

<p>112 年 01-02 月號</p>			<p>&lt;雙月刊&gt;</p>
---------------------------	---	--	--------------------

## 環境工程技師公會會訊

- ◎ 發行人：楊基振
- ◎ 發行所：台灣省環境工程技師公會 (<http://www.tpeea.org.tw>)
- ◎ 協助策劃：中華民國環境工程技師公會全國聯合會
- ◎ 編輯：台灣省環境工程技師公會學術委員會
- ◎ 主編：王志遠
- ◎ 發行地址：台北市長安西路342號4樓之1
- ◎ 電話：02-25550353
- ◎ 傳真：02-25591853

### 本期要目

	頁次
■ 主編的話	2
■ 會務報告	3
■ 重要法令	7
■ 行政院公共工程委員會核備 112 年 01 至 02 月訓練積分課程表	9
■ 環保訊息	10
■ 論述園地	15
還原性硫化物自營脫硝反應特性之研究- 國立中央大學環境工程研究所 張哲維碩士、莊順興教授	15
醫療口罩表面菌落特性與 UVC-LED 之消毒再利用- 洪明瑞教授、劉姿妤、蕭乃華	34
■ 徵稿啟事	54
■ 各公會會員大會、理監事會會議紀錄	55

## 主編的話

如何去除廢水中之含氮污染物，為近年來我國環保工作關注之重點，目前大多數的污水處理廠是採用異營性微生物進行脫硝，以將硝酸鹽氮還原成氮氣，故需添加額外的有機碳源以達到一定的脫硝效果，但也容易產生超量添加有機碳源的問題，因而發展以自營性微生物利用無機性物質進行脫硝之方法。此外，2020年初以來，新冠肺炎的陰影始終籠罩著全世界，所幸經過三年，在大規模疫苗的接種下，人們逐漸藉由多次接種或輕症感染建立起群體免疫力；但可預防新冠肺炎的口罩，仍因被大量一次性的使用後再拋棄，而衍生諸多環境問題，因此是否能透過消毒再利用，也是一門重要的課題。

本次會刊，特別邀請國立中央大學環境工程研究所莊順興所長及張哲維碩士，分享「還原性硫化物自營脫硝反映特性之研究」的佳作，該文闡示自營性脫硝在缺氧狀態下，脫硝菌以無機物作為電子供體，而硝酸鹽作為電子接受者，使硝酸鹽還原成氮氣。其優勢包括能利用無機性電子供體，如還原性硫化物、氫氣及亞鐵離子等；並且產生之污泥量較低，可減少廢棄污泥處理成本；此外，產生的溫室氣體（如 N<sub>2</sub>O）亦較少。且研究中自營脫硝污泥之脫硝表現十分優異，都可在 8 小時內將水中之硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮完全去除。但後續在實廠上操作仍有許多挑戰，如自營脫硝污泥在馴養上較不容易，且若面臨有機廢水或是硫源不足則有電子供體競爭或不足之問題。因此，如何將自營性脫硝技術與目前的污水處理技術結合並實現全面應用仍是值得進一步探討的課題，可提供從事污水處理等技師們參考。

第二篇為明志科技大學環境與安全衛生工程系洪明瑞教授及劉姿妤、蕭乃華分享「醫療口罩表面菌落特性與UVC-LED之消毒再利用」佳作，該文利用UVC-LED光源，讓每天配戴8小時的口罩內、外層進行不同時間的消毒後，以超音波震盪法(Ultrasonic vibration method)方式取樣，並配置胰蛋白酶大豆瓊脂培養基(Tryptic soy agar, TSA)，檢測口罩內層(親水)、外層(疏水)的總菌數，藉以探討並分析UVC-LED的消毒成效以及較佳的安全照射時間，作為口罩在UVC-LED照射後安全重覆使用的參考依據。實驗結果顯示，UVC-LED對於光滑表面的殺菌相當快速，通常在1cm的照射距離內，可於30秒或更短的時間內達90%以上的殺菌率。然而，織布口罩表面並非光滑且存在孔隙空間，讓細菌有躲藏或遮蔽效應，故為重複使用的安全起見，建議能均勻照射3分鐘，相關研究成果亦可提供從事室內空氣品質業務等技師們參考。

時值2023年新年，祝各位技師新的一年平安快樂，事事順心，業務興隆，闔家平安。

## 會務報告

1. 中華民國環境工程技師公會全國聯合會於 12 月 10 日、17 日及 24 日分別於高雄、台中及台北舉辦 111 年度土壤及地下水污染調查暨整治技術講習，已圓滿結束。
2. 本會配合全聯會「111 年度土壤及地下水污染調查暨整治技術講習」，於各場講習會後分別於高雄、台中及台北辦理歲末聯誼聚餐活動，已圓滿結束。
3. 112 年度常年會費繳費通知及記事本已於 111 年 11 月 9 日寄出，敬請尚未繳納 112 年度常年會費（金額 4,000 元）之會員儘速繳納。

公會匯款資訊如下：

- 戶名：台灣省環境工程技師公會
  - 銀行匯款資料：台灣企銀(050)營業部 帳號：01012241581
  - 郵局劃撥帳號：18091292
4. 會員若有更動執業資料、受聘公司、地址、電話、Email...等相關資料，煩請告知公會以便及時修改檔案。
  5. 公會網站廣告刊登：
    - (1) 費用：
      - 會員(即會員之執業機構、所營公司或受聘公司)：  
5,000 元/年；一次繳交 5 年 20,000 元；一次繳交 10 年 37,500 元。
      - 非會員：  
6,000 元/年；一次繳交 5 年 24,000 元；一次繳交 10 年 45,000 元。
    - (2) 刊登辦法：  
請繳交費用後，將貴公司或事務所之 LOGO(尺寸：288 \*93)及網址 MAIL 至公會。
  6. 會訊廣告刊登：
    - (1) 費用：8,000 元/期
    - (2) 刊登辦法：  
請繳交費用後，將投放廣告內容 PDF 檔(尺寸：A4 紙)MAIL 至公會。



## 111 年度土壤及地下水污染調查暨整治技術講習



圖-1 南區



圖-2 南區



圖-3 中區



圖-4 中區



圖-5 北區



圖-6 北區



### 111 年歲末聯誼餐敘



圖-1 南區



圖-2 南區



圖-3 南區



圖-4 中區



圖-5 中區



圖-6 中區





圖-7 北區



圖-8 北區



圖-9 北區



圖-10 北區



圖-11 北區



圖-12 北區

## 重要法令

### 行政規則公告

1. 行政院環境保護署中華民國 111 年 11 月 2 日環署空字第 1111101949 號令，修正「行政院環境保護署審查開發行為空氣污染物排放量增量抵換處理原則」，並自即日生效。
2. 行政院環境保護署中華民國 111 年 11 月 2 日環署化字第 1118121019 號公告，預告修正「環境用藥專業技術人員設置管理辦法」草案。
3. 行政院環境保護署中華民國 111 年 11 月 3 日環署循字第 1111140000 號函，訂定「非填充食品之塑膠再生商品推動作業要點」，自即日生效。
4. 行政院環境保護署中華民國 111 年 11 月 4 日環署化字第 1118120866 號令，修正「毒性及關注化學物質標示與安全資料表管理辦法」部分條文。
5. 行政院環境保護署中華民國 111 年 11 月 8 日環署循字第 1111146083 號函，訂定「資源循環網絡廢棄物清理計畫審查作業要點」，自即日生效。
6. 行政院環境保護署中華民國 111 年 11 月 16 日環署化字第 1118121983 號令，修正「毒性化學物質及懸浮微粒物質災害救助種類及標準」第一條、第二條，名稱並修正為「毒性及關注化學物質災害與懸浮微粒物質災害救助種類及標準」。
7. 行政院環境保護署中華民國 111 年 11 月 23 日環署基字第 1111158547 號函，修正「應回收廢棄物回收處理業專案貸款信用保證及利息補貼實施要點」第 2、7 點，自 112 年 1 月 1 日生效。
8. 行政院環境保護署中華民國 111 年 11 月 29 日環署循字第 1111138245 號令，修正「公民營廢棄物清除處理機構許可管理辦法」部分條文。
9. 行政院環境保護署中華民國 111 年 11 月 29 日環署循字第 1111158772E 號令，修正「廢棄物清理專業技術人員管理辦法」第三條、第六條。
10. 行政院環境保護署中華民國 111 年 12 月 1 日環署循字第 1111138950 號公告，修正「指定公告應置廢棄物專業技術人員之事業」，並自即日生效。
11. 行政院環境保護署中華民國 111 年 12 月 7 日環署檢字第 1117108472 號令，修正「機動車輛排放空氣污染物及噪音檢驗測定機構管理辦法」第二十一條、第二十六條。
12. 行政院環境保護署中華民國 111 年 12 月 14 日環署空字第 1111169464 號令，訂定「毒性及關注化學物質災害懸浮微粒物質災害全民防救災教育表彰辦法」。
13. 行政院環境保護署中華民國 111 年 12 月 14 日環署化字第 1118123205 號令，修正「毒性化學物質災害潛勢資料公開辦法」，名稱並修正為「毒性及關注化學物質災害潛勢資料公開辦法」。
14. 行政院環境保護署中華民國 111 年 12 月 15 日環署循字第 1111165131A 號令，修正「行政院環境保護署事業廢棄物再利用管理辦法」部分條文。
15. 行政院環境保護署中華民國 111 年 12 月 16 日環署化字第 1118124972 號

- 令，修正「環境用藥許可證申請核發作業準則」第四條。
16. 行政院環境保護署中華民國 111 年 12 月 16 日環署管字第 1111171271 號函，修正「行政院環境保護署考核直轄市及縣（市）政府環境保護績效作業要點」，自即日生效。
  17. 行政院環境保護署中華民國 111 年 12 月 27 日環署基字第 1111177464B 號公告，預告修正「物品或其包裝容器及其應負回收清除處理責任之業者範圍」公告事項第八項、第十二項及第一項表一草案。
  18. 行政院環境保護署中華民國 111 年 12 月 28 日環署檢字第 1117109553 號令，修正「環境檢驗測定機構管理辦法」部分條文。



**行政院公共工程委員會核備 112 年 01 至 02 月訓練積分課程表**

\*本項課程表係轉達工程會核備之積分課程資訊，細節請技師先進洽詢主辦單位

序號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡電話
1	第 16 期仲裁人訓練	2023/01/07 ~ 2023/01/08	臺灣仲裁協會	聯絡人：王書苔 電話：2738-1667*532 信箱：aacd.twn@msa.hinet.net
2	土壤及地下水整治技術應用工作坊	2023/01/09 ~ 2023/01/09	土壤及地下水整治技術聯盟	聯絡人：黃榆茜 電話：04-22840441#524 信箱：sgrta.nchu@gmail.com
3	建築物結構用混凝土細粒料含爐渣檢測法 (pH 值-加速膨脹檢測法) 訓練課程	2023/01/13 ~ 2023/01/13	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：楊小姐 電話：02-89195033 信箱：cindy.yang@tcri.org.tw
4	第 16 期仲裁人訓練	2023/01/14 ~ 2023/01/15	臺灣仲裁協會	聯絡人：王書苔 電話：2738-1667*532 信箱：aacd.twn@msa.hinet.net
5	建築物結構用混凝土細粒料含爐渣檢測法 (pH 值-加速膨脹檢測法) 訓練課程	2023/02/10 ~ 2023/02/10	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：楊小姐 電話：02-89195033 信箱：cindy.yang@tcri.org.tw
6	環境分析技術(第 66 期)講習會-桃園場	2023/02/14 ~ 2023/02/14	社團法人中華民國環境分析學會	聯絡人：施侑萱 電話：03-5207581 信箱：ceas@ms22.hinet.net
7	環境分析技術(第 66 期)講習會「本課程有採用視訊或網路教學」-高雄場	2023/02/16 ~ 2023/02/16	社團法人中華民國環境分析學會	聯絡人：施侑萱 電話：03-5207581 信箱：ceas@ms22.hinet.net
8	工程法務系列-工程人員權益保護實務	2023/02/17 ~ 2023/02/17	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：楊小姐 電話：02-89195033 信箱：cindy.yang@tcri.org.tw
9	工程法務系列-契約變更、終止、驗收與保固相關法律問題實務探討	2023/02/22 ~ 2023/02/22	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：楊小姐 電話：02-89195033 信箱：cindy.yang@tcri.org.tw

**環保訊息**(資料來源：行政院環境保護署)

➤ 111/11/01【**「斯德哥爾摩公約持久性有機污染物管理之回顧與前瞻 成果發表會」熱鬧開幕**】

環保署偕同衛福部、農委會、經濟部、財政部、勞動部、海委會等 7 個部會，於 11 月 1 日在集思臺大會議中心蘇格拉底廳舉辦「斯德哥爾摩公約持久性有機污染物管理之回顧與前瞻成果發表會」，邀集學者專家、業界及 NGO 齊聚一堂，由相關部會分享持久性有機污染物執行成果及進行交流，向大眾分享我國最新管制情形及成果。現場並設有展示廳，開放自由參觀，以利各界瞭解我國持久性有機污染物管理策略及落實國際公約之成果。

➤ 111/11/02【**第 11 屆亞太汞監測網年會，18 國合作推動大氣汞監測**】

111 年 11 月 2 日環保署沈志修副署長及美國環保署助理署長 Jane Nishida 共同主持「第 11 屆亞太汞監測網(APMMN)年會」。本屆共有美國、日本、澳洲、聯合國環境總署等 18 個夥伴國 26 個單位，超過 50 名政府官員及學者參與。活動包含加拿大氣候環境部說明全球最新穎的被動式大氣汞採樣器、國立中央大學聯合環境監測中心報告 APMMN 執行現況、美國國家大氣沉降計畫專家分享國家大氣汞沉降計算方式及各國報告大氣汞監測現況。

➤ 111/11/02【**環保署預告修正「環境用藥專業技術人員設置管理辦法」草案**】

環保署為配套環境用藥專業技術人員設置申請電子化作業，預告修正「環境用藥專業技術人員設置管理辦法」(以下簡稱本辦法)。

本辦法草案除新增環境用藥專業技術人員設置管理及未來採網路傳輸方式辦理申請設置之規定外，為期環保專責人員及專業技術管理人員管理方式一致，也參酌「廢(污)水處理專責單位或人員設置及管理辦法」規定。本辦法草案修正重點包括：強化專責人員代理制度，代理人資格修正為具有參加同類別專業技術人員之訓練資格者代理；明定禁止行為及業者的管理責任；釐清權責及違反有關訓練及執行業務訂有罰則、請假紀錄之管理及環境用藥專業技術人員設置管理之準用規定等，使專業技術管理人員管理更完善。

- 111/11/02 【提供多元空污增量抵換措施 修正發布「行政院環境保護署審查開發行為空氣污染物排放量增量抵換處理原則」】

為提供開發案更多元空氣污染物增量抵減措施，有效降低開發行為產生空氣污染排放，環保署於 111 年 11 月 2 日修正發布「行政院環境保護署審查開發行為空氣污染物排放量增量抵換處理原則」(以下簡稱抵換處理原則)。新增從固定源、移動源及逸散源三大面向之增量抵換來源項目，並提供開發單位與其他公私場所或政府機關協議合作機制，期能在經濟發展的同時，兼顧環境保護、加速空污防制策略推動與解決開發單位增量抵換需求。
- 111/11/05 【環保署積極整治二仁溪電子廢棄物 水質生態恢復】

過去二仁溪中游流域為國內廢五金回收與提煉工廠的聚集地，相關廢五金透過粉碎、淘選、焚燒及酸洗作業造成二仁溪沿岸污染嚴重，目前該類廢棄物均以物理方法處理，已不會再造成污染。環保署、地方環保局及水利署積極合作改善二仁溪污染情形，從民國 98 年迄今已執行 5 次二仁溪沿岸廢棄物之大量移除作業，統計共移除廢棄物計約 13.6 萬公噸，投入金額超過 10 億元以上，可見政府對於二仁溪整治的長期用心及努力無庸置疑，絕非報載所說政府沒有作為。
- 111/11/10 【水庫水質大幅提升，水質改善設施完工啟用】

為維護石門水庫水體品質、確保石門水庫自來水水質水量保護區環境，環保署補助桃園市政府「石門水庫上游集水區-巴陵地區水質改善工程」於今(10)日完工啟用，本工程採用合併式淨化槽以有效除磷除氮，減少生活污水之污染物排入石門水庫上游集水區。
- 111/11/10 【環保署「清淨大氣環境 減噪永保平安」111 年資訊月展】

111 年資訊月活動自 11 月 10 日起於世貿展覽一館展出 4 天，呼應今(111)年主題「數位領航、虛實共融」，環保署以「空品達標」及「煙筒管有夠吵 好膽麥走」二大主軸，展出如何運用智慧科技工具(空氣品質模式模擬及聲音測速照相執法)執行空氣污染改善及噪音管制工作，以身歷其境的互動式展示，讓參觀者瞭解數位新時代的環境保護解方。
- 111/11/10 【111 年空氣品質歷年最佳 中央與地方將持續努力】

有關環保團體關切「各縣市 PM<sub>2.5</sub> 及臭氧超標世衛新指引的不良天數」一事，環保署表示，初步統計全國細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)年平均值已從 106 年的 18.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  降至 111 年 1~9 月的 12.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，環保署樂觀估計，有信心全年空氣品質可達到歷年最佳。



- 111/11/14 【**臺灣淨零轉型 盼加強參與國際合作，共同對抗氣候變遷**】  
時逢聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)第 27 屆締約方大會(COP27)辦理之際，環保署張子敬署長今(14)日接受來自 22 國記者拜會，說明臺灣在今年 3 月已發布 2050 淨零排放路徑及策略，目前正在辦理「溫室氣體減量及管理法」修法工作，強調臺灣因政治成見僅能以非政府組織(NGO)身分參與 COP27，在全球氣候問題無法實質參與，呼籲所有國家廣泛合作以促進全球減量目標的達成，臺灣有意願也有能力和國際夥伴並肩合作。
- 111/11/14 【**環保署對德國看守協會公布氣候變遷績效指標評比結果之回應說明**】  
德國看守協會(Germanwatch) 今(14)日公布該機構對各國進行氣候變遷績效指標(Climate Change Performance Index Results, CCPI)評比結果。環保署回應說明，本指標評比方式有爭議，其他國家也有疑慮，評比排名不具參考價值。環保署強調，我國已提出 2050 淨零排放路徑規劃，刻正進行 12 項關鍵戰略計畫，並進行溫室氣體減量及管理法修法，持續積極務實推動各項減碳與調適工作。
- 111/11/22 【**淨零轉型新選擇-資源循環網絡廢棄物清理計畫**】  
環保署為達成資源循環零廢棄目標，111 年 11 月 8 日函頒「資源循環網絡廢棄物清理計畫審查作業要點」，提供創新機制，鼓勵資源循環最大化，協助事業共同提出「資源循環網絡廢棄物清理計畫」，計畫申請者取得許可後，可跨區域、跨產業，串聯多家技術優良廠商，將廢棄物轉化為原料，降低廢棄物處理對環境的衝擊，邁向淨零排放。網絡事業可將減廢、減碳成果，反映在企業 ESG 永續報告書，提高國際競爭力。
- 111/12/07 【**科技論壇暨成果發表會 擘劃未來環境科技淨零轉型**】  
環保署於 111 年 12 月 5 日在政大公企中心舉辦「111 年環境科技論壇暨成果發表會」，論壇議題包含噪音防制、綠色產品、化學物質安全、環境用藥監測、飲用水新興污染物、消費性電子廢棄物循環，以及土壤、地下水的污染檢測與處理等，更有季節性受矚目的空氣污染危害與健康防護議題，面向多元，邀請多位專家學者分享豐碩的年度環境科技研發計畫成果，並邀請社會各界共同參與、討論、提供建言。

