

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

水生植物於不同流速下之形態變異與抗流適應 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 100-2410-H-216-011-
執行期間：100年08月01日至101年07月31日
執行單位：中華大學景觀建築學系

計畫主持人：陳湘媛

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：陳莉茹

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 101 年 10 月 08 日

中文摘要：近年來生態設計理念已經成為工程界的共識，亦有許多生態資材之相關研究，然而在植物材料的研究方面，對於適生物種之判定仍侷限於綠覆率與成活率之高低，而少有從植物之抗流能力（flow resistance）出發，針對植生對不同流速產生之抗流機制之探討，或者關於植生對不同流速之河床結構之適應性的實驗。本研究係從水工模型出發，探討硬莖水生植物在面對不同流速環境時的抗流反應。

在本次研究中，係以台灣原生種—柳葉水蓼為材料，探討其在不同流速環境時的抗流機制反應，以與彈性莖葉植物的抗流反應相比較。研究發現柳葉水蓼的生長速度確實受到流速之抑制，當流速持續增加後，柳葉水蓼之生長速度變緩，平均直徑變小，其原本挺立生長的硬質莖逐漸轉變成水平莖，呈水平形態的莖葉除可增加抗流彈性外，也讓水蓼有更大的機會接觸水面而得以在節間發根生長，增加其生存的機會，此外，本實驗同時發現水生的柳葉水蓼所呈現的繁殖方式亦與陸生者有所不同，實驗期間在水槽種植的柳葉水蓼係以不定芽的營養生長方式繁衍、擴大族群，至於陸生的水蓼則常見以開花方式做生殖生長方式繁衍。

中文關鍵詞：抗流機制、模擬水道、水生植物、生態工程

英文摘要：Ecological design concept has been the consensus in practical engineering fields recently. However, most studies stressed the vegetation coverage and survival ratio of certain vegetation. There has been relatively little field evidences to verify the specifically on the effects of vegetation on channel and flow resistance mechanisms. The present study is planned to follow the preliminary work carried out in a simulated channel to examine how stiff stem aquatic macrophytes respond to different channel flow velocities in terms of changes in their flow resistance mechanisms.

The native species *Hygrophila salicifolia* (Vahl) Nees was chosen as the planting material for examining the different responses of flow resistance between stiff stem and flexible stem aquatic macrophytes. Experimental data showed that the growth rate of *Hygrophila salicifolia* (Vahl) Nees was inhibited by flow rates. Not only the growth rate, diameter of this planting material decreased but also the erect

stems became parallel stems as flow velocities increased. The parallel stem pattern increased the flow resistance ability of water plants as well as the survival rate with higher chances to touch water for inducing the growth of adventitious buds. By the way, the way of vegetative propagation of *Hygrophila salicifolia* (Vahl) Nees between water environment and terrestrial environment was different in this experiment. Study results showed the *Hygrophila salicifolia* (Vahl) Nees propagates itself by adventitious buds when planted in water channels. It was different from most of the terrestrial *Hygrophila salicifolia* (Vahl) Nees, which usually propagates itself by reproductive growth. This research is anticipated to verify the suitable planting materials or precursors for riverbanks and, additionally, to clarify the roles and limitations of applying aquatic macrophytes in ecological engineering.

英文關鍵詞： flow resistance mechanism, simulated channel, aquatic macrophytes, ecological engineering.

模擬水道中硬莖水生植物之抗流機制研究

Flow resistance mechanisms of stiff stem aquatic macrophytes in a simulated channel

陳湘媛¹、林鎮洋²

1. 中華大學景觀建築學系助理教授
2. 國立台北科技大學土木系教授

摘要

近年來生態設計理念已經成為工程界的共識，亦有許多生態資材之相關研究，然而在植物材料的研究方面，對於適生物種之判定仍侷限於綠覆率與成活率之高低，而少有從植物之抗流能力（flow resistance）出發，針對植生對不同流速產生之抗流機制之探討，或者關於植生對不同流速之河床結構之適應性的實驗。本研究係從水工模型出發，探討硬莖水生植物在面對不同流速環境時的抗流反應。

