

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 環境學科

第三名

052606

「地」時炸「氮」，「酚」秒必爭—利用地毯草
多酚降解硝酸鹽與亞硝酸鹽

學校名稱：臺中市立臺中女子高級中等學校

作者： 高二 江佩佩 高二 劉瑤庭	指導老師： 陳鴻仁
-------------------------	--------------

關鍵詞：硝酸鹽、多酚、地毯草

摘要

氮污染無所不在，水源硝酸鹽污染是農業發達地區居民長期面對的問題，且脫硝作用中間產物亞硝酸鹽，對人體危害甚大。因此我們透過測量天然雜草(地毯草)溶液的氧化還原電位、還原力、自由基清除能力，證明地毯草具有強抗氧化力與還原力。藉由田口式實驗法規劃探討影響地毯草還原降解硝酸鹽之可能參數，由統計分析結果確認使用乾燥地毯草劑量 18.75 g/L 與硝酸鹽濃度 50 mg/L 的水體反應 24 小時，為地毯草降解硝酸鹽的最佳操作條件，而持續反應 48 小時則可完全降解亞硝酸鹽副產物。反應過程中總酚濃度介於 100~200 mg/L，並且利用光譜全波段掃描反應溶液得知，250~325 nm 區間有明顯吸光程度，代表多酚成分兒茶素之存在。經由本研究成果證實地毯草可釋出多酚物質有效降解硝酸鹽。

壹、前言

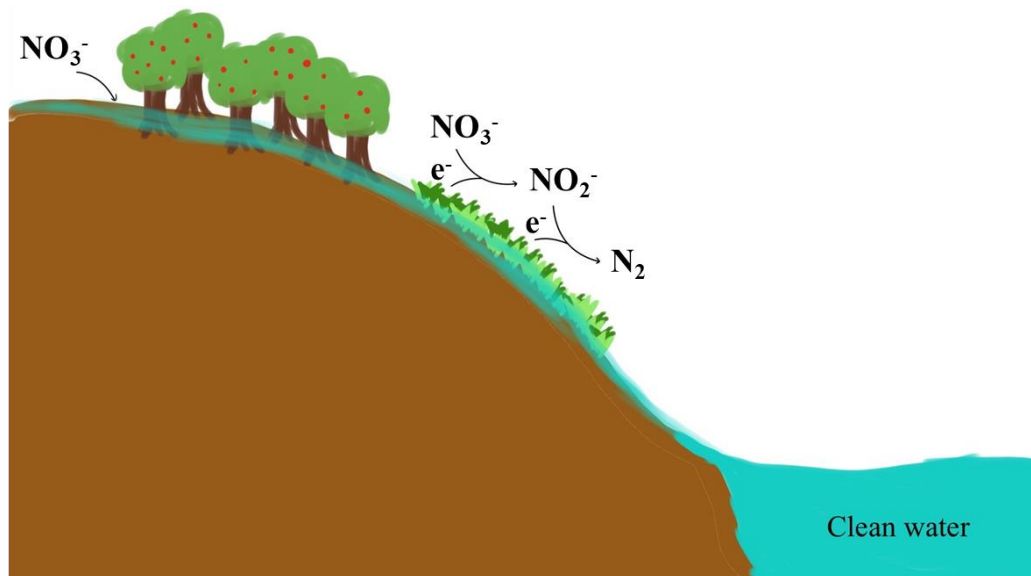
一、研究動機

放學途中經過的排水道經常發出惡臭，低頭一看，排水道長滿綠色的水草及藻類，還飄著幾條魚的屍體，而牆上的排水孔不斷排出五顏六色的廢水。這樣的景象讓我們不禁思考，這些水是從哪裡來的？是那些成分造成水污染的？經過資料搜索後，我們了解到，都市中的排水道通常是用來蒐集家庭排出的廢水，而這些廢水若是未經過妥善處理，就會使排水道的水體優養化，導致大量藻類生長並侵犯到其他水生動物的生存環境。而氮污染便是導致水體優養化的主因之一 [1]，造成氮污染的因素眾多，其中關乎人們是否能溫飽的農業污染 [2]，引起我們極大的興趣。

植物能吸收固氮作用產生的氨氮或硝酸鹽作為營養來源，因此肥料中含有氨氮及硝酸鹽以供作物更加豐富的養分。然而許多農家過量施肥 [3]，使得過剩的氨氮及硝酸鹽經過滲透、地表逕流、地下逕流等方式進入自然水體，造成許多農業興盛的地區長期以來成為氮污染來源之一 [4]。

近年來，植物多酚的應用，時常出現在各式保養品、護膚品、保健品等 [5]，其主要的原因為利用植物中的天然成分——多酚。多酚物質主要是由具有不飽和鍵的苯環與

氫氧官能基(OH)組成，並且依其結構不同，具有不同之提供電子之能力，為一種天然之抗氧化劑。因此我們也想嘗試藉由方便於校園中取得的地毯草，作為植物多酚來源並探討其對硝酸鹽與亞硝酸鹽降解的能力與途徑。



▲圖(一)實際應用示意圖

二、研究目的

- (一)地毯草的基本性質分析
- (二)地毯草降解硝酸鹽的影響參數評估
- (三)地毯草接觸反應時間對降解硝酸鹽及亞硝酸鹽的影響
- (四)地毯草降解硝酸鹽與亞硝酸鹽的推論

三、文獻回顧

(一) 氮污染來源及危害

河川中的氮來源主要可分為六類：農業化肥、生活污水、化糞池污水、工業廢水、畜牧業牲畜排泄物、自然生命循環 [2]。農業化肥主要產生的含氮廢物為氨氮(NH_3)、尿素($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$)、肽類($\text{R}-(\text{CO}-\text{NH})_n-\text{R}'$)等。在農業上，適量使用農業化肥並不會造成污染，然而農家為了使作物生長更快更好，可能過量施予作物肥料，多餘的肥料若無法被作物有效吸收，則有可能造成周遭雜草生長更茂盛，壓迫到作物的生長環境 [3]，此外含氮物質亦會透過地表逕流及地下逕流進入自然水體(河川、湖泊、地下水等)，造成自

然水體污染 [4]。生活污水主要產生的氮來源為有機氮；化糞池污水則含有大量尿素；而工業廢水主要會產生無機氮及氨氮；畜牧業牲畜排泄物也含有大量尿素，並且在畜牧業發達的地區，牲畜排泄物亦造成當地大量的氮污染。

1. 硝酸鹽(NO_3^-)

水體內的硝酸鹽氮(NO_3^- -N)濃度超過 10 mg/L 有可能導致正鐵血紅蛋白血症 (methemoglobinemia) 以及孕婦流產，大於 1 mg/L 則可能致癌 [6]。因此氮污染之控制與移除是生態保育與人體保健中，不可缺少的一環。而在國際上，許多組織皆對自然水體中之硝酸鹽氮含量有所管制 [7]，台灣對於硝酸鹽之飲用水管制標準為 10 mg/L，與美國、日本相同；而歐盟與世界衛生組織則將飲用水中硝酸鹽氮的標準設為 50 mg/L，如表(一)。

▼表(一) 飲用水硝酸鹽氮各國管制標準

國家	硝酸鹽濃度(mg- NO_3^- /L)	硝酸鹽氮濃度(mg- NO_3^- -N/L)
台灣	44.3	10
美國	44.3	10
日本	44.3	10
世界衛生組織	221.3	50
歐盟	221.3	50

2. 亞硝酸鹽(NO_2^-)

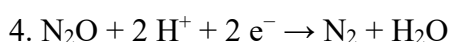
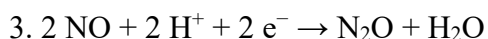
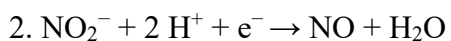
亞硝酸鹽亦為各國政府及國際組織規定影響人體健康的重要水質指標，其中台灣與歐盟同將亞硝酸鹽氮管制標準設為 0.1 mg/L，而日本、美國、世界衛生組織等皆有各自的管制標準，另外，歐盟食品安全局設定每日容許亞硝酸鹽氮攝取量為 0.07 mg/L 以下。如表(二)。此外且攝取超過 2.3 mg/L 的亞硝酸鹽有可能造成急性中毒，甚至死亡 [8]。

▼表(二) 飲用水亞硝酸鹽各國管制標準

資料來源	亞硝酸鹽濃度(mg-NO ₂ ⁻ /L)	亞硝酸鹽氮濃度 (mg-NO ₂ ⁻ -N/L)
台灣飲用水標準	0.3	0.1
美國飲用水標準	3.4	1
日本飲用水標準	0.1	0.04
世界衛生組織飲用水標準	10.1	3
歐盟飲用水標準	0.3	0.1
歐盟食品安全局每日容許攝取量	0~0.3	0~0.07

(二)現有降解硝酸鹽與亞硝酸鹽的方法

目前氮污染的防治方法主要包含物理機制之技術逆滲透、離子交換、吸附、電滲析等，化學機制則包含有催化還原、電催化還原、光解等，以及生物作用機制之生物脫硝等。其中物理機制之技術僅是進行相移轉，無法對其脫氮達到最終去除之目的；化學還原脫硝相較於生物脫硝於處理時程上，所需時間較短，可將硝酸鹽予以脫氮生成最終產物氮氣 [2]，其還原半反應式如下，硝酸鹽獲得電子，還原為亞硝酸鹽，亞硝酸鹽再還原為一氧化氮，二一氧化氮繼續還原為一氧化二氮，最終一氧化二氮會還原成氮氣。



(三)植物的還原力與抗氧化力

多酚化合物存在於綠色植物與膳食纖維中，現今研究成果顯示約有 8000 多種多酚化合物存在 [9]，其化學定義為在苯環上存在一個或多個羥基官能基之化合物 [10]，根據其化學結構可以分為五類，分別為酚酸類 (Phenolic acids)、類黃酮類

(Flavonoids)、單寧類 (Tannins)、二苯乙烯類 (Stilbenes)、木酚素類 (Lignans) [5]。且根據多酚化合物分子結構不同，具有不同抗氧化活性，例如：氫離子提供者、電子提供者、自由基攫取能力及金屬螯和能力等 [11]。

Machado, et al. [12]以 26 種常見植物的樹葉進行抗氧化能力測試，經由分析結果得知 26 種樹葉皆具有高抗氧化力、還原力以及富含有多酚的特性。並將這些植物葉片的高還原力特性應用於還原三價氧化鐵且成功合成奈米零價鐵。

Montenegro-Landívar, et al. [13]則從蔬菜和水果殘留物中回收多酚，並進一步分析提取物得抗氧化能力，透過高效液相層析(high performance liquid chromatography, HPLC)以及分光光度法(spectrophotometry)得知部分蔬菜和水果殘留物可作為天然抗氧化劑，包括菠菜、羽衣甘藍、葡萄、草莓和橙子等。

Balcerek, et al. [14]研究以 DPPH 自由基清除能力測定多種禾本科植物之抗氧化能力，證實其多酚物質可做為電子提供者，抑制自由基的氧化力。且由於硝酸鹽氮為氧化態的五價氮，而地毯草為一種禾本植物，其含有多種多酚物質，多酚物質是由羥基與苯環組成，當水溶液 pH 值大於多酚化合物 pKa 值時，羥基更容易解離並釋出氫離子與電子，使多酚可以做為電子提供者還原硝酸鹽氮 [15]。