- 111/12/13 【**臺美專家交流土水先進模擬與整治趨勢 技術能力與時俱進**】  
環保署透過臺美環保合作協定邀請美國 20 位專家於今(111)年 12 月 14 日至 15 日，在臺南成功大學總圖書館會議廳舉辦「2022 年污染場址先進模擬、特性調查及整治技術國際講習會」，藉此機會掌握國際污染場址模擬與整治先進技術發展趨勢，同時也歡迎民眾使用 YouTube 觀看現場直播。
- 111/12/15 【**廢棄物管理再升級 全程追蹤廢棄物及再利用產品流向**】  
為落實廢棄物再利用管理，環保署修正「行政院環境保護署事業廢棄物再利用管理辦法」，指定工程填地材料等 8 項再利用產品，規範限制使用地點、品質標準及檢測頻率，全程追蹤廢棄物及再利用產品流向，確保妥善再利用。  
環保署表示，本次修法以「再利用產品運作管理」為加強管制重點，針對鋪面工程之基層或底層級配粒料、工程填地材料、道路工程粒料、磚品、水泥製品、預拌混凝土、控制性低強度回填材料、瀝青混凝土等再利用產品，規範限制使用地點不得為於環境敏感區、應符合之再生粒料環境用途溶出標準及檢測頻率，並限制銷售對象、再利用產品清運機具應裝置 GPS、以聯單紀錄清運過程、申報至最終使用地點。
- 111/12/20 【**啟用龍頸溪水質淨化場 改善東港溪水質環境**】  
保署與屏東縣政府合作推動「屏東縣內埔鄉龍頸溪水質淨化場興建工程」(即龍頸溪水質淨化場)，於今(20)日在屏東縣潘孟安縣長及環保署顏旭明處長的共同見證下，盛大舉辦啟用典禮，展現公部門共同合作致力清淨河川，營造優良的水環境及生活品質，有效改善民眾生活環境。
- 111/12/20 【**與泰國共同舉辦第二屆「土壤及地下水環境保護技術論壇」 再續兩國土水污染整治之產官學國際合作關係**】  
環保署於今(2022)年與泰國自然資源與環境部污染防治局(PCD)共同舉辦第二屆「2022 泰臺土壤及地下水環境保護技術論壇」，本次論壇於 12 月 20 日採實體混合線上會議方式進行，並邀請專家學者就土壤及地下水污染整治需求與發展進行分享討論，藉此推廣我國土水污染相關產業技術，達到促進臺灣與泰國環境保護技術交流之目標。本次論壇更擴大辦理規模以觸及多元層面與增進交流量能，開放兩國地方環保機關和土壤及地下水產業界共同參與，線上人數超過 200 位。

- 111/12/26 【達成 2050 淨零路徑，務實檢討國家自定貢獻】  
2015 年巴黎協定要求各國應提出在 2020 年以後的氣候行動，包括減量措施、減量目標及調適氣候變遷衝擊等，亦即稱為國家自定貢獻 (Nationally Determined Contributions, 以下簡稱 NDC)，並每 5 年更新提交。在巴黎協定會議前夕，行政院在同年 9 月已核定環保署所提報國家自定預期貢獻，主動對外承擔全球減碳責任，設定 2030 年溫室氣體排放量減量 50%，相當於 2005 年排放量再減 20%。
- 111/12/27 【公布 111 年空氣品質監測結果統計 環保署持續推動空氣污染防治】  
環保署初步統計 111 年空氣品質監測結果，各污染物濃度近 5 年均呈現下降趨勢，空氣品質指標(AQI)良好等級與普通等級合計占比(AQI $\leq$ 100)在今(111)年達到 93.9%，為歷史最佳，空氣品質不良 (AQI > 100，橘色提醒以上) 發生站日數持續下降。
- 111/12/27 【環保署預告新增薄片塑膠、泡殼為列管範圍】  
環保署為提升塑膠平板包材回收成效，減少塑膠廢棄物對環境影響，預告修正「物品或其包裝容器及其應負回收清除處理責任之業者範圍」公告事項第 8 項、第 12 項及第 1 項表一修正草案，將塑膠襯墊及泡殼納入公告應回收廢棄物。



## 還原性硫化物自營脫硝反應特性之研究

張哲維碩士、莊順興教授

國立中央大學環境工程研究所

E-mail: [shchuang@ncu.edu.tw](mailto:shchuang@ncu.edu.tw)

[wayne1239575@gmail.com](mailto:wayne1239575@gmail.com)

### 一、前言

廢水中含氮污染物之去除為近年來我國環保工作關注之重點，含氮污染物依其在存在水體的狀態可分為有機氮、氨氮、亞硝酸鹽氮及硝酸鹽氮。這幾種型態的含氮污染物不論是對環境甚至是人體都可能造成危害，例如含氮營養物質過度排放至環境水體，會造成藻類大量繁殖並消耗水中大量的溶氧，引起湖泊優養化；而亞硝酸鹽氮為脫硝的中間產物之一，若亞硝酸鹽氮不慎被人體吸收，可能會引起正鐵血紅蛋白症 (methemoglobinemia)、藍嬰症 (blue baby syndrome) 等疾病 (Gerardi, 2003; Yang et al., 2018)。

目前大多數的污水處理廠為了處理水中硝酸鹽氮，大多是採取以異營性微生物進行脫硝作用來將硝酸鹽氮還原成氮氣，而由於在處理無機性等缺乏有機碳源之廢水，且加上廢水的流量與成分會隨時間變化，因此會有碳源之不足之問題產生，故需添加額外的有機碳源如甲醇、醋酸鹽等才能有一定的脫硝水準。但在此異營性脫硝過程中經常超量添加有機碳源，因而發展出可利用無機性物質之自營性微生物脫硝 (Chen et al., 2018; Huang et al., 2019)。

自營性脫硝的優勢包括能利用無機性電子供體以進行脫硝反應，如還原性硫化物、氫氣及亞鐵離子等；並且所產生之污泥量較低，可減少廢棄污泥處理成本；以及所產生的溫室氣體 (如  $N_2O$ ) 較少，因此是適合處理含有硝酸鹽氮之無機廢水。而目前自營性脫硝技術大多是以硫自營脫硝作用 (sulfur autotrophic denitrification, SADN) 為主，常見的還原性硫化物如  $S^{2-}$ 、 $S^0$  與  $S_2O_3^{2-}$  (Di Capua et al., 2019; Huang et al., 2019; Qian et al., 2015)。

目前國外有一些針對還原性硫進行相關研究，但大多是實驗室規模之試驗，內容多為探討基礎反應特性，對於實際應用之研究仍不多。儘管 SADN 在廢水處理中的優勢得到廣泛認可，但在反應機制與所涉及的微生物菌群方面仍有許多未解決的問題，這限制了該技術的發展。而關

鍵問題包含各種操作條件如何影響脫硝反應性能，以及相關微生物菌群和各種硫源的可用性與穩定性評估，還有中間產物與最終產物如何影響整體脫硝性能等 (Campos et al., 2008; Fajardo et al., 2014)。

## 二、 硫自營性脫硝技術

自營性脫硝作用是在缺氧狀態下，脫硝菌以無機物作為電子供體，而硝酸鹽作為電子接受者，使硝酸鹽還原成氮氣。脫硝菌利用四種酵素進行脫硝作用，包括 nitrate reductase (NaR)、nitrite reductase (NiR)、nitric oxide reductase (NoR) 及 nitrous oxide reductase (NoS)，將水中的氮從硝酸鹽態經由亞硝酸鹽、一氧化氮、氧化亞氮最後還原為氮氣排放至大氣中。而脫硝作用需在適當的條件下才能有效進行反應，其條件包括溫度、pH 值、氧化還原電位 (Oxidation reduction potential, ORP)、溶氧 (Dissolved Oxygen, DO) 等環境因子，若在不合適之環境條件下則微生物活性將會降低，導致無法正常進行脫硝作用。

在溫度的條件上有研究指出在 26.6°C 及 30.4°C 是進行脫硝作用的最佳溫度，且當溫度下降時脫硝速率將明顯降低 (Di Capua et al., 2019; Lu et al., 2018; Zou et al., 2016)；而在 pH 方面，從過往之許多篇研究結果顯示當 pH 值介於 6~8 之間是適合進行脫硝作用，因此 pH 值應控制在中性環境下 (Qian et al., 2015; Tian & Yu, 2020)；ORP 值是藉由測量水中氧化、還原態物質組成濃度的一種指標，多數文獻認為 ORP 值為 -100 mV ~ +100 mV 間為脫硝作用發生之區間 (Di Capua et al., 2019)；最後在 DO 方面，文獻指出需將水中溶氧濃度控制在 0.2 mg/L 以下才能有脫硝作用產生 (Capodaglio et al., 2016; Müller et al., 2022)。

根據先前研究指出自營性脫硝有相當多電子供體可供選擇，包括：氫氣 (H<sub>2</sub>)、還原性硫化物、Fe<sup>0</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup> 等皆可作為脫硝所需的電子供體。而硫自營性脫硝是以還原性硫化物作為電子供體，藉由生物作用將其氧化成硫酸根並同時使硝酸鹽還原為氮氣，如圖 1 所示，反應如式 1~3 所示。

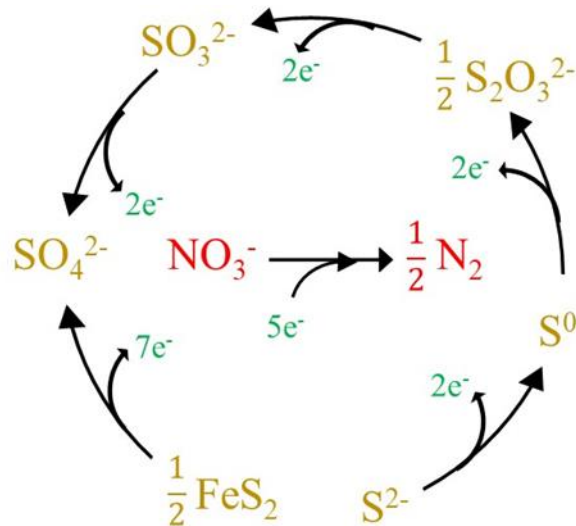
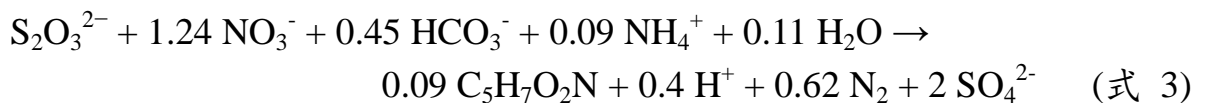
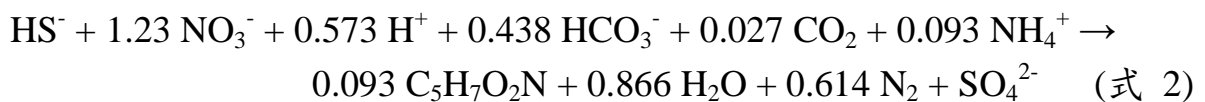
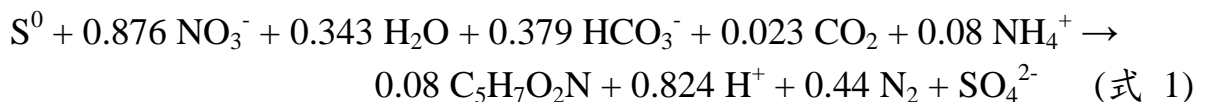


圖 1、還原性硫作為電子供體示意圖



從上述三條反應式中可得知，利用  $HS^-$  作為電子供體時，每 mole 硫原子可還原 1.23 mole 的硝酸鹽，為三種電子供體中最多者，還原每 mole 硝酸鹽僅產生 0.81 mole 硫酸根也是三者中最低，因  $HS^-$  氧化成  $SO_4^{2-}$  時所提供之電子數有 8 個，為三者中最多，所以在使用上能減少  $HS^-$  所需之量。從反應式中又可看出使用  $HS^-$  脫硝時將耗用水中  $H^+$ ，若採用  $S^0$  或  $S_2O_3^{2-}$  則會消耗鹼度，使用  $HS^-$  時每去除 1 mg  $NO_3^-$ -N 相當於會產生 2.52 mg 鹼度 (as  $CaCO_3$ )，若是使用  $S^0$  或  $S_2O_3^{2-}$  則分別會消耗 2.58 mg 及 1.77 mg 鹼度 (as  $CaCO_3$ )，因此適合利用於處理微酸廢水，而採用  $S^0$  或  $S_2O_3^{2-}$  時，則需添加鹼度以避免 pH 值大幅變化，通常多利用石灰石作為鹼度添加進槽體，因石灰石價格較低，且能有效地提供鹼度 (Di Capua et al., 2019; Tian & Yu, 2020)。

利用 RISCs 進行脫硝時需考慮其在反應上的特性，如 Li et al. (2020) 在實驗中成功利用  $S^0$  顆粒以及石灰石 (limestone) 加入反應器中進行自營性脫硝實驗，其中石灰石在反應器中擔任鹼度提供的角色，Tian and Yu (2020) 也提到利用  $S^0$  進行脫硝多以填充床進行實驗並搭配石灰石， $S^0$  及石灰石這 2 種固體顆粒皆可作為生物膜生長的載體，使生長速度較慢的自營性微生物能有較好的生長環境，不易在出流階段被



洗出，此種程序稱作 sulfur-limestone autotrophic denitrification (SLAD)，使用石灰石的優點包括其價格較低，能有效地提供鹼度，還能作為生物所需的無機碳來源。而在選擇脫硝時所需的電子供體需考慮相當多面向，其中成本可能是污水處理廠最關切之項目之一。Di Capua et al. (2019) 針對硫自營性脫硝所需的無機性電子供體進行多面向優劣勢比較如表 1，從中可看出以  $S_2O_3^{2-}$  成本較高，而  $S^0$  及  $S^{2-}$  較低；而  $S^0$  因不易溶解之問題，導致利用速率較低，在適用性較差；使用  $S^{2-}$  進行脫硝時的劣勢則是在濃度過高時會抑制脫硝作用，以及在酸性條件下產生之硫化氫氣體對人體有神經毒性。

表 1、不同電子供體優 (+)、劣 (-) 比較表

電子供體	成本	操作風險	適用性	毒性	成本
元素硫 ( $S^0$ )	+	+	+/-	+	+
硫化物 ( $S^{2-}$ )	+	+	+	-	+
硫代硫酸鹽 ( $S_2O_3^{2-}$ )	-	+	+	+	-

資料來源：Di Capua et al., 2019

此外，影響硫自營性脫硝效能的另一個關鍵條件為硫氮比 (S/N 比)，Huang et al. (2019) 認為可以利用控制 S/N 比，使  $S^{2-}$  不氧化成  $SO_4^{2-}$ ，而是氧化成  $S^0$  達到部分氧化的目的，再進行相分離後得到  $S^0$ ，而此種部分氧化是特定生物才具有的特性，並非每一種硫氧化生物都具有此功能；在 Yang et al (2016) 的研究中也提到控制 S/N 比達到部分氧化的相同概念，由於實驗中未對  $S^0$  進行定量，所以利用  $S^{2-}$  濃度減少量及  $SO_4^{2-}$  的濃度增加量評估轉換比例，並假設未氧化成  $SO_4^{2-}$  的部分是氧化成  $S^0$ ，實驗在 S/N 比為 1.91 時，有 60% 的  $S^{2-}$  未氧化成  $SO_4^{2-}$ ，當 S/N 比例降至 0.55 時，由於  $S^{2-}$  提供量變少了，所以僅有 21% 未氧化成  $SO_4^{2-}$ ，表示在高 S/N 比條件下， $S^{2-}$  氧化成  $S^0$  的量會有提升的現象。

本實驗室針對自營性脫硝技術開發，設置批次式反應槽 (Sequencing Batch Reactor, SBR) 馴養硫自營性脫硝污泥。此 SBR 反應槽大小為長 30 × 寬 24 × 高 45 公分，下方為 60 度之四角錐型，反應槽及示意圖為圖 2 及圖 3，操作高度約為 35 公分，有效容積為 22 公升，附 pH、ORP、DO 電極，監測環境條件確保反應器處於適合脫硝之環境，並將數據紀錄至監測設備 (PLC) 中。此 PLC 同時具備自動批次操作控制，

定時控制蠕動泵、攪拌器與進流閥，並以液位控制器控制液位高度上限，反應器下方附排泥口，排水口以浮球控制排水高度並提供取樣。整個 SBR 置於 20°C 常溫恆溫櫃馴養，而濃縮基質則置於 4°C 冰箱中冷藏保存，基質以蠕動泵依比例加入試劑水進入到 SBR 內。



圖 2、SBR 反應器外觀

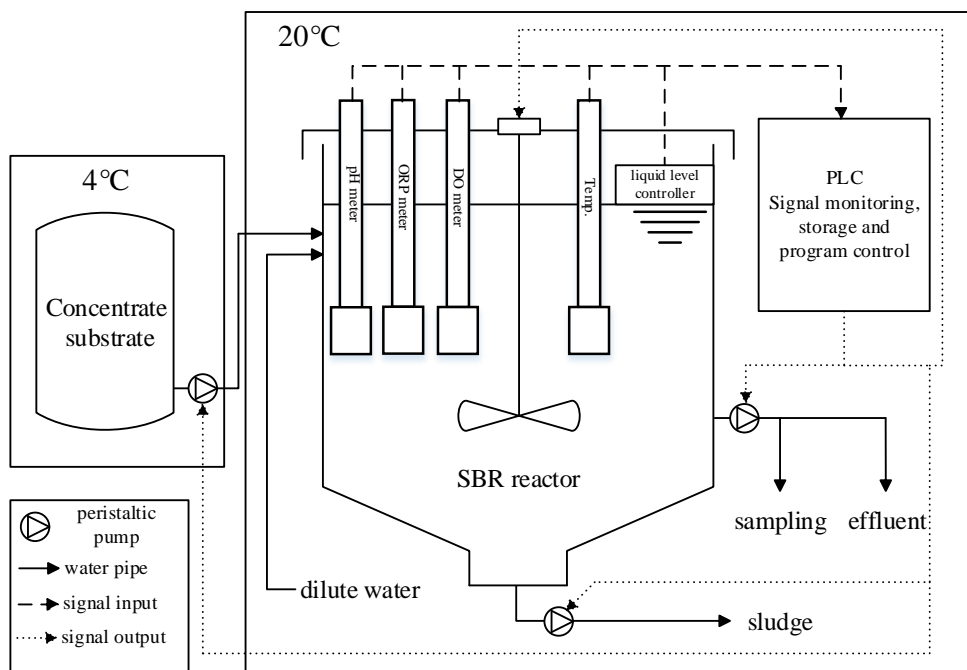


圖 3、SBR 反應器示意圖

污泥來源為實際污水處理廠缺氧槽之脫硝活性污泥，將污泥置於 SBR 內馴養，HRT 控制為 12 小時，並以濃縮基質及稀釋水進行批次式污泥馴養。基質配方成分及濃度參考自 Moraes et al. (2012)、Vishniac and Santer (1957) 污泥馴養實驗中的基質配方，並調整各營養物質添加量，以及調整硫代硫酸鹽、硝酸鹽的濃度，其中馴養基質主要成分為表 2，微量元素溶液成分為表 3。所設定之 S/N 比是根據式 4，以硝酸鹽氮 100 mg/L 之濃度及比理論值高兩倍濃度之硫代硫酸鹽濃度作為基質加入，其目的主要是提供足量之硫源，使生物能有足夠之電子供體將硝酸鹽氮完全去除。而因為初期提供較高濃度之電子供體供系統內活性污泥使用，因此在系統逐漸穩定之後，會慢慢調整進入的硫代硫酸鹽濃度，以降低系統內之 S/N 比，達到減少硫源負荷之目的。在調整 SBR 內部 S/N 比期間進行每天採樣，以檢測目前污泥狀態，其中會在每天的採集進流水與出流水（每天各一次）以檢測及系統內部的  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NO}_2^-$ -N、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ -S、 $\text{SO}_4^{2-}$ -S 濃度，並分析水中的 MLSS 與 MLVSS 以計算 SRT；同時也會進行  $\text{SV}_{30}$  分析實驗計算 SVI 數值，以了解自營脫硝污泥之生長情況。同時也會使用 PLC 對槽內進行 pH、ORP 與 DO 的 24 小時連續監測，來探討這些數據在反應各階段之變化情形。

