

マイクロバブル技術を利用したモエジマシダの水耕栽培による ヒ素除去に関する基礎的研究

国立高専機構大分高専 学生会員 ○古城佑都・曳汐雅人・山下祐弥 正会員 高見徹
(株) ナノプラネット研究所 正会員 大成由音・大成博文

1. 背景と目的

現在わが国の休廃止鉱山は 109 存在する。金属鉱山ではヒ素等の有害金属を含む廃水（坑排水）が流出し、鉱害を引き起こす恐れがある。このため、事業者には休廃止後においても坑排水の処理が義務付けられているが、義務者不存在的鉱山が全国で 47 存在する。これらは収益性がないにも関わらず国や地方自治体に永続的な処理費用の負担を強いている¹⁾。経済産業省や JOGMEC（独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構）は処理費用の低減を図るため、薬剤や電力等を常時必要とするアクティブ・トリートメントから、微生物や植物による自然の浄化作用を利用したパッシブ・トリートメントへの処理法の転換を検討しているが、十分な処理性能が得られず普及には至っていない。

そこで本研究では、有効なパッシブ・トリートメントを提案するため、ファイトレメディエーション（植物による環境浄化）にマイクロバブル（MB）技術を組み合わせることで、高効率で低費用な坑排水処理装置を開発することを目標として、以下の基礎実験を行った。

2. ヒ素高蓄積性植物（モエジマシダ）と MB 技術

モエジマシダ（*Pteris vittata*, 図 1）は Ma らによってヒ素の高蓄積性が報告された²⁾ことをきっかけにヒ素除去への利用研究が進んだが、実用化と普及には至っていない。その原因は、モエジマシダは根系の発達が悪いことや冬季の低温に弱いことから、年間を通じた生長によるヒ素の除去効果を期待できないことにある。本研究で利用する MB 技術は、低費用で高効率な気体溶存と温熱効果を持ち、根系の発達と年間を通じた生長を可能にすることが期待できる。また、モエジマシダは大分県別府湾沿岸に自生しており、入手が容易であることからヒ素除去方法としての実用化と普及が期待できると考えられる。



図 1 モエジマシダ（大分県別府市, 2014 年 5 月撮影）



図 2 培養装置（左：静置培養，右：MB 培養）

3. 材料と方法

モエジマシダの水耕培養装置を図 2 に示す。容量 63 L (35×60×30 cm) の水槽を 2 つ用意し、水道水 20 L を用水として先行研究事例³⁾を参考に培養液を作成した。モエジマシダの根を水道水で濯いで湿重量（初期値は 120.4 g と 129.6 g）を測定したあと、それぞれの水槽に入植した。一つの水槽は静置培養とし、もう一方にはマグネットポンプ（流量 16.8 L/min）と MB 発生機（空気流量 1.0 L/min）を取り付け、15 分間隔で断続的に繰り返し稼働させた（MB 培養）。培養開始から一週間に 2～3 度程度の頻度で、

培養液中の水温、溶存酸素濃度、三態窒素濃度、ならびにモエジマシダの湿重量を計量し、冬季（2014年11月27日～2015年1月6日、40日間）におけるMB培養によるモエジマシダの生長と水温・水質との関係性を評価した。なお、本実験において培養開始から14日後の2014年12月11日以降は静置培養およびMB培養ともに培養液中にヒ酸カリウム（ KH_2AsO_4 ）をAs濃度として1 mg/L（地下水の水質汚濁に係る環境基準0.01 mg/Lの100倍濃度）となるように添加して培養を継続した。また、培養液は培養開始から14日後と29日後に静置培養およびMB培養ともに全量を交換した。