在本次研究中，係以台灣原生種—柳葉水蓴衣為材料，探討其在不同流速環境時的抗流機制反應，以與彈性莖葉植物的抗流反應相比較。研究發現柳葉水蓴衣的生長速度確實受到流速之抑制，當流速持續增加後，柳葉水蓴衣之生長速度變緩，平均直徑變小，其原本挺立生長的硬質莖逐漸轉變成水平莖，呈水平形態的莖葉除可增加抗流彈性外，也讓水蓴衣有更大的機會接觸水面而得以在節間發根生長，增加其生存的機會，此外，本實驗同時發現水生的柳葉水蓴衣所呈現的繁殖方式亦與陸生者有所不同，實驗期間在水槽種植的柳葉水蓴衣係以不定芽的營養生長方式繁衍、擴大族群，至於陸生的水蓴衣則常見以開花方式做生殖生長方式繁衍。

關鍵詞：抗流機制、模擬水道、水生植物、生態工程

ABSTRACT

Ecological design concept has been the consensus in practical engineering fields recently. However, most studies stressed the vegetation coverage and survival ratio of certain vegetation. There has been relatively little field evidences to verify the specifically on the effects of vegetation on channel and flow resistance mechanisms. The present study is planned to follow the preliminary work carried out in a simulated channel to examine how stiff stem aquatic macrophytes respond to different channel flow velocities in terms of changes in their flow resistance mechanisms.

The native species *Hygrophila salicifolia* (Vahl) Nees was chosen as the planting material for examining the different responses of flow resistance between stiff stem and flexible stem aquatic macrophytes. Experimental data showed that the growth rate of *Hygrophila salicifolia* (Vahl) Nees was inhibited by flow rates. Not only the growth rate, diameter of this planting material decreased but also the erect stems became parallel stems as flow velocities increased. The parallel stem

pattern increased the flow resistance ability of water plants as well as the survival rate with higher chances to touch water for inducing the growth of adventitious buds. By the way, the way of vegetative propagation of *Hygrophila salicifolia* (Vahl) Nees between water environment and terrestrial environment was different in this experiment. Study results showed the *Hygrophila salicifolia* (Vahl) Nees propagates itself by adventitious buds when planted in water channels. It was different from most of the terrestrial *Hygrophila salicifolia* (Vahl) Nees, which usually propagates itself by reproductive growth.

This research is anticipated to verify the suitable planting materials or precursors for riverbanks and, additionally, to clarify the roles and limitations of applying aquatic macrophytes in ecological engineering.

Keywords: flow resistance mechanism, simulated channel, aquatic macrophytes, ecological engineering.

I、研究動機與目的

本研究為水生植物抗流機制的延續性實驗，在前三年的研究中，採用的植物材料先是有著彈性莖葉的水芹菜，以單植與簇群模式分別探究其面對不同流速環境時的生理調節機制，發現無論是單植或簇群模式栽植，水芹菜在面臨較高流速時，均會以減少莖葉之斷面積但是增加維管束密度的方式作為生理機制的調整，但是簇群的栽植方式可以增加水芹菜的抗流耐度。此外，水芹菜會以降低平均根長的方式讓自己對土壤的錨定作用降低，以便爭取離開不良棲地尋找更適合生長的環境的機會。

然而，不同物種間是否會呈現不同的抗流反應？因此，本研究第三年選用了台灣原生的柳葉水蓴衣為實驗材料，探討其面對不同流速之抗流機制變化，以與水芹菜比較是否在抗流機制上呈現種間差異。結果發現硬莖的柳葉水蓴衣確實會以不同的方式因應高流速的環境，在極度缺乏本土性研究的生態資材方面，本研究將可進一步確認生態設計中所謂的「適性植生種類」或「先驅植物種」，而研究成果亦可做為日後河道植生工程之設計依據。

II、文獻回顧

2.1 植物抗流之相關研究

雖然傳統上的認知為植物會阻礙流量，但是植被卻也在河川環境上具備了基本的生態功能，因此，河川工程師在流動河川環境傾向於保留自然河岸與洪氾植被 (Järvelä, 2002)。雖然學者很早即認為水生植物主宰了其盤據的水道之水力 (hydraulic)，但對植被於河道的抗流作用之相關研究卻很少見。因此，非常缺乏對於植生河川流速之模式研究，特別是植生自由分佈的河道 (Green, 2004)。許多的實證研究是在模擬流場中以塑膠葉片或沉水性植物進行流速測試，少有操作於自然河道或者先行試種水生植物，再以不同流速之水流測試植物之生理反應機制者 (Green, 2004; Järvelä, 2004)。