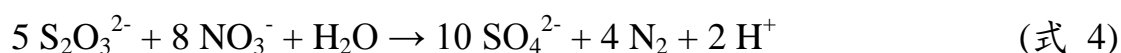


表 2、基質成分表

成分	L <sup>-1</sup>
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	50 mg
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.1 g
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.1 g
NH <sub>4</sub> Cl	20 mg
NaHCO <sub>3</sub>	0.1 g
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.821 g
NaNO <sub>3</sub>	1.214 g
微量元素溶液	0.1 mL
NaOH	調整 pH 至 7.0



表 3、微量元素溶液成分表

成分	L <sup>-1</sup>
乙二胺四乙酸 (EDTA)	50 g
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	22 g
CaCl <sub>2</sub>	5.54 g
MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	5.06 g
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	4.99 g
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1.1 g
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	1.57 g
CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	1.61 g
NaOH	調整 pH 至 8.0

### 三、硫自營性脫硝污泥長期實驗成果

在長期實驗過程中，會依不同的 S/N 比分為 5 個階段，共歷時 265 天，由污泥穩定 (階段 I)；S/N 比 = 2.50 (階段 II)；S/N 比 = 1.75 (階段 III)；S/N 比 = 1.50 (階段 IV)；S/N 比 = 1.75 (階段 V)，其操作詳情如表 4 所示。在操作期間，為了將系統內污泥維持在一定活性與數量，將 SRT 控制在 18 ~ 22 天，透過排泥量來控制系統之 MLSS，而在穩定狀態時 MLSS 都維持在  $3,500 \pm 200$  mg/L，如圖 4 及圖 5 所示。而在階段 I 剛開始時，為了確認系統內自營脫硝菌是否具備良好之脫硝性能，因此在前 15 天並未進行排泥，期間僅在採樣時有取出 100 mL 之混合污泥，故導致在初期 MLSS 濃度由 3,000 mg/L 提升至 4,000 mg/L，此時的 SRT 為 40 ~ 45 天。

在確認本系統脫硝性能可達到良好之 100% 去除率後，於是開始在每個批次之靜置階段進行排泥作業，因此在第 20 ~ 70 天之間，透過排泥將 MLSS 緩慢調降至約  $3,500 \pm 200$  mg/L，同時 SRT 也下降至 10 ~ 15 天。儘管系統內活性污泥數量緩慢減少，但在硝酸鹽氮去除率表現上依然是維持在 100%，說明即使系統內污泥量減少，系統內自營脫硝微生物數量還是足將硝酸鹽氮完全去除。

然而在第 71 天時，由於系統內添加過量的 NaOH 及 HCl 溶液，導致系統內大量微生物死亡，此污染現象也導致出流水有亞硝酸鹽氮累積，連帶硝酸鹽氮也無法被有效去除。

在第 II 階段後期系統恢復至穩定狀態且脫硝微生物可以完全脫硝時，才開始恢復至原先排泥量，因此 MLSS 則維持在  $3,500 \pm 200$  mg/L，並且在後續 3 個階段中都控制在此污泥濃度狀態下；而 SRT 則

控制在約 18 ~ 24 天左右。

在長期實驗中，可依各階段穩定之 SRT 數值進行污泥產生量計算，其各項數值如表 5 所示。在表中可發現隨著 S/N 比下降，其污泥產量有些許提升，平均增值係數約為 0.39 mg VSS/mg S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>-S，並且每天約產生 0.46 mg biomass/ mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N。此外，在本研究所培養之自營脫硝污泥，可發現其與實廠之異營脫硝污泥有顯著差別。在實廠操作良好之活性污泥池槽 SV30 沉降比約為 15 ~ 30% 左右，然而本研究之自營脫硝污泥 SV30 沉降比約落在 3.74%，污泥沉降指標 (SVI) 平均約為 11 mL/g，雖然隨著運行天數增加，SVI 數值有逐漸上升之趨勢，但整體濃度依然是維持在較低數值，如圖 6 所示。儘管 SVI 數值過低代表此活性污泥泥粒細小且所含無機物比例高，因此會有缺乏活性或吸附能力較低等問題，但在本研究中自營脫硝污泥之脫硝表現卻十分優異，都可在 8 小時內將水中之硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮完全去除。

在圖 4 中也可發現本實驗之 MLVSS/MLSS 比值在前 50 天時呈現增加狀態，由 83.57% 上升至 96.73%，由於本實驗並未添加其他有機物，因此可推測 MLVSS 來源皆為活性污泥所貢獻，說明此系統內微生物已經佔據將近全部污泥之比例。並且在圖 7 中也可觀察到當 SV30 沉降 30 分鐘後，污泥與上層液界面十分明顯，且上層液幾乎沒有肉眼明顯可見之污泥。此外，在 SV30 實驗中可發現在約 10 分鐘左右，自營脫硝污泥就幾乎沉降完成，並在之後 20 分鐘左右其測值並未有任何改變，顯示本系統之自營脫硝污泥顆粒相當緊密，沉降性能表現十分優異。

表 4、自營脫硝污泥操作條件

階段	I	II	III	IV	V
時間 (day)	1 ~ 52 共 52 天	53 ~ 133 共 81 天	134 ~ 152 共 19 天	153 ~ 161 共 8 天	162 ~ 265 共 104 天
S/N molar 比	2.50	2.50	2.19	1.88	2.19
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N 濃度 (mg/L)	100	100	100	100	100
S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -S 濃度 (mg/L)	571	571	500	429	500

表 5、各階段污泥增殖係數

階段	I I (初期)	I I I	I V	V (初期)
平均 SRT (day)	11.7 ± 2.6	16.0 ± 1.4	15.8 ± 1.4	17.9 ± 2.4
平均 Y (mg MLVSS/mg S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -S)	0.36 ± 0.10	0.38 ± 0.05	0.45 ± 0.07	0.36 ± 0.06

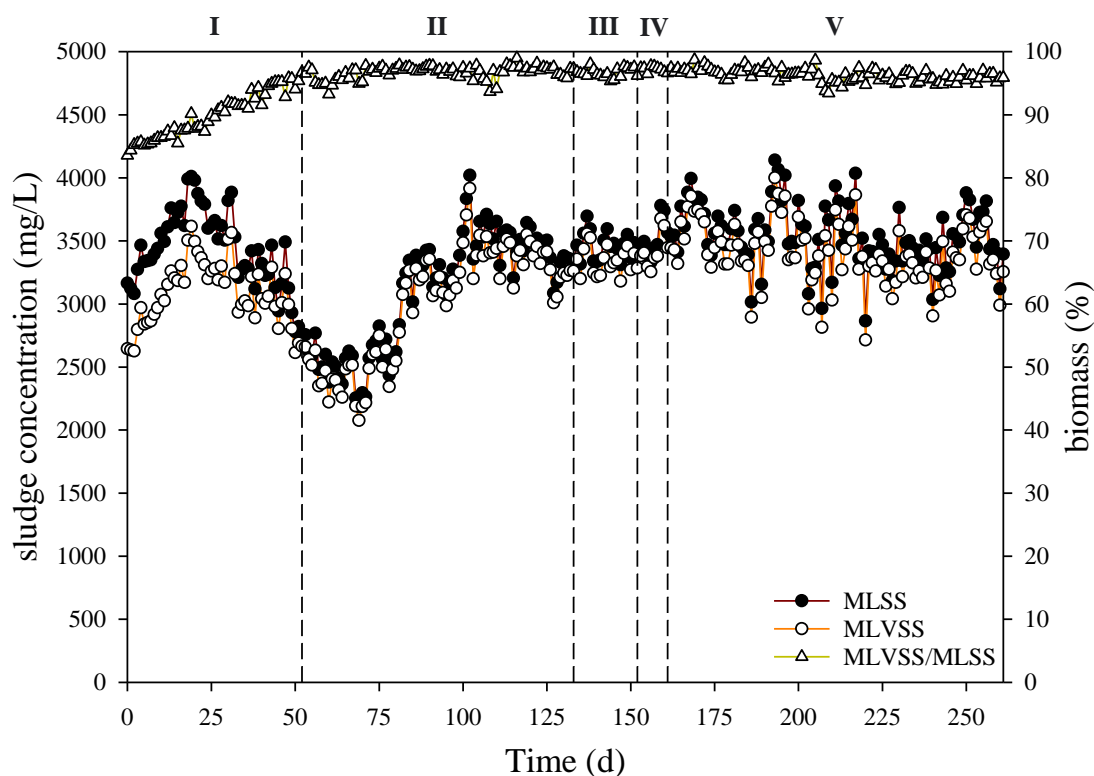


圖 4、MLSS 及 MLVSS 長期馴養變化圖

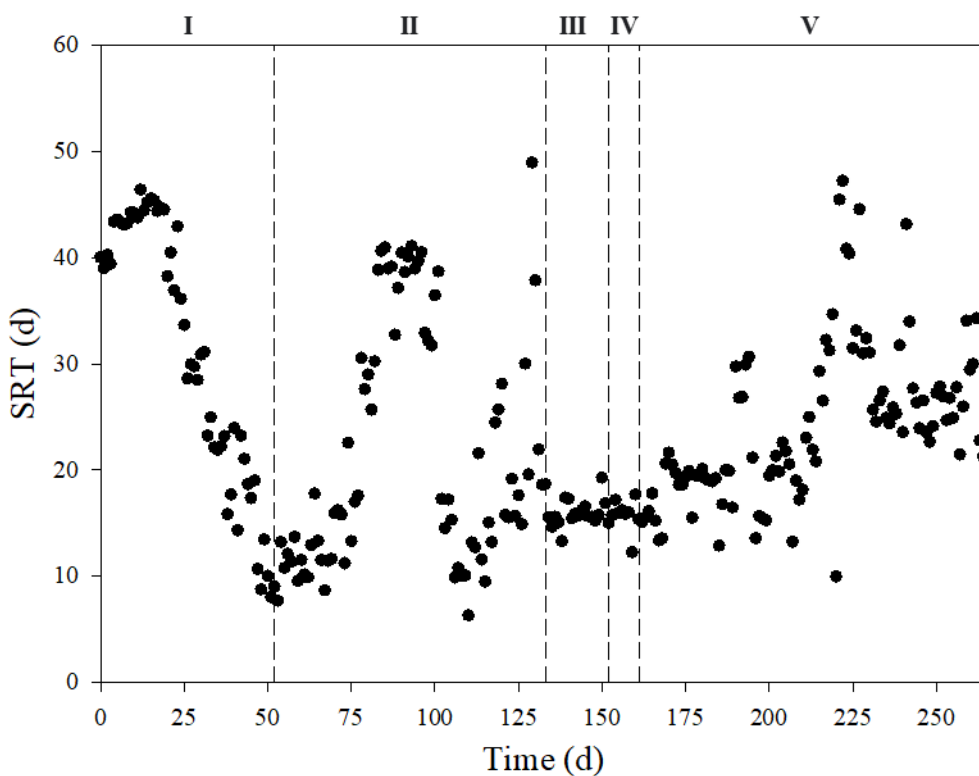


圖 5、SRT 長期馴養變化圖



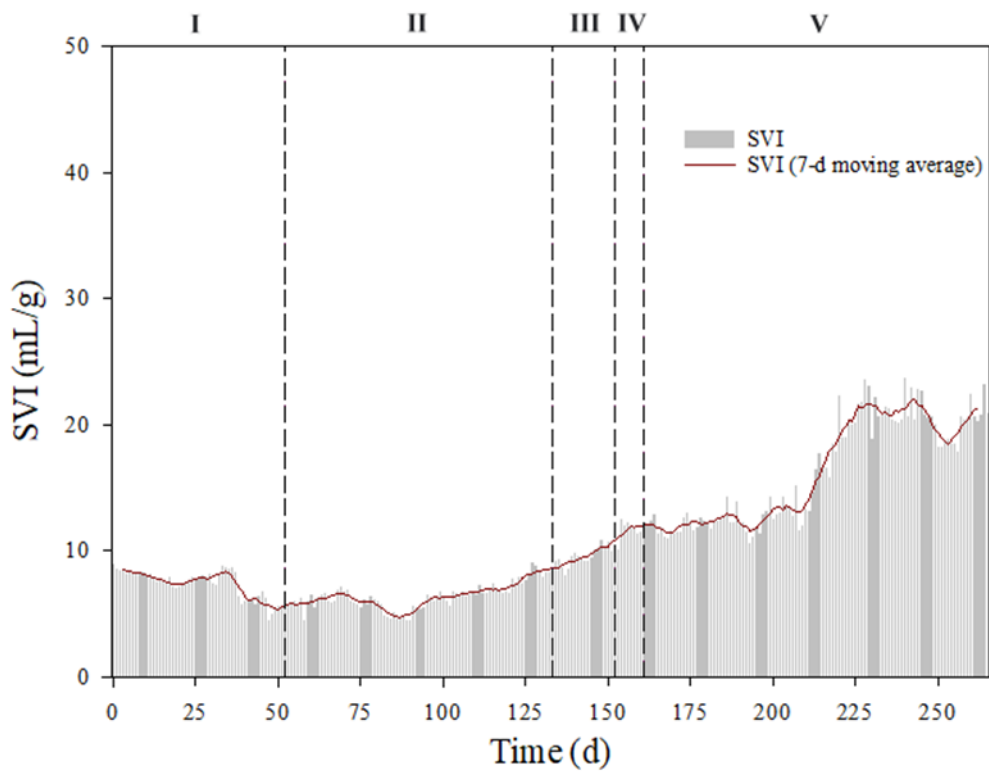


圖 6、SVI 長期實驗變化圖

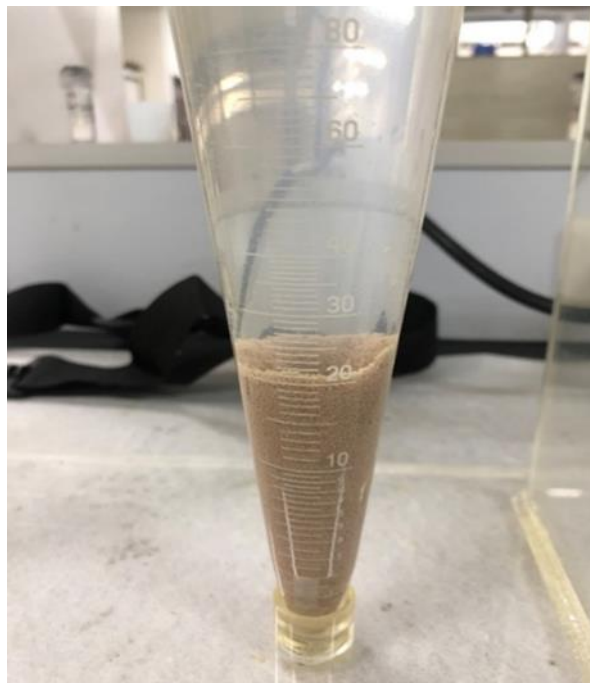


圖 7、SV<sub>30</sub> 實驗污泥沉降圖 (沉降 10 分鐘)

在整個自營脫硝污泥長期實驗期間，本研究於每個批次中以固定提供 100 mg/L 之硝酸鹽氮給系統，期望自營脫硝微生物可使用硫代硫酸鹽作為電子供體供進行脫硝，因此系統的氮負荷為穩定在 0.20 kg

$\text{N}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ，如圖 8 所示。在圖中也可觀察到，第 I 階段硫負荷數值以  $\text{S}/\text{N}$  molar 比 = 2.50 (理論值之 2.0 倍) 進行培養。

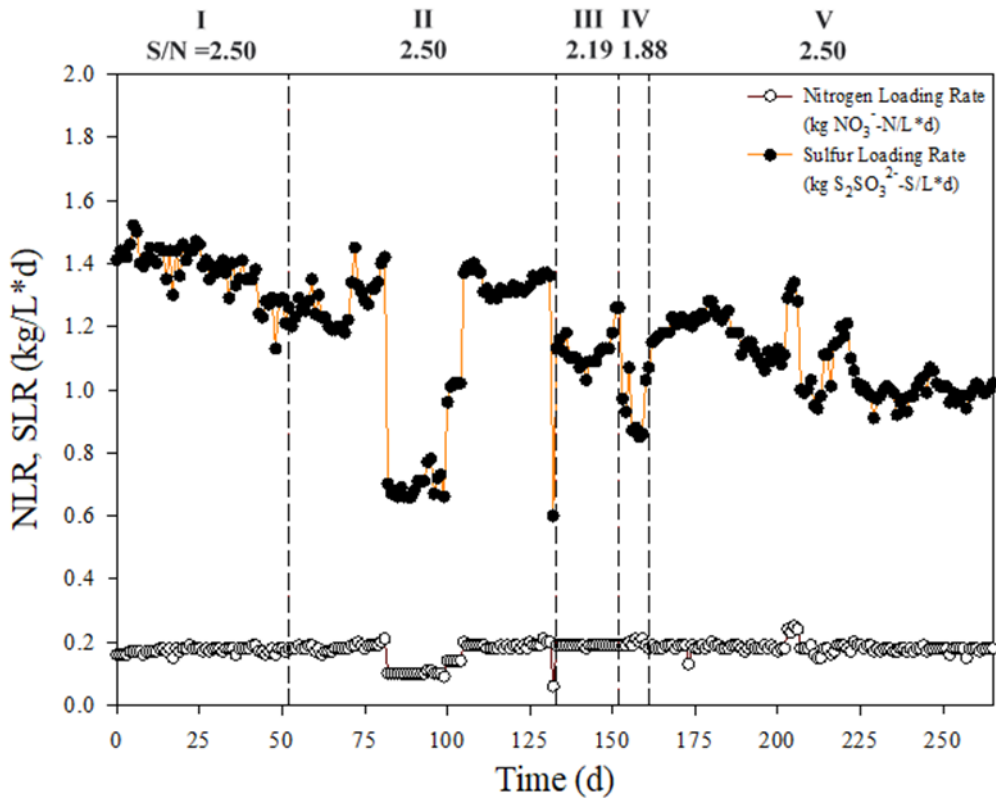


圖 8、NLR 及 SLR 長期實驗變化圖

在硝酸鹽氮濃度變化上如圖 9 所示，起初在階段 I 與 II 中，先以  $\text{S}/\text{N}$  比 = 2.19 進行培養，此時的  $\text{S}/\text{N}$  比為理論值之兩倍，在此期間可觀察到初始的硝酸鹽氮濃度約為 80 ~ 90 mg/L；且亞硝酸鹽氮濃度約為 5 ~ 20 mg/L，由於本實驗所配置之基質中並未添加亞硝酸鹽氮，但卻在反應初期測得其數值，因此推測為在進基質之前 10 分鐘，因硝酸鹽氮快速被自營脫硝微生物反應，故導致有亞硝酸鹽氮濃度產生。並且在整個反應 10 小時內，硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮去除率皆可被完全去除，顯示所提供的電子供體是足以將硝酸鹽氮完全還原成氮氣。

然而在 II 階段中期 (第 71 天)，由於系統受到污染，因此造成亞硝酸鹽氮無法被完全去除導致其有累積現象，同時導致進流水除了在反應初期硝酸鹽氮會還原成亞硝酸鹽氮之外，也有上一個批次所殘留之亞硝酸鹽氮累積，造成本系統中亚硝酸鹽氮累積濃度越來越高。接著在第 78 天時硝酸鹽氮的累積量達到峰值，此時的亞硝酸鹽氮濃度為 44.66 mg/L，說明脫硝作用所還原的硝酸鹽氮有將近一半是以中間產物存在於

