

# 電解技術應用於養殖用水之探討

謝立偉、范繼中、吳純衡

水產試驗所水產加工組

## 前言

養殖生物受到水中細菌、病毒的感染或經由養殖生物消化代謝分解與過多飼料、糞便、屍體產生過高的含氮化合物，是海水養殖用水中常遭遇的問題。一般在養殖水中氨及亞硝酸等對養殖生物會產生毒性物質，而這些都是影響養殖成敗的重要關鍵。過去這些問題都必須使用大量的消毒劑及化學藥劑處理，往往都耗費大量的金錢、時間與人力，造成環境的嚴重污染與藥劑殘留於養殖生物體中之問題。因此如何尋求一個有效、快速及安全的養殖用水處理方式就顯得格外重要。在近期的研究報告中顯示，利用直流電電解海水的處理方法即可以有效達到抑菌、去除含氮化合物之效果 (Jun et al., 2003 ; Masahiko et al., 2006)。

## 電解海水之抑菌效果

海水中富含許多電解質，其中含氯化化合物在經過直流電電解後，於電極陽極會產生次氯酸 (HClO)，也稱為有效氯。次氯酸是一般用於消毒、殺菌的漂白水之主要成分，所以於電解海水過程中產生之次氯酸的多寡即是決定其抑菌效果好壞的指標。日本研究發現，電解海水主要對於耐酸性細菌、真菌、

病毒、放射菌及常見的食品中毒病原菌皆具有良好的殺菌效果。由此可知，電解海水技術可應用於水產種苗的生產與養殖 (Kasai et al., 2002)。

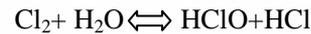
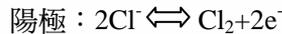
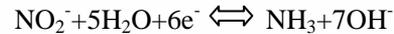
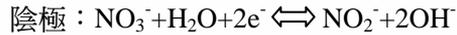
溶藻弧菌 (*Vibrio alginolyticus*) 是廣泛分布於世界各地海水中的一種正常菌種，亦是多種水產生物的致病菌之一。依據文獻記載，會受到溶藻弧菌感染的養殖生物種類繁多，包括黑鯛、石斑魚、白蝦、斑節蝦、草蝦、文蛤及九孔等，而且常會因此導致大量死亡而造成業者極大的損失。此外，生鮮海產中若帶有大量溶藻弧菌，人類食用後亦會引起食物中毒，因此養殖用水都以去除溶藻弧菌為首要目標。本研究將海水經過初步過濾後，以滅菌釜達到完全滅菌之效果，再以直流電直接電解此一無菌海水，使其產生含有次氯酸之無菌海水，探討其對溶藻弧菌之抑菌效果。研究結果顯示，無菌海水 5 L 在電解條件 4.52 W (電壓 4 V、電流 1.13 A) 之下，電解 10 秒，有效氯濃度即可到達約 1 ppm，其對溶藻弧菌之抑菌力為 100%。此結果與 Kashiwagi et al. (2003) 提及有效氯濃度達到 0.33–1.28 ppm 左右，即可減少養殖排放廢水中 99% 的病毒、細菌之效果雷同，也說明海水以低功率、短時間電解後，所產生的氯濃度對病毒及細菌的去除率幾乎達到 100%。

## 電解方式去除養殖用水中氨及亞硝酸效率

現今養殖業基於土地資源及經濟成本的考量，大都採取集約式高密度養殖，所以常會發生含氮化合物過高的慢性毒害問題。一般在高密度養殖水中含氮化合物：氨-氮可達 46 ppm、亞硝酸-氮可達 4.62 ppm (Chen et al., 1988、1989)。Jun et al. (2003) 指出，經由直流電電解海水後，陽極產生之次氯酸能與水中之氨 (NH<sub>3</sub>) 相結合成氮氣 (N<sub>2</sub>) 排出；而在陰極則是可將硝酸鹽 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 與亞硝酸鹽 (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) 經由電解得到電子轉化成氨，再由陽極之機制轉化成氮氣排出 (Hiro et al., 2002)，即能有效去除水中的含氮物質。

本研究以含氨-氮及亞硝酸-氮，濃度各 50 ppm 之混合海水 2 L (原始海水之氨-氮及亞硝酸-氮濃度皆低於 0.02 ppm)，以 10 × 10 cm、厚度 0.2 cm 之鈦白金電極板，電解條件為功率 75 W (電壓 15 V、電流 5.0 A)，進行電解 15 分鐘及 30 分鐘後，取樣檢測水中氨-氮及亞硝酸-氮濃度。研究結果顯示，在 15 分鐘後，水中亞硝酸-氮濃度為 0.7 ppm，而氨-氮濃度則為 47.5 ppm；30 分鐘後，氨-氮與亞硝酸-氮都無法檢出。由此結果得知，在初期電解無法有效去除水中氨-氮，其原因就在於陰極之亞硝酸-氮轉變成氨-氮累積，所以造成似乎無法去除水中氨-氮之假象，也就是說在 15 分鐘時檢測出的氨-氮濃度是由亞硝酸-氮轉變而來，並非是原始所配置之氨-氮；另外一方面也初步得知，在此電解條件之下，其去除水中含氮物質的速率約為 3 ppm/min。