貳、研究設備及器材

一、實驗材料，如表(三)

▼表(三) 實驗材料

品項	來源	備註
乾燥地毯草	校園草皮	取新鮮葉片，剪碎後以攝氏 50 度烘乾 24 小時，放入攝氏 20 度恆溫箱中保存 [12]。
硝酸鈉(Sodium Nitrate, NaNO_3 , > 99.0%)	購自聯工化學廠	用以配置硝酸鹽溶液
福林酚試劑(Folin-Ciocalteu reagent)	購自 Sigma-Aldrich	做為總酚測定的指示劑成分
碳酸鈉(Sodium carbonate, Na_2CO_3 , $\geq 99.8\%$)	購自 Honeywell Fluka	做為總酚測定的指示劑成分
沒食子酸(Gallic acid, $\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_3\text{COOH}$)	購自 SIGMA	做為總酚測定的檢量線
DI 水(去離子水)		用以配置各種溶液
赤血鹽(Potassium Ferricyanide, $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6 \geq 99.7\%$)	購自 J.T.Baker	作為還原力測定的指示劑成分
磷酸氫二鉀(Potassium Phosphate, Dibasic, $\text{K}_2\text{HPO}_4 \geq 98\%$)	購自 Nihon Shiyaku Industries	配置 pH 6.6 Phosphate buffer
磷酸二氫鉀(Potassium Phosphate, Monobasic, $\text{KH}_2\text{PO}_4 \geq 99\%$)	購自 Shimakyu's Pure	配置 pH 6.6 Phosphate buffer
三氯乙酸(Trichloroacetic acid, Crystal, $\text{Cl}_3\text{CCOOH} \geq 99.8\%$)	購自 J.T.Baker	作為還原力測定的指示劑成分
含水氯化鐵(III) chloride hexahydrate, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \geq 99\%$)	購自 Riedel-deHaën	作為還原力測定的指示劑成分

甲醇(Methanol, CH ₃ OH ≥ 99.9%)	購自 Duksan	作為 DPPH 的溶劑
DPPH(2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl, ≥ 95%)	購自 Alfa Aesar	測定自由基清除能力
氯化鈉(Sodium chloride, NaCl ≥ 99%)	購自 VETEC	配置氯離子溶液
硫酸鈉(Sodium sulfate, Na ₂ SO ₄ ≥ 99%)	購自 VETEC	配置硫酸鹽溶液
磷酸二氫鈉(Sodium dihydrogen phosphate, NaH ₂ PO ₄ ≥ 98%)	購自 J.T.Baker	配置磷酸鹽溶液
亞硝酸鈉(Sodium Nitrite, NaNO ₂ 100%)	購自 Honeywell Fluka	配置亞硝酸鹽溶液

二、實驗器材，如表(四)

▼表(四) 實驗器材

燒杯	過濾瓶	定量瓶
刮勺	秤量皿	分度吸量管
安全吸球	三叉夾	滴管
陶瓷墊片	咖啡濾網	鐵網
玻璃棉	石英砂	鑷子
試管架	反應瓶	針筒
針筒過濾器	擦拭紙	石英管
廣口瓶	洗滌瓶	石臘膜

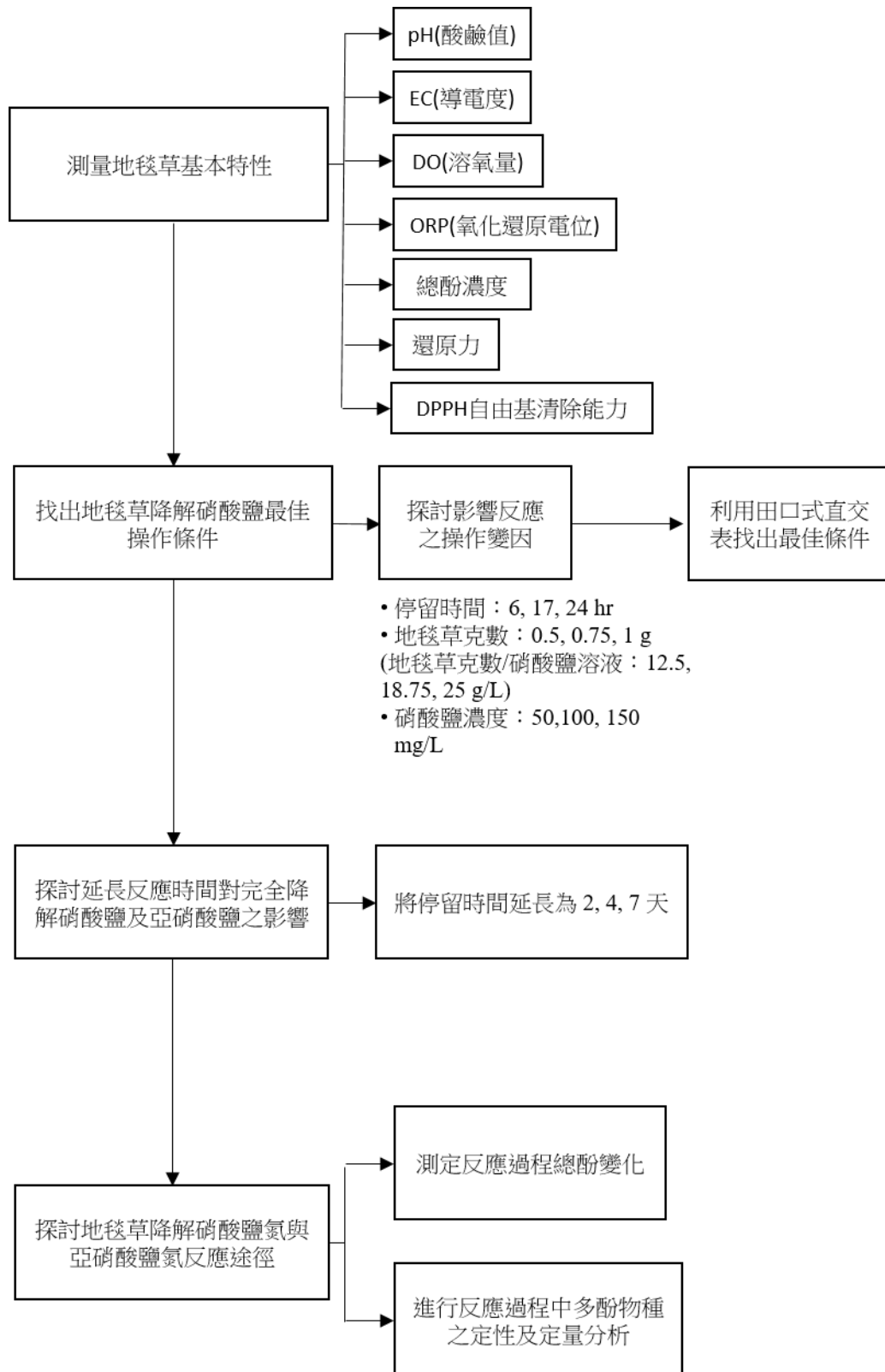
三、實驗儀器，如表(五)

▼表(五) 實驗儀器

離子層析儀(Metrohm AG 700)	精密天平	恆溫培養箱
實驗室水質分析分光光度計 (DR 3900 Benchtop Spectrophotometer)	紫外光-可見光分光譜儀 (Jasco V-530 UV/VIS Spectrophotometer)	pH 測定儀 (CyberScan PC5000)
超音波洗淨機	冰箱	烘箱
微量吸管	分液器	HANNA Instruments HI5222
METTLER TOLEDO LE407 電極(用於量測 pH 值)	HANNA Instruments HI-3131B 電極(用於量測 ORP)	WTW Oxi 3310 Dissolved oxygen meter
B102 恆溫水浴槽		

參、研究過程或方法

一、研究流程圖，如圖(二)



▲圖(二) 研究流程圖

二、實驗原理與步驟

(一)總酚濃度分析 [14]

1.原理

福林酚試劑中含有錳鉬酸，其中含 Mo^{6+} 可被多酚物質還原成藍色的 Mo^{5+} ，因此藉由測定波長 750 nm 的吸光值，吸光值越高，表示總酚含量越高；而錳鉬酸與多酚物質在酸性環境中不易反應，因此需要加入 Na_2CO_3 使呈色反應在鹼性環境中進行。

2.步驟

(1)配置沒食子酸檢量線

取 0.05 g 沒食子酸至 100 ml 定量瓶，用 RO 水定量至 100 ml，配成 500 mg/L 的沒食子酸溶液，再用 500 mg/L 的沒食子酸溶液配成圖(三)所示的檢量線。

(2)配置 2 % Na_2CO_3 溶液

取 2 g Na_2CO_3 至 100 ml 定量瓶，用 RO 水定量至 100 ml，配成 2 % Na_2CO_3 溶液。

(3)配置 50 %福林酚試劑(Folin-Ciocalteu reagent)

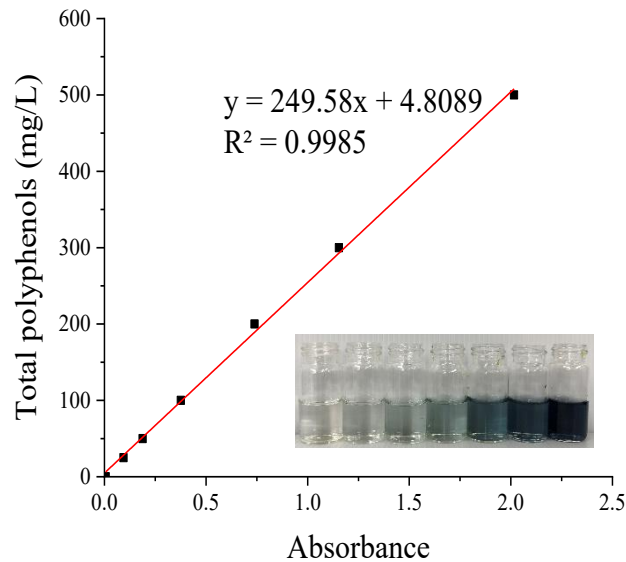
取 5 ml 福林酚試劑(Folin-Ciocalteu reagent)至 10ml 定量瓶，用 RO 水定量至 10 ml，配成 50%福林酚試劑(Folin-Ciocalteu reagent)。

(4)將樣品用 0.45 μm 孔徑的過濾器過濾樣品。

(5)將 5.6 ml RO 水及 0.2 ml 過濾後的樣品加入 20 ml 反應瓶。

(6)同時加入 4 ml 2 % Na_2CO_3 溶液、0.2 ml 50 %福林酚試劑於上一步驟之反應瓶中等待 30 分鐘完全呈色。

(7)以分光光度計(DR 3900 Benchtop Spectrophotometer)測定 750 nm 吸光值(abs)。



▲圖(三) 總酚檢量線

(二)還原力測定 [16]

1.原理

透過樣本中多酚物質將赤血鹽($K_3Fe(CN)_6$)還原為黃血鹽($K_4Fe(CN)_6$)，黃血鹽再與 Fe^{3+} 作用生成普魯士藍的 $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ ，因此藉由測定波長 700 nm 的吸光值，吸光值越高表示 $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ 的生成量越多，可做為樣本還原力的依據。

