

【2022 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：魚缸中的晶球分子料理！探討硝化菌製成降解含氮廢物晶球的可能

一、摘要：

硝化菌與亞硝化菌是常用以維護魚缸水質的菌種，為了瞭解市售亞硝化菌對水質處理的效能，我們在初始濃度 5ppm 的亞硝酸鈉溶液中添加不同劑量的亞硝化菌。發現至 Day5，添加 1 及 2cc 的組別才能降解約 30% 的亞硝酸。若額外添加豆漿作為營養來源，則於 Day1 時，無糖豆漿組別之降解率可達 95%，於 Day2 時降至 0ppm，大幅加速降解速率；而細菌培養基 LB 組別也有此效果。為提升使用上的便利性，我們試著將豆漿與亞硝化細菌製成微生物晶球，發現在 Day3 時降解率達 97.5%。應用於魚缸的實驗中，發現顯示置入微生物晶球組別的魚缸，具有較好的降解亞硝酸能力。顯然將硝化細菌封存在具有豆漿的晶球中，不僅能夠有效降解亞硝酸，且能提供硝化細菌生長的介質，深具實際應用的可行性。

二、探究題目與動機



假期中，和家人一起找餐廳，發現了分子創意料理，奇特的名稱吸引了大家的注意，分子料理，號稱有如魔術般的料理方式，其中的「晶球化」技術更是引起了我們的好奇，所謂的晶球化，就是利用海藻酸鈉與鈣離子的交聯作用製成晶球。

圖 1 分子料理，微生物晶球？

在養魚的過程，為了建立水質生態的穩定，幾乎都會外加硝化細菌，將水缸中的有毒含氮廢物進行分解。每週添加的細菌，不僅花費不少錢，也不知是否能維持多久，我們就在思考，是否能製作一種長效的水中晶球益生菌呢？分子料理給了我們一個奇妙的靈感，一顆顆漂亮誘人的晶球，除了包覆食材，是否也能包住改善水質的益生菌呢？我們在網路上看到有人在魚缸養水的過程，會外加「豆漿」，這也讓我們懷疑，豆漿難道是益生菌重要的營養來源嗎？讓我們一起試著做出具有跨界能力的分子料理吧！

三、探究目的與假設

查詢科技大觀園的實驗教學，我們了解分子料理的作法，其中是將果汁製成晶球，我們思考著將果汁改良成「硝化菌」，嘗試以「微生物晶球」的方式，看看是否能將水族水質的大敵~亞硝酸進行降解。我們以市售的硝化菌進行測試，並假設外加營養源能提升降解能力，接著嘗試做出魚缸的分子料理，晶球中不僅含有益生菌，也含有外加的營



圖 2 微生物的行動餐車？

養源，將晶球轉換為細菌的「行動餐車」，以分子料理的概念，跨界製作能降解水質污染的「晶球料理」，以下是我們的探究假設與目的：

- 一、探討亞硝化菌降解含氮廢物(亞硝酸)的能力
- 二、假設外加營養能提升降解能力
- 三、假設自製的固態培養基能具降解能力
- 四、探討分子料理~海藻酸鈉製成微生物除污晶球可能
- 五、探討實際應用於魚缸的可行性

四、探究方法與驗證步驟

(一) 相關原理：

1. 分子料理：近年由國外流行至國內的新興料理方式，即用科學的理論應用於料理上，將分子結構重組，包含乳化作用、晶球化反應(圖 5)、液態氮以及低溫烹調等等。
2. 亞硝化細菌：化學自營細菌，細菌能透過氮源以進行生長，並能降解水中的具有毒性的亞硝酸鹽。亞硝酸鹽(圖 4)對魚類及無脊椎動物具有很強的毒性，在低濃度下(0.5ppm)即會對魚類造成慢性中毒，高濃度下(10ppm)即會對魚類造成危害。

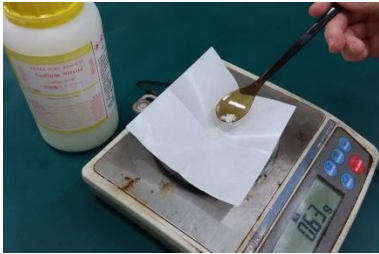


圖 3 晶球分子料理及亞硝酸鈉



圖 4 亞硝酸鈉測試劑



圖 5 滴定管(製作分子料理晶球)