水體中。此外，由於在此期間並未進行任何調整，因此系統之情況並未有效改善，導致脫硝作用不完全且下降，此時的硝酸鹽氮去除率由 100% 下降至 82.51%。

因此，為改善系統內自營脫硝微生物無法完全去除硝酸鹽氮且有亞硝酸鹽氮累積之問題，故本實驗先以調整進流水之硝酸鹽氮負荷，由 100 mg/L 調降至 50 mg/L。在調整時期之前 6 天，由於降低氮負荷使硝酸鹽氮出流水數值降回至 0 mg/L，但亞硝酸鹽氮依然有累積現象發生；然而在第 89 天時，出流水硝酸鹽氮濃度再次有數值產生，說明系統並未恢復至原先狀態，而是在第 95 天時，系統內之微生物才具備將硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮完全去除之能力。並且為了確定本系統是否俱備完全脫硝之性能，因此在觀察後，才將系統之硝酸鹽氮濃度由 50 mg/L 調整至 75 mg/L；並確定自營脫硝污泥能將硝酸鹽氮完全還原成並無亞硝酸鹽氮累積，才再次調整硝酸鹽氮濃度至 100 mg/L，並且在圖中可觀察到在之後硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮在出流水濃度皆為 0 mg/L。

由於在第 II 階段有硫源有過剩之情況，因此在第 III 階段將減少硫源投入，將改動為調整 S/N 比至 2.19 (理論值之 1.75 倍)。儘管已經降低電子供體濃度，但在此期間內出流水之硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮濃度依然是維持在 0 mg/L，說明系統內脫硝微生物依然有足夠之電子供體可進行脫硝反應。然而在反應初始之亞硝酸鹽氮濃度相比於前兩個階段其數值較低，同時進流之硝酸鹽氮濃度平均約為 95 mg/L，此現象說明系統因受到先前第 II 階段系統污染之影響，導致脫硝速率較原先兩階段緩慢。

在第 IV 階段中再次調降進流水之硫代硫酸鹽濃度，以 S/N 比 = 1.88 (理論值之 1.50 倍) 進行培養。在調整後，便出現了亞硝酸鹽氮累積，說明此系統因調整新的 S/N 比後，其去除效能有所下降。而初始的亞硝酸鹽氮濃度，也因為上一個批次有殘存之情況，造成累積之亞硝酸鹽氮數值越來越高，此結果顯示在 S/N 比為 1.88 之條件下，其電子供體是不足以讓硝酸鹽氮完整還原成氮氣，且還有部分硝酸鹽氮只轉換成亞硝酸鹽氮累積。因此為避免此系統繼續惡化，於是在第 161 天調整 S/N 比至 2.19 (第 V 階段)，使硝酸鹽氮有充足之電子供體使用，並在幾天之後其去除率恢復至 100%，並一直持續到實驗結束為止，此系統皆能將硝酸鹽氮完整還原成氮氣。



在整個長期實驗過程中可得知，當 S/N 比大於當 S/N 比  $> 2.19$  (理論值之 1.75 倍) 時，則自營脫硝微生物有足夠之電子供體可進行完全脫硝反應，不僅將硝酸鹽氮完全還原，且不會有亞硝酸鹽氮等中間產物累積；然而當 S/N 比 = 1.88 時，雖然硝酸鹽氮去除率依然可維持在 100%，但會有部分硝酸鹽氮僅還原成亞硝酸鹽氮並累積在系統中。

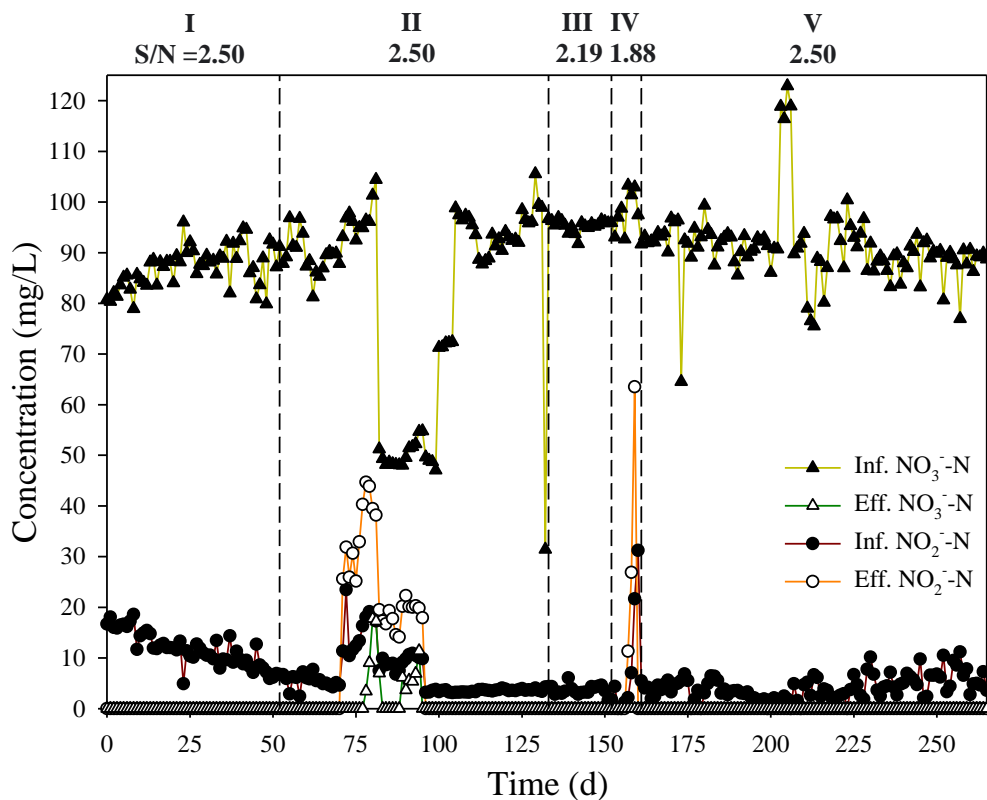


圖 9、長期實驗之硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮濃度變化圖

為了確認硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮在此系統中的變化趨勢，因此在第 II 階段時進行兩組 10 小時連續實驗，分別為系統受到污染前與污染後，其含氮物質變化如圖 10 所示。在第一組的硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮變化趨勢相近，其硝酸鹽氮變化量在 3.5 小時能完全去除，並在同時亞硝酸鹽氮達到峰值，約為 50 mg/L；且在之後的 3.5 ~ 5.5 小時可將亞硝酸鹽氮完全轉換成氮氣；而在第二組連續實驗，可以觀察到其脫硝能力是有明顯較慢，雖然是在第 5 小時才能將硝酸鹽氮完全去除，但在此同時亞硝酸鹽氮依然是來到了峰值，並且在第 7 小時依然可將亞硝酸鹽氮完全轉換成氮氣，說明此系統的氮去除率雖然都能達到 100% 的去除效率，但在速率方面去有明顯下降之情形。

在這兩組實驗中，可以觀察到硝酸鹽氮在反應初期 0.5 小時，此系統污泥方能去除約 20~30 mg/L 之硝酸鹽氮，此時亞硝酸鹽氮濃度也從 0 上升至 20 mg/L，說明硝酸鹽氮轉換成亞硝酸鹽氮之速率與亞硝酸鹽氮轉換成氮氣之速率是不相等，且也證實在圖 9 之初始的亞硝酸鹽濃度皆為硝酸鹽所轉變。在 Wu et al. (2020) 之研究成果中，對硫自營性脫硝過程可分為兩個階段，分別為階段一將硝酸鹽氮還原為亞硝酸鹽氮的 PSDAD (Partial Sulfide-Dependent Autotrophic Denitrification) 及階段二將亞硝酸鹽氮還原成氮氣的 SSDAD (Short-cut Sulfide-Dependent Autotrophic Denitrification)。在這兩階段中，兩者之脫硝酶不同，意旨速率亦隨之不同，且當電子供給者僅只有硫代硫酸鹽一種時，系統內之脫硝微生物將優先選擇好利用之電子受體-硝酸鹽氮作為使用，因此形成了硝酸鹽氮完全去除的同時，亞硝酸鹽氮雖然有部分被還原成氮氣，但依然有約 50 mg/L 之濃度累積，直到硝酸鹽氮被完全去除時，脫硝微生物才會完全使用亞硝酸鹽氮作為電子受體，並在約 2.5 小時時達到完全去除亞硝酸鹽氮。

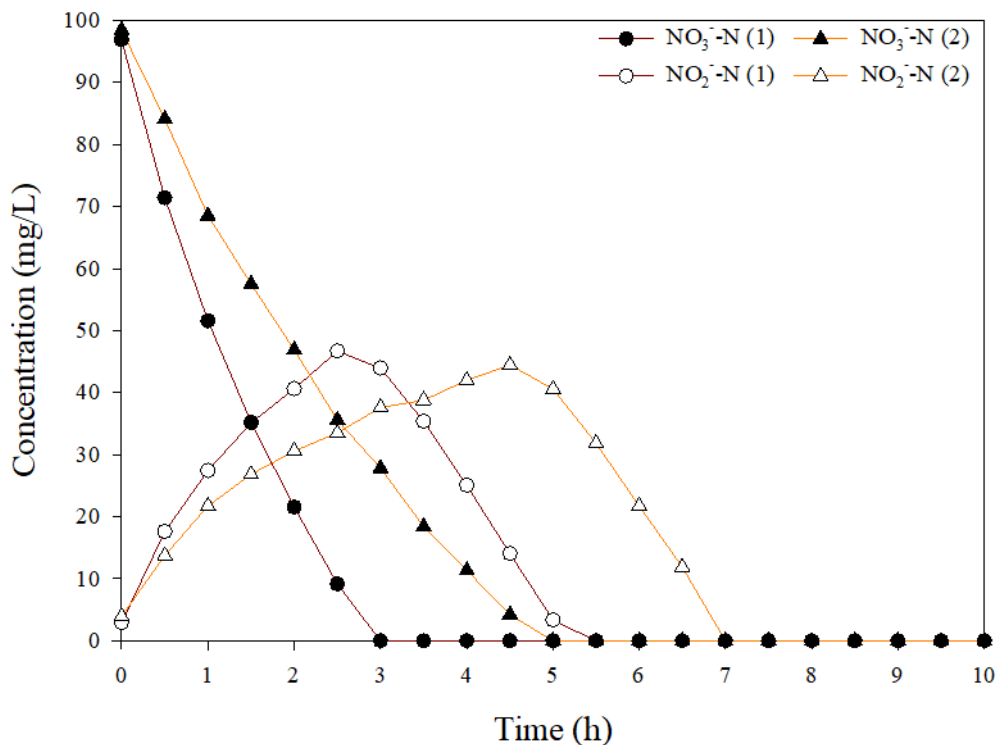
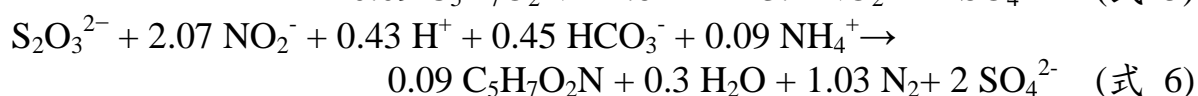
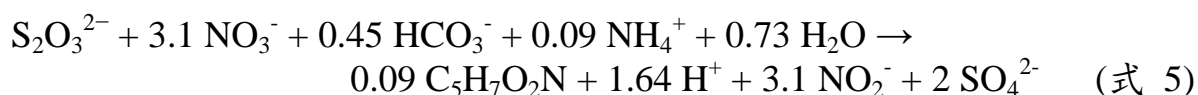


圖 10、硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮濃度變化圖

在 10 小時連續實驗中，本實驗也有使用 PLC 紀錄 pH、ORP 及 DO，由於本實驗皆是在密閉加蓋的缺氧環境，因此系統 DO 數值所記錄皆為 0 mg/L，而連續實驗中含氮物質與 pH 及 ORP 數值之關係，以連續實驗之第一組為例，如圖 11 所示。在圖中可觀察到在反應開始 10 分鐘，由於所添加之濃縮基質 pH 為 7.0，並且在反應初期會額外添加 0.5 M 碳酸氫鈉溶液進行 pH 值調整，因此 pH 值在最初時間由 6.8 緩慢升至 7.2 左右。接著在反應的前 3.5 ~ 4.0 小時，系統內脫硝微生物會優先使用硝酸鹽氮進行脫硝反應，且因自營性脫硝反應會產生  $H^+$  (如式 5 所示)，因此在 PSDAD 階段時 pH 值隨著硝酸鹽氮被還原呈現下降趨勢，直到硝酸鹽氮被完全去除後，此時的 pH 值會下降至最低點，同時亞硝酸鹽氮累積量也會達到峰值。

接著在 4 ~ 6 小時之間系統會持續進行脫亞硝反應 (此階段為 SSDAD)，在此階段中脫硝微生物會轉為利用亞硝酸鹽氮作為電子受體，繼續將亞硝酸鹽氮還原成氮氣，此時 pH 值會因為在脫亞硝作用中消耗  $H^+$  (如式 6 所示)，使 pH 值會有上升之趨勢，直到亞硝酸鹽氮被完全去除後 pH 值才停止上升。並且在脫硝完成後至靜置階段，因系統內已無任何含氮物質，所以脫硝微生物也會停止進行脫硝反應，使硫代硫酸鹽不會繼續氧化成硫酸鹽。同時，由於反應初期有使用 0.5 M 碳酸氫鈉溶液進行 pH 值調整，因此在反應最後 6 小時，系統會因為水體中含有  $HCO_3^-$ ，造成 pH 值逐漸緩慢下降。

此外也可發現在脫硝作用進行時，當 pH 值下降時，水中 ORP 數值則呈現上升之趨勢；而當 pH 值上升時，ORP 數值則呈現緩慢下降趨勢，此現象與 Di Capua et al. (2019) 之研究成果相似。由於本實驗在進行時 DO 濃度測值為 0 mg/L，說明此系統處於缺氧狀態。且當脫硝作用結束時，系統中已無任何含氮物質，因此造成 ORP 數值快速下降，因此可推測此時系統內呈現厭氧狀態。





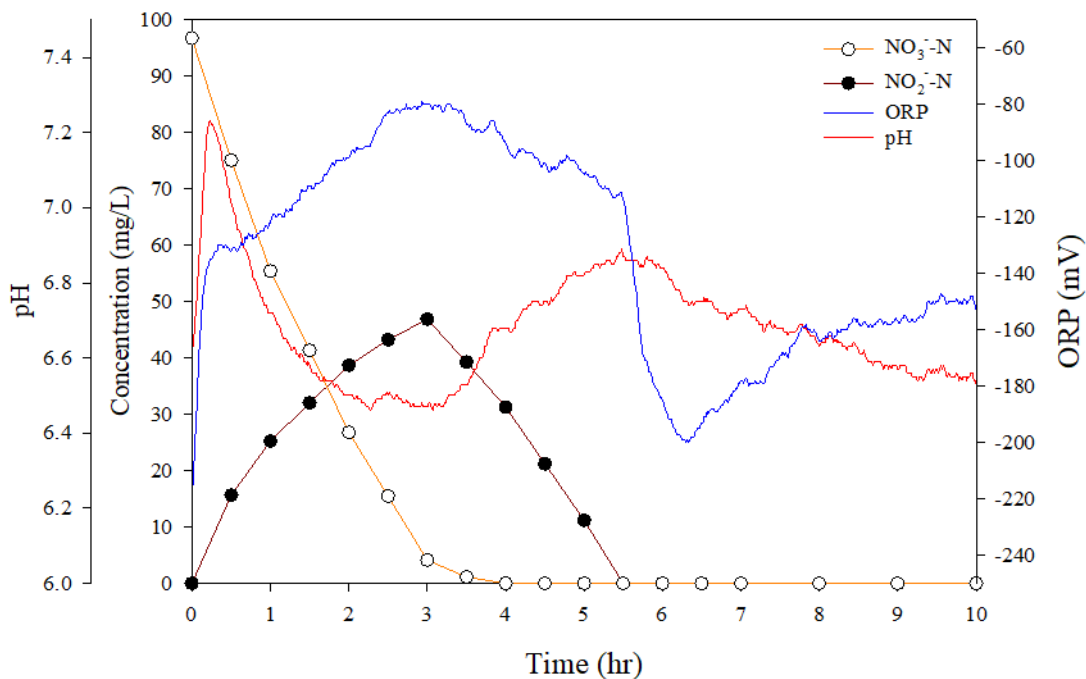


圖 11、含氮物質與 pH 及 ORP 關係圖

由於本研究團隊分別在第 II 及 V 階段分別進了五組連續實驗，目的是觀察在不同 S/N 比條件下其硝酸鹽氮濃度變化，然而在整個脫硝過程中，這五組連續實驗皆可將所有的硝酸鹽氮完全還原成氮氣且不會有中間產物累積，因此以比脫硝速率 (SDNR, specific denitrification rate) 計算其各組別之脫硝能力。比脫硝速率比較圖 4.12 中可明顯觀察到在前兩組實驗之 SDNR 數值較為相近，分別為 12.84 及 11.52 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/g VSS\*hr；然而在第三組實驗中，其 SDNR 數值僅 6.15 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/g VSS\*hr，約為前兩組速率之 1/2 倍；在第四與第五組實驗時，其 SDNR 數值與第三組實驗中有所提升，分別為 7.46 及 7.63 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/g VSS\*hr，說明在系統在第 III 階段後其脫硝速率有逐漸提升，但相比於前兩組實驗卻還是略低一些。

此外，當自營性脫硝系統中含有兩種以上含氮物質，脫硝微生物則會同時進行脫硝與脫亞硝反應，因此若僅以硝酸鹽氮濃度計算脫硝速率是較不符合真實速率，故在評估脫氮速率上會考慮亞硝酸鹽氮累積量來進行計算，並且在系統中硝酸鹽氮完全去除後，脫硝微生物會使用剩下的亞硝酸鹽氮作為電子受體進行脫亞硝反應，此時的脫亞硝速率則會以亞硝酸鹽氮被完全去除之時間進行計算。

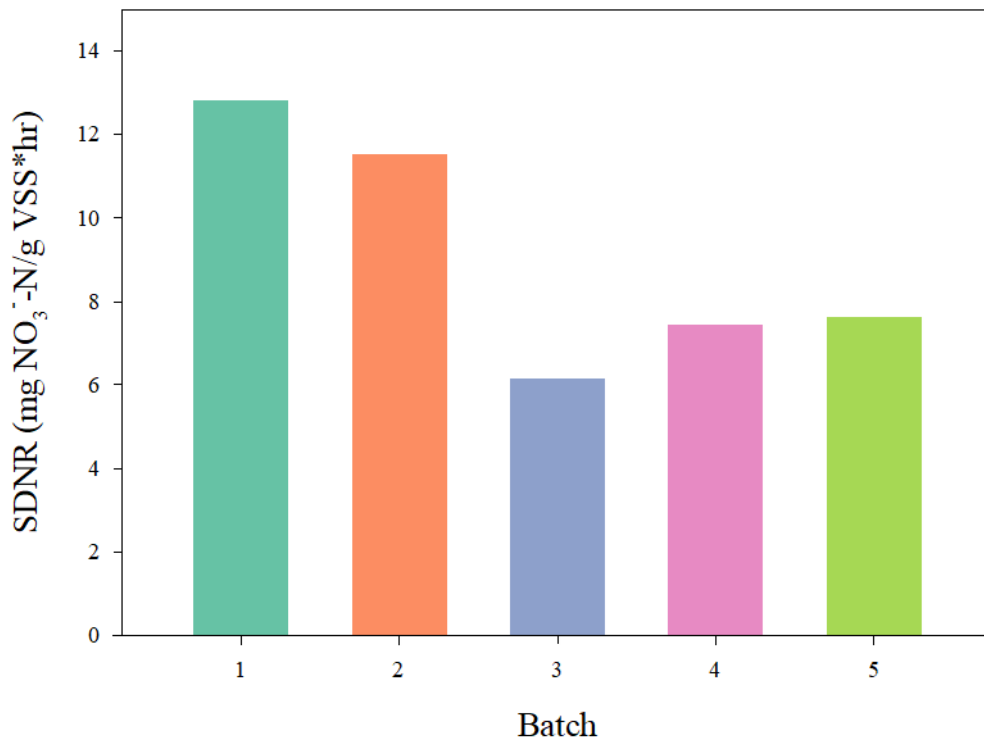


圖 4.12、SDNR 比較圖

#### 四、結語

硫自營性脫硝技術是一項比傳統異營性脫硝具有許多優勢且具有前瞻性之技術，目前研究在實驗室上皆有許多不錯的成果。在本研究中發現當 S/N 比 = 2.19 時，自營脫硝微生物有足夠之電子供體可進行完全脫硝反應，並且不會有中間產物累積；但當 S/N 比 = 1.88 時，則脫硝微生物因電子供給不足，造成亞硝酸鹽氮累積現象產生。本研究在實驗成果上有不錯的脫硝能力，但在實廠上操作仍有許多挑戰須克服，如自營脫硝污泥在馴養上較不容易，且若面臨有機廢水或是硫源不足則有電子供體競爭或不足之問題。因此，如何將硫自營性脫硝技術與目前的污水處理技術結合並實現全面應用是值得進一步探討的課題。