2.步驟

- (1)取 2.5 ml 樣本
- (2)加入 2.5 ml 0.2 M pH 6.6 Phosphate buffer 及 2.5 ml 1%赤血鹽溶液
- (3)在攝氏 50 度水浴槽中水浴 20 分鐘後，快速冷卻
- (4)加入 2.5 ml 10%三氯乙酸
- (5)取 5 ml 混合液，加入 5 ml DI Water 及 1 ml 0.1%氯化鐵，反應 10 分鐘
- (6)以分光光度計(DR 3900 Benchtop Spectrophotometer)測定 700 nm 吸光值(abs)。

(三) DPPH 自由基清除能力測定 [17]

1.原理

DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)為一種暗紫色的化合物，在波長 517 nm 處有最大吸光度，因其難溶於水，因此需溶於有機溶劑中。且其為一種穩定自由基分子結構，可以清除樣本中的不成對電子，因此可藉由上述步驟以分析抗氧化劑或還原劑具有釋出墊子的特性。藉由檢測 517 nm 處吸光值變化，代表樣本的抗氧化力。

2.步驟

(1)取 2 ml 樣本

(2)加入 2 ml MeOH 及 1ml 新鮮配製的 1 mM DPPH-MeOH 溶液，反應 30 分鐘

(3)以分光光度計(DR 3900 Benchtop Spectrophotometer)測定 517 nm 吸光值

(abs)。

(4)以自由基清除比例做為表示抗氧化力能力依據

$$\text{自由基清除比例(\%)} = \left(\frac{\text{控制組吸光值} - \text{樣本吸光值}}{\text{控制組吸光值}} \right) \times 100$$

(四)田口式直交表設計地毯草降解硝酸鹽實驗

1.田口式直交表 [18]

田口式直交表實驗設計法可以較少的實驗組數得出最佳實驗條件。以本實驗為例，規劃共三個水準因子，而各因子有三個等級，若不利用田口設計方式，全因子規畫方式則將需要作 27 組實驗(3³=27)。因此將水準因子與等級套用在 L₉(3³)直交表中(9 為最後應進行實驗組數，底數 3 為水準因子個數，指數 3 為等級數)，透過交插取各等級，便能得出 9 組最後應作組別(黃、藍、紫共 9 組)。如圖(四)。

停留時間	硝酸鹽濃度	50 mg/L			100 mg/L			150 mg/L		
	地毯草克數	0.50 g	0.75 g	1.00 g	0.50 g	0.75 g	1.00 g	0.50 g	0.75 g	1.00 g
6 hr										
17 hr										
24 hr										

▲圖(四) 田口式直交表取因子方法

2.品質特性(Quality characteristics) [19]

以田口式直交表規劃的實驗條件所獲得之結果，可以計算訊號雜訊比(Signal to noise ratio,S/N)作為分析方法。依照結果的品質特性，分為望目特性(Nominal-the best)、望大特性(larger-the-best)、望小特性(Smaller-the-best)。而本次研究，期望硝酸鹽降解後的濃度越低越好，因此使用望小性質。望小特性公式如下：

$$\frac{S}{N}(\text{dB}) = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right)$$

y_i :各重複實驗結果

n :實驗重複次數

3.變異數分析(ANOVA) [20]

由田口實驗設計方法所得之實驗結果，進行變異數分析，以求出因子貢獻度，如下：

(1)平方和(Sum of square, SS)

$$SS_T = \sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{T^2}{N}$$

SS_T :總平方和

y_i :實驗結果

T :實驗結果總和

N :總實驗結果

$$SS_A = \sum_{i=1}^{K_A} \frac{A_i^2}{n_{A_i}} - \frac{T^2}{N}$$

SS_A :A 因子之平方和

K_A : A 因子之水準數

A_i : A 因子在 i 水準下的結果

n_{A_i} : A 因子在 i 水準下的結果個數

(2)因子貢獻度

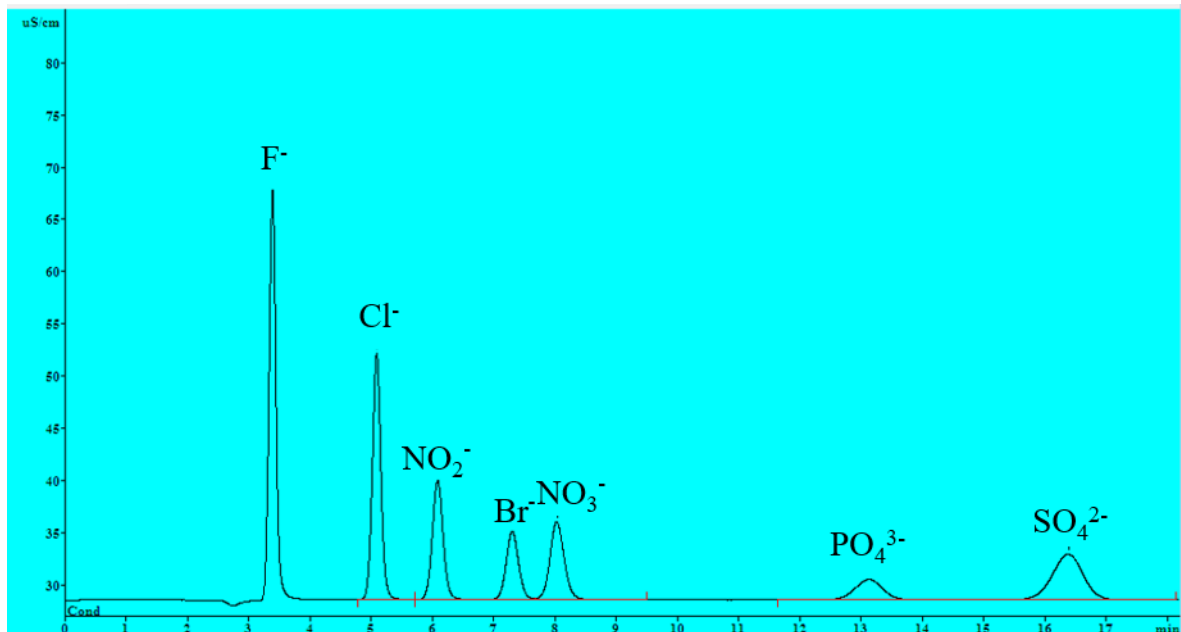
$$\text{因子貢獻度}(\%) = \frac{SS_A}{SS_T}$$

SS_A :A 因子之平方和

SS_T :總平方和

(五)離子層析分析

離子層析儀利用各種離子價數、離子半徑、疏水性差異造成各離子因在層析管中的流速不同而分離，並利用離子層析儀中的電導度感測器偵測不同離子，又離子濃度與導電度成正比，因此可以透過檢量線轉換得知離子濃度。離子層析圖譜如圖(五)所示。



▲圖(五) 離子層析圖譜

(六)多酚物種 UV/VIS 全波段掃描定性分析

1.原理

每種化合物均能吸收某種特定波長，透過與吸光值呈正相關的特性，可以觀察不同物質在反應中的吸光位置及相關濃度變化。

2.實驗步驟

(1)取 0.5 ml 待測溶液至 10 ml 定量瓶中，稀釋定量至 10 ml。

(2)以紫外光-可見光分光譜儀(Jasco V-530 UV/VIS Spectrophotometer)進行 190~900 nm 的全波段掃描。

三、研究流程

(一)測定地毯草的基本性質與所含物質

將 0.75 g 的乾燥地毯草浸泡於 DI 水中，量測隨時間變化(6 hr, 17 hr, 24 hr, 48 hr, 96 hr, 168 hr)的各項參數值：

1.pH、EC、DO、ORP 測定

使用 HANNA Instruments HI5222，搭配 METTLER TOLEDO LE407 電極以偵測 pH；使用 HANNA Instruments HI5222，搭配 HANNA Instruments HI-3131B 電極以偵測氧化還原電位(ORP)。以 WTW Oxi 3310 Dissolved oxygen meter 測量溶液中溶氧量(DO)。以 EUTECH INSTRUMENTS CyberScan PC5000 pH meter 測量溶液中的導電度(EC)。

2.總酚濃度

3.還原力

4.DPPH 自由基清除能力

(二)找出地毯草降解硝酸鹽的適當實驗條件

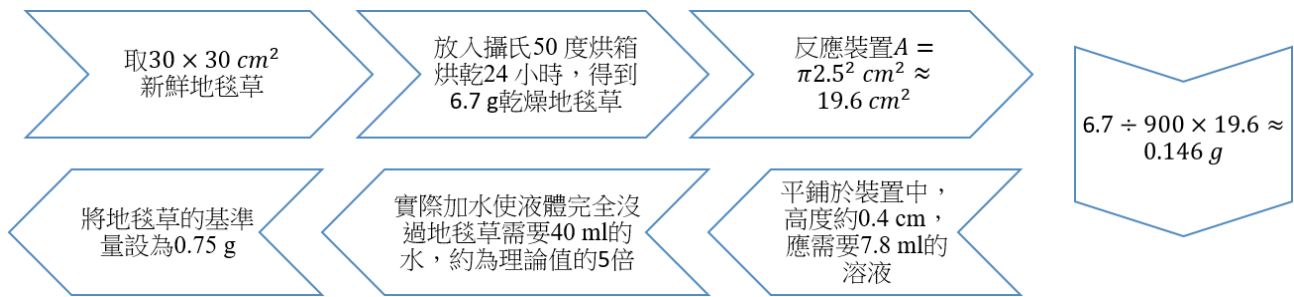
1.實驗操作變因的各項參數

(1) 反應時間

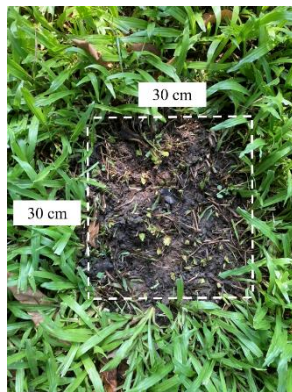
現有降解水中硝酸鹽的方法，多需要大型機具輔助，如蒸餾法及離子交換法；或需要 2 天以上才能使硝酸鹽降解，如生物脫氮 [21]。因化學反應通常所需時間較短，將反應時間的變因設為 6 小時、17 小時、24 小時，期望地毯草降解硝酸鹽的效率能較其他方式佳。

(2) 乾燥地毯草劑量

考量讓硝酸鹽污染水體於地表逕流時，透過種植或鋪灑在地表的地毯草與其接觸達到降解功效。為此，經實地採集校園的地毯草，進一步計算單位面積能種植的地毯草量作為實驗操作變因的基準，如圖(六)之相關推估。據此推估乾燥地毯草的克數設為 0.5 克、0.75 克、1 克。



