

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：12614

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660164

研究課題名(和文) アクアポニックスの構築 - 特に海水を用いた植物と魚類の連携 -

研究課題名(英文) Development of Aquaponics-especially combined culture of a halophilic plant and saltwater fish-

研究代表者

竹内 俊郎 (Takeuchi, Toshio)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・教授

研究者番号：70092591

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：海水魚の閉鎖循環式陸上養殖は、従来の養殖法よりも使用する水量が少なく済む養殖方法であるが、その代償として、飼育水中に栄養塩が蓄積されてしまい、いずれはその水を換水する必要がある。その栄養塩を植物に吸収してもらおうと考案されたのがアクアポニックスである。淡水と海水養殖におけるアクアポニックスがあり、海水養殖のアクアポニックスの研究事例は非常に少ない。そこで本研究では、クエ飼育排水を液肥として用いたアイスプラントの水耕栽培に関する研究を行った。その結果、クエの排水を8psuとした液肥中の窒素やリンをアイスプラントが吸収し成長できるが、鉄とマンガンが不足することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：As for the closed recirculating land aquaculture system of saltwater fish, there is little quantity of water to use than the conventional culture method, and it is a culture method to finish, but, as the compensation, nourishment salt is accumulated in the cultural water, and it is necessary for change the water. It is Aquaponics to have been devised to have a plant absorb the nourishment salt. There are two types of Aquaponics, such as the freshwater and the saltwater culture. There are very few study examples of Aquaponics in the saltwater culture. Therefore, in this study, I performed a study on water culture of the ice plant *Mesembryanthemum crystallinum* which I used kelp grouper culture wastewater for as liquid fertilizer. As a result, I made clear that ice plant absorbed nitrogen and phosphorus in the liquid fertilizer which assumed the wastewater of the kelp grouper in 8 psu water but some trace elements, such as Fe and Mn contents in the wastewater are not enough to good growth.

研究分野：水産学一般

キーワード：水耕栽培 閉鎖循環式養殖 クエ アイスプラント 硝酸態窒素 リン ミネラル

### 1. 研究開始当初の背景

海水魚の閉鎖循環式陸上養殖は、従来の養殖法よりも使用する水量が少なく済む養殖方法であるが、その代償として、飼育水中に栄養塩が蓄積されてしまい、いずれはその水を換水する必要がある。そこで、その栄養塩を植物に吸収してもらおうと考案されたのがアクアポニックスである。アクアポニックスとは、水耕栽培と循環養殖のシステムを統合することにより、水耕栽培の作物に循環養殖システム内に蓄積する物質を栄養塩として吸収させ、生育するとともに、飼育水浄化をも行うシステムである。その結果、本システムにより、作物と魚類が収穫できることになる。淡水と海水養殖におけるアクアポニックスがあるが、これまでは淡水を用いたシステムが中心で、海外では実用化に至っている。特に淡水魚のティラピアとトマト・レタスの組み合わせは有名である。そのほか、オーストラリアでは Aquaponica Pty. Ltd. という会社が 2006 年に設立され、一般家庭用として、パラマンディとトマト・レタスを用いたアクアポニックスによる食糧生産を成功させ、販売している。これに対して、海水養殖のアクアポニックスの研究事例は非常に少ないのが現状である。

そこで本研究では、日本独自のアクアポニックスのシステムを海水魚と塩生植物の組み合わせで成功させ、将来事業化を図る足がかりとしたい。特に日本国内では、食文化として、淡水魚よりも海水魚が好まれることから本研究は重要と考える。

### 2. 研究の目的

本研究では、まず耐塩性植物の選定を行い、アイスプラント *Mesembryanthum crystallinum* に決定し、アイスプラントの発芽及び生育に必要な塩濃度を明らかにするとともに、海水養殖対象魚種としてクエ *Epinephelus bruneus* を用いて、その飼育排水でアイスプラントの生育が可能かどうかを調べた。対象としたアイスプラントは南アフリカ原産で、最近スーパーなどでも売られ始めた野菜であり、塩味があり、サラダなどで使用されている。一方、クエは最近種苗生産ができるようになり、人工稚魚の入手が可能であるばかりでなく、高価な魚であることから、将来事業化が可能であると判断し、選定した。今回の結果に基づいて、事業化を図るべく新たな競争的資金を獲得する足掛かりにするだけでなく、理科教材として、小・中・高校生向けの栽培キットとしての利用も視野に入れている。

### 3. 研究の方法

#### (1) アイスプラントの発芽及び栽培実験

まず発芽実験として、シャーレ(滑稽 10 cm 円形)を用いて、室温 15 - 20 における 3 種類(蒸留水・塩濃度 8psu・塩濃度 32psu)の塩分耐性実験を行った。次に、20 及び

