

陸、討論

一、大肚溪口底棲生物監測期中報告之比較

為比較本調查區域與過去大肚溪口調查計畫之間的差異性，將東海大學執行計畫：109 年大肚溪口野生動物保護區底棲環境調查監測計畫進行採集地點與調查結果的比對。由於本調查第六區與該報告調查地點樣區 12 重複。兩者比較結果如表 36。本調查結果與該報告相異的底質參數，以下分項說明：

（一）有機質：

本調查區域數值明顯高 3-5 倍差距。推測原因為叢生互花米草會攔截泥沙，造成區域內的碎屑及有機顆粒大量堆積。

（二）氧化還原電位：

本調查區域的電位數值範圍極大（8.8-188.7mV）。推測原因為海岸溼地底質容易受到鄰近周遭環境變動所影響，例如移除互花米草工程強度高低等。

（三）粒徑：

本調查區域底質以細砂到中等粗砂為主。由於鄰近堤防內周圍地勢環境相對較高的水泥通行便道，底質容易受到人為干擾的影響，造成較大顆粒的底質堆積及底質分布不均勻的現象發生。

表 36、本調查與 109 年大肚溪口野生動物保護區底棲環境調查監測計畫調查結果比較表

底質環境參數 /調查單位與時間	東海大學， 2020.12	東海大學， 2021.03	本調查。 2021.02-07
有機質含量 (%)	1.14	1.46	3.94-6.19
含水量 (%)	23.85	25.25	21.94-39.01
酸鹼值 (pH)	7.39	7.28	6.90-7.37
氧化還原電位 (ORP, mv)	174.40	197.03	8.8-188.7
粒徑 (mm)	0.09	0.08	0.14-0.30
粒度分類	極細砂	極細砂	細砂-中等粗砂
篩選係數	1.52	1.34	0.94-1.29

藉由採集底質所記錄到的大型底棲無脊椎動物以環節動物多毛綱為主要優勢物種。兩計畫的調查結果呈現相同的物種有 4 科 4 種，包含絲異鬚蟲屬、稚齒蟲屬、腺帶刺沙蠶及革囊星蟲。相異的物種有：吻沙蠶屬、阿曼吉蟲 (*Armandia intermedia*)、錐稚蟲屬 (*Aonides* sp.)、錐蟲屬 (*Leitoscoloplos* sp.)、日本角吻沙蠶、白腺纓鰓蟲、螯龍介科。合併兩計畫之調查結果得知，本區域多毛綱動物之物種數，至少包含 9 科 10 種，具有豐富的生物多樣性。

二、互花米草移除對於底質環境參數的影響

原則上，海岸溼地潮間帶的底質顆粒平均粒徑越小，代表可以保留越高比例的粉泥/黏土，以及能夠作為供給底棲動物食物來源的碎屑及有機物質，並且不會因為大顆粒底質堆疊之間，產成的空隙讓這些粉泥/黏土及有機物質被流動潮水帶走而逐漸佚失 (Pearson and Rosenberg, 1978)。本區藉由底質環境參數

的複相關分析結果得知，有機質、含水量及粉泥/黏土含量呈現正相關，符合上述傳統濕地生態學的基本概念。

由於叢生的互花米草明顯影響水體流動及懸浮有機質顆粒沈積，甚至影響底質顆粒分佈的均勻度，因此選擇以有機質、粉泥/黏土含量及篩選係數作為健康底質環境與否的評估指標工具。互花米草移除的預計期程分為三個時期：(1) 未動工時期、(2) 移除地上莖時期以及(3) 移除地下莖時期。由於移除的時期分散在不同的月份，為了統一說明，並且比較各時期的底質環境變動狀態，下面就依照各分區進行討論。

(一) 第四區：

(1) 未動工移除時期（2 月及 3 月）：

本區的底質參數平均數值大多皆為最低。分級為佳到中等佳的狀態，這證明該區底質粒徑一致性較高，且分布狀態相對均勻。有機質及粉泥/黏土含量相對較低。調查結果說明第四區的底質顆粒分佈均勻，叢生的互花米草對於水體流動性及攔截底質粉泥/黏土及有機質堆積的影響相對最低，也是三區中底質狀態最佳的區域。

