

---

# 磁場促進金黃色葡萄球菌吸附鎳離子 及錳離子能力的探討

潘子茜 鄭雅芸 陳怡如 林岑薰 邱琳樺 房樹生\*

國立台南家齊女子高級中學

## 壹、前言

我們的實驗結果顯示，外加磁場（10G 及 15G）會加快金黃色葡萄球菌及大腸桿菌的生長速度，並可促進金黃色葡萄球菌活菌對鎳離子及錳離子的吸收能力。另外，外加磁場（10G）也會增加金黃色葡萄球菌死菌對錳離子的吸收，但對鎳離子沒有顯著的影響。我們更進一步將金黃色葡萄球菌包埋在包埋劑（海藻酸鈉）中，發現磁場會增加此包埋物對鎳離子的吸收，但對錳離子沒有顯著的影響。

## 貳、研究動機

水中重金屬汙染是一個常見的環境汙染問題，雖然可用物理、化學方法移除水中重金屬離子<sup>1,2</sup>，但這些技術所需的成本相對過高，所以近年來利用生物材料吸附水中重金屬離子的技術研究越來越受到重視<sup>3-6</sup>，主要優點有成本低、可再生及吸附效率高<sup>7</sup>。許多研究指出細菌、真菌及藻類均可有效地吸附水中多種重金屬離子汙染<sup>8-10</sup>。

一些外在環境因素會影響微生物吸

收重金屬離子的效率，這些環境因子包含 pH 值<sup>11</sup>、溫度及光照強度等<sup>12</sup>。另外，由於近來的研究發現環境中的磁場強度小於一高斯即會對細胞及組織造成多種影響<sup>13-15</sup>。所以我們想探討是否環境中磁場會影響細菌吸附重金屬的能力。

在之前研究已知金黃色葡萄球菌具有吸附水中鎳離子及錳離子的能力<sup>16</sup>，因此在此研究中，我們首先探討是否磁場會影響金黃色葡萄球菌的存活率，因為磁場的施予對於細菌是一種環境壓力，環境壓力會影響細菌的存活率<sup>17</sup>，接著探討磁場是否會影響金黃色葡萄球菌對於鎳離子及錳離子的吸附效果。為了測得水中重金屬濃度的改變，使用火焰式原子吸收光譜儀進行測量。

## 參、文獻探討

由於經濟發展所導致的環境汙染已成為現今極待解決的問題，其中重金屬離子如鉛、銅、鎘及鎳等，隨著工業廢水排入河川中，造成環境重金屬汙染，不只威脅人體的健康<sup>18-20</sup>，更對生態環境造成極大的破壞，因此這個環境汙染問題不只受到環境保育者的留意，也讓環境工程學者

---

\*為本文通訊作者

對其產生極大的關注。依重金屬污染的定義，指環境被密度大於 4 或原子量在 40 以上的金屬原子污染，如鋅、錳、銅、鉛、汞、鎘、鎳、銀等金屬。重金屬的特點在於其不能被微生物所分解，會隨著食物鏈或飲用水進入人體或生物體，進入之後不易被排泄，會累積在生物體的一定部位，導致慢性中毒，極難治療。如鉛離子，會經由皮膚、呼吸道及消化道進入人體，80% 以上的鉛累積在骨骼與牙齒中，所以在口腔牙齦處可見到灰黑色鉛的沉積，當身體血液酸性增高時，累積在組織中的鉛會被釋放進入血液中，造成鉛中毒現象。此外，近來環保署調查發現國人頭髮含汞量非常高，主要是因為喜歡吃深海大型魚類如鮪魚、旗魚、鯊魚及鮭魚等，導致汞以甲基汞的形式進入人體中，體內汞會和蛋白結合後具有抗原性，引起過敏反應，汞也會通過血腦障壁，累積在小腦中，造成小腦病變。因為重金屬對人體產生極大危害，所以世界各國現今不只把水中重金屬列為水質監控項目，更積極開發移除水中重金屬的方法。

目前已應用於移除土壤中重金屬的方法有排土、深耕翻土、利用酸性化學物質或螯合劑增加土壤重金屬的移動性以及利用植物淨化土壤的重金屬<sup>21</sup>。而移除水中重金屬污染的方法有化學沉澱法、活性炭或樹脂吸附、離子交換法、電解法和膜分離技術等<sup>1,2</sup>，雖然這些技術可以移除廢水中大量的重金屬污染，然而這些物理化學方法製造大量的沉澱物，造成金屬離子

回收不易，另外，這些沉澱物也需要進一步的處理<sup>22</sup>，因此使金屬離子需耗費相當大的經濟成本及較多的程序。

因為使用物理化學方法去除水中重金屬所需的費用高，所以近來利用生物材料去除環境中重金屬技術受到越來越多的關注。細菌、真菌及藻類等微生物被報導指出均是有效的生物材料，可移除水中重金屬離子。目前已知有吸附重金屬能力的細菌有光合細菌 (*Rhodobacter capsulatus*)<sup>23</sup>、球形芽孢桿菌 (*Bacillus sphaericus*)、綠膿桿菌 (*Pseudomonas aeruginosa*)、金黃色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 及大腸桿菌 (*Escherichia coli*)<sup>24,25</sup> 等。真菌有青黴菌 (*Penicillium*)<sup>26,27</sup>、少根菌 (*Rhizopus arrhizus*)<sup>28-30</sup>、米根菌 (*Rhizopus aeyzae*)、米麴菌 (*Aspergillus aryzae*)<sup>31</sup> 及黑麴菌 (*Aspergillus niger*)<sup>32</sup> 等。藻類有綠光等鞭金藻 (*Isochrysis galbana*)<sup>33</sup> 等。微生物藉由表面吸附、胞內沉澱及成礦作用降低水中重金屬的移動性<sup>34</sup>；有些微生物可以利用甲基化或去甲基化作用減弱重金屬離子的毒性<sup>20</sup>；還有一些微生物可以分泌與重金屬結合的蛋白質，形成不易被生物體吸收的金屬離子-蛋白質附合物，進而降低金屬離子以食物鏈方式進入生物體中<sup>35</sup>。