▲圖(六)雜草克數計算方式



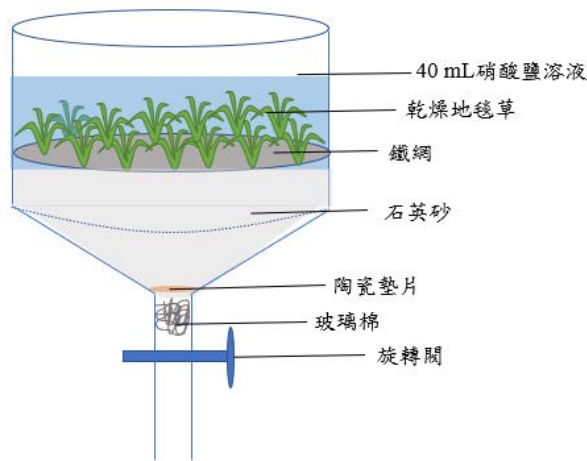
▲圖(七)取 $30 \times 30 \text{ cm}^2$ 地毯草

(3) 硝酸鹽濃度

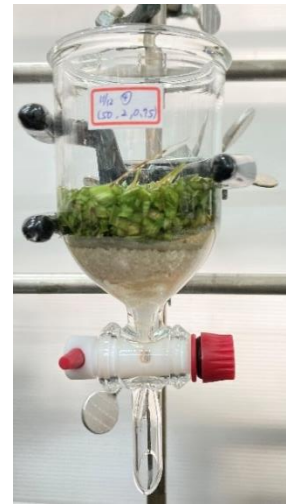
參考國際水質標準、行政法規、硝酸鹽對人體的危害以及受污染地區硝酸鹽濃度後，例如歐盟飲用水硝酸鹽氮管制標準為 50 mg/L ，見表(一)。將初始硝酸鹽污染水體濃度設為 50 mg/L 、 100 mg/L 、 150 mg/L 。

2.設計反應裝置

實驗裝置利用具有旋轉開關閥之分液漏斗進行實驗(如圖(八)及(九)所示)，依序將玻璃棉、陶瓷濾片、石英砂、鐵網依序置於裝置底部，再將乾燥地毯草均勻置於鐵網上，倒入 40 ml 硝酸鹽污染水體，等待所設定的反應時間後，打開旋轉閥取出溶液。



▲圖(八) 反應裝置示意圖



▲圖(九) 實驗裝置實際圖

3.反應溶液配置

將乾燥地毯草均勻置於石英砂上，再將硝酸鹽溶液 40 ml 倒入裝置中，等待反應時間後，取出並使用 0.22 μm 孔徑的過濾器再次過濾溶液。

4.反應溶液離子濃度分析

取 1 mL 待測溶液進入離子層析儀，分析其內含離子濃度，記錄硝酸鹽殘留量和亞硝酸鹽濃度，將硝酸鹽濃度套入田口望小特性公式，推估最佳操作條件。

(三)探討反應時間對降解硝酸鹽及亞硝酸鹽的影響

1.設計實驗

我們沿用最佳操作條件的硝酸鹽濃度與乾燥地毯草劑量，並將實驗時長設為 6、17、24、48(2 天)、96(4 天)、168(一周)小時，觀察硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮的變化。

2.反應溶液配置

將乾燥地毯草均勻置於石英砂上，再將硝酸鹽溶液 40 ml 倒入裝置中，等待反應時間後，取出並使用 0.22 μm 孔徑的過濾器再次過濾溶液。

3.反應溶液分析

取 1 mL 待測溶液進入離子層析儀，分析其內含離子濃度，記錄硝酸鹽殘留量和亞硝酸鹽濃度。

(四)找出地毯草降解硝酸鹽與亞硝酸鹽的可能途徑

1.實驗設計

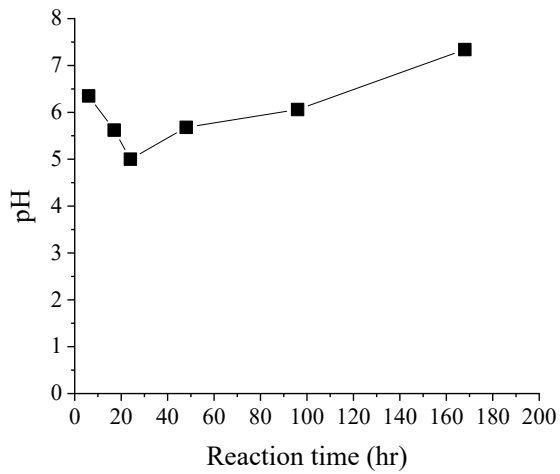
我們沿用「探討反應時間對降解硝酸鹽及亞硝酸鹽的影響」所使用的反應溶液進行總酚含量分析與全波段掃描。

2.測量總酚含量與進行全波段掃描。

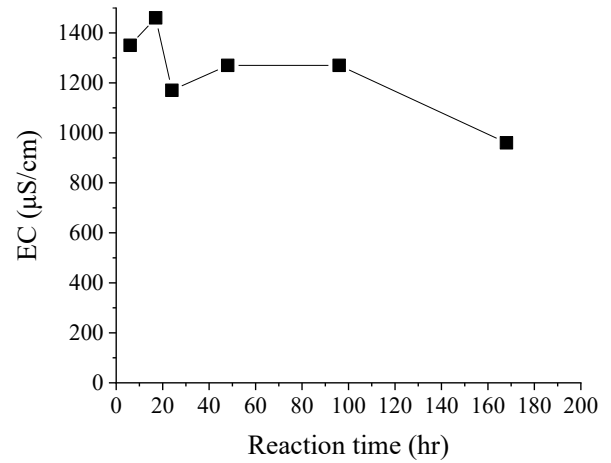
肆、研究結果

一、地毯草的基本特性與所含物質

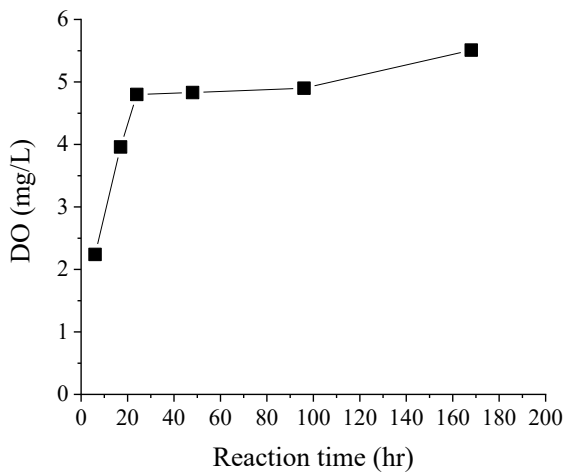
地毯草溶液中 pH 隨時間變化如圖(十)所示，初始反應階段 pH 呈現弱酸性(約 5~6)，因地毯草為天然有機質，富含酸性官能基期降解後會釋出 H^+ ，而使水溶液 pH 呈現弱酸性。地毯草溶液中 EC(導電度)隨時間變化如圖(十一)所示，雖水體中硝酸根與亞硝酸根離子還原降解，但 EC 值並無明顯變化，大約維持於 1000~1500 $\mu S/cm$ 之間，此數值高於單純 RO 水中之 20.2 $\mu S/cm$ 以及硝酸鹽水溶液中之 122 $\mu S/cm$ ，可知地毯草水溶液與水接觸混合後，使草中之鹽類物質釋出溶解至水中，導致 EC 值上升，由 IC 層析圖譜得知，溶液除所添加之硝酸鹽物質外，亦測得磷酸鹽(PO_4^{3-})、硫酸鹽(SO_4^{2-})及氯離子(Cl^-)(數值列於表(六))。地毯草溶液中 DO(溶氧量)隨時間變化如圖(十二)所示，DO 值於草加入後，下降至約 3 mg/L，而後回升，大約維持於 5.0 mg/L，但整體數值偏低，可能由於地毯草溶於水中之天然有機質與氧反應消耗，使 DO 降低。地毯草溶液中 ORP 隨時間變化如圖(十三)所示，ORP 於反應 6 小時後逐漸降低，約從 +200 mV 降至 +10 mV，於反應 24 小時後下降至 -500 mV 呈現高度還原態環境，可能原因為地毯草中多酚釋出電子所致，而後逐漸回升，但仍處於負值 ORP 狀態。地毯草溶液還原力隨時間變化如圖(十四)，隨時間遞進，地毯草溶液於 700 nm 時的吸光值越來越高，表示地毯草溶液還原力逐漸上升。地毯草溶液 DPPH 自由基清除率隨時間變化如圖(十五)所示，地毯草溶液具有高 DPPH 自由基清除能力，表示其具有較佳的抗氧化力與還原力。



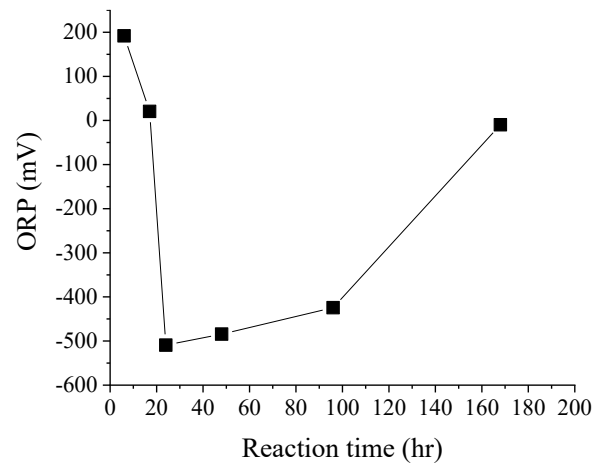
▲圖(十)pH 隨時間變化圖



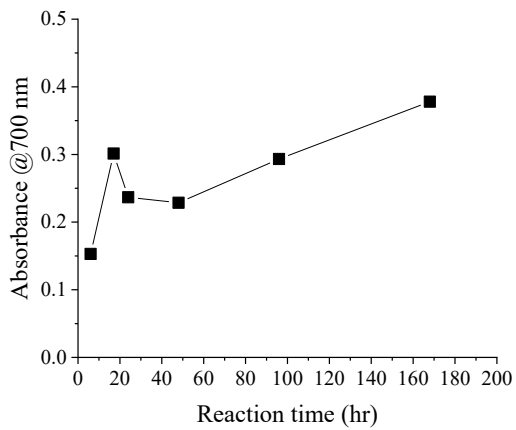
▲圖(十一)EC 隨時間變化圖



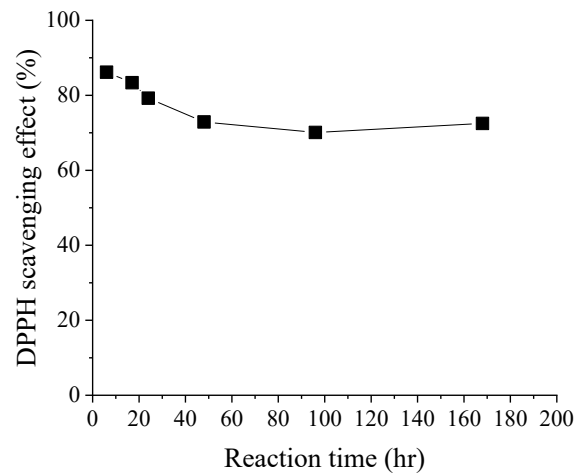
▲圖(十二)DO 隨時間變化圖



▲圖(十三)ORP 隨時間變化圖



▲圖(十四)還原力隨時間變化圖



▲圖(十五)DPPH 自由基清除率隨時間變化圖

▼表(六) 地毯草溶液中各離子含量

反應條件	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
0.75g 乾燥地毯 草浸泡於 40 ml DI 水中 7 天	0.9	0	184.5	170.7	136.5