(2) 移除地上莖時期（4 月及 5 月）：

移除地上莖之後，仍維持在底質顆粒分佈均勻，佳到中等佳的分級。不過篩選係數降低，推測可能是地上莖移除後，漲退潮的水體不再受到阻礙，流動狀態更加順暢，因此造成底質顆粒的分布均勻度提高。但就整體底質環境來說，移除地上莖對於第四區底質環境的影響性相對較低。

(3) 移除地下莖時期（6 月及 7 月）：

有機質、粉泥/黏土含量、酸鹼值、粒徑及篩選係數皆

有增加趨勢，其中以酸鹼度及篩選係數變化相對明顯。底質經過移除工程的翻攪，酸鹼度大幅增加，原先的底質顆粒分布狀態又重新改變，由分布均勻（佳到中等佳）轉變為雜亂不均（中等佳到不佳）的分級狀態。

（二）第五區

（1）未動工移除時期（2月及3月）：

有機質及粉泥黏土含量是三區中最高。篩選係數變化差異較大，底質顆粒分佈比較不均勻。由於本區位於堤防邊的高潮線，且具有相對較大面積的叢生互花米草，攔截漲退潮水體中懸浮泥沙顆粒的作用最強，造成流動水體中夾帶的碎屑有機質堆積。叢生互花米草攔截及沈降微小粒徑的懸浮顆粒能力相對最強，對堤防旁高潮線的底質環境造成的影響最高。因此，第五區的互花米草對於水體流動性及攔截底質粉泥黏土及有機質堆積的影響性相對最高。

（2）移除地上莖時期（4月）：

有機質、粉泥/黏土含量及篩選係數呈現減少，推測原因與第四區相同，漲退潮的水體在地上莖移除後不再受到阻礙，流動順暢造成底質顆粒的分布均勻度明顯提高。

（3）移除地下莖時期（5月、6月及7月）：

底質翻攪同樣造成篩選係數增加，顆粒組成改變，分級狀態轉變為雜亂不均（不佳狀態）。

（三）第六區

（1）未動工移除時期（2月3月及4月）：

底質粒徑最大（細砂及中等粗砂），篩選係數最高，代

表顆粒分佈相對最不均勻，環境分級上是三區中最差的狀態（不佳）。第六區的底質本區鄰近堤防內的水泥通行便道，周圍地勢環境相對較高。底質狀態容易受到鄰近人工環境影響，造成大顆粒的底質堆積及分布不均勻的現象發生。

（2）移除地上莖時期（5月）：

底質環境變化趨勢依舊與前兩區相同，有機質、粉泥/黏土含量及篩選係數降低的現象。儘管顆粒分佈不均勻的狀態依舊沒有變動（不佳），但是篩選係數降低，仍可推測互花米草移除，有助於水體流動改善底質顆粒分佈的狀態。

（3）移除地下莖時期（6月及7月）：

相較前兩個分區，底質環境的變化大多相同。有機質、粉泥/黏土含量、粒徑及篩選係數皆有相對增加，由於本區的底質顆粒於未動工時期就呈現不佳的分級，即便經過攪動底泥過後，依然維持原先的雜亂不均的狀態。

三、互花米草移除對於大型底棲無脊椎動物群聚組成的影響

三個調查分區的主要優勢動物皆為環節動物門多毛綱、節肢動物門甲殼類及軟體動物門螺貝類等大型底棲無脊椎動物。由於移除地下莖過程中以大型機具進行1-2公尺深度底質的破壞性挖掘，相對於移除地上莖的過程，僅止於人工踩踏於表層數十公分的底質，對於大型底棲無脊椎動物的影響性相對明顯強烈。藉由本調查的豐富度、多樣性指數及優勢度指數分析結果來看，移除過程強度的高低，皆會影響到區域內大多數的底棲無脊椎動物數量或是群聚組成的改變。