26 におけるアイスプラントの栽培実験を行った。なお、照射時間は明期 24 時間とした。

最後に、液体肥料を対象として、塩分 8psu および 16psu の栽培水を設けて、アイスプラントを栽培した。なお、室温は 20 と一定にした。

#### (2) クエの飼育排水中に含まれる窒素及びリンのアイスプラント吸収

硝酸態窒素濃度 500ppm に達したクエ飼育排水を用いて、8psu と 11.3psu に塩濃度を調節した飼育水を作成し、アイスプラントを設置した水耕栽培器を 20 の部屋に設置し、両物質の初期減少速度を求めた。飼育排水の測定項目としては、溶存酸素濃度、3 態窒素及びオルトリン酸態リンとした。

#### (3) クエ飼育排水を液肥として用いたアイスプラントの水耕栽培実験

本研究では塩濃度を基準にして試験区を設定した。対照区として、市販されている人工海水(Sea Life 500L, 日本海水(株))を水道水に溶解して塩濃度を 8psu に調製した培養液を市販人工海水区、試験区 1 として塩濃度を 8psu に調製した人工海水に液肥(1/2 ホーグランド液(Hoagkand et al., 1950))を加えた培養液を液肥区、試験区としてクエ排水を水道水で希釈し、塩濃度を 8psu に調製した培養液をクエ排水区とし、これらの 3 試験区で実験を行った。なお、使用するクエ排水は濾過を行い、懸濁物質を除いた状態のものを培養液として利用した。なお、塩分上昇時のみに、蒸留水を補充し 8psu に調節した。

長さ 241cm、幅 90cm、高さ 90cm の照明台を組み立て、その下に試験区ごとに長さ 61cm、奥行 82cm、高さ 40cm の栽培槽 3 台設置し、それぞれ 175L ずつ栽培液を注ぎ入れた。加工した 75cm × 60cm × 2cm のスチロール成形ベッド浮きボード式の栽培ベッド(1DOW00072744, ダウ化工)に株間 15cm 間隔になるように直径 2cm の穴を開け、そこに播種後 28 日のアイスプラントを直接植え込む方法で栽培した。栽培槽の底には水中用ポンプ(Rio1100 Aqua Pumo Powerhead, 神畑養魚(株))を設置することで水流を作り、エアレーションで酸素を供給した。光源として草体から 20cm の高さの位置に 40W 蛍光灯(BIOLUX 観賞・植物育成用 FL40SBR, 日本電気(株))を 1 試験区につき 8 基使用した。各栽培槽の間には、遮光シートを設置した。

光量子束密度(PPFD)は  $150 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  以上、光周期は朝 9 時から明期 12 時間、暗期 12 時間とし、気温はアイスプラントの生育適温である 22、湿度は 40 ~ 65%、培養液通気量は 0.7L/min、栽培期間は 35 日間とした。

### 4. 研究成果

#### (1) アイスプラントの発芽及び栽培実験

蒸留水のみが発芽し、塩分を含んだ脱脂綿からの発芽はなかった。すなわち、アイスプラントの発芽には淡水が必須であることが

わかった。

次に4枚葉となったアイスプラントを室温20及び26で1週間栽培したところ、20で育てていたものは順調に生育したが、26栽培の葉は20に比較して柔らかく、緑色も薄く、かつ葉が痩せる傾向を示した。

最後に、20で淡水区、8psu区、16psu区を設け栽培したところ、8psu区で最も茎が多く、歯の裏には氷のような透明な粒が大量にみられ、かつ食味をしたところ、塩味が確認されるとともに順調な生育がみられた。

本実験結果により、発芽には淡水を用い、その後、水温20前後で8psuの塩濃度でアイスプラントを栽培するのが適切であることがわかった。

(2)クエの飼育排水中に含まれる窒素及びリンのアイスプラント吸収

アイスプラントを8psuで飼育した時のクエ飼育排水中の窒素及びリンの初期減少速度はそれぞれ9.7mg/kg wt/day及び1.7mg/ka wt/dayであった。

本実験により、初めてアイスプラントの初期速度の値が得られ、今後得られた減少速度を勘案したクエの飼育排水とアイスプラントの栽培の連携が可能となる。

(3)クエ飼育排水を液肥として用いたアイスプラントの水耕栽培実験

水質を調べた結果、pHの調整を行わなかったため、人工海水区が8.02、液肥区が6.91、クエ排水区が7.73となった。アイスプラントの栽培結果を見ると、実験終了時のアイスプラントの湿重量は人工海水区が14.2g、液肥区が279.84g(写真-1)、クエ排水区が16.3g(写真-2)となり、液肥区で最も良く生長し、次いでクエ排水区、人工海水区という順になった。葉身長・株張り・葉身幅・高さにおいても、液肥区は他の試験区と比較しても有意な値を示した。一方で、人工海水区とクエ排水区では有意な差はなかった。ただし、葉数に関してはどの試験区でも有意差が認められ、根長に関しては人工海水区と液肥区の間では有意差はなく、人工海水区とクエ排水区もしくは液肥区とクエ排水区の間で有意差が認められた。