外在環境因子改變對生物的行為等有很大的影響，其中也包含對微生物吸附水中重金屬的能力。Guangyu Yan 等人指出溶液酸鹼值會影響真菌 *Mucor rouxii* 移除水溶液中重金屬的能力<sup>11</sup>，如  $Pb^{2+}$ 、

$Zn^{2+}$ 、 $Ni^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$ 。此外，亦有報導指出光照強度、供養量、pH 值、溫度及接種量會影響球形紅細菌（*Rhodobacter sphaeroides*）對水中鎘離子的吸附<sup>12</sup>。在我們之前的研究中也發現熱處理會加速金黃色葡萄球菌對重金屬的吸附。

除了 pH 值、溫度及光照強度等會影響生物細胞外，近來的研究發現環境中的磁場強度小於一高斯即會對細胞及組織造成多種的影響<sup>13-15</sup>，例如改變基因的轉錄及轉譯<sup>36,37</sup>、增加一些酵素的活性<sup>14,38</sup>及改變受質和受體的結合<sup>39</sup>。當細胞暴露在磁場環境下時，壓力基因的表現量會增加，如熱休克蛋白，指出磁場對於細胞來說是一個環境壓力<sup>40</sup>。磁場被認為先藉由和細胞膜之間有交互作用，活化訊息傳導路徑，將訊息傳至細胞核中，造成壓力蛋白的合成<sup>39</sup>。

由於上述已知的研究結果，我們假設也許磁場會影響細菌吸附水中重金屬的能力。在此我們以金黃色葡萄球菌為生物材料，探討磁場對金黃色葡萄球菌吸附重金屬能力的影響。由於有研究指出死亡的細菌對重金屬仍有吸附能力，所以在此我們進一步想探討磁場是否會影響死亡的金黃色葡萄球菌吸附重金屬能力。由於希望利用生物材料去除水中重金屬離子時有利於分離處理後的水和生物材料及回收再利用，已有研究者將生物材料包埋在各種包埋劑中，此過程並不影響微生物吸收重金屬的能力<sup>12</sup>。因此我們也將金黃色葡萄球菌以包埋劑包埋，測量其對重金屬的吸附

能力。更進一步，我們給予此包埋物施予磁場，探討是否磁場會增進此包埋物對重金屬離子的吸附能力。本研究希望能做出一個小器具用以吸附水中重金屬，以此為將來應用的基礎。

## 肆、研究目的

### 一、磁場對金黃色葡萄球菌生長的影響。

將金黃色葡萄球菌置於磁場環境下，探討細菌生長的情形。

### 二、磁場對金黃色葡萄球菌吸附重金屬能力的影響。

將金黃色葡萄球菌菌液中加入鎳離子及錳離子，探討在磁場的環境下，金黃色葡萄球菌對水中金屬離子吸附情形。

### 三、磁場對死亡的金黃色葡萄球菌吸附重金屬能力的影響。

將金黃色葡萄球菌菌液以高溫高壓處理，使細菌死亡，之後在菌液中加入鎳離子及錳離子，探討在磁場的環境下，金黃色葡萄球菌對水中金屬離子吸附情形。

### 四、磁場對包埋在包埋劑中的金黃色葡萄球菌吸附重金屬能力的影響。

將金黃色葡萄球菌以海藻酸鈉包埋，將此包埋物放入針筒中，針筒置於磁場環境下，探討磁場對此包埋物吸附重金屬離子影響。

## 伍、研究設備及器材

### 一、生物材料：

金黃色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、大腸桿菌 (*Escherichia coli*)。

### 二、化學藥品：

硫酸鎳、硫酸銅、酒精、海藻酸鈣、氯化鈉、氯化鈣、LB (*Luria-Bertani*) 粉末、NB(nutrient broth) 粉末。

### 三、儀器設備：

恆溫培養箱、電子天平、加熱攪拌器、滅菌鍋、無菌操作台、離心機、分光光度計、高斯計、平台式震盪器、烘箱、火焰式原子吸收光譜儀 (*Atomic absorption spectrophotometer, AAs*) (國立成功大學化學工程所黃耀輝教授實驗室提供)。

### 四、其他器材：

微量吸取器 (*pipette*)、微量吸取尖 (*tip*)、微離心 (*Eppendorf*)、接種環、試管、三角錐形瓶、燒杯、量筒、比色管、滅菌膠帶、試管架、培養皿、酒精燈、鑷子、刮勺、玻璃漏斗、離心試管、玻棒、紙巾、試鏡紙、石蠟膜 (*Parafilm*)、濾紙、鋁箔紙、蒸餾水、紗布、針筒。

### 五、各種溶液：

1. 1M 重金屬溶液:硫酸錳、硫酸鎳。
2. LB 溶液:於 100ml 蒸餾水中加入 2.5g LB 粉末。
3. NB 溶液: 於 100ml 蒸餾水中加入 0.8g LB 粉末。

4. 0.9% 生理食鹽水: 於 100ml 蒸餾水中加入 0.9g 氯化鈉。

5. 2% 海藻酸鈣溶液: 於 100ml 0.9% 食鹽水加入 2g 海藻酸鈣。

6. 5%氯化鈣溶液: 於 100ml 蒸餾水中加入 5g 氯化鈣。

## 陸、研究過程與方法

### 一、細菌培養

將沾有金黃色葡萄球菌或大腸桿菌接種環分別種入 NB 溶液及 LB 溶液中，置入恆溫培養箱中，在溫度 37°C 環境下，培養 16~20 小時。之後，取出 2ml 菌液，測量菌液吸光值，吸光波長 = 600nm，O.D.=0.1。金黃色葡萄球菌死亡細菌備置為將菌液 O.D.=0.1 之菌液，以高溫高壓處理 30 分鐘，所得菌液即是。

### 二、磁場環境

攪拌器為一靠電生磁作用產生磁場帶動攪拌磁轉動的機器，以高斯計測量攪拌器磁場強度發現，其產生磁場強度可高達 15G，所以在此以攪拌器為提供實驗磁場來源。

在實驗過程中，將攪拌器置入恆溫培養箱中，金黃色葡萄球菌菌液放在攪拌器上(附錄一)，接著在不同時間點測量細菌生長情形。或是在菌液中分別加入金屬離子，鎳離子或錳離子，將此溶液至於攪拌器上，在不同時間點取出菌液，分別測量細菌生長情形及菌液中金屬離子濃度變化。

### 三、溶液中重金屬濃度測量

取出待測菌液後，離心，3000rpm、5分鐘，取出上清液，放入-20℃冰箱中保存。測量前，取出，再次以3000rpm、5分鐘離心，取出上清液。之後以火焰式原子吸收光譜儀測量溶液中重金屬離子溶液。

### 四、金黃色葡萄球菌包埋

在 2% 海藻酸鈣溶液中加入金黃色葡萄球菌，菌液濃度為 O.D.=0.1，將此溶液一滴一滴滴入 5%氯化鈣溶液中，適度搖晃，即會形成大小為 2mm 左右的球形小珠，然後用 0.9% 生理食鹽水洗滌，去除氯化鈣。

### 五、簡易重金屬過濾器製作

金黃色葡萄球菌包埋在海藻酸鈉中，將所形成的圓形小球放入 25ml 的針筒中，先用蒸餾水使其通過針筒 1 次，洗去生理食鹽水。將此針筒懸掛在兩台攪拌器中，在有無磁場環境下，以重金屬水溶液通過針筒，收集此濾液，再將此濾液再一次通過針筒，收集，分別收集通過針筒 3 次及 5 次的濾液，之後測量濾液中重金屬的濃度(附錄二)。

## 柒、研究結果

### 一、磁場對細菌生長的影響。

#### (一) 磁場對金黃色葡萄球菌生長的影響。

將金黃色葡萄球菌菌液吸光值為 0.1 的菌液，分別放置於無磁場、磁場強度 10G 及磁場強度 15G 的環境下，由

0~6 小時之間，每小時取出部分菌液，測量吸光值。由圖一(a)中得知，不論是磁場強度 10G 或 15G 均會顯著地刺激金黃色葡萄球菌的生長。研究指出，當細菌處於壓力環境中，會產生應對的壓力反應，其中包含細菌增生<sup>17</sup>。由此可知磁場對於細菌，可能是一個環境壓力。

#### (二) 磁場對大腸桿菌生長的影響。

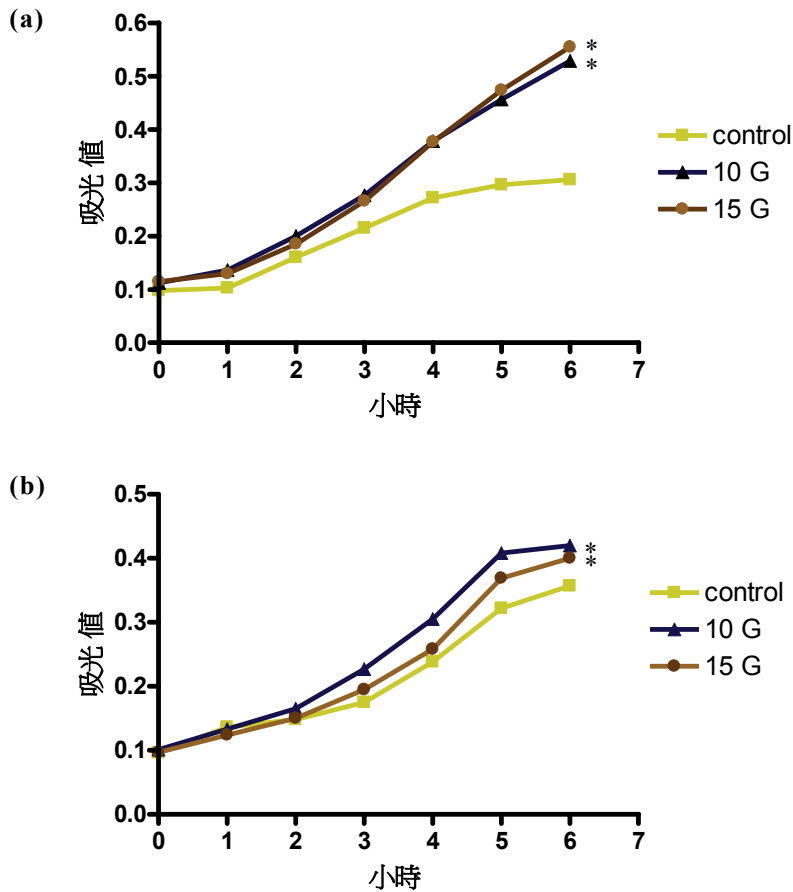
為了確認磁場確實會對細菌造成影響，我們測量另一種細菌：大腸桿菌，在磁場環境下的生存情形。由圖一(b)中得知，磁場確實會刺激大腸桿菌生長，所以磁場對細菌確實是有影響的。

## 二、磁場對金黃色葡萄球菌吸附重金屬能力的影響。

#### (一) 磁場對金黃色葡萄球菌吸收鎳離子的影響。

在金黃色葡萄球菌菌液中加入 100  $\mu$  M 硫酸鎳，分別置於無磁場及磁場強度為 10G 的環境，放入恆溫培養箱，分別於 2、4 及 6 小時取出菌液，測量其中的鎳離子濃度。由圖二(a)可知，4 小時時，在 10G 磁場的環境下，菌液中鎳離子濃度有顯著的降低，然而沒有磁場環境下，菌液中鎳離子濃度在 6 小時才有明顯的降低。由此實驗可知磁場會影響金黃色葡萄球菌吸收鎳離子且加快鎳離子吸收。





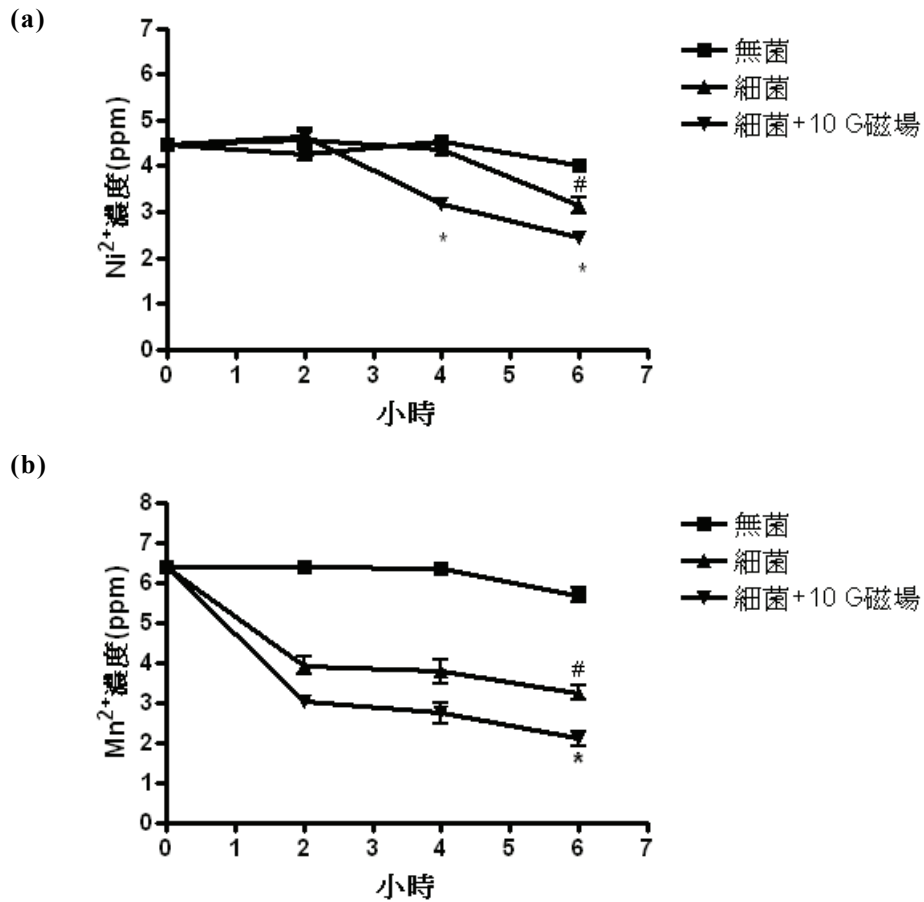
圖一、磁場對細菌生長的影响。

- (a) 將金黄色葡萄球菌置於 10G 及 15G 的磁場環境下，在 0-6 小時期間，每小時取出菌液，測量菌液 O.D.600。
- (b) 將大腸桿菌置於 10G 及 15G 的磁場環境下，在 0-6 小時期間，每小時取出菌液，測量菌液 O.D.600。O.D.600 以平均值±標準差表示(n=3)。\*代表具顯著差異，(One-way ANOVA, P<0.05)。

## (二) 磁場對金黄色葡萄球菌吸收錳離子的影响。

由圖二(b)中可知，磁場會增加金黄色葡萄球菌吸收錳離子，但只有在 6 小時有顯著差異。另外，不論是細菌組或是細菌在磁場的環境下，都不會隨著時間的增加而降低錳離子的濃

度。但在兩小時，不論是有無磁場，溶液中的錳離子即降低至約 3~4 ppm，之後就沒有顯著的改變。也許已經到達金黄色葡萄球菌吸收錳離子的最大量，所以雖然時間增長，也不會看到錳離子濃度有進一步的降低。



圖二、磁場對金黃色葡萄球菌吸收鎳離子及錳離子的影響。

- (a) 在金黃色葡萄球菌中加入硫酸鎳，之後放置在磁場環境下，分別在 2、4、6 小時，取出菌液，測量其中鎳離子濃度。鎳離子濃度以平均值±標準差表示(n=3)。
- (b) 在金黃色葡萄球菌中加入硫酸錳，之後放置在磁場環境下，分別在 0、2、4、6 小時，取出菌液，測量其中錳離子濃度。錳離子濃度以平均值±標準差表示(n=3)。#代表具顯著差異，(One-way ANOVA, P<0.05) (和控制組相比)；\*代表具顯著差異，(One-way ANOVA, P<0.05) (和細菌組相比)。

### 三、磁場對死亡金黃色葡萄球菌吸附重金屬能力的影響。

#### (一) 磁場對死亡金黃色葡萄球菌吸收鎳離子的影響。

研究細菌吸收水中重金屬的論文指出細菌是藉由細胞壁上的成分，可以是蛋白質或醣類，而吸收水中重金

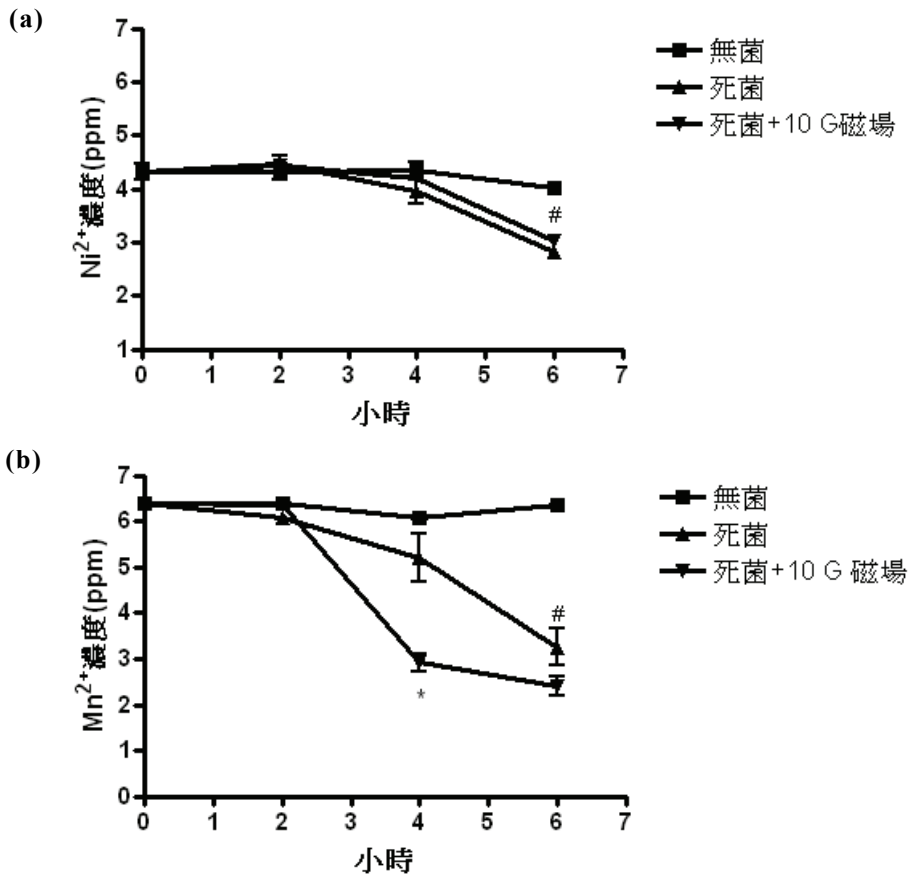
屬。我們假設死亡的金黃色葡萄球菌應該也有吸附水中重金屬的能力。由圖三(a)中可看到死亡金黃色葡萄球菌確實會吸附溶液中鎳離子。然而死亡細菌在磁場的環境下，在 4 小時後溶液中鎳離子和控制組相比並沒有顯著的降低，而在 6 小時才降低。此

外，在磁場的環境下，並不會增加死亡金黃色葡萄球菌對鎳離子的吸收。

**(二) 磁場對死亡金黃色葡萄球菌吸收錳離子的影響。**

除了鎳離子外，我們進一步探討死亡金黃色葡萄球菌對錳離子的吸收及

磁場對吸收程度的影響。由圖三 (b) 中可看到在有磁場環境下的死亡金黃色葡萄球菌在 4 小時後即可降低水中錳離子，但在沒有磁場環境下，在 6 小時後才可看到水中錳離子濃度降低。



圖三、磁場對金黃色葡萄球菌死菌吸收鎳離子及錳離子的影響。

- (a) 在金黃色葡萄球菌死亡菌液中中加入硫酸鎳，之後放置在磁場環境下，分別在 2、4、6 小時，取出菌液，測量其中鎳離子濃度。鎳離子濃度以平均值±標準差表示 (n=3)。
- (b) 在金黃色葡萄球菌死亡菌液中中加入硫酸錳，之後放置在磁場環境下，分別在 2、4、6 小時，取出菌液，測量其中錳離子濃度。錳離子濃度以平均值±標準差表示 (n=3)。#代表具顯著差異，(One-way ANOVA, P<0.05) (和控制組相比)；\*代表具顯著差異，(One-way ANOVA, P<0.05) (和細菌組相比)。



#### 四、磁場對包埋在包埋劑中的金黃色葡萄球菌吸附重金屬能力的影響。

##### (一) 將金黃色葡萄球菌以海藻酸鈉包埋，測試其對水中重金屬的吸收。

由以上研究結果可知磁場增加金黃色葡萄球菌對水中鎳離子及錳離子的吸收。而生物材料應用在吸收水中重金屬方面，希望生物材料有可再次利用性及有利於分離處理後的廢水及生物材料，有研究者已將生物材料包埋在包埋劑中，測試發現，包埋在包埋劑中的生物材料仍有吸收水中重金屬的能力。所以在此我們將金黃色葡萄球菌包埋在包埋劑海藻酸鈣中，並測試在包埋後所形成的圓形小珠是否有吸收水中重金屬的能力，在此我們將此圓形小珠放入 25ml 的針筒中，將重金屬水溶液通過此針筒，收集濾液，將此濾液再次通過針筒，分別重複 3 次及 5 次，每 15ml 水溶液通過針筒的時間約需 1 小時，之後測量此濾液中重金屬的濃度。由圖四中知，海藻酸鈣會對鎳離子及錳離子有些微吸收，但降低水中重金屬濃度無達到顯著差異；而在包埋物中有金黃色葡萄球菌的狀況下，水中重金屬離子濃度沒有降低，和控制組海藻酸鈉比較。