以下依照動物分類進行各移除時期進行現況討論。

（一）環節動物：

(1).未動工移除時期：

三區的主要優勢物種為絲異鬚蟲、稚齒蟲屬及腺帶刺沙蠶，由於第五區及第六區的前三大優勢物種相同及數量相近，群聚組成的相似度較為接近。

(2).移除地上莖時期：

移除過後，第四區與第六區的優勢物種數量明顯降低數倍（例如絲異鬚蟲由 212 ± 64 減少到 61 ± 35 隻/平方公尺）或是少數物種消失（稚齒蟲屬及吻沙蠶屬）。唯獨第五區的優勢物種與數量維持穩定且變化不大的狀態。推測原因為儘管施工必定會造成上述的現象發生，但該區施工強度相對較弱，移除地上莖過程對於底質的影響性較低。

(3).移除地下莖時期：

三區的優勢物種數量同時呈現大幅降低的現象（例如絲異鬚蟲由 62 ± 16 減少到 11 ± 9 隻/平方公尺），但是第四區與第六區的物種數則是顯著性的減少，例如第四區記錄只剩 3 種，第六區只剩 2 種。由於底質的翻攪，對於生活在表層環境且移動能力相對較低的多毛綱生物來說，是一種破壞性及干擾性十分強烈的過程。因此在歷經人工踩踏後的移除地上莖之後，移除地下莖工程對於環節動物的生存影響性相對更高。

(二) 節肢動物

(1).未動工移除時期：

第五區及第六區的優勢物種皆有軟甲綱的大眼蟹科大眼蟹屬及跳蝦科，群聚組成的相似度較為接近。

(2). 移除地上莖時期：

各分區的大眼蟹屬數量明顯增加數倍 (3 ± 3 增加到 80 ± 44 隻/平方公尺)。由於大眼蟹於底質表層的活動能力及範圍相對較強，面對移除地上莖的人工踩踏可以迅速移動躲避。此外，移除工程結束後，可供活動的無植被覆蓋空間大量增加，順暢的漲退潮水體流動造成底質有機質顆粒分布均勻度明顯提高，吸引更多的大眼蟹屬在此地棲息。

(3). 移除地下莖時期：

第五區與第六區的大眼蟹屬數量略為減少，第四區則是增加。兩種分區間的差異性推測仍與底質環境顆粒分佈狀態有關。移除地下莖的工程強度較高，挖掘的面積較大，影響底質攪動的狀態更明顯。大眼蟹屬的移動躲避能力相對不足，勢必造成數量上的降低。此外，本時期的第五區及第六區底質均勻度分級明顯降級，說明漲退潮的水體流動不足以改善此工程所造成的底質分佈均勻度來吸引大眼蟹屬。而第四區底質顆粒分佈均勻度儘管稍微變低，但與上時期同屬中等佳狀態，表示漲退潮的水體流動仍可改善該區的底質環境狀態，再次吸引大眼蟹屬在此活動聚集。

(三) 軟體動物

(1). 未動工移除時期：

各分區內的軟體動物種類不多，多以船型薄殼蛤、花瓣櫻蛤及小灰玉螺等優勢物種來為主。

(2). 移除地上莖時期：

以船型薄殼蛤來看，第四區與第五區的數量明顯增加數

倍，但是第六區卻記錄歸零。第六區的情況較為特殊，底質環境分級原本就是不佳狀態，且數量原本就不高（ 20 ± 6 隻/平方公尺），經過人工踩踏的割除地上莖工程之後，就再無記錄。第四區及第五區則是相反，即便物種數及數量在工程過後會有所降低，但是寬闊無植被的空間以及流暢的漲退潮水流改善底質顆粒分佈，並沒有讓原本就是中等佳的底質環境劣化。因此吸引更多的數量更多的軟體動物，例如船型薄殼蛤、花瓣櫻蛤及環文蛤來此棲息。

（3）.移除地下莖時期：

原先第四區與第五區的優勢物種：船型薄殼蛤在此時期記錄歸零，而環文蛤及花瓣櫻蛤的數量則是以倍數減少及消失。推測原因為船型薄殼蛤自身殼體相對薄脆，在高破壞性強度工程的影響之下，容易受到傷害而在調查記錄中消失。由於螺貝類的移動能力遠低於大眼蟹類，顯示螺貝類受到的影響絕對來得更大。