二、田口式設計方法結果

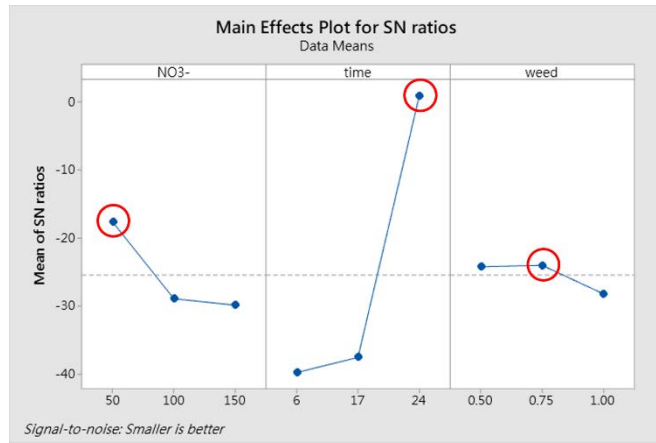
(一) 地毯草降解硝酸鹽的最佳實驗條件

將 9 組硝酸鹽殘留濃度套入田口式望小性質公式後，可以得到三種因子各個等級的 S/N 比，如表(七)所示。再將每組 S/N 值分別以同一因子的同一級別取平均值，取各因子 S/N 平均值最高的級別，便能得到地毯草降解硝酸鹽氮的適當實驗條件：硝酸鹽濃度 50 mg/L、反應時長 24 小時、雜草劑量 0.75 g(18.75 g/L)，如圖(十六)。

▼表(七)套入望小性質公式後各組 S/N 值

項次	設計水準	因子 A 硝酸鹽濃度 (mg/L)	因子 B 停留時間 (hr)	因子 C 乾燥地毯草劑量 (g)	平均硝酸鹽 殘留濃度 (mg/L)	平均 S/N 比
	Level 1	Level 2	Level 3			
1	50	6	1.00	53.845	-34.6233	
2	50	17	0.75	31.050	-29.8811	
3	50	24	0.50	0.260	11.6941	
4	100	6	0.75	99.330	-39.9450	
5	100	17	0.50	96.630	-39.7022	
6	100	24	1.00	2.045	-6.9594	
7	150	6	0.50	168.390	-44.5281	
8	150	17	1.00	139.000	-42.8614	
9	150	24	0.75	-2.0642	1.210	

1. 乾燥地毯草劑量 0.50 g = 乾燥地毯草劑量/硝酸鹽溶液 12.5 g/L
2. 乾燥地毯草劑量 0.75 g = 乾燥地毯草劑量/硝酸鹽溶液 18.75 g/L
3. 乾燥地毯草劑量 1.00 g = 乾燥地毯草劑量/硝酸鹽溶液 25 g/L



▲圖(十六)各因子取 S/N 平均值最大等級為最佳條件

(二)因子貢獻度

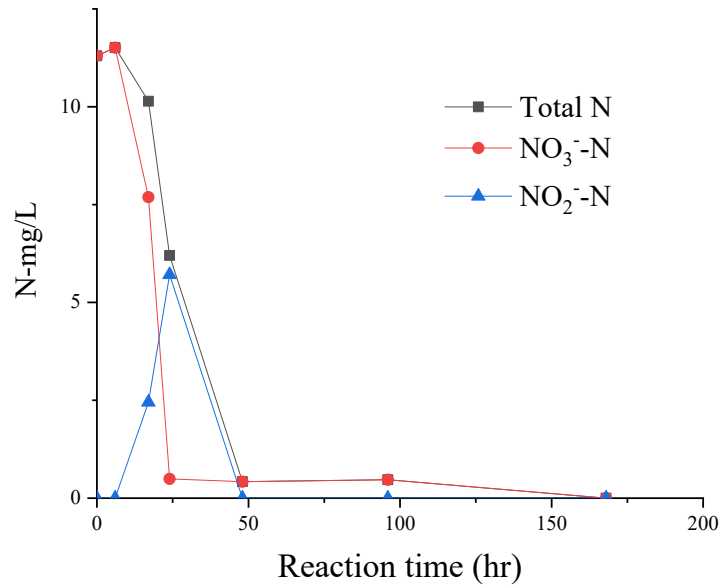
將研究結果代入公式運算後，得到各因子貢獻度，如表(八)所示，觀察發現停留時間貢獻度明顯高於其他兩者，是決定地毯草還原降解硝酸鹽的重要因子。

▼表(八)因子貢獻度

因子	貢獻度(%)
硝酸鹽濃度	8.064
停留時間	90.966
乾燥地毯草劑量	0.970
總和	100

三、探討延長反應時間是否能成功降解亞硝酸鹽

如圖(十七)所示，橘色線為硝酸鹽氮隨時間變化的降解過程，藍色線為亞硝酸鹽氮隨時間變化的降解過程。6~24 小時區間硝酸鹽氮濃度持續下降，此時亞硝酸鹽氮濃度則持續上升，此些反應顯示硝酸鹽還原降解轉換為亞硝酸鹽，反應 48 小時後，雖有微量硝酸鹽氮，但離子層析儀已偵測不到亞硝酸鹽氮。樣本初始總氮濃度為 11.3 mg/L，而反應 24 小時後，總氮濃度約為 6.2 mg/L，逐漸消失趨近完全去除，可知如脫氮作用反應式，硝酸鹽依序脫氮反應，最終形成氮氣自水中逸散。



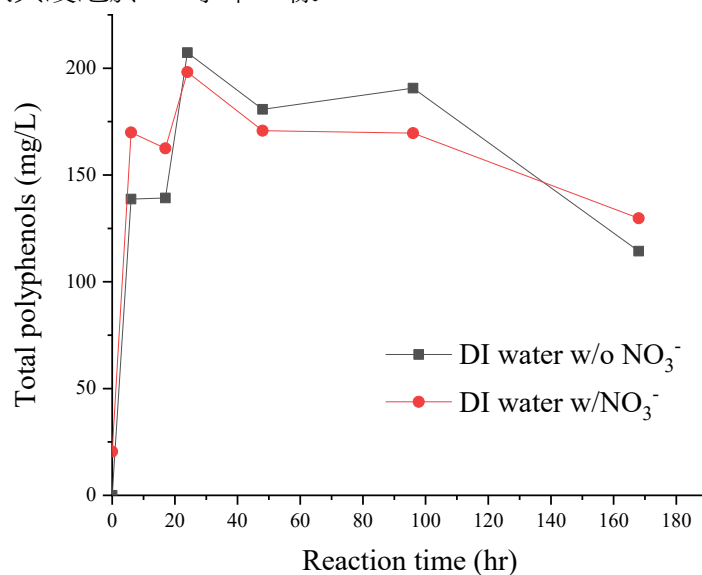
▲圖(十七)硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮濃度隨時間變化圖

四、探討地毯草降解硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮的反應途徑

(一)總酚含量分析

圖(十八)中黑色線為地毯草浸泡於 DI 水中，總酚濃度隨反應時間的變化，在 6~24 小時的區間中，總酚濃度有上升之趨勢；反應 24~96 小時的區間，總酚濃度大致平衡穩定；96 小時後，總酚濃度則有下降趨勢，整體反應過程總酚濃度介於 100~200 mg/L。

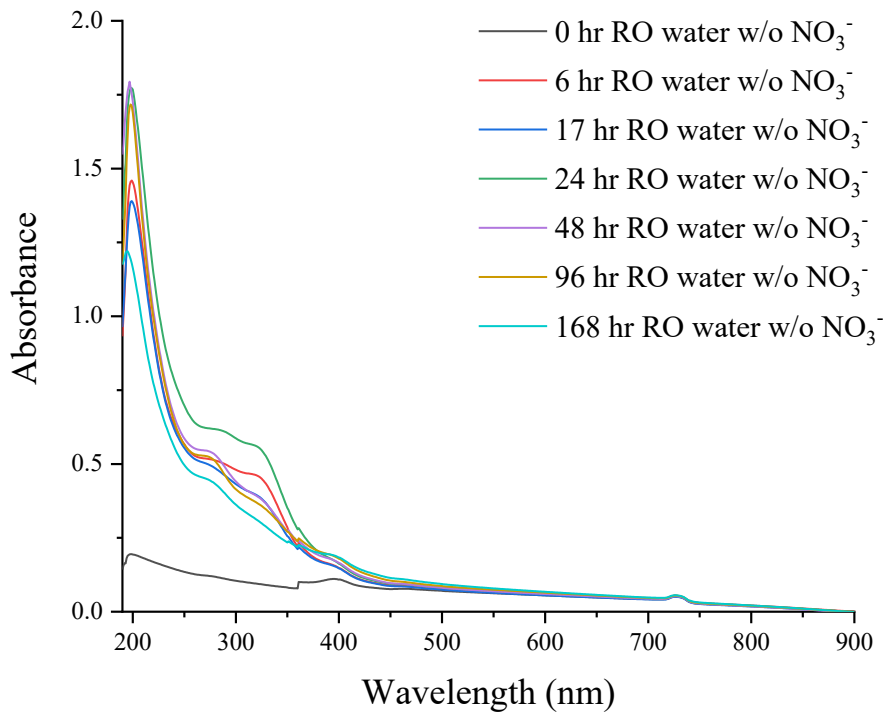
圖(十八)中橘色線為地毯草浸泡於 50 mg/L 硝酸鹽溶液中，總酚濃度隨反應時間的變化，其趨勢大致與浸泡於 DI 水中一樣。



▲圖(十八)地毯草浸泡於 DI 水與地毯草浸泡於 50 mg/L 硝酸鹽溶液總酚變化圖

(二)UV/VIS 全波段掃描

18.75 g/L 地毯草溶液 UV/VIS 全波段掃描隨時間變化如圖(十九)所示，在 200 nm 處，地毯草溶液均有最大吸光值，且吸光程度變化與總酚濃度變化一致。而在 250~325 nm 區間，有高於 RO 水的吸光程度，且吸光程度大致與總酚濃度變化一致，尤其在 275 nm 處有凸起的鋒值，且在 325 nm 處之吸光程度變化最為明顯。



▲圖(十九) 地毯草溶液 UV/VIS 全波段掃描隨時間變化圖

伍、討論

一、停留時間為影響氮還原反應的主要因子

根據貢獻度計算方程式得知各因子貢獻度，硝酸鹽濃度:8.064 %、停留時間:90.966 %、乾燥地毯草劑量:0.970 %。發現停留時間貢獻度明顯高於其他兩者，因此其為影響氮還原反應的主要因子。

待反應 24 小時後，發現雖然硝酸鹽幾乎完全降解，但亞硝酸鹽濃度卻明顯上升，結合上文所述:停留時間為影響氮還原反應的主要因子，推估亞硝酸鹽未脫氧是由於停留時間不足，因此我們將原停留時間(6 hr, 17 hr, 24 hr)延長至 6 hr、17 hr、24 hr、48 hr、96 hr、168 hr，期望能將亞硝酸鹽完全降解。進行實驗後，發現反應 48 小時後，儀器已偵測不到亞硝

酸鹽。綜上所述可知，延長停留時間能完全降解硝酸鹽與亞硝酸鹽。

二、總酚含量變化可能原因

起初，反應 6~24 小時期間，總酚濃度上升，推測是因地毯草內多酚尚未完全溶於液體導致；而後段總酚濃度略為下降，推測為多酚在水中逐漸被氧化而導致。

三、全波段掃描中，各波鋒的意義

M. Friedman, et al. [22]使用 UV-vis 分光光度計進行多種多酚物質之特性分析，其中不同兒茶素之吸收波峰在 205~210 nm 有最大吸收程度，而在 270~290 nm 有第二大的吸光程度，與本研究之地毯草溶液之全波段掃描圖吸光程度變化相符，可推測兒茶素為地毯草之主要多酚成分之一。