(二) 探究方法

步驟一、探討亞硝化菌降解含氮廢物(亞硝酸)的能力

1. 觀察市售亞硝化菌的外部型態

亞硝化菌的來源來自市售常見的硝化細菌，在探討降解能力之前，我們很好奇這些微生物的外型，藉由顯微鏡的觀察結果如下：

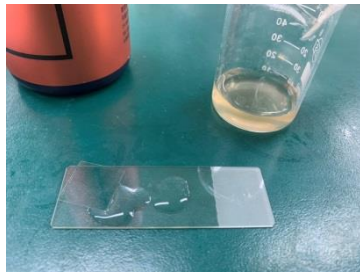


圖 6 玻片上的硝化細菌液

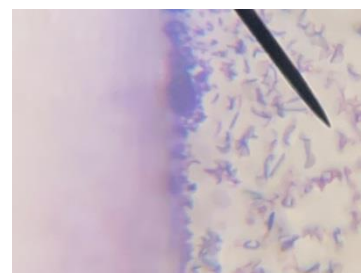


圖 7 顯微鏡下的硝化細菌(1000x)

2. 探討亞硝化菌的添加量及降解能力

為了解合適的亞硝化菌添加量，我們首先進行不同劑量測試。分別在燒杯內配製各 200cc 含 5ppm 的亞硝酸鈉溶液，再以不同劑量的亞硝化菌添加，以亞硝酸測試劑連續測量 5 天的濃度變化情形，探究結果如下：

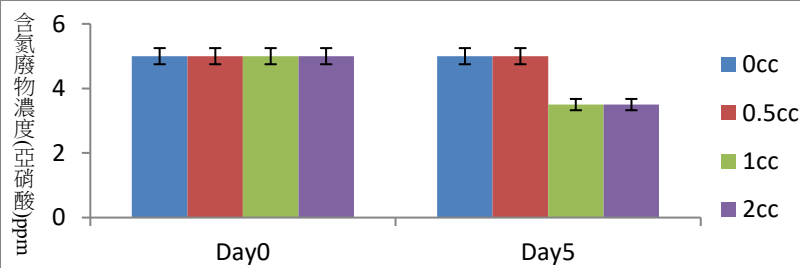


圖 8 不同亞硝化菌添加量對降解亞硝酸的影響(初始濃度為 5ppm)

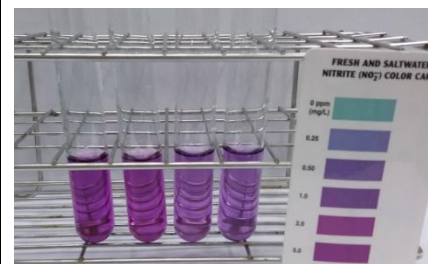


圖 9 Day5 的測試結果(照片)

探究結果顯示，前四天各組亞硝酸濃度均無下降跡象，直至 Day5，添加 1 及 2cc 的組別才開始降解，降解率約為 30%，顯示至少添加 1cc 較為合適。此外，我們感到訝異，為何這些微生物(亞硝化菌)的活化如此慢呢？經過資料查詢，才發現亞硝化菌的代謝與生長都較一般微生物慢很多，因此直至第 5 天才開始降解亞硝酸。這也讓我們思考，是否能額外添加營養源，來加速這些

微生物的降解能力，並加速清除魚缸有毒物質的能力呢？

步驟二、假設外加營養能提升降解能力

在網路查詢資料，我們意外發現有些人在加入硝化細菌的同時，竟然加入豆漿，並表示能快速建立較為穩定的環境，這些來自網路的「傳說」真的能加速微生物的生長嗎？步驟一結果顯示亞硝化菌緩慢生長及降解，因此這個部份，我們假設外加營養提升亞硝化菌的降解能力。

1. 探討外加豆漿(有、無糖)對降解能力的影響

豆漿有分成無糖或有糖，我們也一併進行探究。在燒杯中分別加入各 1cc 的有糖、無糖豆漿(圖 14)，並分別加入 1cc 的亞硝化菌，連續測試 5 天，三重覆實驗，結果如下：

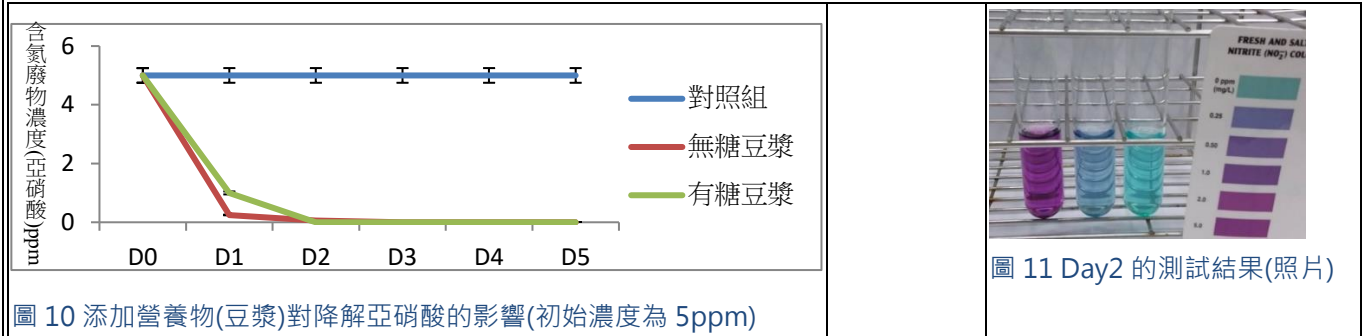


圖 10 添加營養物(豆漿)對降解亞硝酸的影響(初始濃度為 5ppm)

結果顯示，額外添加豆漿作為營養來源，不論有糖或無糖，皆具有降解亞硝酸的能力，於 D1 時，無糖及有糖豆漿降解率分別為 95%、80%，於 D2 時大致降至為 0ppm。此結果與步驟一相較，在無添加任何營養源下，硝化細菌直至 Day5 才有約 30%的降解率，可了解網路上的「傳說」是可靠的，可能由於豆漿的營養成份，使得硝化細菌快速活化，啟動降解能力。

2. 探討外加細菌培養基(LB)對降解能力的影響

上述探究結果顯示，外加的營養源來提升硝化菌的降解能力，我們就在思考，除了豆漿之外，其它的營養源也具有類似的效果嗎？或者是豆漿「剛好」擁有能讓這些微生物生長的養份嗎？資料查詢後，我們決定以常用的細菌培養基(液態 LB，圖 15)來進行營養提供測試。添加方法與豆漿相同，三重覆實驗，結果如下：

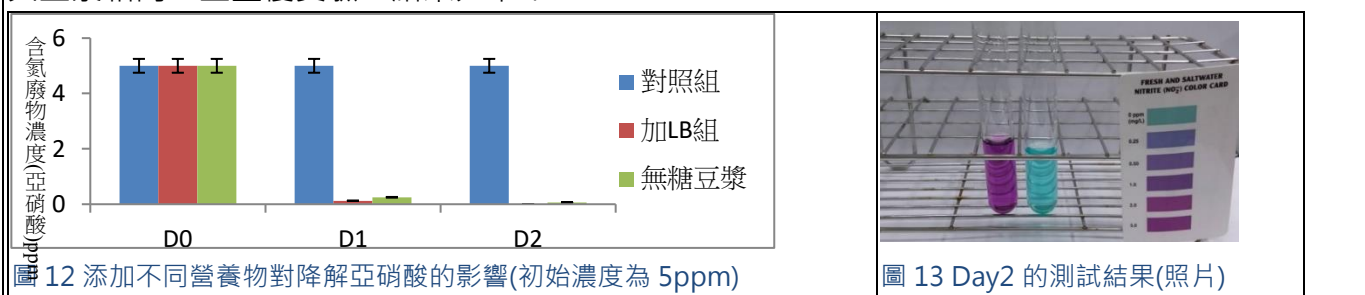


圖 12 添加不同營養物對降解亞硝酸的影響(初始濃度為 5ppm)

比較結果顯示，D1 加 LB 組及豆漿組的降解率，分別為 97.5%、95%，D2 時的亞硝酸濃度則幾乎降至為 0ppm，加 LB 組別的降解率較豆漿略好，這也顯示除了豆漿之外的外加營養源，皆具有提升硝化細菌降解的能力，然而雖然細菌培養基的效果較好，但在取得方面還有配製(圖 15)上，皆較直接添加豆漿麻煩，且液態培養基相當容易受到污染(圖 16)，因此我們決定接下來的實驗，以豆漿作為外加營養源。



圖 14 額外添加豆漿作為營養源



圖 15 配製細菌培養用液態培養基



圖 16 LB 培養基易受污染

步驟三、假設自製的固態培養基能具降解能力

在了解外加營養能提升硝化細菌的降解能力，進一步想改良外加營養源的添加方式，由於市售的硝化細菌，皆需於每週換水添加，或額外購買濾材(圖 17)來讓硝化細菌附著增生，因此我們試著將豆漿製成固態模式，能提供細菌生長養份也有附著的地方並具有長效降解能力。

我們利用洋菜粉(1.5%·圖 18)，將豆漿及硝化細菌(1:1)固態化，測試結果如下：



圖 17 市售硝化細菌的培養濾材圖

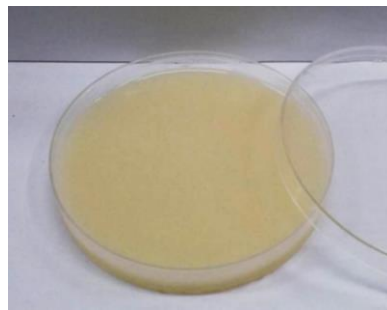


圖 18 利用洋菜粉配製固態培養基

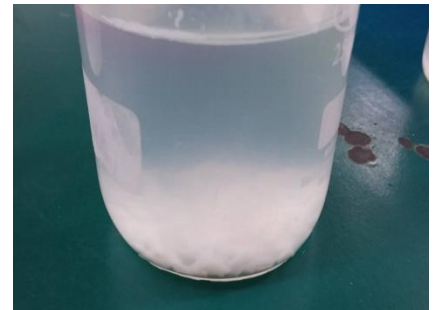


圖 19 豆漿製成培養基不易成形

結果顯示，豆漿製成的培養基(圖 19)，不易成形，探究過程中將培養基加入燒杯中，發現培養基整個碎化，在實用上有相當的困難，不僅有污染水質的問題，且也無法達到提供硝化細菌附著的介質。

步驟四、探討分子料理~以海藻酸鈉製成微生物晶球可能

在思索如何將營養源及硝化細菌固態化過程，發現了分子料理，因此我們很好奇如果將分子料理改良成微生物晶球，是否能達到提供營養及微生物附著的想法呢？

1. 探討微生物晶球降解亞硝酸的能力

我們利用常用的晶球化分子料理~海藻酸鈉及氯化鈣(圖 21)作為晶球基底，再加外步驟二的豆漿及硝化細菌，試著探討微生物晶球的可行性，三重覆實驗，探究結果如下：

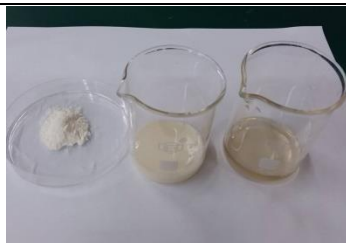


圖 20 海藻酸鈉、豆漿與硝化細菌



圖 21 氯化鈣(3%)中成形的晶球

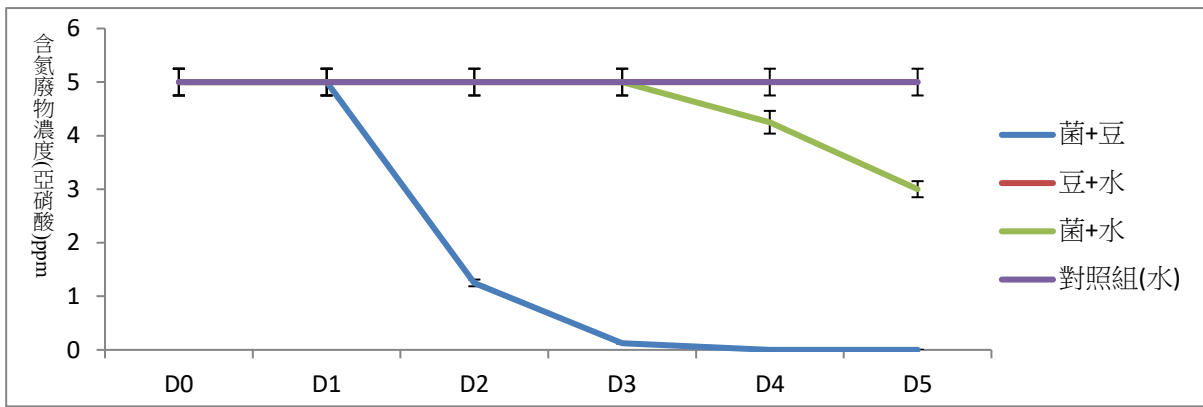


圖 22 探討硝化細菌製成晶球，對降解亞酸能力的影響(初始濃度為 5ppm)

(註：菌，表示硝化細菌；豆表示豆漿；對照組表示僅以水作為晶球)

為釐清僅添加豆漿、以及硝化細菌是否會利用晶球本身作為營養來源，分別設立不同組別以進行比較，其中豆漿+水的組別(紅線)與對照組相重疊。以硝化細菌製成晶球的組別，於 D2 之降解率約為 75%，至 D3 時降解率達 97.5%；僅有硝化細菌的晶球，甚至 D4 才開始展現降解能力，而於 D5 之降解率為 40%；而僅加豆漿作成的晶球與對照組，則顯示無法降解亞硝酸，D5 的亞硝酸濃度仍和初始濃度相同。整體而言，將硝化細菌封存在具有豆漿的晶球中，不僅能夠有效降解亞硝酸，且能提供硝化細菌生長的介質。

2. 探討微生物晶球的保存溫度與存放時間

接著，我們很好奇的是微生物晶球的保存條件與存放時間，因此我們將製好的晶球分成冷藏組(4°C)及常溫組(約 25°C)，並分別存放 5 天後(圖 23)進行降解能力測試。測試結果顯示不論是冷藏或是常溫組，在存放 5 天後，仍具有降解能力(於測試 D4 亞硝酸降至為 0ppm)

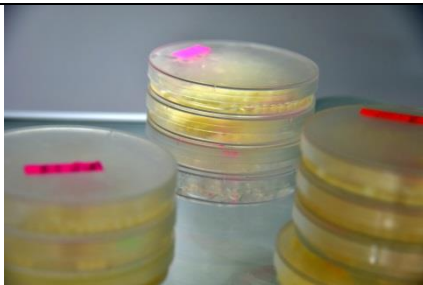


圖 22 冷藏組的微生物晶球

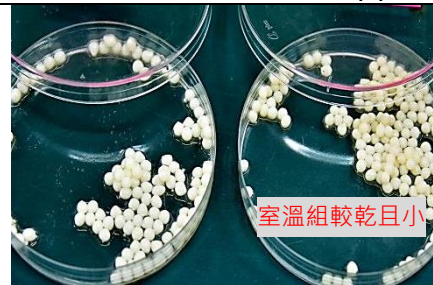


圖 23 存放 5 天後的晶球比較

步驟五、探討實際應用於魚缸的可行性

上述的探究中，我們了解微生物製成晶球的可行性，但這些都僅是在燒杯內進行的降解實驗，在實際應用的層次，可能有更多的變因及不確定性，因此探究的最後，我們嘗試將含有豆漿的微生物晶球置入魚缸中，來探討魚缸中亞硝酸含量的變化，來確認「行動餐車」晶球的可能

我們選取了兩個等大(約 2000cc)的魚缸(圖 24)，分別放入約等重的魚(各 4 隻)，每日定時給予等重的飼料(約 0.2 克)，3 日後，將 15g 重的晶球加入其中一組魚缸，實