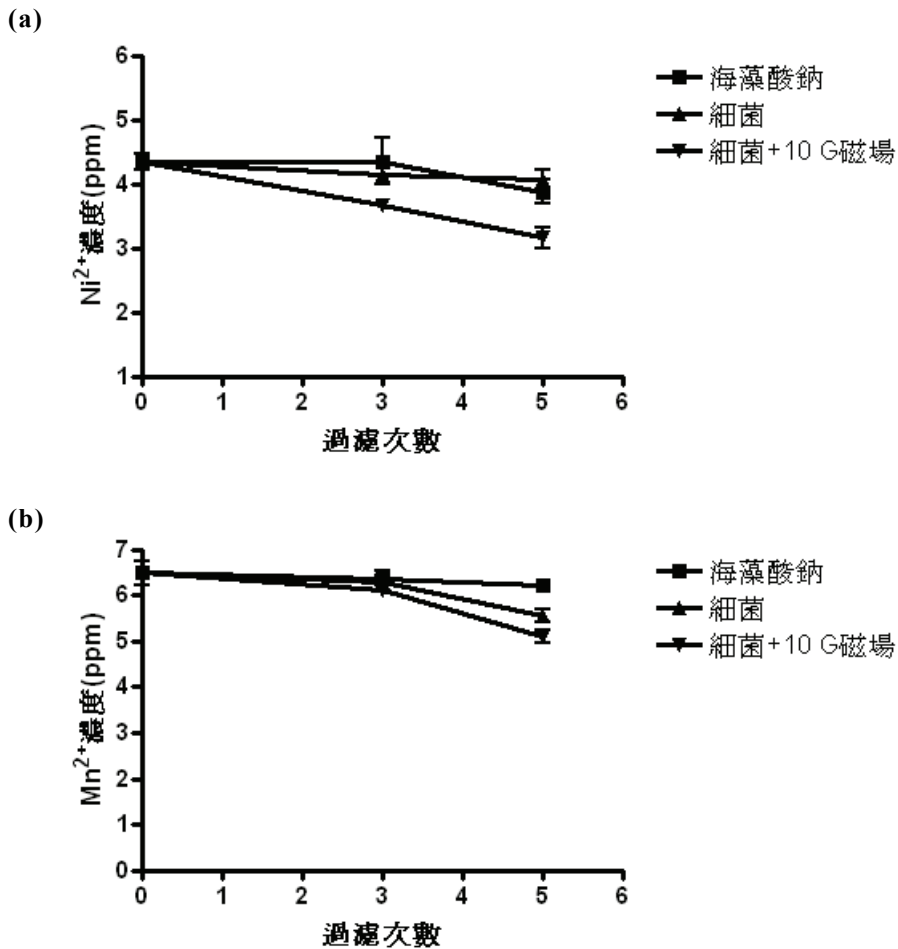
##### (二) 磁場對金黃色葡萄球菌包埋物吸收水中重金屬的影響。

雖然包埋在海藻酸鈉中的金黃色葡萄球菌對水中重金屬離子和控制組海藻酸鈉比較似乎沒有吸收的現象，但由圖四 (a) 及 (b) 可看到磁場會增加此包埋物對鎳離子的吸收，但不會增加對錳離子的吸收。

## 捌、討論

除少數重金屬是維持生物生存所需的微量元素外，大多數重金屬對生物體具有很高的毒性。濃度高的重金屬在細胞中累積會和蛋白質結合，導致蛋白質活性消失或減弱，或和 DNA 結合，導致 DNA 結構發生變化，使基因突變，影響細胞遺傳。在工業廢水中的重金屬會藉由食物鏈進入人體，危害人類健康及生命。

因此去除廢水中的重金屬離子一直以來是學者關注的問題。利用生物材料吸附水中重金屬近來成爲焦點，因爲生物材料能補足傳統物理化學方法吸附水中重金屬的缺點。已有許多細菌、真菌及藻類被指出可以吸附水中重金屬離子。研究指出，惡臭假單胞菌 (*Pseudomonas putida*) 可吸附溶液中七種二價金屬離子，包含鎘離子、鋅離子、鉛離子、銅離子、鎳離子、錳離子及鈷離子<sup>41</sup>；產氣腸桿菌 (*Enterobacter aerogenes*) 吸附水中銅離子及鎘離子<sup>42</sup>；硫酸鹽還原菌 (sulfate-reducing bacteria, SRB) 可吸附鎳離子<sup>43</sup>。在我們之前的研究結果發現金黃色葡萄球菌會吸附水中鎳離子及錳離子<sup>16</sup>。



圖四、磁場對黃色葡萄球菌包埋在海藻酸鈣中的包埋物吸收鎳離子及錳離子的影響。

- (a) 將金黃色葡萄球菌以海藻酸鈉包埋，將包埋物放入針筒中，針筒分別放置在有無磁場的環境下，以鎳離子水溶液通過針筒，收集過濾 3 次及 5 次的濾液，測量其中鎳離子濃度。鎳離子濃度以平均值±標準差表示(n=3)。
- (b) 將金黃色葡萄球菌以海藻酸鈉包埋，將包埋物放入針筒中，針筒分別放置在有無磁場的環境下，以錳離子水溶液通過針筒，收集過濾 3 次及 5 次的濾液，測量其中錳離子濃度。錳離子濃度以平均值±標準差表示(n=3)。

由於研究指出細菌能夠吸附重金屬取決於構造上的特性，細菌具有細胞壁，細胞壁上含有豐富的多醣類及醣蛋白，如葡聚醣(*glucans*)、基丁質(*chitin*)、甘露聚醣(*mannans*)以及磷酸甘露聚醣

(*phosphomannans*)等，這些帶正電聚合物扮演吸附重金屬的重要角色，藉由靜電吸引力與金屬離子結合，而降低溶液中重金屬含量。因此我們假設金黃色葡萄球菌構成物也許就有吸附重金屬能力，由實驗結