実験開始時及び実験終了時の各液肥中のアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素およびオルトリン酸態リンの濃度を見ると、アンモニア態窒素は実験開始時で、いずれの試験区も低い値だったが、増減を繰り返し、実験終了時には増加が確認された。亜硝酸態窒素に関しては、液肥区のみ実験開始時に検出され、時間が経つにつれて徐々に減少した。硝酸態窒素はクエ排水区、液肥区、人工海水区の順に高かったが、実験終了時の値はどの試験区も減少を示した。オルトリン酸態リンに関しては、実験開始時には液肥区、クエ排水区、人工海水区の順に多かった。液肥区、人工海水区に関しては、実験開始1週間後に減少を示したが、クエ排水区に関しては2週間後に減少を示した。また、除去率に

関しては人工海水区では100%、他の2試験区は65%以上だった。

各試験区の培養液の窒素とミネラルの初期組成および最終組成では、初期組成での各培養液間で比較すると、人工海水区において、カルシウムが321mg/Lと相対的に高く、液肥区ではリン28mg/L、マンガン16µg/L、鉄およびモリブデンがそれぞれ462µg/Lおよび414µg/Lと相対的に高く、クエ排水区においては窒素147mg/L、カリウム249mg/L、銅109µg/Lと相対的に高い濃度を示した。ナトリウム、マグネシウム、亜鉛、ホウ素に関しては大きな差異が見られなかった。人工海水区ではモリブデンは検出されなかった。また、液肥区の元素組成を基準としてみると、人工海水区では窒素、リン、カリウム、マグネシウム、マンガン、鉄、銅、モリブデンおよびホウ素が、クエ排水区ではリン、カルシウム、マンガン、鉄およびモリブデンが不足する結果となった。各培養液の実験終了時の窒素およびミネラルを比較すると、液肥区においてカリウム221mg/L、亜鉛およびモリブデンが20µg/Lおよび241µg/Lと相対的に高い値を示した。クエ排水区においては、窒素127mg/L、カルシウム307mg/L、鉄302µg/Lが相対的に高い値を示した。ナトリウム、マグネシウム、マンガン、ホウ素に関しては大きな差異は見られなかった。実験開始時と終了時の元素組成を比較すると、時間の経過に伴いほとんどの元素で減少していたが、人工海水区と液肥区に関してはカリウム、マグネシウム、銅が、クエ排水区においてはカルシウム、マンガン、鉄が増加した。

植物体の各試験区のミネラル組成を見ると、アイスプラントの地上部の元素組成では、液肥区がほかの2試験区と比較すると窒素113mg/g、カリウム369mg/g、マンガン103µg/g、鉄分220µg/g、モリブデン43µg/g、ホウ素208µg/gと高い値を示した。一方で、マグネシウム45mg/g、銅116µg/gと他の2試験区よりも低い値を示し、亜鉛に関しては116µg/gと極端に低い値となった。クエ排水区とほかの2試験区を比較すると、カルシウムが72mg/gと相対的に高い値を示した。人工海水区とクエ排水区を比較すると、マグネシウム、マンガン、銅、亜鉛、モリブデンおよびホウ素が類似した値を示した。アイスプラントの地下部の組成では、人工海水区とほかの2試験区を比較すると、銅261µg/g、亜鉛1451g/gと相対的に高い値を示した。液肥区と他の2試験区と比較すると、カリウム258mg/g、鉄567µg/g、モリブデン78µg/gと相対的に高い値を示した。一方で亜鉛が60µg/gと低い値となった。クエ排水区は他の2試験区と比較して、マンガン69µg/gと高い値を示した。一方でカルシウム14mg/g、鉄173µg/g、ホウ素20µg/gと低い値を示した。実験開始時の地下部の組成では、モリブデンは検出されなかった。

各試験区の元素分析結果から、人工海水区

では窒素、リン、マンガン、鉄、銅及びモリブデンが、クエ排水区では鉄およびマンガンが不足していることが明らかになった。そのため、今後クエ排水とアイスプラントの連携を図るためには、鉄およびマンガンの量的関係を調べる必要がある。

本実験の結果、元素を必要量添加するとともに、pHを調節することで、水耕栽培の液肥にクエ排水が使用できることがわかった。

写真 - 1 液肥区



写真 - 2 クエ排水区



## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3件)

- 1) 竹内俊郎, 閉鎖系循環養殖システムの最新動向, 環境浄化技術, 13(2), 29-35, 2014 「査読無」.
- 2) 竹内俊郎, 陸上養殖の強みと弱みを理解しビジネスチャンスにするために, 養殖ビジネス, 51(1), 34-38, 2014 「査読無」.
- 3) 竹内俊郎, 陸上養殖におけるこれからのビジネスチャンスとその経済性・事業性, 研究開発リーダー, 10(9), 30-35, 2013 「査読無」.

〔図書〕(計 1件)

- 1) Toshio Takeuchi and Masato Endo, Aquaponics “in Application of Recirculating Aquaculture Systems in Japan” (ed. by T. Takeuchi), Springer Japan, Accepted.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

・セミナー

- 1) 竹内俊郎, 陸上循環養殖技術入門～現状・基礎技術と設備・養殖品種・参入の際の計画・コスト・採算性等～, 情報機構セミナー (平成 26年 11月 10日).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹内 俊郎 (Takeuchi Toshio)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・教授  
研究者番号：70092591

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし