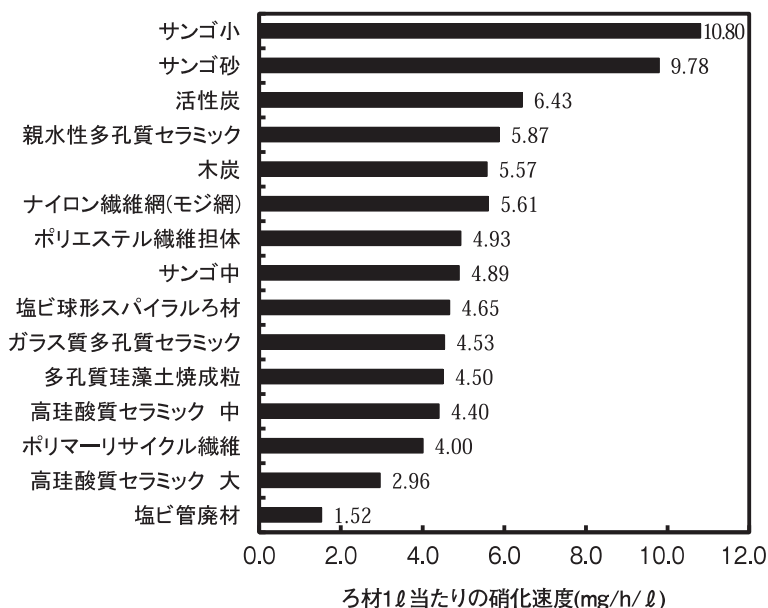


図2 ろ材1ℓ当たりのアンモニアの硝化速度の比較

多孔質珪藻土焼成粒>高珪酸質多孔質セラミックス中
 >けまり>高珪酸質多孔質セラミック大>塩ビ管廃材
 であった。サンゴ小とサンゴ砂の硝化速度はそれぞれ
 10.8mg/時/ℓと9.78mg/時/ℓと他のろ材と比較
 すると顕著に高かった。また、炭系素材の活性炭は
 6.43mg/時/ℓ、木炭は5.57mg/時/ℓと比較的高い
 能力が示された。一方、セラミック系素材では前報³⁾
 で最も硝化能力が高かった親水性多孔質セラミックが
 5.87mg/時/ℓと今回試験したろ材の中では上位で
 あったが、サンゴ小、サンゴ砂の硝化能力よりも劣っ

た。他のセラミック系素材は2.96～4.53mg/時/ℓ
 と硝化能力に素材毎にばらつきが見られた。塩ビ管廃
 材は1.52mg/時/ℓと最も硝化能力が低かったが、同
 じ素材（塩化ビニール）であるが形状が複雑で表面積
 も大きい塩ビ球形スパイラルろ材の硝化能力は
 4.65mg/時/ℓであり、塩ビ管廃材の約3倍の硝化能
 力があつた。

また、今回、同素材で異なる大きさのろ材について
 は、サンゴ系素材3種（写真1、⑨、⑩、⑪）とセラミッ
 ク系ろ材の高珪酸質多孔質セラミック2種（同、④、⑤）



① 親水性多孔質セラミック



② ガラス質多孔質セラミック



③ 多孔質珪藻土焼成粒



④ 高珪酸質セラミック 中



⑤ 高珪酸質セラミック 大



⑥ ポリエステル繊維担体



⑦ ポリマーリサイクル繊維



⑧ ナイロン繊維網



⑨ サンゴ砂



⑩ サンゴ小



⑪ サンゴ中



⑫ 活性炭



⑬ 木炭



⑭ 塩ビ球形スパイラルろ材



⑮ 塩ビ管廃材

写真1 試験に供したろ材の一覧

(①～⑤：セラミック素材、⑥～⑧：繊維素材、⑨～⑪：サンゴ、⑫⑬：炭系素材、⑭⑮：塩化ビニール素材)

が対象であり、それぞれ硝化能力を比較するとサンゴ系ではサンゴ小>サンゴ砂>サンゴ中の順となり、セラミック系では高珪酸質多孔質セラミック中>高珪酸質多孔質セラミック大の順で、サンゴ砂以外は概ねろ材のサイズが小さいほど硝化能力が高い傾向を示した。