## 參考文獻

1. Campos, J., Carvalho, S., Portela, R., Mosquera-Corral, A., & Méndez, R. (2008). Kinetics of denitrification using sulphur compounds: effects of S/N ratio, endogenous and exogenous compounds. *Bioresource Technology*, 99(5), 1293-1299.
2. Capodaglio, A. G., Hlavínek, P., & Raboni, M. (2016). Advances in wastewater nitrogen removal by biological processes: state of the art review. *Revista ambiente & agua*, 11, 250-267.
3. Chen, F., Li, X., Gu, C., Huang, Y., & Yuan, Y. (2018). Selectivity control of nitrite and nitrate with the reaction of S<sub>0</sub> and achieved nitrite accumulation in the sulfur autotrophic denitrification process. *Bioresource Technology*, 266, 211-219.
4. Di Capua, F., Pirozzi, F., Lens, P. N., & Esposito, G. (2019). Electron donors for autotrophic denitrification. *Chemical Engineering Journal*, 362, 922-937.
5. Fajardo, C., Mora, M., Fernández, I., Mosquera-Corral, A., Campos, J. L., & Méndez, R. (2014). Cross effect of temperature, pH and free ammonia on autotrophic denitrification process with sulphide as electron donor. *Chemosphere*, 97, 10-15.
6. Gerardi, M. H. (2003). *Nitrification and denitrification in the activated sludge process*. John Wiley & Sons.
7. Huang, S., Zheng, Z., Wei, Q., Han, I., & Jaffe, P. R. (2019). Performance of sulfur-based autotrophic denitrification and denitrifiers for wastewater treatment under acidic conditions. *Bioresour Technol*, 294, 122176. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122176>
8. Li, Y., Wang, Y., Wan, D., Li, B., Zhang, P. and Wang, H. 2020. Pilot-scale application of sulfur-limestone autotrophic denitrification biofilter for municipal tailwater treatment: Performance and microbial community structure. *Bioresource technology* 300, 122682.
9. Lu, J. s., Lian, T. t., & Su, J. f. (2018). Effect of zero-valent iron on biological denitrification in the autotrophic denitrification system. *Research on Chemical Intermediates*, 44, 6011-6022.
10. Moraes, B.d.S., Souza, T. and Foresti, E. 2012. Effect of sulfide concentration on autotrophic denitrification from nitrate and nitrite in vertical fixed-bed reactors. *Process Biochemistry* 47(9), 1395-1401.
11. Müller, B., Meyer, J. S., & Gächter, R. (2022). Denitrification and Nitrogen

- Burial in Swiss Lakes. *Environmental Science & Technology*, 56(4), 2794-2802.
12. Qian, J., Lu, H., Cui, Y., Wei, L., Liu, R., & Chen, G. H. (2015). Investigation on thiosulfate-involved organics and nitrogen removal by a sulfur cycle-based biological wastewater treatment process. *Water Res*, 69, 295-306. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.11.038>
13. Tian, T., & Yu, H.-Q. (2020). Denitrification with non-organic electron donor for treating low C/N ratio wastewaters. *Bioresour Technol*, 299, 122686.
14. Vishniac, W. and Santer, M. 1957. The thiobacilli. *Bacteriological reviews* 21(3), 195-213.
15. Wu, C., Qin, Y., Yang, L., Liu, Z., Chen, B., & Chen, L. (2020). Effects of loading rates and N/S ratios in the sulfide-dependent autotrophic denitrification (SDAD) and Anammox coupling system. *Bioresour Technol*, 316, 123969. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123969>
16. Yang, Y., Gerrity, S., Collins, G., Chen, T., Li, R., Xie, S., & Zhan, X. (2018). Enrichment and characterization of autotrophic *Thiobacillus* denitrifiers from anaerobic sludge for nitrate removal. *Process Biochemistry*, 68, 165-170.
17. Zou, G., Papirio, S., Lakaniemi, A., Ahoranta, S., & Puhakka, J. (2016). High rate autotrophic denitrification in fluidized-bed biofilm reactors. *Chemical Engineering Journal*, 284, 1287-1294.



## 醫療口罩表面菌落特性與 UVC-LED 之消毒再利用

洪明瑞教授、劉姿妤、蕭乃華  
明志科技大學環境與安全衛生工程系  
Email : mingjui@mail.mcut.edu.tw

### 一、前言

COVID-19 疫情肆虐全球，除施打疫苗外，佩戴口罩已是降低新冠肺炎冠狀病毒(Coronavirus)飛沫與空氣傳染的重要手段。然而，COVID-19 疫情隨之而來衍生全球每月丟棄近 2 千億個口罩對環境與海洋生態等廢棄物污染與資源耗費問題，已是人類如何讓口罩在安全情況下重複使用，借以減緩全球性口罩污染的迫切課題。

人類簡單對話會產生數百個20~500微米( $\mu\text{m}$ )的液滴，但當配帶口罩時，即能隔絕90%以上的飛沫(Journal of the American Medical Association, JAMA)，而針對流感患者的研究發現，口罩確實可顯著減少飛沫(Droplet)與氣溶膠(Aerosol)傳播等呼吸道病毒的數量；換言之，口罩的最大功用即在於防止飛沫傳播。因此，民眾為了自保及遵守強制戴口罩的政策，導致在疫情恐慌中搶購口罩的同時，也間接造成生態環境的威脅。根據綠色和平組織(Greenpeace)的估算，僅2020年2月上旬至5月中旬短短三個月期間，台灣大量生產與使用醫用口罩大約13億片，以一片4公克計算即可產生約5,500公噸的廢棄物，以平均每輛清運量為5公噸的垃圾車換算，就能塞滿1,100輛垃圾車(Jenny Yeh, 2020；張語羚，2020)。

多數民眾認為一天一個口罩不但浪費資源且增加垃圾製造量，還會破壞環境並加速大自然的反撲。因此，有人選擇兩、三天換一次口罩，有人選擇清洗、日曬或噴酒精等方式進行消毒後重複利用，這些不正確的使用方式，恐效果不彰且可能有導致疫情擴散的疑慮。所以，減緩廢棄口罩對環境的污染問題，除了回收與再生利用的方案外，另一可行的手段便是安全重覆使用的源頭減量措施；然而，目前此方面的研究仍較為欠缺。有鑑於此，本文利用UVC-LED光源，讓每天配戴8小時的口罩內、外層進行不同時間的消毒後，以超音波震盪法(Ultrasonic vibration method)方式取樣，並配置胰蛋白酶大豆瓊脂培養基(Tryptic soy agar, TSA)，檢測口罩內層(親水)、外層(疏水)的總菌數，藉以探討並分析UVC-LED的消毒成效以及較佳的安全照射時間，作為口罩在UVC-LED照射後安全重覆使用的參考依據。

## 二、相關文獻回顧

### 2-1 口罩廢棄物的污染與環境危害

一張口罩在靜態水中的微塑料(Microplastics)釋放量可高達 360 項，隨著振動頻率的增加，釋放量也增加，在水中添加有機溶劑則會增加微塑料的釋放。當口罩變成碎片時，由於暴露面積的增加，微塑料纖維釋放到環境中的能力亦大大提高，而一個完全風化的口罩可以釋放數十億微塑料纖維進入水中污染水生環境(Shetty et al., 2020)，最終進入海洋(Aragaw, 2020)。根據「倫敦大學學院塑料垃圾創新中心(Plastic Waste Innovation Center, University College London)」最近的一項研究，每天使用一個口罩將產生 66,000 噸/年的塑料垃圾(Shetty et al., 2020)。因此，口罩生產和消費的快速增長以及一次性使用不當對環境的潛在危害著實令人憂心。

#### (一) 一次性口罩(Disposable mask)的普遍性

SARS-CoV-2 病毒通過呼吸道飛沫迅速傳播，並由此引起 COVID-19 大流行，導致全球對一次性口罩需求的顯著增加(Fadare et al., 2020)。除了保護醫療以及衛生保健工作者免受職業危害外，使用一次性口罩也成為非醫療專業人員的優先選擇，因其過濾能力高於可重複使用的替代品(Prata et al., 2021)。例如，在韓國地區，91%戴口罩的公民自願選擇一次性口罩，如 N95、KF 口罩、手術口罩等(So, 2020)；澳大利亞、美國、英國、新加坡、斯里蘭卡和印度(Selvaranjan et al., 2021)等國家也普遍偏愛一次性口罩；法國、奧地利、德國和美國一些州郡，在公共場所使用一次性口罩，甚至係國家或地方政府強制實施(Prata et al., 2021；USA CDC, 2021)。

越來越多報導指出，在城市化地區、自然保護區、海灘甚至高山地區，由於一次性口罩的處置不當，加劇了塑膠的污染(Ammendolia et al., 2021；Neto et al., 2021；Prata et al., 2020)。一項國際線上調查指出，澳大利亞、美國、英國、新加坡、斯里蘭卡和印度等地區，19%的人認為他們會魯莽地扔掉了一次性口罩(Selvaranjan et al., 2021)。即使假設世界人口中僅 1% 不當處置一次性口罩，也會向自然環境釋放約 1,000 萬個口罩(世界自然基金會國際，2020)。COVID-19 流行期間，若干報告指出，在非洲的湖泊和海灘上出現了個人防護設備，如一次性口罩(Okuku et al., 2021)；南美洲沿海城市以及一些城市地區也陸續發現了一次性口罩。河流和海灘的一次性口罩數量似乎比其他地方都多得多；例如，在印尼雅

加達，每天約有 250 個一次性口罩可能進入水生環境。在肯亞，海灘顯示的一次性口罩可能是街頭的 10 倍(Okuku et al., 2021)。至於，在城市化地區，醫院和停車場的一次性口罩水準似乎比住宅區高 5 倍左右。

## (二) 一次性口罩對野生動物的威脅

塑膠污染透過攝入和糾纏等途徑可直接影響野生動物，包括牠們的棲息地、生理、行為模式。根據報導，超過 200 種物種，諸如海洋哺乳動物、海龜和海鳥，被糾纏或攝入塑膠垃圾(Kühn et al., 2015)，進而限制生物體的生存、繁殖、移動和餵養能力。Neto 等人(2021)最近報告了在巴西聖塞巴斯蒂尼奧朱奎希海灘發現的一隻成年麥哲倫企鵝的死亡，可能與攝入 FFP-2 防護面罩有關，這個面具存在於企鵝的胃裡，這可能限制了生物的覓食活動，導致饑餓。在巴西，相當大比例的麥哲倫企鵝(大於 36%)顯示出受到固體(塑膠)廢物攝入的負面影響的證據，這些廢棄物具有急性(死亡)和慢性(生殖衰竭、排卵延遲)效應(Brandio et al., 2011)。

以垃圾掩埋場為食的物種可能特別容易接觸到公眾丟棄的一次性口罩，因為這些口罩被當作城市固體廢物處理。據報導，白斑以垃圾掩埋場為食，占西班牙這些動物飲食的 68.8%，而在過冬海鷗物種的腸道中也觀察到大量垃圾掩埋場廢棄物。因此，人們有理由推測一些塑膠廢物與食物廢棄物一起被攝入，從而影響其生存、餵養和健康。過冬海鷗在垃圾掩埋場中頻繁攝入塑膠廢物與死亡和由於化學體負擔而繁殖的顯著減少有關(Seif et al., 2018)。

一次性口罩會對野生動物的爪子、嘴、脖子、腿或其他身體部位的糾纏(Hiemstra et al., 2021)，包括海鷗、老鷹、螃蟹、蝙蝠、狐狸、刺豬、河豚等物種。生物體的糾纏可以通過固定或窒息或溺水而立即死亡，它還會導致慢性影響，例如，通過限制餵養到饑餓的地步，導致窒息、感染、嚴重傷口、甚至截肢等。除了糾纏，廢棄口罩的可用性可能會產生意想不到的影響。例如，在荷蘭萊頓的一個公共庫的巢穴中觀察到了一次性口罩和其他個人防護設備(Hiemstra et al., 2021)在鳥巢的存在，可能導致小雞(或父母)糾纏或攝入，損害營養需求和發展。海鳥攝入的塑膠碎片，對鳥類形態測量和血液鈣水準產生了顯著的負面影響，以及尿酸、膽固醇和澱粉酶濃度的增加(Lavers et al., 2019)，顯示對健身產生負面的影響。至於，巢體結構中塑膠廢物的存在也可能改變熱和排水特性，影響其生殖與繁衍。

### (三) 潛在的生態毒理學影響

一次性使用口罩一旦進入開放環境，將經歷物理化學(例如紫外線輻射、風、電流)和生化(酶活動)過程的碎片化(Fadare et al., 2020)，產生無數微型(<5 mm)和奈米塑膠(<1 $\mu$ m)的小顆粒。一次性口面罩還含有添加劑，以提高一些時尚的性能，如抗病毒和抗菌屏障等，這些染料、香料等隨著微塑膠的釋放，將有助於潛在化學品的釋放(Prata et al., 2020)。Saliu 等人(2021)估計，一個經過測試的口罩在人工海水中進行 180 小時紫外光照射和劇烈攪拌，每天可釋放多達 173,000 纖維；同時，觀察在義大利海灘收集的外科口罩中有類似的形態和化學降解特徵(通過 SEM 和微 FTIR 分析)，顯見類似的過程可能發生在自然海洋環境中。例如，在哥倫比亞馬格達萊納河收集的海岸線沉積物(75% PP 和 PE，包括合成無紡布料)中觀測到多達 102.4 纖維/kg；在越南西貢河，合成微纖維濃度達到 51.9 萬件/m<sup>3</sup>。

微纖維的攝入和後果效應(特別是 PP、PE 和聚酯是一次性面罩上最常見的聚合物)，包括：行為改變(如安納利德的挖洞活動或甲殼類動物的下沉活動)、餵養活動減少(如雙殼類和螃蟹)、生長/身體質量減少(特別是在甲殼類動物中)、畸形/損傷增加(如魚類)、生殖產出減少和胚胎發育(如螃蟹)、誘發炎症、氧化應激等。事實上，微塑膠的不利影響往往與活性氧物種的形成和由此產生的氧化應激有關，作為主要的分子啟動事件(Jeong et al., 2017)。與其他顆粒形狀(如珠子或粉狀形狀)相比，纖維形狀的顆粒往往能產生更高的生態毒性效應，特別當這種微纖維被風化(如紫外線輻射)時(劉等人，2021)。此外，塑膠中用以產生顏色(如由有機化合物、無機或有機顏料製成的染料)或改善物化特性(如抗氧化劑)的添加劑；例如，用於聚碳酸酯塑膠(即 PP、PE)作為穩定劑和抗氧化劑的雙酚 A，可從塑膠中滲出並在低濃度下誘導毒性，作為內分泌干擾物(Nam et al., 2010)。

#### 2-2 口罩再生利用的方法

COVID-19 疫情持續延燒，防疫所需口罩用量也大增，引發塑膠微粒環境污染問題越趨嚴重。因此，美國、法國和澳洲等地區積極進行回收再利用的計畫，但挑戰仍相當艱鉅。根據「美國化學學會(American Chemical Society, ACS)」調查，目前全球每月使用約 1,290 億片拋棄式口罩，這種口罩由聚丙烯材料、鬆緊帶和金屬製成，用後通常丟入垃圾桶交由掩埋或焚化，但也可能亂丟污染街道、河川和海洋，進而傷害野生



動物與生態環境。

部分研究人員和企業正在尋找方法來處理使用過的口罩；例如，澳洲研究人員正想辦法把口罩製成鋪路材料，美國則有人將回收的口罩做成長凳，法國也有企業將口罩再生製成汽車踏墊，英國卡地夫(Cardiff)的熱壓縮集團(Thermal compaction group)推出一款壓縮機將用過的防護衣和外科口罩融化壓縮製成藍色厚板，作成庭院桌椅的材料。法國資源回收公司 Tri-o et Green wishes 以每月 250 歐元(約新台幣 8,500 元)起跳費用收集業者投入特殊垃圾桶的使用過口罩，經由隔離、切碎、消毒和抽取聚丙烯，取得的聚丙烯隨後製成小圓粒，用來做成汽車踏墊或車內其他塑膠零件。美國新澤西州翠登(Trenton)的 Terra Cycle 販售一款名為「零浪費箱(Zero waste box)」的拋棄式口罩回收箱，每件要價 88 美元(約新台幣 2,500 元)，將收集的口罩送到工廠製成塑膠顆粒，再做成長凳、地板材料和貨運棧板等。

### 2-3 C 波段紫外光(UVC)消毒機制

微生物對於 UVC 的吸收，可導致其去(脫)氧核糖核酸(Deoxyribonucleic acid, DNA)中鏈內環丁烷基—嘧啶二聚體(Cyclobutyl-pyrimidine dimers)的形成，稱之為胸腺嘧啶二聚體(Thymine dimers)「T=T」(如圖-1 所示)，此種引起組成核酸(Nucleic acids)之間的交聯(Cross-links)作用將改變原來的 DNA 結構，此種 DNA 結構上的缺陷，將導致突變或細胞死亡(Harm, 1980; Koller, 1952; Kuluncsics et al., 1999)。由於胸腺嘧啶(Thymine, T)與腺嘌呤(Adenine, A)的 AT 鹼基對是由兩個弱氫鍵相連，容易在 UVC 照射後造成兩個氫鍵的斷裂而形成交聯的「T=T」。至於，胞嘧啶(Cytosine, C)與鳥嘌呤(Guanine, G)的 GC 鹼基對由三個弱氫鍵相連，雖比 AT 鹼基稍好一點，但若形成胞嘧啶二聚體(Cytosine dimers)「C≡C」也同樣會產生二次損傷(David, 1973; Masschelein, 2002)。

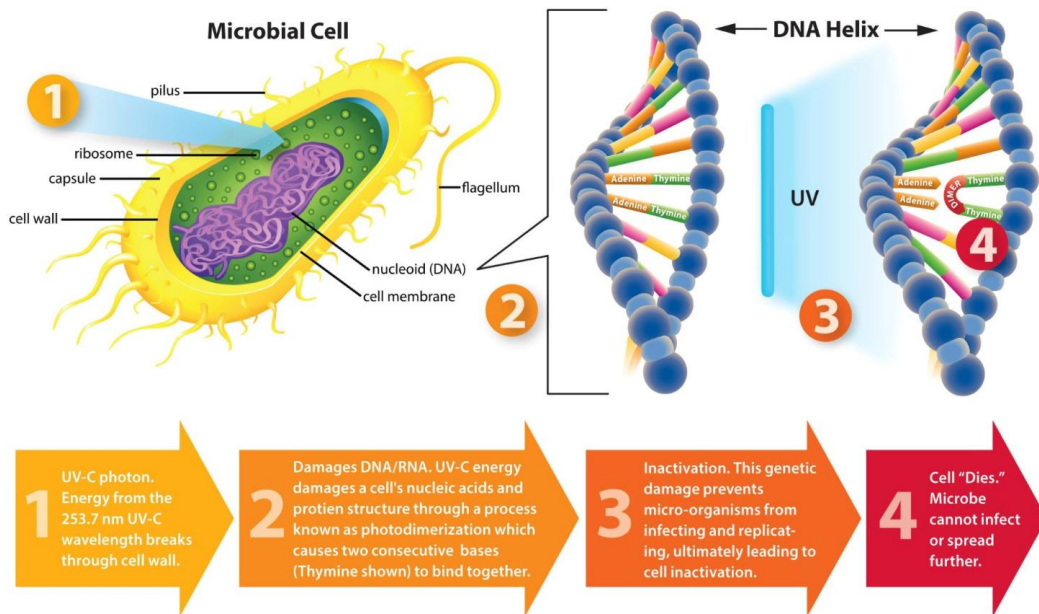


圖-1 UV 破壞微生物病原體之過程示意圖

(照片來源: <https://uvresources.com/uv-c-lamps-a-shortwave-history/>)