四、水質檢測與大肚溪口底棲生物監測期中報告之比較

為比較本調查區域與過去大肚溪口調查計畫之間的差異性，將東海大學執行計畫：109 年大肚溪口野生動物保護區底棲環境調查監測計畫（東海大學，2020）進行採集地點與調查結果的比對。由於本調查第五區，位於該報告水質調查地點樣區 W10 之下游段，W10 的田尾排水 109 年 12 月數值之化學需氧量 60.5 (mg/L)，參考「106-107 年度大肚溪口國家級重要濕地基礎調查」，田尾排水之化學需氧量亦曾有高於國家級重要濕地灌溉排水標準之記錄，顯示該排水在漲潮期間之污染源，可能導致退潮後蓄留於第五區施工產生低窪之潮池中，因而導

致在 5-2 樣站的 5 月數值超標，第五區整體的化學需氧量數值偏高，合理推測該排水有潛在之污染源持續排入此區域中。

柒、結論

一、施工前所需的環境評估指標選擇與建立

以底質參數的有機質與粉泥/黏土含量及篩選係數作為的環境評估指標。第四區施工前的有機質含量及篩選係數的數值最低，底質的顆粒分佈狀態也最佳。評估叢生互花米草對於第四區底質環境的影響相對較低，建議優先移除順序為：第六區>第五區>第四區。

二、移除互花米草後對於底質環境之影響

（一）移除地上莖

移除後所產生的寬闊空間，漲退潮的水體流動順暢，造成底質有機物質堆積現象降低，而且顆粒分布均勻度明顯提高。因此，以人工方式移除地上莖，底質環境能夠比較迅速回復健康狀態。

（二）移除地下莖

底質經過機械大規模的翻攪過後，重新改變原先的底質顆粒分布狀態。即便在移除過後一個月，流動順暢的漲退潮水體，依然無法改善顆粒分布雜亂不均的狀態。因此，以機械方式移除地下莖反而造成底質環境狀態的劣化。

三、移除互花米草後對於大型底棲無脊椎動物群聚之影響

（一）環節動物

多毛綱棲息在表層底質環境且移動能力較低，無論是人工移除地上莖或是機械移除地下莖，皆會造成環節動物的物種數及個體數量明顯降低及群聚結構改變，甚至造成部分物種消失。

（二）節肢動物

大眼蟹可以迅速移動躲避來面對人工移除地上莖的干擾，底質環境亦可在干擾後 1-2 個月內回復到健康狀態，甚至吸引更多大眼蟹來此聚集。相反的，以機械移除地下莖後，漲退潮水體流動是否能夠改善底質環境狀態，對於螃蟹等節肢動物的數量具有決定性的影響。

（三）軟體動物

施工前的底質環境分級狀態，已經決定移除工程對於軟體動物的影響高低。例如移除地上莖後，第四區及第五區的潮水流有效改善底質顆粒分佈狀態，反而吸引數量更多的軟體動物。而原本狀態不佳的第六區，則是物種全部消失。移除地下莖後，底質環境更加劣化且部分物種數量減少或消失。

三、水質調查

本區屬於泥灘地，因此在施工移除互花米草過程，移除區域底質相當鬆軟，調查人員行走踩陷導致泥灘之底質與水體擠壓產生人為擾動，使懸浮固體數值短期飆升，在無擾動下即可回復；但值得注意在田尾排水之化學需氧量數值經常性偏高，不論是「106-107 年度大肚溪口國家級重要濕地基礎調查」或「109 年大肚溪口野生動物保護區底棲環境調查監測計畫」均有此一現象，應加強污染源控管與溯源查緝，以維護溼地環境避免水質惡化。

捌、未來移除工作建議事項

臺灣西海岸的互花米草拓展速度增加，陸化面積逐漸增大，移除的工作勢必加緊腳步。但是政府資源與經費有限，無法進行全面性且大規模的移除工作。因此，移除前之首要任務必須再三確認移除面積內之植物是否為互花米草，以避免錯誤移除當地原生植物；而在移除區域與範圍的選擇上，必須做出優先處理的順序，一般而言，除了以地理資訊系統的層疊套圖模式，優先選擇互花米草面積大且密度高的區域外，亦需要結合該區域施工前至少一季（3 個月）可供資料統計分析的水文現狀、環境調查（包含水質與底質）以及鳥類和大型底棲動物無脊椎動物群聚組成（包含環節動物多毛類、軟體動物及節肢動物等）的初步分析結果。從中選擇與建立日後施工時期內的水文及環境狀態評估指標與生態物種保育策略，以便日後作為施工過程變化的參考與對照。