Lewis 提出河道抗力係由兩種因素組成：經由摩擦力產生的能量損失與河道內流速的變化作用 (Lewis, 1997)，後者在植被河道中特別明顯，植物莖的尺寸形成的抗力會導致植株內的低速與植株外的高速這種大幅度的流速變化，不同莖葉尺寸將形成不同的流速。歷來的研究已證明植被的存在確實影響河流的流速，利用植物做為河岸緩衝帶的相關研究包括 Dabney 等人提出的論點，認為緩衝帶可降低沖蝕、攔截沉澱物，以及經由緩慢逕流移除污染物質，即使緩衝帶小於 1m 寬也能攔截許多沉澱物 (Dabney, 2006)。

相關研究同時發現，淡水水生植物在流動水流中遭遇潛在的阻力時，必須在形態上加以

適應以避免機械性的傷害與連根拔起。部分物種自短莖上長出小而硬的簇葉狀 (rosette)，以便抵抗強的阻力與加強裸露湖岸的力量。其他物種則遺傳了流線型的長線狀葉與莖。大部分的物種無關乎生長的形式，會形成很具彈性的枝芽以讓其順著水流並降低直接暴露於水流的表面積 (Sand-Jensen, 2003)。

2.2. 植生對邊坡穩定性的相關研究

Greenway 提出植物將其根部錨定土壤中以支撐植物的地上部分，因此對土壤基質產生強化作用 (Greenway, 1987)；一些研究也發現，植被的根系型態也對河道之沖蝕作用有影響 (Anderson *et al.*, 2004)。但是植物是如何影響河道抗力？其機制為何？卻仍有很大的研究空間。

Puijalon 在 2005 年的研究發現有些水生植物在面臨較高流速時會在型態上改變，例如降低錨定的強度，以便增加其散佈的能力 (Puijalon *et al.*, 2005)。Simon and Collison 在「河岸植被對邊坡穩定之水力與水文影響之量化研究」中，則以四種樹種與兩種控制沖蝕的草種來量化其對河岸邊坡的水文與水力影響。研究發現，樹根依其種類可加強土壤強度達 2-8 kPa (kPa 為壓力單位, 1 工程大氣壓= 98.0665 kPa)，草根則為 6-18 kPa。研究同時發現土壤主要的強度來自每一單位面積許多細根的張力而非一些大卻較弱的粗根，此與傳統的想法相反。對喬木而言，根系面積比根的強度還要重要。所有的研究物種其強度均集中在表土 50 cm 深度內，草種更是在 20~ 30 cm 內，這種強度分佈的深度非常重要，因為大多數的強化作用集中在此一小於 20 cm 的根墊中，河岸的崩塌可能發生在此一根墊下方，降低或消去了根群對河岸強度產生的貢獻 (Simon and Collison, 2002)。

2.3 關於生態渠道之研究

國內關於生態渠道之研究包括楊紹洋等 (2006) 針對植生護岸和粗糙渠床之渠槽試驗，以人造草皮模擬護岸植生，分析渠道在不同植物種類和高度時的水理特性；林鎮洋等 (2006) 以實驗水槽養殖指標魚種，嘗試建立本土性的水理參數 (如雷諾數與福祿數等)，據以模擬變遷的水域生態環境，以預測溪流完工後的生態環境變化趨勢。呂珍謀等 (2008) 針對河道植生群型態對水流之影響的研究，嘗試建立一水流通過植生群之水深平均二維水理模式，並探討植生群型態對水理特性之影響。但在其研究中植物本身的抗流機制未被考量，而研究以竹子模擬植株，亦無法代表一般植物之生理與型態特性。

III、實驗設備與研究方法

3.1 實驗土壤來源及環境概況

本實驗 I 所使用之栽培土壤，係來自曾進行生態工法整治之大屯溪，經過多年的復育時間，其施工區段植被生長已經穩定；實驗 II、III 所使用之栽培土壤則採自於苗栗縣南庄鄉蓬萊溪中上游段，本區段河川因在封溪護漁區段內 (資料來源：台灣河川復育網站)，人為擾動程度較低，因此選為實驗土壤，可模擬實際河川生長環境。

3.2 植物選種

3.2.1 植物材料選種依據：

- 1、為配合水槽尺寸，植物材料尺寸需低於 30 cm。
- 2、植物生長勢強、易於繁殖、多年生草本、分佈範圍廣。
- 3、屬本土或馴化種，對本土生態環境無威脅性。
- 4、低人工維護，天然之環境可自然生長。
- 5、根系需有良好之固土定砂能力。

3.2.2 植栽選定

柳葉水蓼衣：爵床科(Acanthaceae) 學名：*Hygrophila salicifolia* (Vahl) Nees.