核糖核酸(Ribonucleic acid, RNA)病毒的失活涉及尿嘧啶核苷酸與尿嘧啶二聚體(Uracil dimers)「U=U」的產生之間的交聯(Miller and Plageman, 1974), 如圖-2 所示。DNA 和 RNA 負責微生物的複製(Replication)以及蛋白質的合成(Protein synthesis), 因此, 一旦結構發生改變或核酸受到損傷, 將會導致其失活(Inactivation)或無法繁殖(Reproduction)。換言之, DNA 和 RNA 中的核酸為承擔生命遺傳現象與所有重要生命機能的生命本質, 一旦發生變化或是損傷, 當然不利生命的延續。

**UV-C light is part of the natural light spectrum**

A wavelength of 254nm is reliably suitable for disinfection

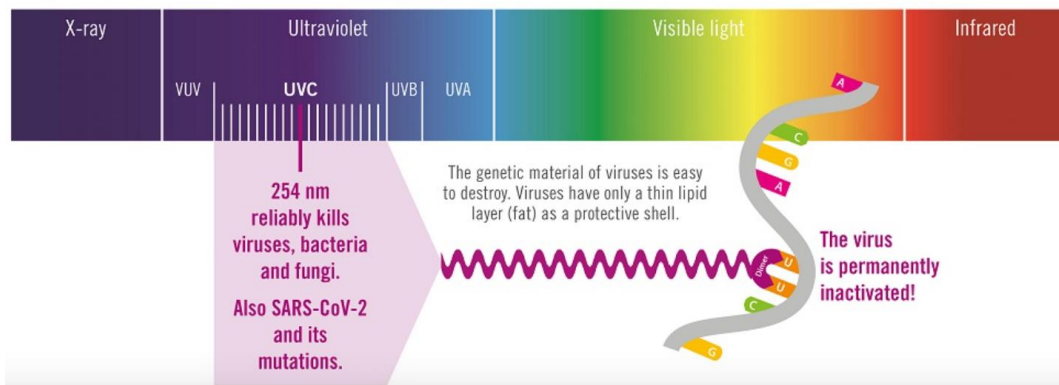


圖-2 UV 引起病毒 RNA 產生尿嘧啶二聚體示意圖

(照片來源:

[https://www.heraeus.com/en/landingspages/lp\\_hng/soluva/uv\\_know\\_how/what\\_is\\_uvc\\_light/what\\_is\\_uvc\\_light.html](https://www.heraeus.com/en/landingspages/lp_hng/soluva/uv_know_how/what_is_uvc_light/what_is_uvc_light.html))

### 三、研究內容、方法、設備與步驟

#### 3-1 研究內容與試驗項目

本文利用 UVC-LED 進行口罩表面細菌的消毒與殺菌作用，主要進行「口罩內、外部表面菌落數之生長狀況或其可存活的天數」(第一部分)以及「口罩經 UVC 消毒殺菌後可安全再使用的所須照射時間」(第二部分)等兩部分試驗，有關其試驗條件、實驗內容以及試驗目的等內容，分別彙整如下。

##### (一) 口罩內、外部表面菌落之生長狀況或其可存活天數

口罩內、外部表面菌落數之生長狀況或其可存活天數之試驗，主要在於釐清口罩使用後在自然無消毒的狀況下，可安全再使用的間隔天數。有關佩帶人員、活動場域、活動型態、佩戴時間、靜置天數、取樣方法、重複次數、取樣位置、檢驗過程等之規劃，如表-1 所示。

表-1 第一部分試驗條件、實驗內容及試驗目的彙整表

試驗條件	實驗內容
佩帶人員	大學部大三女性專題生(約 21~22 歲)
活動場域	公車通勤來回 80 分鐘以及實驗室 8 小時
活動型態	輕型作業(文書與實驗工作)
佩戴時間	白天上班時段 8 小時
靜置天數	於通風無干擾環境下分別靜置 0、1、2....10 天
取樣方法	超音波震盪法
重複次數	每項試驗重複進行 5 次
取樣位置	口罩內部(親水層)、口罩外部(疏水層)
檢驗過程	將口罩對分兩半剪開，並放入 20ml 生理食鹽水中，以超音波震盪 3 分鐘使口罩表面菌溶於生理食鹽水中(細菌萃取液);隨後取 0.2ml 細菌萃取液進入 TSA 培養基中，在 $30\pm 1^{\circ}\text{C}$ 恆溫培養箱中培養 $48\pm 2$ 小時並進行菌落計數。

口罩經 UVC 消毒殺菌後可安全再使用的所須照射時間之試驗，主要在於求得口罩經 UVC 消毒殺菌後可安全再使用的所須照射時間。有關佩帶人員、活動場域、活動型態、佩戴時間、照射時間、照射距離、輻射強度、取樣方法、重複次數、取樣位置、檢驗過程等之規劃，如表-2 所示。

表-2 第二部分試驗條件、實驗內容及試驗目的彙整表

試驗條件	實驗內容
佩帶人員	大學部大三女性專題生(約 21~22 歲)
活動場域	公車通勤來回 80 分鐘以及實驗室 8 小時
活動型態	輕型作業(文書與實驗工作)
佩戴時間	白天上班時段 8 小時
照射時間	分別為 60 秒、90 秒、120 秒、150 秒、180 秒
照射距離	口罩距離 LED 封裝表面 1cm
輻射強度	離 LED 1cm 處(燈正下方)輻射強度 4,020~4,125 $\mu$ W/cm <sup>2</sup>
取樣方法	超音波震盪法
重複次數	每項試驗重複進行 5 次
取樣位置	口罩內部(親水層)、口罩外部(疏水層)
檢驗過程	將口罩對分兩半剪開，並放入 20ml 生理食鹽水中，以超音波震盪 3 分鐘使口罩表面菌溶於生理食鹽水中(細菌萃取液)；隨後取 0.2ml 細菌萃取液進入 TSA 培養基中，在 30 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C 恆溫培養箱中培養 48 $\pm$ 2 小時並進行菌落計數。

### 3-2 研究方法與試驗規範

根據衛福部「現行藥品優良製造規範—空調系統確效作業指導手冊」(2002)中有關微生物污染測試方法中，針對物品表面菌的偵測部分，主要包含：「培養皿指壓法、培養皿接觸法、表面擦拭取樣法」等三種方式。其中，「培養皿指壓法」係針對手部表面菌的採樣方法，「培養皿接觸法」最好用於檢測微生物污染數量相當低的平坦表面，而「表面擦拭取樣法」則不能使用於不平坦表面或採樣較不方便區域。

一般 N95 或醫用口罩主要有三層結構，外層為紡粘聚丙烯不織布(SB PP)，為一疏水性防護層，減少細菌或病毒在外層著床或沾染；中層過濾層為熔噴聚丙烯不織布駐極材料，主要目的用於過濾粒狀污染物；內層為親水性的構造，將使用者自己吐出的飛沫加以吸附，避免其逸散而造成傳染，常為針軋不織布(Needle punched)、熱固型不織布(Thermoset)(N95 口罩、兩層)、紡粘不織布(SB)、熱粘合不織布(醫用口罩、一層)或紙製等材料。由此可見，口罩內、外層表面均為不織布材質，具有無數細微孔徑且非平整表面，故不適合使用「培養皿接觸法」或「表面擦拭取樣法」進行偵測。



本研究參照相關論文所提出的不織布材質表面菌落評價的方法，選用「超音波震盪法」作為口罩照射 UVC-LED 後表面菌變化情形的檢測方式。

### 3-3 實驗設備、儀器與耗材

口罩照射過程 UVC-LED 設備，利用已商售之成品「光立潔殺菌棒」，基本規格，如下：電力：0.35A/5V；功率：40 mW；最大額定電流：500 mA；磊晶數：3 顆；排列方式：直線排列；中心波長：280nm±5%；發光角度：範圍為 120°；輻射強度：直線排列中央處離磊晶 1cm 處(燈正下方)輻射強度 4,020~4,125 $\mu$ W/cm<sup>2</sup>。

另外，微生物生長過程所需之培養基，係根據「行政院環境保護署環境檢驗所(EAL)」公告之「空氣中細菌濃度檢測方法(NIEA E301.15C)」，配製含「環己醯亞胺(Cycloheximide)」之「胰蛋白大豆瓊脂培養基(Tryptic soy agar, TSA)」。

至於，各階段使用之設備，包括：前處理設備；試驗中設備；以及後處理設備，彙整如表-3 所示。

表-3 本研究實驗室儀器設備彙整表

設備名稱	主要用途
無菌操作台	培養基配置過程，需於無菌操作台內進行，而無菌操作台在使用前須以 UVC 燈照射箱內 10~20 分鐘再用無菌吹風 10 分鐘後才可進行作業，以避免操作過程來自空氣中自然沉降為生物或粒狀污染物等之干擾。
高壓滅菌釜	培養基配置後使用前、後丟棄前，以及相關實驗器材，如聶子等，均須經高壓滅菌釜的殺菌過程，能以中心溫度 121°C(壓力約 15 lb/in <sup>2</sup> 或 1.05 kg/cm <sup>2</sup> )滅菌 15 分鐘以上，方能放入夾鏈袋或保存箱中備用。
恆溫培養箱	取樣完成之 TSA 培養皿隨即放入恆溫培養箱中，30±1°C 培養 48±2 小時。
落菌計數器	用以計數 TSA 培養皿在培養溫度與時間後，其上生長的菌落數量。
冷凍櫃	培養皿在保存期限內，一般均須冷藏於 4±2°C 冷凍櫃中。
二合一超純水系統	各種培養基配置過程的用水(Type 2 或 1)或試驗用玻璃器皿的洗滌(Type 3)。

### 3-4 實驗流程與步驟

本文對於口罩表面細菌濃度之偵測或評價方式，係參照「中國疾病預防控制中心環境與健康相關產品安全所」丁理等人(2018)的實驗方法，較適用於非光滑平整表面菌落數之取樣。今將主要的試驗過程(如圖-3 所示)，簡要說明如下：

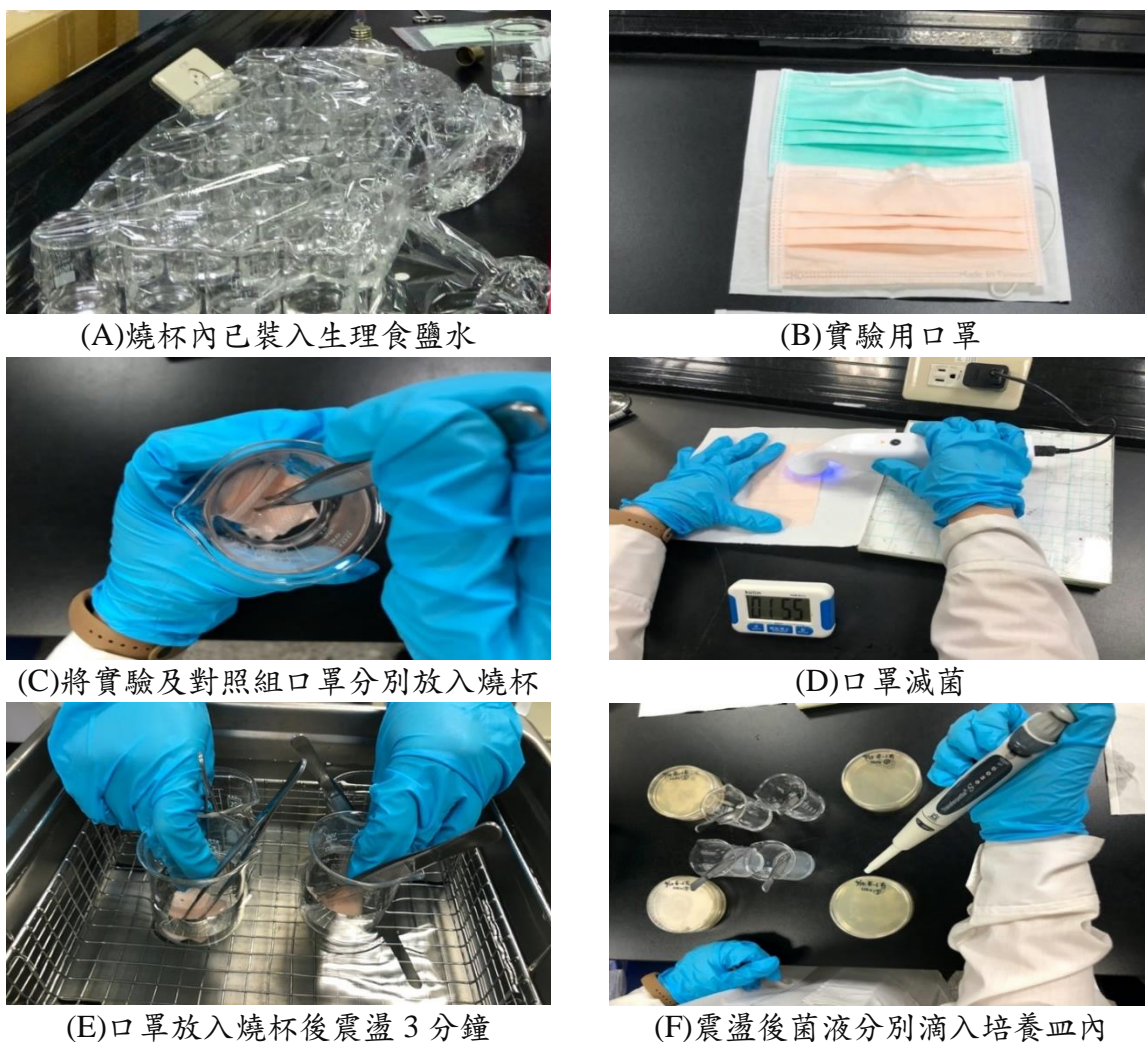


圖-3 UVC-LED 照射口罩表面之實驗過程

- (一) 將實驗用燒杯，用清水沖洗一遍再用去離子水潤濕一遍(如圖-3(A))。
- (二) 將當日戴過 6~8 小時的口罩平均分成兩半，分別做為對照組及試驗組(如圖-3(B))。
- (三) 將對照組的正面與反面，平均分割並分別放入裝入 20ml 生理食鹽水的水樣裡(如圖-3(C))。
- (四) 待試驗組的正面與反面都殺菌後，平均分割再分別放入裝入 20ml 生理鹽水的水樣裡(如圖-3(D))。
- (五) 將對照組和實驗組共四杯水樣放入超音波震盪機震盪 3 分鐘，使口罩上的菌落震入水樣中(如圖-3(E))。
- (六) 使用塗膜法檢測菌落數，將震盪完的水樣都用兩個培養基培養，每個培養基分別滴入 0.2ml 的水樣，均勻塗抹，並用封口膜封住(如圖-3(F))。
- (七) 放入培養箱中培養  $48 \pm 2$  小時後並進行菌落之計數。

(八) 兩個培養基的菌數平均及為該水樣的菌數。

## 四、研究成果與討論

### 4-1 口罩內、外部表面菌落數之生長狀況

#### (一) 口罩外部表面菌落之特性

表-4 為口罩外部之總菌落(CFU)試驗結果之彙整表，包含：最低、平均、最高菌落，以及變異數、標準差、變異係數。而圖-4 為其對應的口罩佩戴 8 小時後，不同放置天數(或其可存活的天數)口罩表面菌落生長狀況。由圖中可清楚看出，在試驗的總天數 0~10 天中，口罩表面細菌似乎隨著靜置時間而持續孳生，能夠存活的天數遠比我們所能想像。甚至比已知的研究，如：紙張跟衛生紙：3 小時；銅(例如錢幣)：4 小時；紙箱：24 小時；木材、木板：48 小時；衣服：48 小時；不鏽鋼：48~72 小時；塑膠(以 PP 為例)：72 小時；玻璃：96 小時；紙鈔：96 小時；外科口罩外層：168 小時更久。此現象初步顯示，使用過的口罩在自然無消毒的狀況下，可安全再使用的間隔天數可能需要超過 10 天甚至更久，在實用上可能不易推動。

表-4 口罩外部菌落數試驗結果之彙整表

放置天數	外部(單位：株(CFU))					
	最低	平均	最高	變異數	標準差	變異係數
0	1	5.6	17	42.3	6.50	116.14
1	0	1.8	5	4.7	2.17	120.44
2	1	7.6	15	41.3	6.43	84.56
3	0	4.6	17	52.3	7.23	157.21
4	0	5.8	9	16.7	4.09	70.46
5	0	17.0	69	686.8	29.30	172.35
6	1	22.2	102	1992.7	44.64	201.08
7	0	19.2	72	19.2	30.47	158.72
8	0	38.6	170	5446.8	73.80	191.20
9	1	6.0	12	31.0	5.57	92.80
10	19	49.0	108	2611.0	51.10	104.28

備註：口罩長度：16cm；口罩寬度：9.4cm；口罩面積：16×9.4=150.4cm<sup>2</sup>；口罩狀態：未攤開。

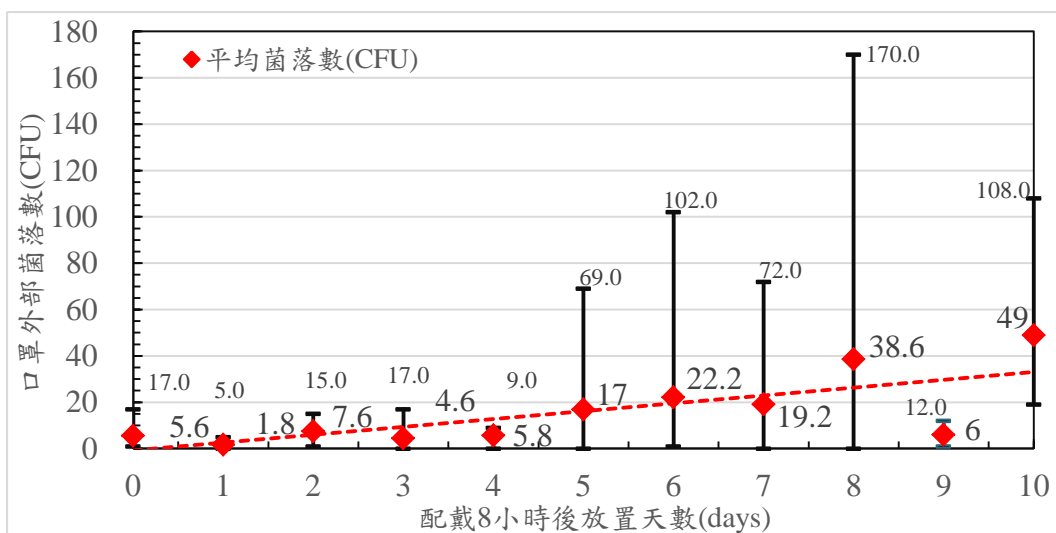


圖-4 口罩配戴後不同放置天數之口罩外部菌落生長狀況

圖-5 進一步顯示口罩外部之總菌落數(CFU)之 95%信賴水準的上、下限(U95CI、L95CI)。顯示口罩表面菌落數之取樣方式，採用「超音波震盪法(Ultrasonic vibration method)」的試驗方法，試驗值均可落在 95%信賴水準的上、下限(U95CI、L95CI)之間，應該是一個相對可行的檢測方法。