Fardiyah, et al. [23]以掃描穿心蓮 200~400 nm 波長，發現其在 230~360 nm 區間有相對明顯之吸光程度產生，且發現穿心蓮具有槲皮素、類黃酮類、單寧等多酚物質。比較文獻中 200~400 nm 波長圖形與地毯草 200~400 nm 的圖形發現，出現波鋒的範圍與波長大部分重疊，因此地毯草中可能也含有槲皮素、類黃酮類、單寧等多酚物質。準確多酚種類，仍需更多文獻與實驗佐證。

陸、結論

- 一、透過量測地毯草溶液的總酚含量變化、ORP、還原力及 DPPH 自由基清除能力等，顯示地毯草具有強抗氧化力與還原力。
- 二、依田口式統計法，影響降解實驗結果的因子貢獻度分別為：硝酸鹽濃度 8.064%、停留時間 90.966%、乾燥地毯草劑量 0.970%。
- 三、實驗結果顯示，使用地毯草劑量 18.75 g/L，反應時間 24 小時，能有效降解含硝酸鹽濃度 50 mg/L 的水體，然而溶液中有超過排放標準的亞硝酸鹽產生。
- 四、使用地毯草劑量 18.75 g/L 降解含硝酸鹽濃度 50 mg/L 的水體，持續反應 48 小時後，能完全降解亞硝酸鹽。
- 五、由全波段掃描可知，地毯草中富含兒茶素等多酚物質，可作為降解硝酸鹽與亞硝酸鹽之還原劑。
- 六、本研究證實，富含多酚類化合物的地毯草，確實能有效降解硝酸鹽與亞硝酸鹽，可降低農業用廢水對環境污染的威脅。

柒、參考文獻

- [1] S. Singh, A.G. Anil, V. Kumar, D. Kapoor, S. Subramanian, J. Singh, P.C. Ramamurthy, Nitrates in the environment: A critical review of their distribution, sensing techniques, ecological effects and remediation, *Chemosphere* 287 (2022) 131996. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131996>.
- [2] E. Abascal, L. Gómez-Coma, I. Ortiz, A. Ortiz, Global diagnosis of nitrate pollution in groundwater and review of removal technologies, *Science of The Total Environment* (2021) 152233. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152233>.
- [3] J. Huang, J. Xu, X. Liu, J. Liu, L. Wang, Spatial distribution pattern analysis of groundwater nitrate nitrogen pollution in Shandong intensive farming regions of China using neural network method, *Mathematical and Computer Modelling* 54(3) (2011) 995-1004. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.027>.
- [4] I.B. Goni, B.M. Sheriff, A.M. Kolo, M.B. Ibrahim, Assessment of nitrate concentrations in the shallow groundwater aquifer of Maiduguri and environs, Northeastern Nigeria, *Scientific African* 4 (2019) e00089. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00089>.

- [5] T. Okuda, 26 - Antioxidants in Herbs: Polyphenols, in: L. Packer, M. Hiramatsu, T. Yoshikawa (Eds.), *Antioxidant Food Supplements in Human Health*, Academic Press, San Diego, 1999, pp. 393-410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012543590-1/50027-5>.
- [6] M.H. Ward, R.R. Jones, J.D. Brender, T.M. de Kok, P.J. Weyer, B.T. Nolan, C.M. Villanueva, S.G. van Breda, *Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review*, *Int J Environ Res Public Health* 15(7) (2018) 1557. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071557>.
- [7] 臺北自來水事業處, 水質標準與各國水質標準比較表, (2022). <https://doi.org/https://www.water.gov.taipei/cp.aspx?n=B96B3009F7951CD4>.
- [8] P.-W. SHEN, Nitride graphite / manganese dioxide screen-printed carbon electrode nitrite detection and the detection of 4-hydroxynitrobenzene in river water by nickel disulfide/graphene oxide glassy carbon electrode, (2019). <https://doi.org/https://hdl.handle.net/11296/8e94qg>.
- [9] I. Ignat, I. Volf, V.I. Popa, A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables, *Food Chemistry* 126(4) (2011) 1821-1835. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026>.
- [10] S. Kuppusamy, P. Thavamani, M. Megharaj, R. Naidu, Bioremediation potential of natural polyphenol rich green wastes: A review of current research and recommendations for future directions, *Environmental Technology & Innovation* 4 (2015) 17-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eti.2015.04.001>.
- [11] D.M. Pereira, P. Valentão, J.A. Pereira, P.B. Andrade, Phenolics: From Chemistry to Biology, *Molecules* 14(6) (2009) 2202-2211.
- [12] S. Machado, J.P. Pinto SI Fau - Grosso, H.P.A. Grosso Jp Fau - Nouws, J.T. Nouws Hp Fau - Albergaria, C. Albergaria Jt Fau - Delerue-Matos, C. Delerue-Matos, Green production of zero-valent iron nanoparticles using tree leaf extracts, (1879-1026 (Electronic)).
- [13] M.F. Montenegro-Landívar, P. Tapia-Quirós, X. Vecino, M. Reig, C. Valderrama, M. Granados, J.L. Cortina, J. Saurina, Fruit and vegetable processing wastes as natural sources of antioxidant-rich extracts: Evaluation of advanced extraction technologies by surface response methodology, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9(4) (2021) 105330. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105330>.
- [14] M. Balcerek, I. Rąk, G. Majtkowska, W. Majtkowski, Antioxidant activity and total phenolic compounds in extracts of selected grasses (Poaceae), *Herba Polonica* 55 (2009).
- [15] A. Gliszczyńska-Świgło, M. Muzolf-Panek, pH-Dependent Radical Scavenging Activity of Folates, *Journal of agricultural and food chemistry* 55 (2007) 8237-42. <https://doi.org/10.1021/jf070986x>.
- [16] M. Oyaizu, Studies on products of browning reaction--antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine, *Eiyougaku zasshi* v. 44(no. 6) (1986) pp. 307-315-1986 v.44 no.6. <https://doi.org/10.5264/eiyogakuzashi.44.307>.

- [17] K. Shimada, K. Fujikawa, K. Yahara, T. Nakamura, Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion, *Journal of agricultural and food chemistry* 40(6) (1992) 945-948. <https://doi.org/10.1021/jf00018a005>.
- [18] S.H. Dhawane, B. Karmakar, S. Ghosh, G. Halder, Parametric optimisation of biodiesel synthesis from waste cooking oil via Taguchi approach, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6(4) (2018) 3971-3980. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.05.053>.
- [19] V. Ayhan, Ç. Çangal, İ. Cesur, A. Çoban, G. Ergen, Y. Çay, A. Kolip, İ. Özsert, Optimization of the factors affecting performance and emissions in a diesel engine using biodiesel and EGR with Taguchi method, *Fuel* 261 (2020) 116371. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116371>.
- [20] A. Balaram Naik, A. Chennakeshava Reddy, Optimization of tensile strength in TIG welding using the Taguchi method and analysis of variance (ANOVA), *Thermal Science and Engineering Progress* 8 (2018) 327-339. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.08.005>.
- [21] A. Capodaglio, P. Hlavinek, M. Raboni, Physico-chemical technologies for nitrogen removal from wastewaters: A review, *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* Vol 10 (2015). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1618>.
- [22] M. Friedman, H.S. Jürgens, Effect of pH on the Stability of Plant Phenolic Compounds, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48(6) (2000) 2101-2110. <https://doi.org/10.1021/jf990489j>.
- [23] Q. Fardiyah, T. Ersam, Suyanta, A. Slamet, Suprpto, F. Kurniawan, New potential and characterization of *Andrographis paniculata* L. Ness plant extracts as photoprotective agent, *Arabian Journal of Chemistry* 13(12) (2020) 8888-8897. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.10.015>.

【評語】 052606

1. 本作品針對水源硝酸鹽的污染，探討以地毯草溶液的強抗氧化力與還原能力，藉由田口式實驗法規劃探討影響地毯草還原降解硝酸鹽的可能參數，找出最佳劑量與所需的反應時間，在乾燥地毯草的克數與硝酸鹽濃度實驗設計上，呈現清晰之量化關係。
2. 報告書內容架構符合科學研究報告精神，研究架構設計合理，簡報的邏輯性清楚，具有統計分析觀念與科學特性。
3. 建議在規劃實驗時，應先彙整國內水源受硝酸鹽污染的濃度資料，並瞭解水源的污染物質除硝酸鹽外，磷酸鹽、硫酸鹽、氯鹽與酚類均是重要的污染物質，尤其是酚類，在很低的濃度情況下，經淨水處理的加氯程序，將造成高臭度的氯酚物質。

作品簡報

「地」時炸「氮」，「酚」秒必爭 ——

利用地毯草多酚降解水中硝酸鹽與亞硝酸鹽

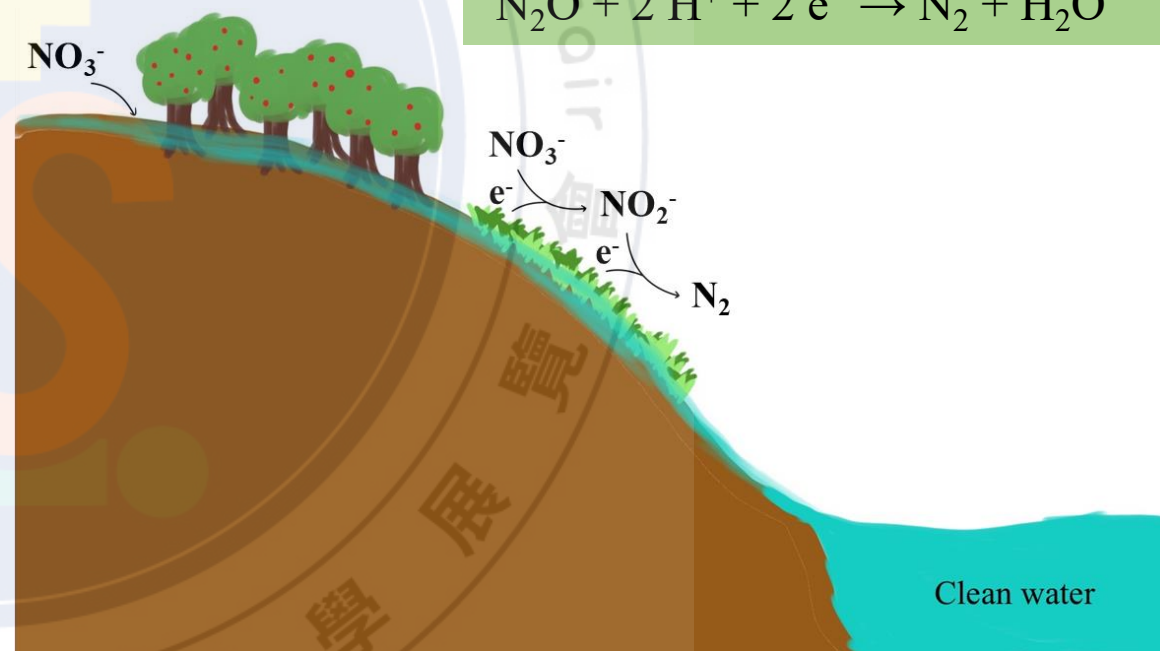
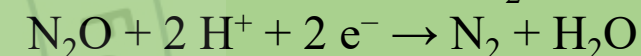
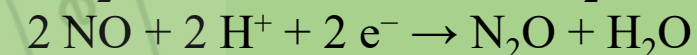
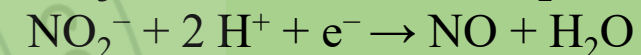
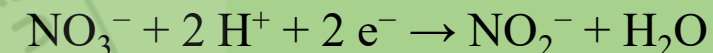
組別：高級中等學校組