- 1、植物分佈：全台灣溼地均可見。
- 2、植物生理特性：一年或多年生草本，高可達 80 cm，莖略為木質化，方形，有稜溝。葉對生，寬線形或倒披針形，長 3~8cm，寬 0.7~1.5 cm，有柄，近全緣，雙面略覆軟毛。花腋生，淡紫色唇型；可以扦插法無性繁殖（黃增泉等，1978；台北植物園資訊網，2010）。

3.3 實驗設備

3.3.1 實驗水道模型設備

- 1、水槽：1cm 厚可調式壓克力水槽兩組，長 200cm，寬 30cm，高 40cm。
- 2、1HP，0.75KW 變頻馬達 2 具。
- 3、變頻式馬達控速器：型號 N₂-201-H，220V，適用 1 HP、0.75KW 馬達，三相式。
- 4、植栽槽木箱 8 個，長 45cm，寬 29cm，高 5cm，板厚 1cm，以樹脂與鐵釘膠著固定。
- 5、三尺長 40w 雙管植物燈兩盞。
- 6、定時器 Timer，（設定照光時間 6:30am~ 17:30pm）。
- 7、溫度計。
- 8、水槽平均坡度設定在 2.5 % 以下，模擬緩流型河岸之坡度。

3.3.2 實驗操作

3.3.2.1 栽培土壤粒徑分析

本實驗 I 所採集的大屯溪土壤，經由粒徑分析，約 90 % 的土壤可通過 4 號篩，但有超過 90 % 的土壤粒徑大於 0.15 mm，粉粒成份（粒徑 < 0.05 mm）不足 15 %；至於實驗 II、III 蓬萊溪的土壤，100 % 可通過 4 號篩，88.8 % 的土壤粒徑大於 0.15 mm，粉粒成份（粒徑 < 0.05 mm）也低於 15 %，依據美國農部法之土壤質地分級，兩次採集之土壤質地均屬於砂土，而且是粗砂土性質的土壤，保水能力不足，正是典型的河川土壤性質。

3.3.2.2 植物栽種計劃

- 1、依植物材料現況將柳葉水蓼衣大葉片去除後剪為 2~3 節的扦插芽，於栽種前測量每株柳葉水蓼衣扦插芽之鮮重，再測量個別柳葉水蓼衣之株高、直徑與綠葉數。
- 2、每組植栽槽種植 3 株一簇共 48 株柳葉水蓼衣，採品字型種植，初期兩槽固定相同流速，約為 4.0 ~10.0 cms⁻¹，主要讓水槽呈現潮濕狀態，3~4 周柳葉水蓼衣生長勢穩定後每四周調整實驗組變頻馬達轉速一次，控制組之轉速則保持固定。
- 3、植栽槽覆土深度 5 cm。

3.3.2.3 實驗採收

- 1、採收後測量個別柳葉水蓼衣之高度及根長、最高綠芽之直徑、全株鮮重、節間數量。
- 2、於攝氏 105 °C、24 小時烘乾後測其實驗後總乾重。
- 3、烘乾後將地上部與根部分開，量測地上部乾重與根部之乾重。
- 4、測量實驗組與控制組之沖刷土壤量，亦是以攝氏 105 °C、24 小時烘乾後測其乾重。

IV、結果與討論

本次研究的水蓼衣實驗共有三組，其中實驗 I、II 相距二日展開，分別在中華大學與北科大實驗室執行。實驗 I 自 2009 年 8 月 10 日至 2010 年 6 月 12 日，控制組流速均在 4.5 cms⁻¹

以下，實驗組流速範圍為 $3.0 \text{ cms}^{-1} \sim 17.1 \text{ cms}^{-1}$ ；實驗 II 自 2009 年 8 月 12 日至 2010 年 4 月 30 日，控制組流速在 $10.4 \sim 14.6 \text{ cms}^{-1}$ 間，實驗組流速範圍為 $11.2 \text{ cms}^{-1} \sim 40.4 \text{ cms}^{-1}$ ；實驗 III 自 2010 年 11 月 27 日至 2011 年 9 月 8 日結束，控制組流速在 $2.3 \sim 8.7 \text{ cms}^{-1}$ 之間，實驗組流速從 $5.8 \text{ cms}^{-1} \sim 20.5 \text{ cms}^{-1}$ 。所有的實驗在實驗組與控制組之成活率相差超過 10% 以上時結束並採收，由於三次實驗期間先後均曾感染介殼蟲害，以無毒農藥「葉潔 Globrite (Potassium salts of fatty acids 49%)」稀釋 1/50 濃度噴灑控制。