以下為含氮物質的養殖海水在電極陰極及陽極發生的化學反應式：



由總反應式中得知，因電解海水產生次氯酸鹽毒害殘留的問題也可經由此一機制消除。

## 電解條件對有效氯生成之影響

電解海水產生有效氯的過程，會因為些微不同的電解條件，導致電解水體中有效氯濃度差異極大。而影響有效氯生成的因子主要有電解功率、電解水量及電解時間等三種變因，本次試驗是依據反應曲面法 (Response surface methodology, RSM) 實驗設計，探討此三種變因對有效氯生成之影響分析，可得一回歸方程式公式如下：

$$y = 2.34 + 1.54X_1 - 1.67X_2 + 2.38X_3 - 0.56X_1X_2 + 0.72X_1X_3 - 0.62X_2X_3 + 0.45X_1^2 + 1.04X_2^2 + 0.78X_3^2$$

y：海水中有效氯濃度 (ppm)

X<sub>1</sub>：電解功率 (W)

X<sub>2</sub>：電解海水水量 (L)

X<sub>3</sub>：電解時間 (min)

其回歸之相關係數 (R<sup>2</sup>) 可達 0.95，利用此方程式即可推算每次電解海水的操作條件所生成之有效氯濃度 (圖 1—3)。

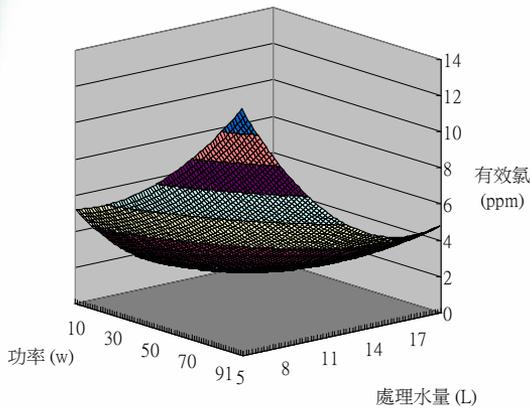


圖 1 電解功率及電解水量對水中產生有效氯之影響

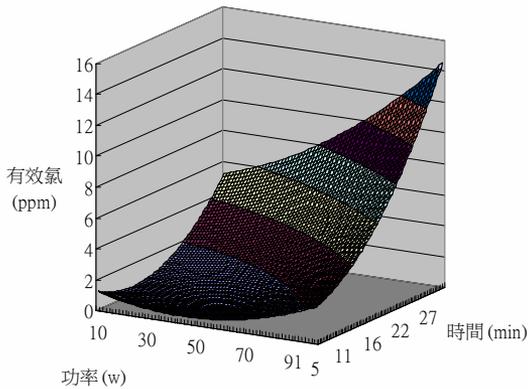


圖 2 電解功率及電解時間對水中產生有效氯之影響

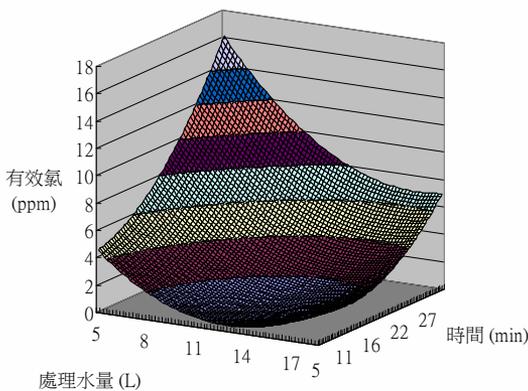


圖 3 電解水量及電解時間對水中產生有效氯之影響

藉由圖 1-3，進一步探討海水電解三變因對有效氯生成之關係。由圖 1 得知電解功率及電解水量之反應曲面較為平緩，即代表此二控制變因之相互影響較不顯著；而由圖 2 及圖 3 反應曲面呈斜面上昇之趨勢，顯示其對相同的控制變因（電解時間）之相關性皆有顯著差異。所以電解海水的三個控制變因對有效氯生成之影響，以電解時間影響最顯著，而電解功率及電解水量次之（圖 4）。

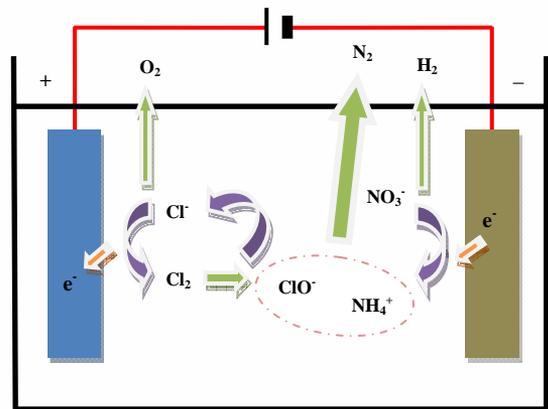


圖 4 電解海水機制圖

## 結語

如何將先進的科技導入傳統的養殖產業是一門很重要的課題。經由電解將海水中電子傳遞的結合轉化，進而消除水體中的含氮物質-氨、硝酸及亞硝酸，產生之次氯酸又可以有效的去除水中的細菌、病毒，而次氯酸根又能與氨再次循環反應減少次氯酸鹽毒害殘留的問題，所以將電解技術應用於處理水產養殖種苗用水或集約式循環水養殖水質淨化消毒上，不失為一種經濟、簡便又快速的方式。