科別：環境學科

研究動機與文獻探討

- 農業發達地區過量施肥導致自然水體氮污染。
- 目前氮污染的防治方法：物理機制：逆滲透、吸附等；化學機制：催化還原、光解等；生物機制：生物脫硝。
- 多酚物質具有羥基(-OH)，可提供電子，為一種天然抗氧化劑。
- 多酚物質多存於綠色植物中。

硝酸鹽降解過程



實際應用構想圖

研究目的

一、地毯草的基本性質分析

二、地毯草降解硝酸鹽的影響參數評估

三、地毯草接觸反應時間對降解硝酸鹽及亞硝酸鹽的影響

四、地毯草降解硝酸鹽與亞硝酸鹽的推論

研究流程

量測地毯草基本性質

- pH
- DO
- EC
- ORP
- 總酚濃度
- 還原力
- DPPH自由基清除能力

田口氏實驗設計法求地毯草降解硝酸鹽最佳操作條件

- 反應時間：6, 17, 24 hr
- 地毯草克數：0.5, 0.75, 1 g
(地毯草克數/硝酸鹽溶液：12.5, 18.75, 25 g/L)
- 硝酸鹽濃度：50, 100, 150 mg/L

探討延長反應時間對完全降解硝酸鹽及亞硝酸鹽之影響

- 將反應時間延長為 2, 4, 7 天

探討地毯草降解硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮反應途徑

- 測定反應過程總酚變化量
- 進行反應過程中多酚物種之定性分析：
UV-vis全波段掃描

研究方法：田口氏實驗設計方法

1. 直交表

停留時間	硝酸鹽濃度	50 mg/L			100 mg/L			150 mg/L		
	地毯草克數	0.50 g	0.75 g	1.00 g	0.50 g	0.75 g	1.00 g	0.50 g	0.75 g	1.00 g
6 hr										
17 hr										
24 hr										

2. 品質特性：

依田口式直交表規劃的實驗條件所獲得之結果，可以計算訊號雜訊比作為分析方法，如右。

望小性質：

$$\frac{S}{N}(\text{dB}) = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right)$$