4.1 硬莖水生植物於不同流速下之生長速度比較

在實驗 I、III 中，柳葉水蓼在實驗組流速超過 16.0 cms^{-1} 之後，與控制組的當周綠葉數差距逐漸拉大；實驗 II 中則是在實驗組流速超過 20.0 cms^{-1} 之後，與控制組的當周綠葉數開始產生差距，但是最後實驗結束時卻呈現控制組綠葉數略低於實驗組的情形，與實驗 I、III 結果不同（圖 1、2、3）。在累計黃葉數的統計方面，實驗 I、III 的結果同樣為實驗組在最後採收時其累計黃葉數高於控制組，但是實驗 II 卻是控制組黃葉數高於實驗組的情形，主要原因在於實驗 II 在第 10 周時即出現介殼蟲感染，在流速穩定的控制組中快速全面感染，而實驗組因流速持續增加，降低了介殼蟲移動傳播的機會，所以其綠葉數與累計黃葉數的變化與實驗 I、III 有所不同（圖 4、5、6）。

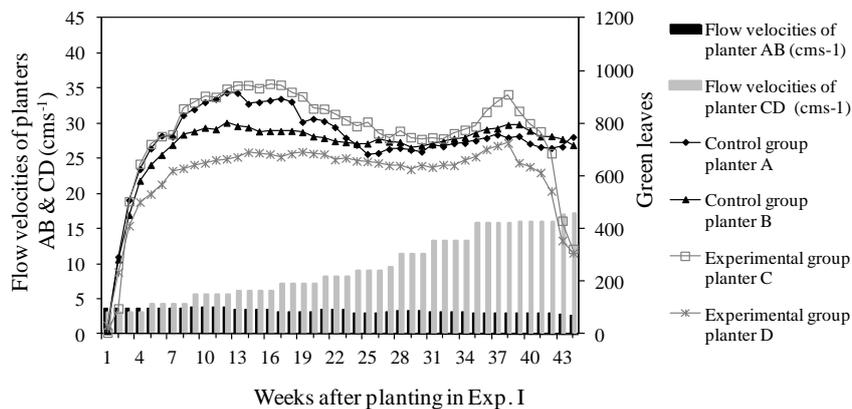


圖 1、柳葉水蓼實驗 I 當周綠葉數變化

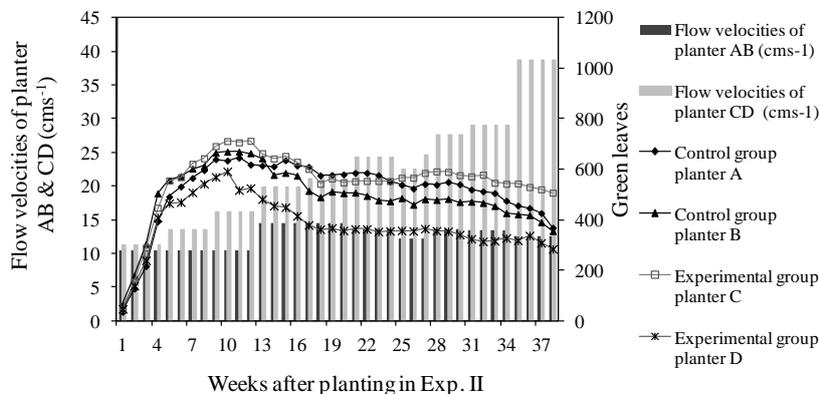


圖 2、柳葉水蓼實驗 II 當周綠葉數變化

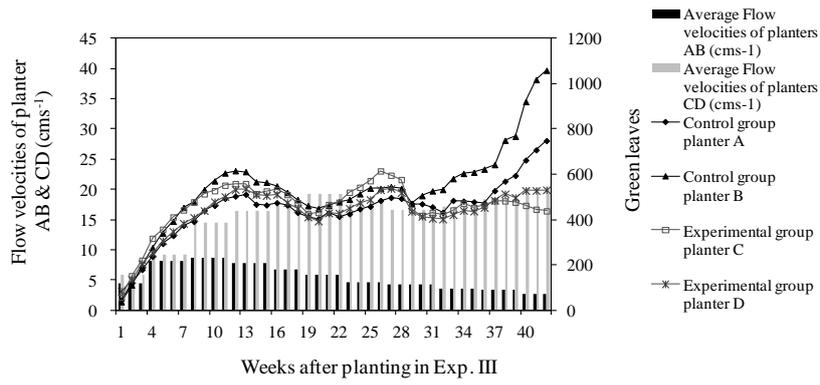


圖 3、柳葉水蓑衣實驗 III 當周綠葉數變化

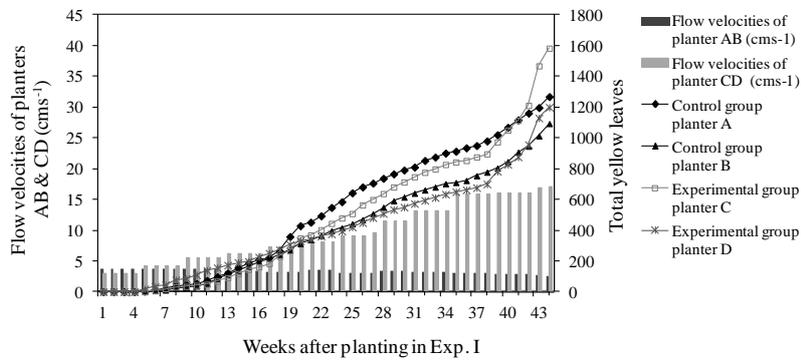