果可知當金黃色葡萄球菌以高溫高壓方式使之死亡，溶液中的物質可以吸附鎳離子及錳離子。

環境因素會影響生物體行爲，這些影響包含生長、蛋白質活化以及基因表現。同樣地，微生物吸附水中重金屬的行爲也受到環境因素的影響。研究指出球型紅細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 在吸收重金屬離子的過程，會受到外在環境因素，如光照供氧、pH 值、溫度以及接種量都會影響球型紅細菌吸附鎳離子，在好氧光照、好氧黑暗、微好氧光照、厭氧光照的條件下，吸附率大於 50%；在 pH=7 或溫度在 25~35°C 時，細菌的生長和吸附離子出現最大值。另外，也有研究指出以低濃度重金屬或碳源飢餓前處理金黃色葡萄球菌會促進金黃色葡萄球菌吸附水中鎳離子，然而以熱休克前處理金黃色葡萄球菌卻不會促進其吸附鎳離子<sup>44</sup>。磁場對於生物來說也是一個會影響生物體的環境因子，由我們的實驗結果得知磁場不只會促進金黃色葡萄球菌的生長，也會促進大腸桿菌的生長。更進一步，我們假設磁場也會影響細菌吸附重金屬的能力。由實驗結果可知磁場在 4 小時促進細菌吸收鎳離子；在 6 小時促進細菌吸收錳離子。但磁場只會促進死亡金黃色葡萄球菌吸附錳離子，對鎳離子沒有顯著的影響。

生物材料應用在吸收水中重金屬子方面，由於希望生物材料有可再次利用性及有利於分離處理後的廢水及生物材料，因此將生物材料以包埋劑包埋，用於吸附

水中重金屬。在此我們將金黃色葡萄球菌以海藻酸鈉包埋，製作一簡易重金屬過濾器。測量過濾的濾液中重金屬濃度發現包埋後的金黃色葡萄球菌吸附重金屬的能力降低，但若將此過濾器放置在有磁場的環境下，會顯著地增加此過濾器吸附鎳離子的能力，對錳離子沒有影響。如何改善此過濾器過濾水中重金屬的效果將是我們未來的研究方向，期望能做出一個有效率的重金屬過濾器，應用於廢水處理上，改善重金屬離子對環境造成的汙染。

## 玖、結論

- 一、磁場影響金黃色葡萄球菌的生長。
- 二、磁場增加金黃色葡萄球菌對鎳離子及錳離子的吸收。
- 三、磁場增加金黃色葡萄球菌死菌對錳離子的吸收，但對鎳離子沒有顯著的影響。
- 四、將金黃色葡萄球菌包埋在包埋劑中，發現磁場會增加此包埋物對鎳離子的吸收，但對錳離子沒有顯著的影響。

## 拾、參考文獻

- 白虹娟，熊琦. 球型紅細菌轉化去除重金屬鎳及其機理研究。 . Acta Scientiae circumstantiae. 2006;26:11.
- 陳昱豪，林榆婕，李竹昀，洪巧芸，王依晨，蔡玉薰，房樹生. 綠膿桿菌與金黃色葡萄球菌吸附重金屬能力的探討。 . 科學教育月刊 . 2008;315:40-50.
- 王英輝，陳學軍. 金屬礦山廢農地重金

- 屬汙染的植物修復治理技術。· 中國礦業. 2006;10:67-71.
- 蘇曉霓, 黃脩涵, 楊晴雯, 黃雅湄, 陳昱豪, 房樹生. 小藻立大功---應用綠光等鞭金藻製作重金屬檢測器。· 科學教育月刊. 2009;319:24-36.
- 胡南, 趙斌, 李霜, 肖愛隼, 黃和. 一株耐受高濃度重金屬離子細菌的分離及初步鑑定。· Hubei Agricultural Science. 2008;47:655-658.
- 潘圓圓, 黃巧云. 一株抗重金屬銅鎘細菌的分離、鑑定及其 16S rDNA 序列分析。· 微生物學通報. 2005;32:68-72.
- 潘响亮, 張道勇. 海藻酸鈣固定混合 SRB 菌群生物吸附  $Ni^{2+}$  的動力學。· 應用與環境生物學報. 2006;12:697-700S.
- 陳昱豪, 蔡玉薰, 陳逸萱, 顏荻, 房樹生. 利用飢餓壓力促進金黃色葡萄球菌吸附鎳金屬的能力。· 科學教育月刊. 2009;320:9-24.
- J. T. Matheickal QY, J. Felthama Cu(II) Binding by E. Radiata Biomaterial *Environmental Technology*. 1987;18:25-34.
- B.W. Atkinson FB, HC Kasan. Considerations for application of biosorption technology to remediate metal-contaminated industrial effluents. *Water SA*. 1998;24:129-135.
- Jianlong W. Biosorption of copper(II) by chemically modified biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. *Process Biochemistry* 2002;37:847-850.
- Huang JP HC, Morehar AL. Heavy metals in the enviroment. Amadsorption, the Netherlands. *Elservier Science Publishers*. 1991:329-349.
- Donmez, G.Cetinkaya. A comparative study on heavy metal biosorption characteristics of some algae. *Process Biochemistry* 1999;34:885-892.
- Christopher J. Daughneya JBFaNY. A comparison of the thermodynamics of metal adsorption onto two common bacteria *Chemical Geology*. 1998;144:161-176.
- Wang JL HY, Qian Y. The research progress of adsorption of heavy metal ions by microorganism. *Microbiology*. 2000;27:449-452.
- M. Galun EG, B. Z. Siegel, P. Keller, H. Lehr and S. M. Siegel. Removal of metal ions from aqueous solutions by *Penicillium* biomass: Kinetic and uptake parameters *Water, Air, & Soil Pollution*. 1987;33:359-371.
- M D Mullen DCW, F G Ferris, T J Beveridge, C A Flemming and G W Bailey Bacterial sorption of heavy metals. *Applied and Environmental Microbiology*. 1989;54:3143-3149.
- Gadd GM. Microbial control of heavy metal pollution. *Cambridge University Press*. 1992.
- Rouxl EFaJ-C. Heavy metal biosorption by fungal mycelial by-products: mechanisms and influence of pH *Applied Microbiology and Biotechnology*. 1992;37:399-403.
- Goodman R BM. Biosynthetic stress response in cells exposed to electromagnetic field. *Adv. Chem*. 1995;250:423-436.
- M B. Na/K-Adenosine-Triphosphatase. *Adv. Chem*. 1995;250:339-348.
- Hong FT. Magnetic field effects on biomolecules, cells, and living organisms *Biosystems*. 1995;36:187-229.
- M. Ann S. McMahan JX, John E. Moore, Ian S. Blair, and David A. McDowell Environmental stress and antibiotic resistance in food-related pathogens. *Applied and Environmental Microbiology*. 2007;73:211-217.
- M. Nourbakhsha YS, D. Özerb, Z. Aksua, T. Kutsal, a and A. Çağlara. A comparative study of various biosorbents for removal of chromium(VI) ions from industrial waste waters *Process Biochemistry*. 1994;29:1-5.
- Ismail Kiran a, , Tamer Akara and Sibel Tunalia. Biosorption of Pb(II) and Cu(II) from aqueous solutions by pretreated biomass of *Neurospora*