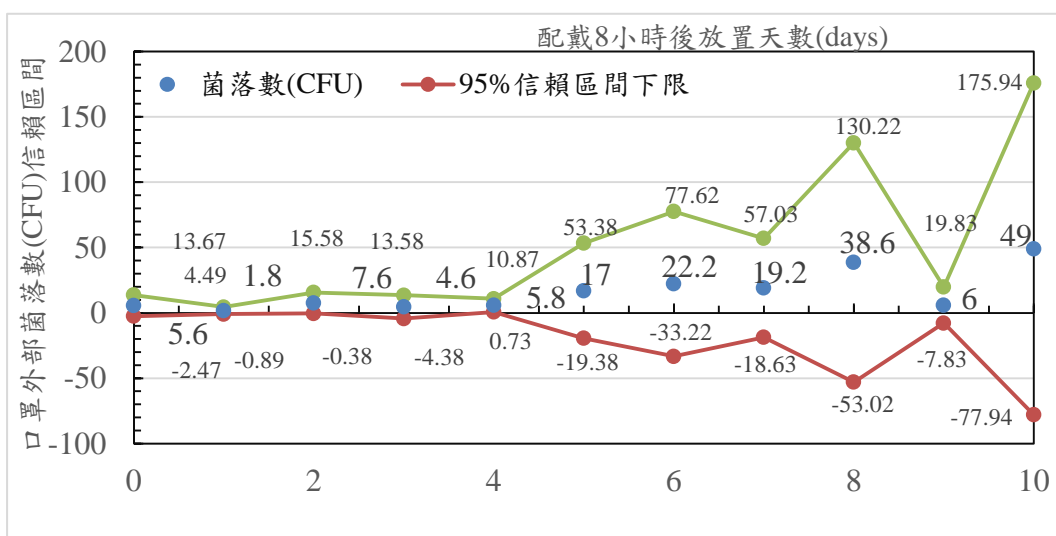


圖-5 口罩配戴後不同放置天數之口罩外部菌落信賴區間

## (二) 口罩內部表面菌落之特性

表-5 為口罩內部之總菌落(CFU)試驗結果之彙整表，包含：最低、平均、最高菌落，以及變異數、標準差、變異係數。而圖-6 為其對應的口罩佩戴 8 小時後，不同放置天數(或其可存活的天數)口罩表面菌落生長狀況。由圖中可清楚看出，在試驗的總天數 0~10 天中，口罩表面細菌隨



著靜置時間似乎有逐漸減少的趨勢，唯至第 10 天仍有菌落數的檢出。顯示菌落存活天數遠比紙張、衛生紙、銅(例如錢幣)、紙箱、木材、木板、衣服、不鏽鋼、塑膠(PP)、玻璃、紙鈔等為久。

表-5 口罩內部菌落數試驗結果之彙整表

放置天數	外部(單位：株(CFU))					
	最低	平均	最高	變異數	標準差	變異係數
0	44	162.00	431	27908.50	167.06	103.12
1	196	229.00	329	6018.50	77.58	33.88
2	48	296.00	809	88145.50	296.89	100.30
3	35	105.20	189	4500.20	67.08	63.77
4	28	167.20	283	8496.20	92.17	55.13
5	52	120.20	233	4248.16	72.87	60.62
6	69	175.60	287	7620.80	87.30	49.71
7	37	232.80	664	232.80	278.67	119.70
8	6	140.00	450	32045.50	179.01	127.87
9	8	61.00	149	5889.00	76.74	125.80
10	2	42.67	99	3536.33	50.36	118.04

備註：口罩長度：16cm；口罩寬度：9.4cm；口罩面積：16×9.4=150.4cm<sup>2</sup>；口罩狀態：未攤開。

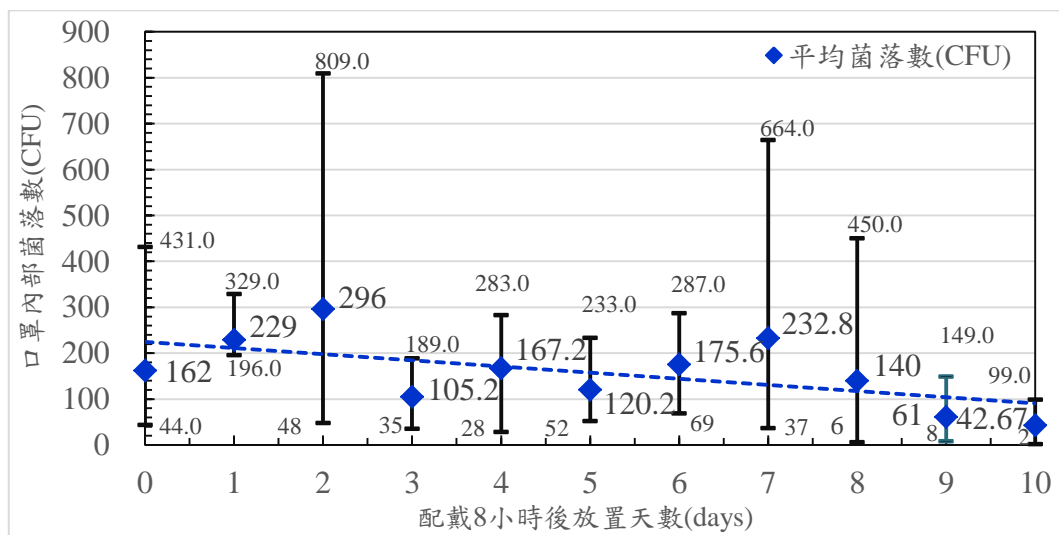


圖-6 口罩配戴後不同放置天數之口罩內部菌落生長狀況

圖-7 進一步顯示其對應之 95%信賴水準的上、下限(U95CI、L95CI)圖。如同口罩外部一樣，試驗值均可落在95%信賴水準的上、下限(U95CI、L95CI)之間，顯示超音波震盪法是一個口罩表面菌可行的檢測方法。

### (三) 口罩內、外部表面菌落之特性

由表-4、表-5，可進一步繪製口罩內、外部表面菌落生長之差異，如圖-7 與圖-8 所示。圖中清楚顯示，口罩內部表面的菌落數遠高於外部表面的菌落數，差異可高達 20~30 倍不等。顯示內層親水織布更容易吸附自己鼻腔與口腔所排放的細菌，可降低污染物的逸散；反之，外層疏水的織布，較不容易沾染細菌，降低被鼻腔吸入的可能性。

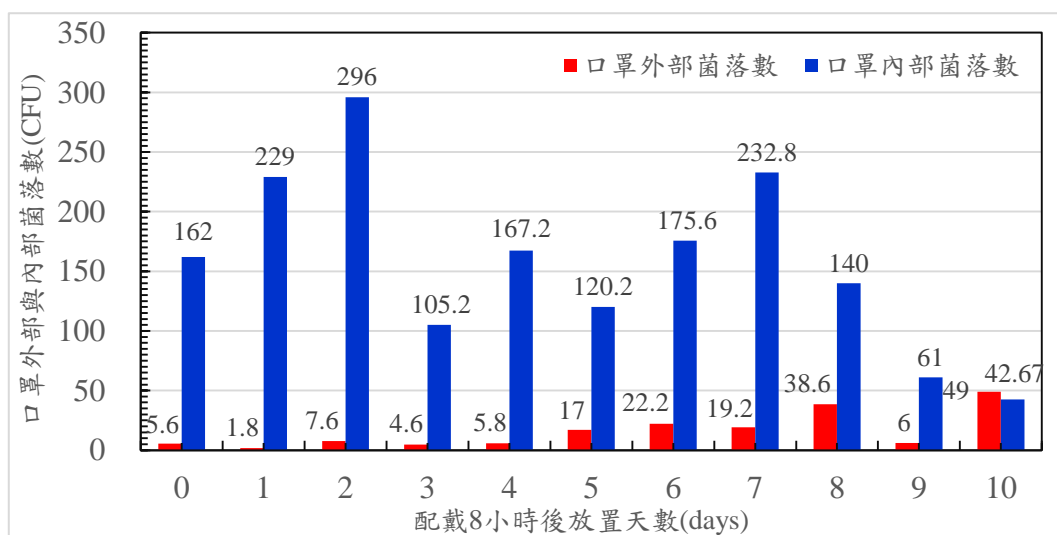


圖-7 口罩配戴後不同放置天數之口罩內外部菌落生長狀況

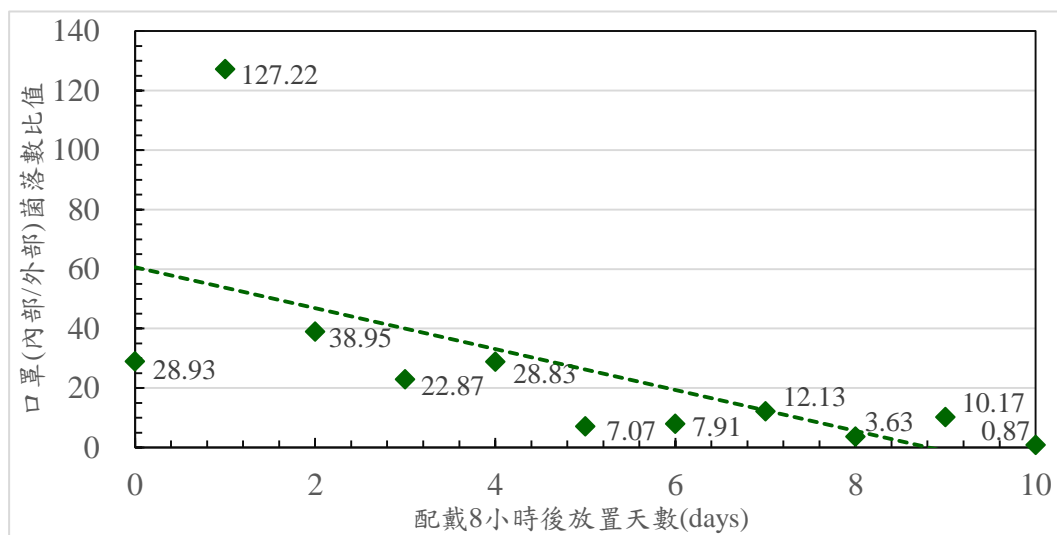


圖-8 口罩配戴後不同放置天數之口罩內外部菌落比值

此外，圖-9 與圖-10 所示為口罩內、外部表面菌落生長之變異係數，圖中可清楚得知，口罩內部表面雖有較高的菌落生長情形，但其變異係數低於口罩外部之菌落數，顯示口罩內部來自於測試者呼吸所形成的表面菌落數的變化相對穩定於口罩外部表面來自於外界之菌落。

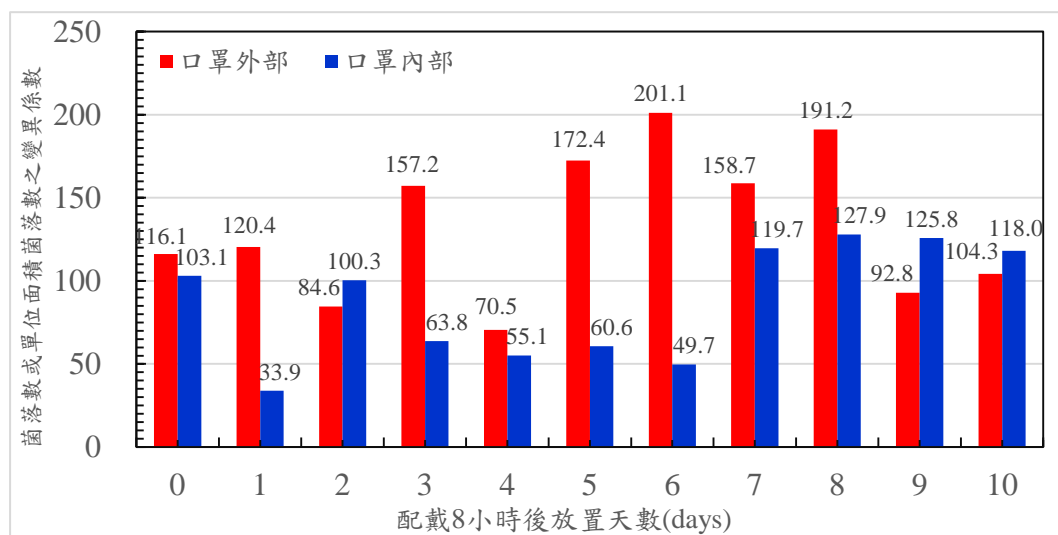


圖-9 口罩內外部菌落生長狀況之變異係數

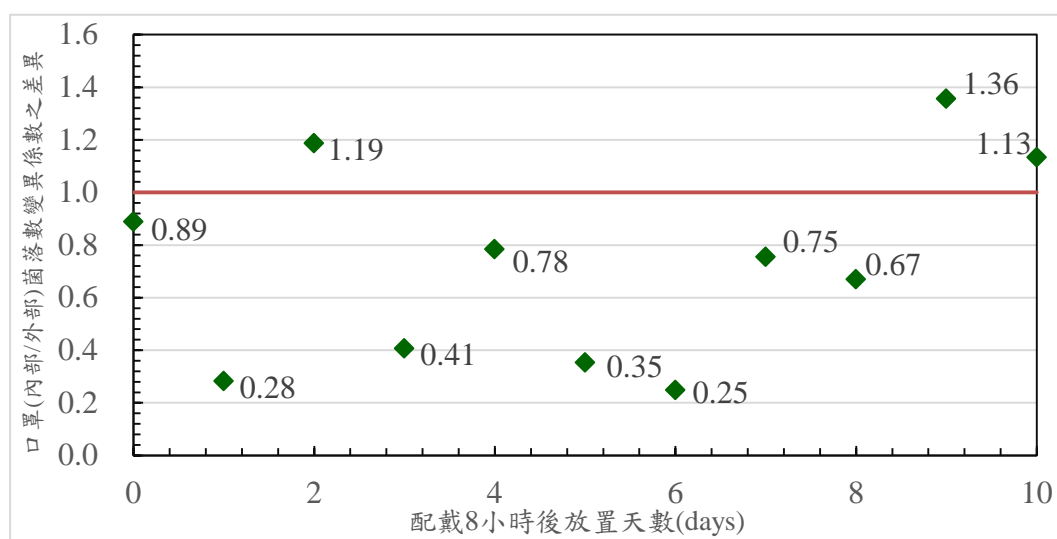


圖-10 口罩內外部菌落生長變異係數之比值

#### 4-2 口罩經 UVC-LED 消毒殺菌可安全再使用的照射時間

##### (一) UVC-LED 對口罩外部表面菌落之消毒效果

有關消毒、淨化或殺菌評估方式，常用的有兩種表示方法，其一為殺菌百分比(%)，另一為殺菌對數值(KL)，分別說明如下：

## 1. 殺菌百分比(%)

口罩表面殺菌率之定義與計算，如下：

$$\text{殺菌率}(\%) = \frac{[\text{照射前菌落數}(\text{CFU}/\text{cm}^2) - \text{照射後菌落數}(\text{CFU}/\text{cm}^2)]}{\text{照射前菌落數}(\text{CFU}/\text{cm}^2)} \times 100 \quad (-1)$$

其中：照射前之菌落數(CFU/cm<sup>2</sup>)指未照射 UVC-LED 之背景值，而照射後之菌落數(CFU/cm<sup>2</sup>)則為經 UVC-LED 照射後之試驗值。

2. 殺菌對數值( $K_L$ )

殺菌對數值( $K_L$ )就是將照射前、後菌落數取對數之後相減所得到的數值。假設照射前細菌數量為 $X_0$ ，照射後細菌數量為 $X_t$ ，則：

$$\text{殺(減)菌對數}(K_L) = \log X_0 - \log X_t = \log \frac{X_0}{X_t} \quad (-2)$$

$$\text{殺(減)菌率}(\%) = [1 - 10^{-K_L}] \times 100 \quad (-3)$$

$$\text{殺(減)菌對數}(K_L) = -\log[1 - \text{殺(減)菌率}(\%)] \quad (-4)$$

因此，利用公式(-2)~(-4)可得知，1 log 相當於 90%的殺菌率，可以使細菌減少 10 倍；2 log 相當於 99%的殺菌率，減少細菌 100 倍；3 log 相當於 99.9%的殺菌率，也就是小數點後面多一個 9，減少細菌 1,000 倍；4 log 相當於 99.99%的殺菌率，減少細菌 1 萬倍；5 log 相當於 99.999%的殺菌率，減少細菌 10 萬倍，餘此類推。

## 3. 安全再使用所需照射時間(t)

由於口罩材質為織布，表面並非光滑、平整，故對於表面上的細菌存在一定的遮蔽效應，不若光滑平整表面，有利於 UVC-LED 的照射。因此，在口罩的消毒殺菌上，並非追求無菌的零檢出狀態，而是要求達 90%以上的殺菌率即可。換言之，口罩表面要達 90%的殺菌率，UVC-LED 必須照射多久才能達成，即定義為「安全再使用所需照射時間(t)(T90)」，如下：

$$\text{安全再使用所需照射時間 } t(\text{sec}) = \text{殺菌率達 } 90\% \text{ 以上所需之照射時間} \quad (-5)$$

表-6 為口罩外部照射 UVC-LED 前後之菌落數(CFU)試驗結果彙整表，圖-11 則為其對應之不同照射時間之殺菌率(%)。由圖中可清楚得知，照射 60 秒與 90 秒的時間，均無法達到 90%的殺菌率要求而無法滿足 T90，至少要 T90=120 秒以上左右才可達到 90%的殺菌率。

表-6 口罩外部照射 UVC-LED 前後之菌落數彙整表

口罩外部(正面)				
照射時間 (S)	照射前菌落數 (CFU)	照射後菌落數 (CFU)	殺菌率 (%)	殺菌對數值 (K <sub>L</sub> )
60	21.344	6.375	70.132	0.525
90	33.531	4.875	85.461	0.837
120	42.900	3.800	91.142	1.053
150	31.467	3.300	89.513	0.979

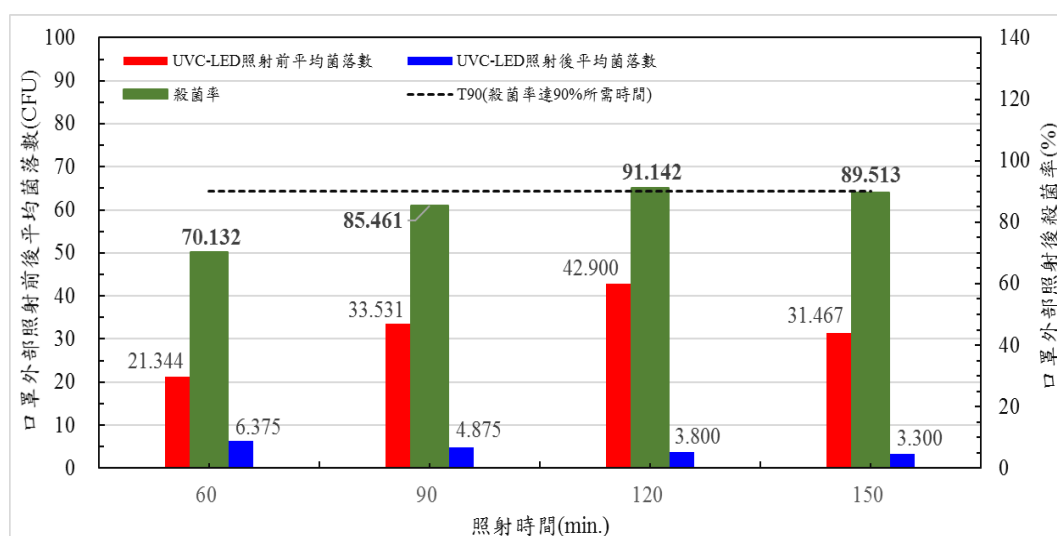


圖-11 口罩外部經 UVC-LED 不同照射時間後之菌落數與殺菌率

## (二) UVC-LED 對口罩內部表面菌落之消毒效果

表-7 為口罩內部照射 UVC-LED 前後之菌落數(CFU)試驗結果彙整表，圖-12 則為其對應之不同照射時間之殺菌率(%)。由圖中可清楚得知，無論照射 60 秒、90 秒、120 秒或 150 秒的時間，均無法達到 T90 的要求，顯示口罩內部較為潮濕的環境，要達成 T90 的 90% 殺菌率，照射時間應更長或照射劑量須更高才能達成。