4. 結果と考察

40日間における静置培養とMB培養の水温とモエジマシダの湿重量の変化を図3に示す。静置培養では培養開始時と培養液交換時を除いて水温は気温の低下にともない6～13℃程度の低い温度（40日間の平均値は11.8℃）で推移した。これに対してMB培養では静置培養に比べ3～16℃程度高くなった（同18.2℃）。また、モエジマシダの湿重量は40日間の培養において静置培養では初期値よりも低下した（40日後で113.9 g）が、MB培養では初期値の1.2倍程度に増加した（同147.4 g）。MB培養における湿重量の増加は、MB発生機による水温の上昇が主な原因と考えられる。また、MB培養では培養開始から14日以降に高濃度のヒ酸カリウムを添加した場合においてもモエジマシダが生長することを確認した。

静置培養とMB培養における培養液中の三態窒素濃度の経時変化を図4に示す。静置培養に比べてMB培養では、 NH_4^+ 濃度の急激な低下および NO_2^- 濃度の上昇と低下、ならびにその後の NO_3^- 濃度の顕著な上昇（硝化反応の促進）が認められた。ヒ素（As）は窒素（N）と同じ第15属元素であり、地下水中の亜ヒ酸（ $\text{As}(\text{OH})_3$ ）が微生物によってヒ酸（ H_3AsO_4 ）に酸化されることでモエジマシダに吸収されると考えられている⁴⁾。本実験のMB培養における NH_4^+ の硝化反応の促進は地下水中のヒ素の酸化とモエジマシダへの吸収の促進効果も期待できるものといえる。

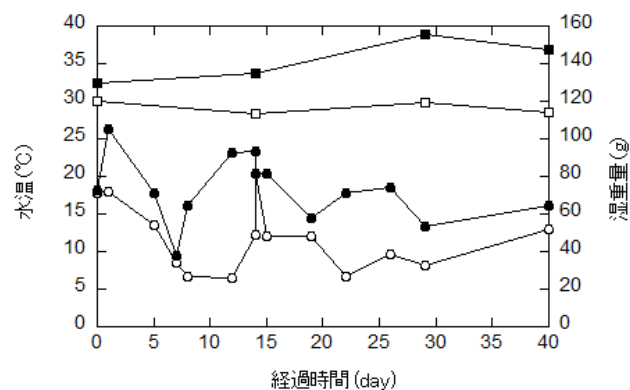


図3 MB培養による水温の上昇とモエジマシダの湿重量の増加 [○：水温（静置培養），●：水温（MB培養）；□：湿重量（静置培養），■：湿重量（MB培養）]

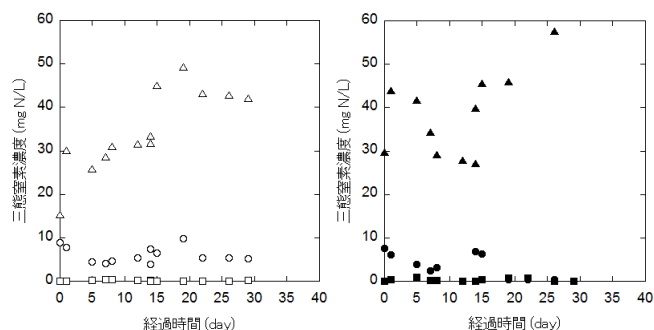


図4 静置培養とMB培養における三態窒素濃度の経時変化 [静置培養（左）○： NH_4^+ ，□： NO_2^- ，△： NO_3^- ；MB培養（右）●： NH_4^+ ，■： NO_2^- ，▲： NO_3^-]

5. まとめ

本研究では抗排水や地下水中のヒ素除去を目的としたモエジマシダの水耕栽培におけるMB技術の利用効果について検討した。実験によって得られたMB利用によるモエジマシダの生長と NH_4^+ の硝化に関する促進効果は、年間を通じたヒ素除去の可能性を大いに期待できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 経済産業省原子力安全・保安院鉱山保安課：休廃止鉱山鉱害防止事業の新たな方向性，pp.1-6，2010。
- 2) Ma, L.Q. et al.: *Nature*, 409, p.579, 2001.
- 3) Tu, S., Ma, L.Q.: *Environmental and Experimental Botany*, 50, pp.243-251, 2003.
- 4) 宮内啓介：水環境学会誌，37(A)，pp.405-408，2014。