考 察

今回の無機のアモンニア源を用いて熟成し、硝化能力を測定した結果、素材はサンゴの能力が高く、5～10mmの小型サイズが圧倒的に高いことが判明した。また前報で最も高い硝化能力を示した親水性多孔質セラミックの1.7～1.8倍の硝化能力が小型サイズのサンゴが保持できることが示された。一方、サンゴは石灰質の溶出によりアルカリ度を上げる効果がある。閉鎖循環飼育を長期間継続すると飼育水のpHは低下し、6以下になることもしばしばあり、至適pHが9前後である硝化細菌の活性は著しく低下する⁴⁾。そのためpHを上昇させる作用があるサンゴはろ材としての価値は高い。しかし、サンゴは長期間使用すると石灰質の素材のために表面にアパタイトが形成されてアルカリが溶出されなくなると共に硝化能力が低下する報告がある⁶⁾。そのため一般的にサンゴは消耗品として考えられていて、pHの状況をみて適宜交換することが望ましい。当センターにおいてもサンゴ系のろ材は約3年間の使用後に更新している。

生物ろ過装置のろ材の機能については水浄化に関与する微生物の好気性硝化細菌を付着・増殖・維持することであり、生物膜をろ材表面に形成させ毒性の強いアンモニア態窒素と亜硝酸態窒素を毒性が弱い硝酸態窒素に硝化させることにある⁴⁾。生物ろ過装置に用いるろ材は様々な素材・形状のものが開発され検討され、排水処理関係でのろ材の具備すべき条件については、以下の項目が提示されている⁵⁾。

- 1) 適度な生物膜の付着があること、
- 2) 比表面積が大きいこと、
- 3) 空隙率がおおきいこと、
- 4) 通水抵抗が小さいこと、
- 5) 化学的・生物学的に安定で変質しないこと、
- 6) 座屈、破壊、摩耗に対して十分な機械的強度を有すること、
- 7) 浮遊物の捕捉性が高いこと、
- 8) 粒径や間隔が一定で槽内に均一な流速を生じやすいこと、
- 9) 有害物の溶出がないこと、
- 10) 水との比重差が小さく、水中構造物や槽底に大きな荷重を生じないこと、

- 11) 安価で安定した供給が可能なこと、
- 12) 輸送や組み立て施工が容易なこと。

しかし、上記の項目は相互に矛盾するものが多いため全てを満たす条件のろ材はありえない。そのため、処理目的と設計・管理条件などに応じてどの項目を優先すべきかを適格に判断する必要性が説かれている⁵⁾。

陸上の循環式養殖での適正ろ材の検討については、山形(1988)はウナギの循環ろ過システムに関する研究で種々のろ材を用いて有機物分解速度を検討し、表面積が大きいほど微生物の保持能力が高く、浄化能力が高いことを報告している⁷⁾。今回の試験結果でも同一素材で形状が異なる事例の塩ビ管廃材と塩ビ球形スパイラルろ材においても表面積や形状により明確な差が生じている。Kikuchi *et al*⁸⁾は、今回の設定と同様に無機のアモンニア源を用いて6種類の形状や表面積が異なるろ材について検討した結果、ろ材の表面積と浄化速度との間には明確な関係はみられず、形状による違いがみられると報告している。菊池⁴⁾は、有機負荷が多い場合には比表面積が多いろ材(例えば多孔質セラミック)ではろ材表面に形成される生物膜によりろ材の多孔質の表面が被われてしまう結果、いかなるろ材を用いても浄化速度に大きな違いはないとしている。

しかし、当センターのシステムを用いた場合は泡沫分離装置により効率的に有機懸濁物を除去できるため²⁾、有機物負荷がたとえ多くても泡沫分離処理により生物ろ過装置に流入する有機物負荷は少なくなり、上記の見解は当てはまらない。むしろ有機物負荷が少なく無機のアモンニアや亜硝酸が多い水を処理する場合に当てはまるため、当センターのシステムの場合は、ろ材の閉塞は少ない条件で処理する事例となると考えられる。そのため、泡沫分離装置を具備した種苗生産に特化したシステムとしてのろ材の選定条件としては、有機懸濁物が少なく、ろ材の閉塞が少ないことを前提に比表面積の大きいろ材が適正であると考えられる。

今回の試験結果により硝化能力が5mg/時/ℓ以上の上位6種類のろ材の中から選定すると、最も硝化能力が高かったサンゴ小と比表面積が大きい活性炭あるいは親水性多孔質セラミックの組み合わせが適正と考える。もちろん前記したようにサンゴは消耗品と考えて適宜交換する必要がある。また、活性炭や木炭は10～100Aの細孔を多数有し極めて比表面積が大きいため吸着材や微生物の着床の基質として河川での浄化材として用いられるなどの高い機能性を有し比較的安価で容易に入手できる長所を持つ⁹⁾。また、近年、木綿や不織布(タオル状のもの)を炭化した炭化綿が注目を浴びており吸着剤やろ過材としての効果も報告

され¹⁰⁾、形状加工が容易であることから今後炭系素材のろ材としての価値についてさらなる検討が必要と考える。一方、今回試験したモジ網は経年劣化し使用済みの廃品を使用した⁸⁾が、その硝化能力は5.61mg/時/ℓと比較的高く、安価なろ材の組み合わせとしてはサンゴ小とナイロン繊維モジ網の利用が考えられ、使用済みの漁網の利用など廃物を利用し、ろ材のコストを下げられる可能性が示された。

また、ろ材の開発は盛んで様々なろ材が商品化されている。より高い硝化能力を持つろ材を探索するためには適宜適当な素材について調査する必要があるが、ろ材の表面に硝化細菌を着床させ十分な硝化機能を保持させるためには1～3か月の熟成期間が必要である⁸⁾。現在、当センターではろ材の熟成用の水槽を設けて、周年塩化アンモニウムを適宜添加し、常時熟成されたろ材を確保し、必要時に利用する方法をとっている。これまでは硝化能力試験を実施してろ過槽の熟成度合いを調査して判断してきたが、迅速な測定方法が必要とされ、近年急速に進んだ細菌の遺伝的解析により硝化細菌の種の同定についても研究が進んできている¹¹⁾。これらの研究分野を用いて、迅速な硝化能力を測定する手法を開発し、生物ろ過装置に適した高い硝化能力を持った硝化細菌の選抜、あるいは株の保存方法の検討に利用することが今後必要である。

文 献

- 1) FAO (2006) The State of World Fisheries and Aquaculture 2006, 1-180.
- 2) 鴨志田正晃・山崎英樹・山本義久 (2006) 閉鎖循環システムを用いたマダイの種苗生産, 栽培技研, **33**, 67-76.
- 3) 山本義久・鴨志田正晃・岩本明雄 (2005) マダイを対象とした閉鎖系循環飼育-I 生物ろ過槽の機能向上について, 栽培漁業センター技報, **3**, 30-36.
- 4) 菊池弘太郎 (2000) 生物ろ過のメカニズムとろ材の活用法, 養魚家のためのろ材のやさしい基礎知識. 養殖, **9**, 84-89.
- 5) 北尾高嶺 (2003) 生物学的排水処理工学, コロナ社, 東京, 1-280.
- 6) Siddall, S. E. (1974) Studies of marine closed culture systems. *Prog. Fish-Cult.*, **36**, 8-15.
- 7) 山形陽一 (1988) ウナギの高密度飼育のための循環濾過システムに関する研究, 三重県水産技術センター研究報告, **3**, 1-79.
- 8) Kikuchi, K., H. Honda and M. Kiyono (1994) Ammonia oxidation in marine biological filters with plastic filter media. *Fisheries Sci.* **60**, 133-136.
- 9) 立本英機 (2003) 木炭・活性炭が持つ水質浄化能力, 養殖, **12**, 28-31.
- 10) 門上洋一 (2003) 炭化綿による輸送水の浄化と輸送への応用, 養殖, **12**, 32-36.
- 11) 糸井史朗 (2008) 循環濾過システム, 養殖の餌と水-陰の主役たち- (杉田治男編), 恒星社厚生閣, 東京, 1-190.