圖 4、柳葉水蓑衣實驗 I 累計黃葉數變化

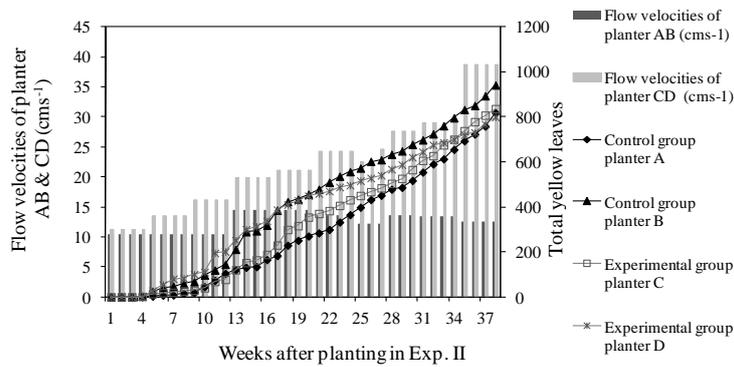


圖 5、柳葉水蓑衣實驗 II 累計黃葉數變化

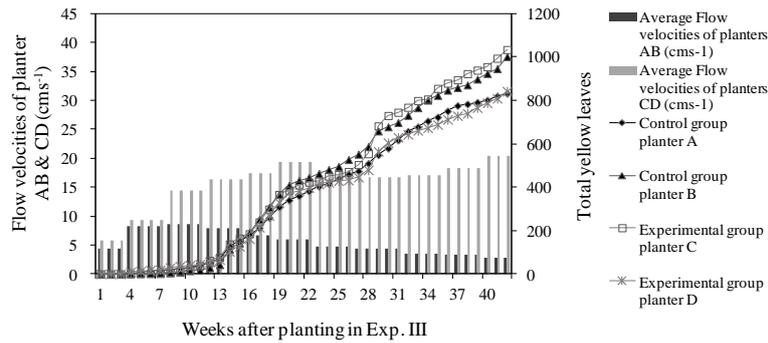


圖 6、柳葉水蓼衣實驗 III 累計黃葉數變化

4.2 硬莖水生植物於不同流速下之乾鮮重比較

三組實驗在實驗前控制組與實驗組之總鮮重相差均在 4 % 以內，實驗結束後流速穩定的控制組總鮮重均超過實驗組；在平均鮮重部分，實驗 I、III 之平均鮮重亦是控制組大於實驗組，至於實驗 II 因蟲害嚴重，則呈現控制組低於實驗組的情形（表 1、2）。

表 1、柳葉水蓼衣實驗前後總鮮重變化

	Fresh wt. before Exp. I (g)	Fresh wt. after Exp. I (g)	Fresh wt. before Exp. II (g)	Fresh wt. after Exp. II (g)	Fresh wt. before Exp. III (g)	Fresh wt. after Exp. III (g)
Control group	237.51	348.92	167.94	209.87	85.39	314.70
Experimental group	236.00	223.63	162.96	186.57	82.24	187.42