圖 24 設立魚缸，探討晶球可行性

驗開始，發現魚隻會食用微生物晶球，導致晶球數量減少，因此將微生物晶球改置於過濾系統中

(圖 26) ，並測試不同天數的亞硝酸濃度。探究結果如下：

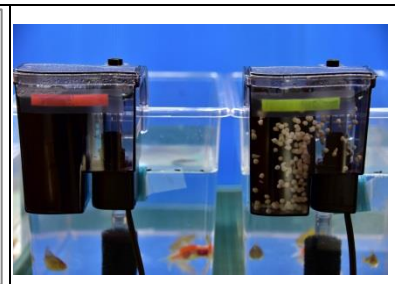
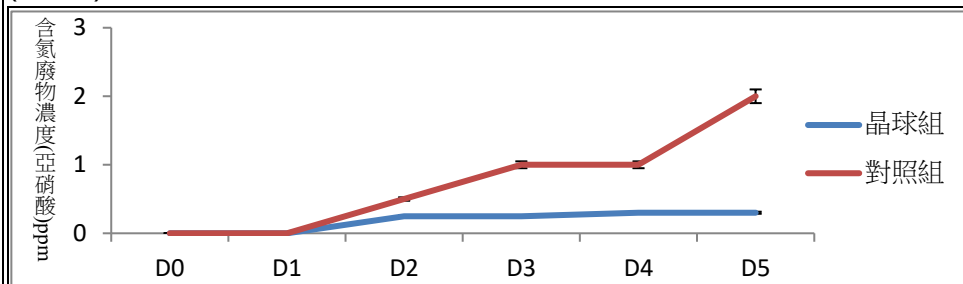


圖 25 微生物晶球在魚缸內降解亞硝酸能力比較

圖 26 過濾系統中的微生物晶球

在魚缸實際的實驗中，發現不論是微生物晶球組或是對照組(無添加硝化菌)，亞硝酸濃度皆有上升的現象，而對照組的亞硝酸含量於 D5 與晶球組相較，濃度更高達 6 倍(對照組為 2ppm)，顯示置入微生物晶球組別的魚缸，具有較好的降解亞硝酸能力。

在實際應用魚缸上，原先預期微生物晶球具有良好的降解能力(將亞硝酸降至 0ppm)，但實際與預期結果不同，可能顯示魚缸環境中較為複雜的環境，例如魚類排泄物、飼料成份等，均會影響微生物晶球的降解效果。此外，魚缸中的含氮廢物除了亞硝酸之外，也包含氨、硝酸鹽等等，這些是否會對晶球的降解效果造成影響，也是值得討論的問題。

五、結論與生活應用



圖 27 晶球，魚缸內的分子料理

分子料理，如同其名，帶有科學溫度的料理方式，讓人們在享受料理的同時，也驚訝於不同以往的體驗，晶球化的技術，包覆了雞尾酒、果汁等，令人一口咬下出現了口感與預期之外的驚喜。養魚添加的硝化細菌，需每週添加補充且要加入能讓細菌附著的介質，分子料理與細菌，讓我們突發奇想，探究了跨界的可行，並希望能

將晶球加入營養源，提升降解能力，以下是我們對於硝化細菌作為微生物晶球的結論：

1. 僅添加硝化細菌，在 Day5 才開始出現降解(降至約 3.5ppm)，降解率為 30%
2. 外加營養源的狀態下，不論是有糖或無糖豆漿，皆能加快降解能力，於 Day2 即降至 0ppm。
3. 外加常用的細菌培養基(LB)，亦能大幅提升降解能力，但易遭受污染，長出細菌、發黴。
4. 將外加營養源(豆漿)製成固態方面，洋菜粉成形不易，且易碎。
5. 含豆漿的微生物晶球，具有提供養分及附著介質，能快速降解亞硝酸(Day3 幾乎降至 0ppm)
6. 實際應用於魚缸，加入晶球的組別為對照組亞硝酸濃度的 1/6，顯示實察應用的可行性。

這一系列的探究裡，當初只是一個奇特的想法，想將流行的分子料理轉而應用至其它領域，雖然探究的結果還有許多可改進修正的空間，但微生物晶球的構想與執行，讓我們獲得了探究的樂趣，也期待能將我們的初步探究結果應用於其它方面，例如海水魚缸、養殖業、甚至是工廠排放含氮廢物污水，是否也能以微生物晶球方式處理降解呢？這些都值得繼續探究。

參考資料

1. 「科技大觀園」：家中自製巨型爆漿分子料理
2. 「科技大觀園」：對抗污水 漂亮出擊
3. 「科技大觀園」：生態平衡的奧祕