y_i : 各重複實驗結果
 n : 實驗重複次數

3. 因子貢獻度：

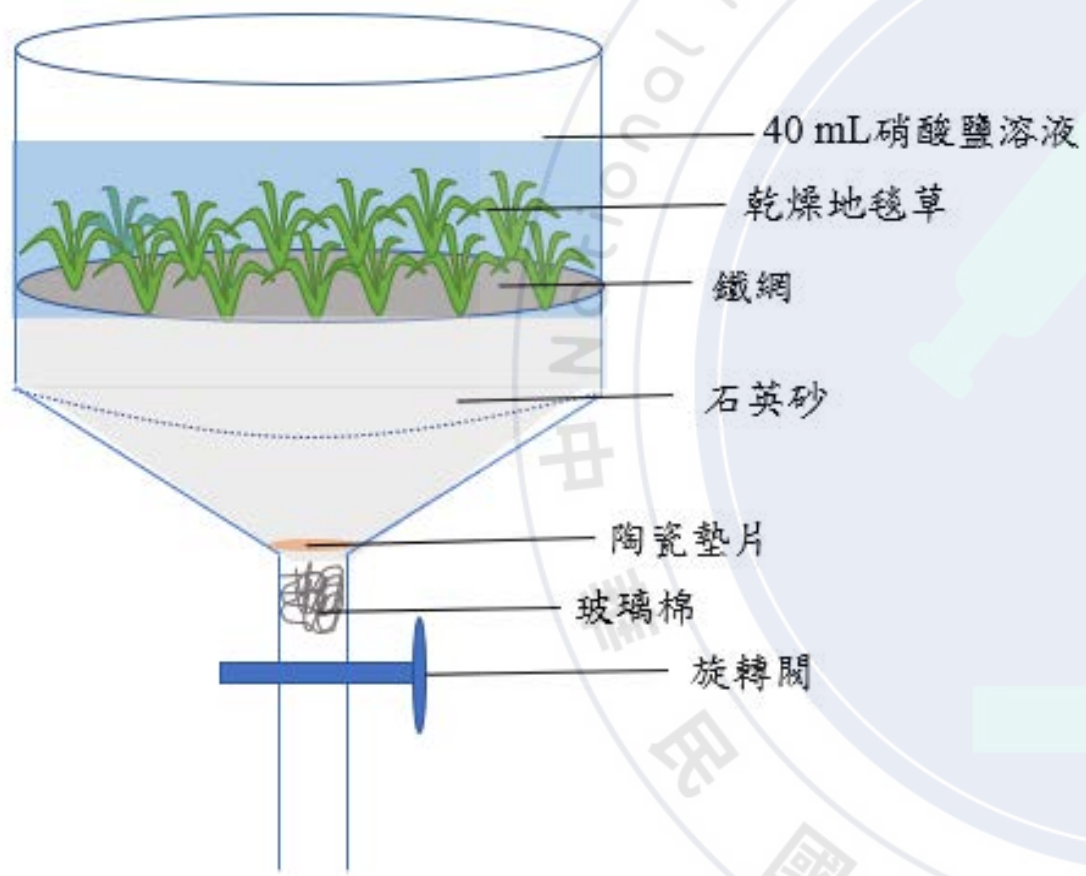
由田口實驗設計方法所得之實驗結果，進行變異數分析，以求出因子貢獻度，如右。

$$\text{因子貢獻度}(\%) = \frac{SS_A}{SS_T}$$

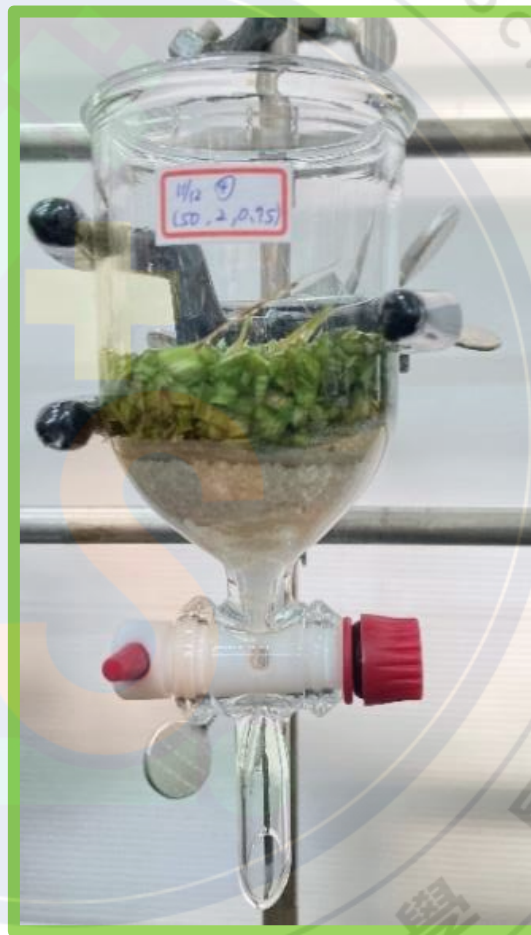
SS_A : A因子之平方和

SS_T : 總平方和

研究方法：實驗裝置



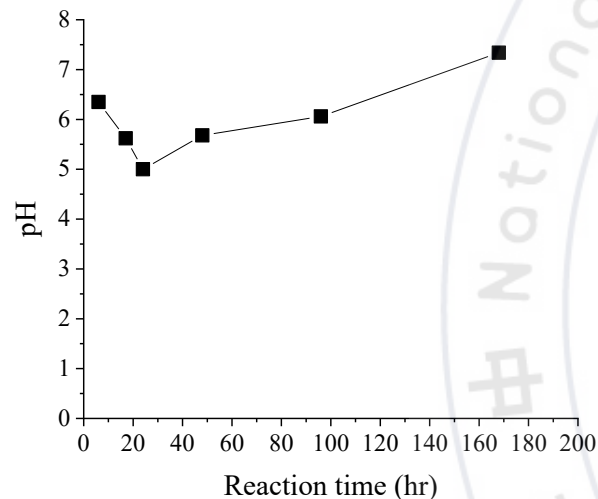
實驗裝置示意圖



實驗裝置實際圖

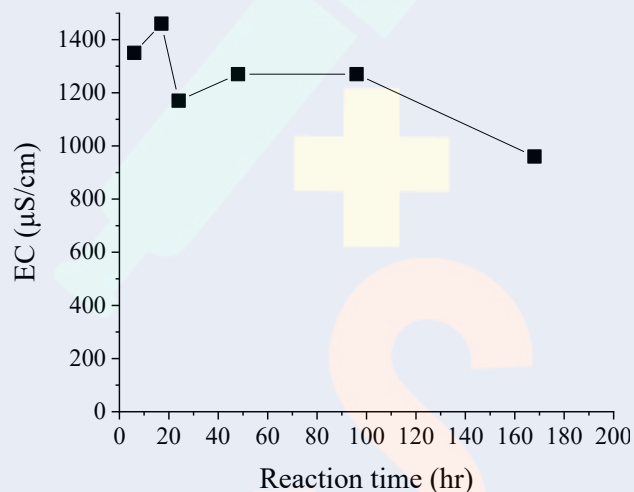
研究結果與討論

一、地毯草的基本特性與所含物質



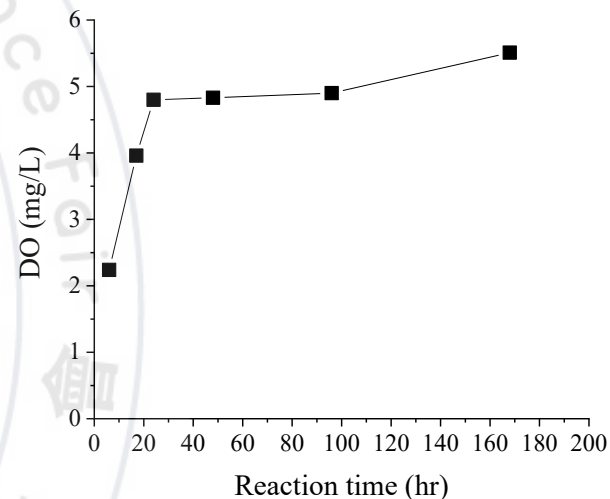
pH隨時間變化圖

水溶液 pH 呈現弱酸性



EC隨時間變化圖

EC 值無明顯變化，
且其數值高於RO水
及硝酸鹽水溶液

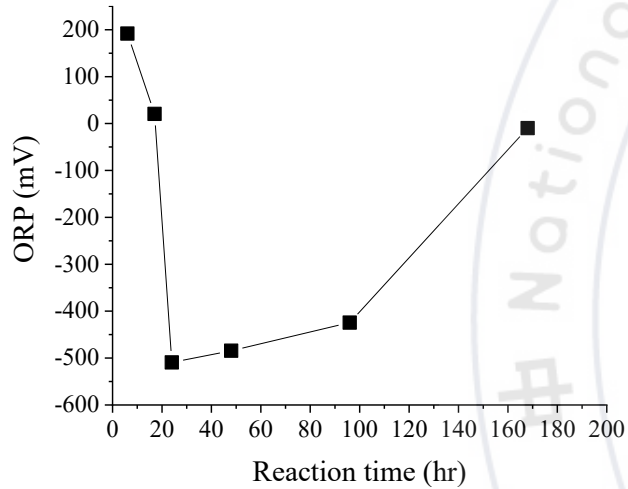


DO隨時間變化圖

DO 整體數值偏低

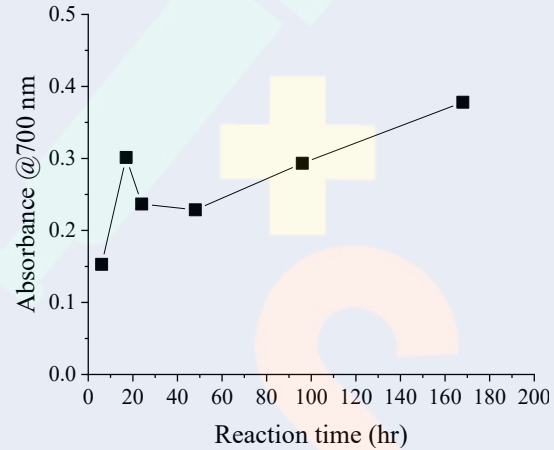
研究結果與討論

一、地毯草的基本特性與所含物質



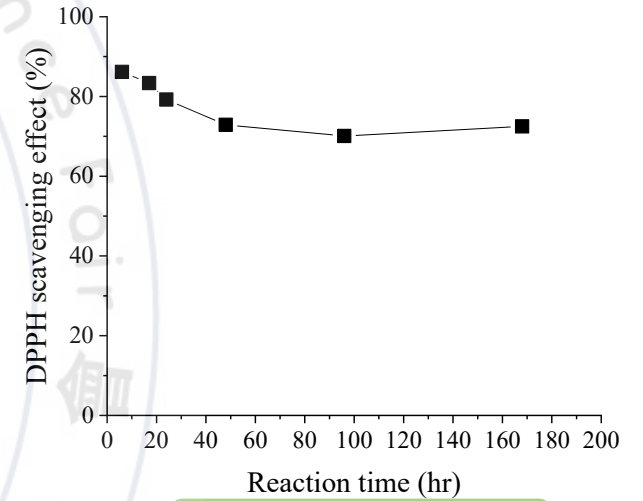
ORP隨時間變化圖

ORP 於反應 24 小時後
呈現高度還原態，
而後逐漸回升，
但仍處於負值 ORP 狀態



還原力隨時間變化圖

地毯草溶液還原力逐漸上升

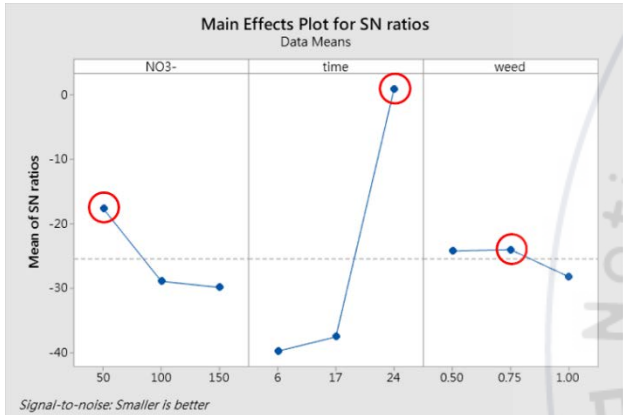


DPPH 自由基清除率
隨時間變化圖

具有較佳的抗氧化力與還原力

研究結果與討論

二、田口式設計方法結果



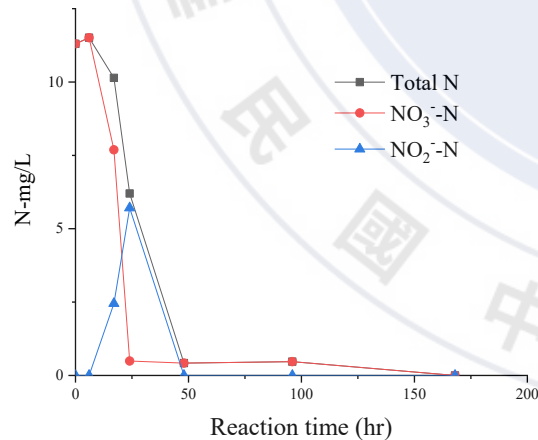
- 硝酸鹽濃度 50 mg/L
- 停留時間 24 小時
- 乾燥地毯草劑量 0.75 g (18.75 g/L)

因子	貢獻度(%)
硝酸鹽濃度	8.064
停留時間	90.966
乾燥地毯草劑量	0.970
總和	100

停留時間為影響氮還原反應的主要因子

三、探討延長停留時間是否能成功降解亞硝酸鹽

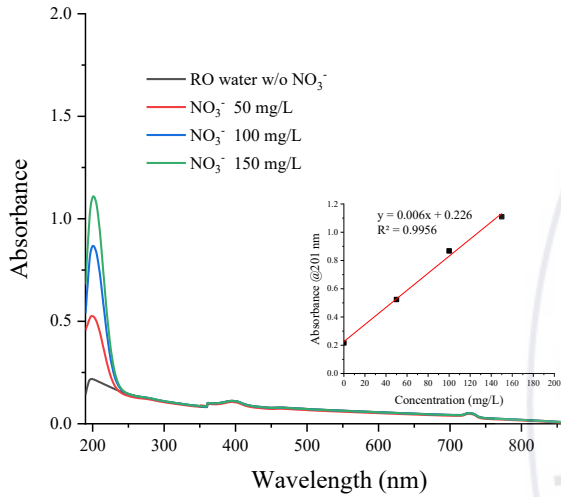
硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮濃度隨時間變化圖



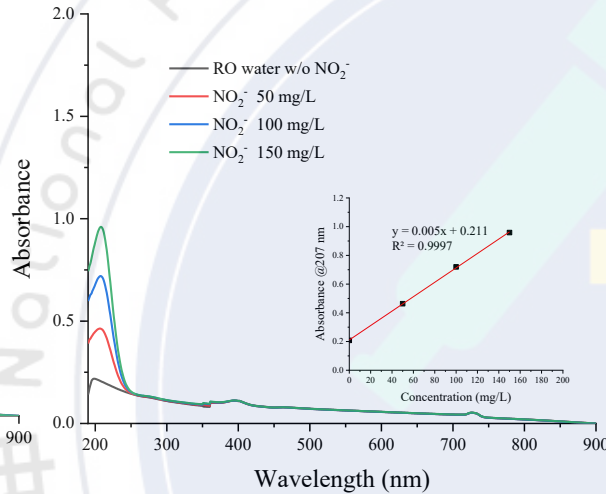
- 反應 24 小時後，雖只剩微量硝酸鹽氮，但亞硝酸鹽氮卻明顯上升
- 反應 48 小時後，已偵測不到亞硝酸鹽氮
- 可知延長停留時間能成功降解硝酸鹽與亞硝酸鹽

研究結果與討論

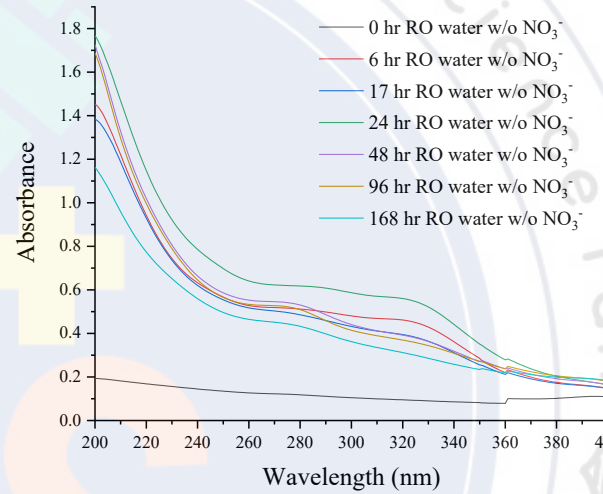
四、探討地毯草降解硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮的反應途徑



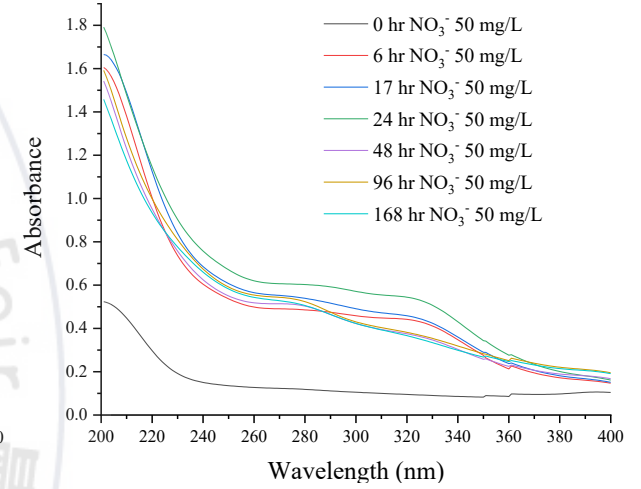
不同濃度硝酸鹽溶液
於UV/VIS全波段掃描圖



不同濃度亞硝酸鹽溶液於
UV/VIS全波段掃描圖



地毯草浸泡RO水200~400 nm
波段掃描隨時間變化圖



地毯草浸泡硝酸鹽溶液200~400 nm
波段掃描隨時間變化圖

硝酸鹽溶液

於201 nm處之吸光值與硝酸鹽溶液濃度線性正相關

亞硝酸鹽溶液

於207 nm處之吸光值與亞硝酸鹽濃度呈線性正相關

兒茶素

205~210 nm有最大吸收程度

270~290 nm有第二大的吸光程度

→ 兒茶素為地毯草之主要多酚成分之一

槲皮素、類黃酮類、單寧等多酚物質

230~360 nm區間有相對明顯之吸光程度

→ 槲皮素、類黃酮類、單寧等多酚物質可能為地毯草之主要多酚成分之一

結論

- 一、經由基本性質分析，證實地毯草具有還原力與強抗氧化力
- 二、透過田口氏統計法可知，在硝酸鹽濃度50~150 mg/L區間，其各因子貢獻度以反應時間91 %為最高
- 三、在乾燥地毯草劑量18.75 g/L，硝酸鹽濃度50 mg/L的環境中，反應24小時能有效降解硝酸鹽，然而會有超過排放標準的亞硝酸鹽產生，但反應48小時後，亞硝酸鹽能完全被降解
- 四、本研究證實，富含多酚物質的地毯草能有效降解環境中的硝酸鹽與亞硝酸鹽，可降低農業用廢水對環境的影響

參考資料

- 一、E. Abascal, L. Gómez-Coma, I. Ortiz, A. Ortiz. (2021). Global diagnosis of nitrate pollution in groundwater and review of removal technologies, *Science of The Total Environment* 152233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152233>.
- 二、J. Huang, J. Xu, X. Liu, J. Liu, L. Wang. (2011). Spatial distribution pattern analysis of groundwater nitrate nitrogen pollution in Shandong intensive farming regions of China using neural network method, *Mathematical and Computer Modelling* 54(3) 995-1004. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.027>.
- 三、Q. Fardiyah, T. Ersam, Suyanta, A. Slamet, Suprpto, F. Kurniawan. (2020). New potential and characterization of *Andrographis paniculata* L. Ness plant extracts as photoprotective agent, *Arabian Journal of Chemistry* 13(12) 8888-8897. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.10.015>.