水質監測部分，由於移除地區均為潮間帶環境，每日會有兩次的漲退潮，由於本次採樣位於施工移除區域，移除區域底質相當鬆軟導致採樣困難，懸浮固體數值易受人為擾動影響而飆高，因此建議水質調查地點以流入移除區域之排水系統為佳，考量潮水漲退可能會帶走部分汙染物質，因此在排水口之滿潮及乾潮時段採樣水體，將有助於了解灘地沉積物良劣趨勢。

（一）施工前環境影響評估指標與區域生物名錄的選擇與建立

由於叢生互花米草會攔截漲退潮中的水體顆粒，進而影響底質環境，因此建議選擇以底質參數的有機質與粉泥/黏土含量（懸浮顆粒堆積）及篩選係數（底質顆粒分佈狀態）作為環境評估指標。以本次調查結果為例，證明這些參數不但能夠作為

施工前所需的指標，亦能提供縣市政府作為選擇移除區域施工先後順序的參考。

以保育生物學來說，當環境面臨到生態危機時，可以選擇當地的某一物種作為旗艦物種，代表環境的特徵以及受威脅的原因。溼地上容易觀察且數量豐富的小型底棲蟹類，不但能夠作為代表該區域環境特徵的優勢物種，本身亦為深受互花米草威脅的大型底棲無脊椎動物。以本調查為例，藉由生物名錄的建立，建議選擇大型底棲無脊椎動物作為評估底質環境變化的指標生物。

（二）施工中的底質環境與底棲生態評估

經由過去的經驗得知，假若沒有進行全面性的地下莖移除，互花米草強韌的再生與拓展能力會造成移除工作的前功盡棄。以本調查結果得知，以人工方式移除地上莖（僅表層擾動），底質環境能夠比較迅速回復健康狀態。但以機械方式移除地下莖（表層與底層同時擾動），反而造成底質環境狀態的劣化。造成此現象之差異在於施工方式對於環境干擾的強度。

此外，無論是以人工或是機械方式進行底層地下莖的移除，除了會對底質環境造成嚴重的負面影響之外，更會間接造成大型底棲無脊椎動物的數量減少，物種數降低或消失，進而改變整個濕地的底棲動物群聚結構。因此，評估與調查移除完畢後底質環境健康狀態與動物群聚結構的復原時間，才是整個移除互花米草計畫的主要目標。

（三）施工後的底質環境與底棲生態評估

以本調查為例，移除地下莖之後，底質環境在 1-2 個月的時間內仍然處於環境劣化的狀態。因此，底質環境復原的時間需要至少兩個月以上的時間。

大多數底棲無脊椎動物的生殖季節以春、夏兩季為主，且生活史較短，壽命介於數個月到一年不等的時間。由於灘地上移動能力較低且數量豐富的多毛類環節動物與螺貝類軟體動物，移除地下莖後數量大量減少，即便 2 個月後仍然沒有恢復。而移動力最強的大眼蟹屬能夠在 2 個月後恢復到原來的數量，甚至更高。綜合底質環境與生物資料的結果，建議於地下莖移除工程結束後（一般工程結束為夏末秋初），仍然需要持續針對該區域進行底棲動物調查與底質調查，工程結束後的調查期程，建議包含大多數底棲無脊椎動物的生殖季節（春、夏兩季），探究底質環境與底棲生態的恢復時間。

因工程移除期程與生態調查監測期程重疊度低，且生態調查監測期程屬於跨年度計畫，因此建議生態調查工作以另案辦理為佳，調查區域則包含已移除區域、待移除區域及鄰近區域，其中鄰近地區作為對照組。另外，移除區域因挖土機具整理過泥灘地，底質極度鬆軟易陷至人員腰部以上，建議設置相關標示、標語來告示勿入以免發生危險（針對其他環境調查需求之人員），而從事互花米草移除之生態調查監測工作，更須特別要求調查人員安全性規劃措施或設置相關戒護人員，以免發生憾事。