- crassa *Process Biochemistry*. 2005;40:3550-3558.
- A. Vivasa AV, B. Birób, J. M. Barea, J. M. Ruiz-Lozano and R. Azcón, . Beneficial effects of indigenous Cd-tolerant and Cd-sensitive *Glomus mosseae* associated with a Cd-adapted strain of *Brevibacillus* sp. in improving plant tolerance to Cd contamination *Applied Soil Ecology*. 2003;24:177-186.
- E Guibala CRaPLC. Uranium biosorption by a filamentous fungus *Mucor miehei* pH effect on mechanisms and performances of uptake *Water Research*. 1992;26:1139-1145.
- Hisashi Nagadomi1 TH, Kenji Takeno2, Masanori Watanabe3 and Ken Sasaki2. Treatment of aquarium water by denitrifying photosynthetic bacteria using immobilized polyvinyl alcohol beads *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 1999;87(2):189-193.
- Nies DH. Efflux-mediated heavy metal resistance in prokaryotes *FEMS Microbiology Reviews*. 2003;27:313-339.
- Silver S. Bacterial resistances to toxic metal ions - a review. *Gene*. 1996;179(1):9-19.
- M. Galun PK, D. Malki, H. Feldstein, E. Galun, S. Siegel and B. Siegel. Recovery of uranium (VI) from solution using precultured *Penicillium* BIOMASS *Water, Air, & Soil Pollution*. 1983;20:221-232.
- M. Galun PK, H. Feldstein, E. Galun, S. Siegel and B. Siegel. Recovery of uranium (VI) from solution using fungi II. Release from uranium-loaded *Penicillium* biomass *Water, Air, & Soil Pollution*. 1983;20:227-285.
- M. Tsezos BV. The mechanism of thorium biosorption by *Rhizopus arrhizus*. *Biotechnology and Bioengineering*. 1982;29:385-401.
- M. Tsezos BV. The mechanism of thorium biosorption by *Rhizopus arrhizus*. *Biotechnology and Bioengineering*. 1982;29:955-969.
- J. M. Tobin DGCaRJN. Uptake of Metal Ions by *Rhizopus arrhizus* Biomass *Appl Environ Microbiol*. 1984;47:821-824.
- Chihpin Huang aCPH. Application of *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oryzae* for Cu(II) removal *Water Research*. 1996;30:1985-1990.
- Kapoor A VT, Cullimore DR. Removal of heavy metals using the fungus *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology*. 1999;70:95-104.
- A. M. metal bioremediation through growing cells. *Environ Int*. 2004;30:261-278.
- M. V. Advances in metallothionein structure and functions. *J Trace Elem Med Biol*. 2005;19(1):13-17.
- Hana Lin MO, Mark Head, Martin Blank, Reba Goodman. Electromagnetic field exposure induces rapid, transitory heat shock factor activation in human cells. *Journal of Cellular Biochemistry*. 1997;66:482-488.
- H. Lin MH, M. Blank, L. Han, M. Jin, R. Goodman. Myc-mediated transactivation of HSP70 expression following exposure to magnetic fields. *Journal of Cellular Biochemistry*. 1998;69:181-188.
- Craig V. Byus KK, S. Pieper and W. Ross Adey Increased Ornithine Decarboxylase Activity in Cultured Cells Exposed to Low Energy Modulated Microwave Fields and Phorbol Ester Tumor Promoters. *Cancer Research* 1988;48:4222-4226.
- RA. L. Membrane signal-transduction mechanisms and biological effects of low-energy electromagnetic fields. *Adv. Chem*. 1995;250:437-450.
- R Goodman MB. Magnetic field stress induces expression of hsp70. *Cell Stress & Chaperones*. 1998;2:79-88.



## 拾壹、附錄



附錄一：將金黃色葡萄球菌分別至於無磁場及有磁場的環境下。



附錄二：金黃色葡萄球菌以海藻酸鈉包埋，將包埋物放在針筒中，置於磁場環境下，加入重金屬水溶液，以針筒過濾，收集濾液。