表-7 口罩內部照射 UVC-LED 前後之菌落數彙整表

口罩外部(正面)				
照射時間 (S)	照射前菌落數 (CFU)	照射後菌落數 (CFU)	殺菌率 (%)	殺菌對數值 (K <sub>L</sub> )
60	113.906	17.969	84.225	0.802
90	120.781	46.938	61.138	0.410
120	181.767	47.300	73.978	0.585
150	204.200	36.267	82.239	0.751



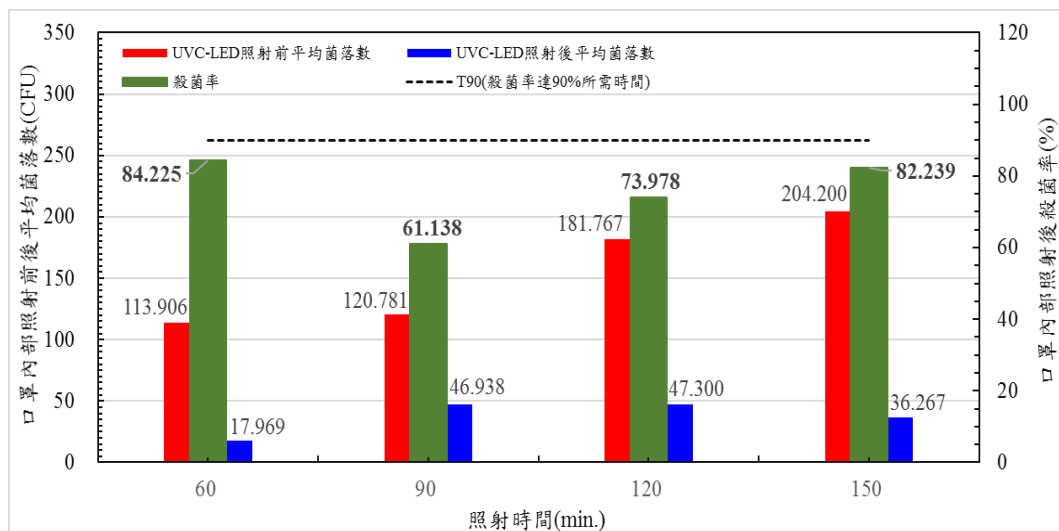


圖-12 口罩內部經 UVC-LED 不同照射時間後之菌落數與殺菌率

## 五、結論

本文進行醫療口罩表面菌落特性與 UVC-LED 消毒再利用之研究，在有限的口罩樣本數下，每個口罩使用 8 小時，以超音波震盪法的方式，配置 9 公分的 TSA 培養基，檢測口罩內層(親水)、外層(疏水)的總菌數，初步得知：

- (一) 口罩內部表面菌落數遠高於口罩外部表面，差異可達 20 倍。顯示內層親水織布更容易吸附自己鼻腔與口腔所排放的細菌，可降低污染物的逸散。反之，外層疏水的織布，較不容易沾染細菌，降低被鼻腔吸入的可能性。
- (二) 口罩內部表面菌落數雖遠高於口罩外部表面，但由其變異係數較小的觀點，顯示口罩內部來自於測試者呼吸所形成的表面菌落數的變化相對穩定於口罩外部表面來自於外界之菌落。
- (三) 使用過的口罩在自然通風靜置無消毒的狀況下，口罩外部之菌落成持續成長情形，而口罩內部至第 10 天仍能檢出菌落數，此顯示菌落存活天數可能比紙張、衛生紙、銅(例如錢幣)、紙箱、木材、木板、衣服、不鏽鋼、塑膠(PP)、玻璃、紙鈔等為久。換言之，可安全再使用的間隔天數可能需要超過 10 天甚至更久。

- (四) 無論口罩內層或外層菌落數之檢測結果，其試驗值均可落在 95% 信賴水準的上、下限(U95CI、L95CI)之間，顯示超音波震盪法是一個口罩表面菌可行的檢測方法。
- (五) 一般而言，UVC-LED 對於光滑表面的殺菌相當快速，通常在 1cm 的照射距離內，可於 30 秒或更短的時間內達 90% 以上的殺菌率。然而，織布口罩表面並非光滑且存在孔隙空間，讓細菌有躲藏或遮蔽效應，故為重複使用的安全起見，建議能均勻照射 3 分鐘。

## 參考文獻

1. 劉姿妤、蕭乃華，醫療口罩表面菌落特性與 UVC-LED 消毒再利用之研究，實務專題研究成果報告書，110 年度明志科技大學環境與安全衛生工程系，新北市。

## 徵稿啟事

- 一、本會會訊提供會員及專家學者發表環境領域新知、技術與專業經驗等。
- 二、專題稿件以環境相關理論與實務、環境法規、環境保護理念之論述為原則，採技術報導或論文等撰寫形式皆可，文長以 8000 字以內為原則，所附圖表或照片應清晰，稿件禁止以公司集體智慧，有著作權、業主版權疑問或抄襲複製等情事，以免觸法。
- 三、會訊以雙月刊週期出版，出版日期為奇數月 10 日，投稿稿件須於出版日之 15 日以前，以電子檔案寄(送)抵公會。
- 四、專題稿件稿酬之文字單價為每字新台幣 2 元，原創照片與圖表單價為每幀新台幣 500 元，每篇稿酬以新台幣 12,000 元為上限；特殊專文之稿酬另案處理。
- 五、本會負有以下權利與義務：(一)專題稿件之審閱。(二)提供審閱意見請撰稿者修改或回覆。(三)決定專題稿件刊登與否。專題稿件之審閱及審閱意見之提供，必要時得請相關專長之專家學者擔任。
- 六、會訊為專業交流之發佈管道。具名撰稿者刊登之稿件內容，不代表本會的意見或立場。具名撰稿者應遵守智慧財產權等相關法令，以及無條件負擔因其稿件內容刊登所衍生之責任。

各公會會員大會、理監事會會議紀錄

中華民國環境工程技師公會全國聯合會

中華民國環境工程技師公會全國聯合會

第 10 屆第 9 次理監事聯席會議紀錄

- 壹、時間：中華民國 111 年 10 月 22 日上午 11 時
- 貳、地點：本會會議室(台北市大同區長安西路 342 號 4 樓之 1)
- 參、出席人員：理事— 楊基振、林玉青(視訊)、高信福、姚宗岳、  
張天益、范綱智、黃啓明、周奮興、徐永郎、  
王凱中、曾寶山、林永欽、許甫豪  
監事— 林威安(視訊)、王朝民、蕭友琳、黃義雄
- 肆、缺席人員：(無)
- 伍、請假人員：理事—林清洲、范振國  
監事—劉劍輝
- 陸、列席人員：(無)
- 柒、主持人：楊理事長基振
- 捌、記錄：歐諾宣
- 玖、報告事項：

一、第 10 屆第 8 次理監事會提案決議執行情形

提案 1	
案由	111 年 1-6 月收支決算表(如附件一)提請理事會審議、監事會監察。
決議	照案通過
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 2	
案由	增訂「技師執行水污染簽證業務查核作業規範」執行辦法第二條第 3 項條文。
決議	修正後通過
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查



## 二、工作報告：

## 1. 會議（參閱下表）

日期	出席者	召開單位	會議名稱
111 年 8 月 19 日	楊理事長基振	新北市政府環境保護局	111 年上半年環境工程技師簽證案件缺失積點第 2 階段審查會議
111 年 9 月 8 日	林常務監事威安	行政院環境保護署	「水污染防治措施及檢測申報管理辦理」第 70 條之 3、第 70 條之 5、第 70 條之 8 修正草案研商會

2. 水污核章件數：111 年共 310 件(截至 9 月 30 日止)

3. 第 10 屆第 3 次會員代表大會已於 111 年 8 月 27 日假臺大醫院國際會議中心 401 廳（台北市徐州路 2 號）舉辦完成，出席 40 人，委託 5 人。

4. 第 10 屆第 10 次理監事會原訂於 112 年 1 月 28 日，恰逢春節，改期 112 年 1 月 14 日。

## 壹拾、討論提案

提案 1· 提案人：理事長

案由：111 年 1-9 月收支決算表(如附件一)提請理事會審議、監事會監察。

決議：照案通過。

提案 2· 提案人：理事長

案由：112 年度預算表(如附件二) 提請理事會審議、監事會監察。

決議：照案通過。

提案 3· 提案人：理事長

案由：112 年度工作計畫(如附件三)提請理事會審議、監事會監察。

決議：照案通過。

提案 4· 提案人：理事會

案由：第 10 屆第 3 次會員代表大會原提案人黃啓明技師，連署人王朝民技師之提案「建議會員代表大會出席者能補貼出席費及交通費，或是採發放紀念品方式辦理，以鼓勵會員踴躍參與」，提請討論。

說明：茲因會員代表亦為台灣省環境工程技師公會（下稱省公會）之會員，通常也在同一天舉辦，即出席費及交通補助已於省公會會員大會時領取，為避免重複請領，會員代表大會不再給予出席費及交通補助。惟為體恤及鼓勵會員代表出席會議，是否能發放紀念品予出席者？

決議：1. 由全聯會支付會員代表之交通補助，惟因全聯會會員代表亦為省公會會員，故會員代表不得向省公會重複請領。

2. 發放紀念品或禮券乙事，交由黃理事啓明規劃，並於下次會員大會前提出。

壹拾壹、散會

台灣省環境工程技師公會

## 台灣省環境工程技師公會

## 第 12 屆第 6 次理監事聯席會議記錄

壹、地點：本會會議室(台北市大同區長安西路 342 號 4 樓之 1)

貳、時間：中華民國 111 年 10 月 22 日上午 10 時

參、出席人員：理事—楊基振、張天益、高信福、黃義雄、王志遠、  
許甫豪、范綱智、王凱中、陳俊明、徐永郎、  
黃啓明、周奮興、曾寶山、廖寶玫

監事—林威安(視訊)、姚宗岳、吳昭宏、吳慶龍

肆、缺席人員：(無)

伍、請假人員：理事—劉劍輝

監事—林清洲

陸、列席人員：(無)

柒、主持人：楊理事長基振

捌、記錄：歐諾宣

玖、報告事項

## (一) 第 12 屆第 5 次理監事會提案決議執行情形

提案 1	
案由	110 年度收支決算表、資產負債表及基金收支表修正，提請審議。
決議	照案通過
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 2	
案由	111 年度 1 月至 6 月經費收支提請審議。
決議	照案通過
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 3	
案由	新入會、退會會員名冊提請理事會審核。
決議	照案通過
內政部備查	無意見
工程會意見	針對○○○技師入會資格需釐清

提案 4	
案由	工程會專家學者推薦名冊提請理事會審核。
決議	照案通過
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 5	
案由	中華民國環境工程學會年會活動贊助之事宜，提請討論。
決議	出席理事表決超過半數同意贊助 5 萬元
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 6	
案由	111 年度會員大會相關籌辦事宜提請討論。
決議	照說明通過
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
臨時動議 提案 1	
案由	本會大額提款方式提請討論。
決議	依辦法辦理
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查

(二) 會員繳費紀錄——截至 111 年 09 月 30 日止，繳交 111 年度常年會費者 600 人。

(三) 工作報告：

1. 專案計畫

(1) 「110 年度桃園市水污染防治專業技術審查計畫開口合約」

委託單位	桃園市政府環境保護局		
計畫主持人	黃啓明		
合約金額(含稅)	收入(未稅)	支出(未稅)	
2,585,000 元	228,476 元	209,059 元	
日期	內容		
1110728	第 4 期審查費入帳		
1110812	第 4 期審查費出帳，本案結。		

## (2) 「111 年度桃園市水污染防治許可管制計畫」

委託單位	台灣曼寧工程顧問股份有限公司
合約金額	2,000,000 元(含稅)
截至 9/30 已結案 33 件。	

## (3) 「111 年桃園市固定源空氣污染管制計畫」

委託單位	台灣曼寧工程顧問股份有限公司
合約金額	1,000,000 元(含稅)
截至 9/30 已結案 4 件。	

## 2. 各委員會工作報告

	日期	委託/召開/ 來函單位	事由	說明
審查	1110712	臺南市政府 水利局	水質超標輔導改善事宜 (聖禾大飯店、大安婦幼醫院及到三南奧特萊斯股份有限公司)	黃理事義雄出席
	1110714	臺南市政府 水利局	「遠雄建設事業股份有限公司-永康區市政段 195 地號店舖、集合住宅新建工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110714	臺南市政府 水利局	「永龍建設股份有限公司-北區仁愛段 76-1 地號集合住宅新建工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110721	金門國家公園 管理處	「金門縣金城鎮歐厝村段 195 地號新建住宅工程」污水接管設計案	高常務理事信福協審
	1110721	金門國家公園 管理處	「金門縣金湖鎮瓊林段 713 地號新建工程」污水接管設計案	高常務理事信福協審
	1110722	新北市政府 水利局	「貴子坑溪河川環境營造計畫委託規劃設計及監造技術服務」細部設計報告(第二標)預審會議	林監事清洲協審
	1110722	臺南市政府 水利局	「宇成建築開發有限公司-北區仁愛段 560、564-3、563-4...等 19 筆集合住宅新建工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審



	日期	委託/召開/ 來函單位	事由	說明
審查	1110722	臺南市政府 水利局	「大任建築開發有限公司-善化區成功段 142、145 地號等 2 筆店鋪、集合住宅新建工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110722	臺南市政府 水利局	「華友聯建設有限公司-南區大山段 51 地號等 1 筆集合住宅新建工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110722	臺南市政府 水利局	「泰廣建設有限公司-善化區茄拔段一小段 1312、1314-34 地號等 2 筆集合住宅新建工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110722	臺南市政府 水利局	「陶喜開發建設有限公司-永康區永和段 664 地號等 1 筆集合住宅新建工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110805	金門國家公 園管理處	「金門縣金湖鎮瓊林段 713 地號」污水接管設計修正案	高常務理事信福協審
	1110811	臺南市政府 水利局	「清景麟地產有限公司、豐鉅地產股份有限公司-東區新都心段 52-2、52-3、54 地號等 3 筆店鋪、集合住宅新建工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110815	臺南市政府 水利局	昕暉建設股份有限公司-永康區南工段 162、163、164、164-1、164-2、165、166、423 地號等 8 筆店鋪、集合住宅新建工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110817	金門國家公 園管理處	金門縣金湖鎮中五劃段 238 地號」新建農舍污水接管竣工申請案	高常務理事信福協審
	1110829	金門國家公 園管理處	金門縣金湖鎮中五劃段 238 地號農舍」污水接管竣工審查意見回覆案	高常務理事信福協審

	日期	委託/召開/ 來函單位	事由	說明
審查	1110831	臺南市政府 水利局	「國軍退除役官兵輔導委員會臺南榮譽國民之家-永康區永興段 968 地號等 23 筆網寮北營區新建工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110831	臺南市政府 水利局	「海富建設股份有限公司-新營區北紙段 153、178-1、180-1、181-1 地號等 4 筆集合住宅新建工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110906	金門國家公 園管理處	「金門縣金湖鎮中四劃段 175 地號集合住宅」新建工程污水接管設計案	高常務理事信福協審
	1110915	臺南市政府 水利局	「國家住宅及都市更新中心-新市區新北段 128 地號等 1 筆臺南市新市區新市安居社會住宅新建統包工程」專用下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110921	金門國家公 園管理處	「金門縣金湖鎮中四劃段 175 地號集合住宅」污水接管設計修正案	高常務理事信福協審
	1110922	臺南市政府 水利局	水質超標輔導改善事宜(禧榕軒大飯店、大潤發流通事業股份有限公司<台南分公司>)	黃理事義雄出席
	1110929	臺南市政府 水利局	「台南市下水污泥處理再利用計畫示範驗證工程」竣工履約期程審查會議	黃理事義雄協審
	1111007	金門國家公 園管理處	「金門縣金湖鎮中四劃段 175 地號集合住宅」新建工程修正後污水接管設計案	高常務理事信福協審
	1111017	新北市政府 水利局	「貴子坑溪河川環境營造計畫委託規劃設計及監造技術服務」細部設計報告(第二標)修正後第一次審查工作會議	林監事清洲協審

	日期	委託/召開/ 來函單位	事由	說明
法規	1110908	行政院環境 保護署	「水污染防治措施及檢 測申報管理辦法」第 70 條之 3、第 70 條之 5、第 70 條之 8 修正草案研商會	林常務監事威安 出席
紀律	1110723	行政院公共 工程委員會	環境工程科技師○○○ 違失懲戒案	姚主任委員宗岳、 張委員天益、 林委員清洲、 吳委員慶龍、 楊理事長基振
	1110806	行政院公共 工程委員會	環境工程科技師○○○ 違失懲戒案	姚主任委員宗岳、 張委員天益、 林委員清洲、 吳委員昭宏、 吳委員慶龍、 楊理事長基振
	1110923	行政院公共 工程委員會	環境工程科技師○○○ 違失懲戒案	姚主任委員宗岳、 張委員天益、 林委員清洲、 吳委員昭宏、 吳委員慶龍、 楊理事長基振
學術	1110907	11109-10 會訊	淺談電鍍廢水處理-李中光教授	
			以化學法去除廢水中硼離子之研究與建議- 李中光教授、王悅慈碩士、李庭慧碩士、 林正敏副理	
其他	1111005	台灣省 環境工程 技師公會	廢氣處理設計參數及公 式彙編(修訂一版)」手冊 章節架構討論會議(視訊)	楊理事長基 振、林玉青技 師、 彭文良技師、 范振國技師、 林永欽技師、 黃啟展技師、 粘愷峻技師

### 3. 會務

- (1) 第 12 屆第 2 次會員大會已於 111 年 8 月 27 日臺大醫院國際會議中心順利舉辦完成，實到 290 人(親自出席 229 人，委託出席 61 人)。  
本次特邀行政院環境保護署蔡副署長鴻德擔任大會貴賓，並邀請中華民國環境工程學會-林理事長正芳及中華台北亞太工程師暨國際工程師監督委員會-王執行長祥驩擔任大會演講人。
- (2) 第 12 屆第 7 次理監事會原訂於 112 年 1 月 28 日，恰逢春節，改期 112 年 1 月 14 日。

## 壹拾、提案討論

提案 1·

提案人：理事長

案由：111 年度 1 月至 9 月經費收支提請審議。

說明：如附件一(1 月至 9 月收支決算表、資產負債表及現金出納表)。

決議：照案通過。

提案 2·

提案人：理事長

案由：112 年度預算提請審議。

說明：如附件二(112 年度預算表)。

決議：修正後通過。

提案 3·

提案人：理事長

案由：112 年度工作計畫(含委員會，如附件三)提請理事會研議。

決議：照案通過。

提案 4·

提案人：審查委員會

案由：新入會會員名冊提請理事會審核。

說明：新入會共 7 名(執業技師 3 名、營造業技師 4 名)，如新入會會員名冊卷宗檔。

決議：照案通過。

提案 5·

提案人：理事會

案由：第 12 屆第 2 次會員大會原提案人黃啟展技師，連署人黃啟明技師之提案「出席公會會員大會之車馬補助費，目前未達實際票價，近年因通膨高漲，建議提高車馬補助費。」提案說明：「1. 搭車者，以實際高鐵票價足額補助(或方便不找零，十位數直接進位至百元)。2. 開車者，建議亦依高鐵票價方案補助。」，提請討論。

決議：1. 搭乘大眾運輸工具者，補助金額依票價×2，四捨五入取至百位數。

2. 為提倡節能減碳，建議多搭乘大眾運輸工具，故自行開車者補助金額依台鐵自強號票價×2，四捨五入取至百位數。

## 壹拾壹、散會