表 2、柳葉水蓼衣實驗前後平均鮮重變化

	Average fresh wt. of Exp. I (g)	Average fresh wt. of Exp. II (g)	Average fresh wt. of Exp. III (g)
Control group	3.88	3.38	4.25
Experimental group	3.55	4.55	2.97

在乾重分析方面，實驗後控制組之總乾重均高於實驗組，但平均乾重在實驗 II 仍有實驗組略高的情形，實驗 I、III 則維持控制組高於實驗組的趨勢（表 3、4）。

從乾鮮重之分析結果，顯示流速影響硬莖水生植物的生物量，而此與先期彈性莖葉水芹菜的實驗結果相同，說明無論是硬莖的柳葉水蓼衣或彈性莖葉的水芹菜，其生物量均受到流速之影響。

表 3、柳葉水蓼衣實驗後總乾重比較

	Dry wt. after Exp. I	Dry wt. after Exp. II	Dry wt. after Exp. III
Control group	58.73	36.30	36.14
Experimental group	35.23	28.06	23.01

表 4、柳葉水蓼衣實驗後平均乾重比較

	Average dry wt. after Exp. I	Average dry wt. after Exp. II	Average dry wt. after Exp. III
Control group	0.653	0.586	0.488
Experimental group	0.559	0.684	0.365

4.3 硬莖水生植物於不同流速下之形態變化

4.3.1 不同流速下柳葉水蓼衣之株高變化

在柳葉水蓼衣的實驗中，實驗 I、II 之實驗組平均株高略高於控制組，但實驗 III 的實驗結果卻是實驗組低於控制組，並且僅為控制組之 74.6%，後者的實驗結果與水芹菜的實驗相仿，但是實驗 I、II 卻呈現相反的結果，並沒有一致的變化趨勢（表 5）。

表 5、柳葉水蓼衣實驗後平均株高比較

Experiment of <i>Hygrophila salicifolia</i> (Vahl) Nees	Average plant height in Exp. I	Average plant height in Exp. II	Average plant height in Exp. III
Control group	298.07	272.56	381.68
Experimental group	299.95	302.02	284.59

4.3.2 不同流速下柳葉水蓼衣之直徑變化

從表 6 分析中，可發現三組實驗之柳葉水蓼衣的直徑在實驗後實驗組之平均直徑均小於控制組，且呈現較陸生水蓼衣直徑較小的現象，顯示流速也會影響柳葉水蓼衣的直徑大小。

表 6、柳葉水蓼衣實驗前後平均直徑變化

Experiment of <i>Hygrophila salicifolia</i> (Vahl) Nees	Average diameter of Exp. I before Exp.	Average diameter of Exp. I after Exp.	Average diameter of Exp. II before Exp.	Average diameter of Exp. II after Exp.	Average diameter of Exp. III before Exp.	Average diameter of Exp. III after Exp.	Average diameter of terrestrial plant
Control group	4.43	2.10	4.06	2.25	2.89	2.58	3.745
Experimental group	4.59	2.04	3.85	2.16	2.85	2.45	
Ratio of experimental group vs. control group (%)	103.69	97.54	94.76	95.98	98.72	94.90	

由於株高的變化在實驗 I、II 與實驗 III 有不同的結果，然而平均直徑的分析，三組實驗結果卻又一致，初步研判原因可能有二：由於實驗 I、II 所選用的植物材料為成熟木質化的扦插芽，實驗 III 因受限材料取得困難，所選用者多為尚未完全木質化的扦插芽，而木質化的莖部抽芽後要水平化以降低流速衝擊，其莖部必須先長高變細才能水平化與呈現流線形狀（陳湘媛、林鎮洋，2010），所以實驗 I、II 的平均株高會比較高；其次則是實驗 II 的流速變化大，植株受到流速的衝擊反應為儘量讓植株呈流線形狀，才能提高存活的機會，所以在實驗 II 中的平均株高會有特別的表現。

4.3.3 不同流速下柳葉水蓼衣之斷面積變化

除了平均直徑產生變化，當進一步以 Image J 軟體分析實驗後柳葉水蓼衣的切片斷面積

時，同樣得到實驗組斷面積低於控制組的結果，而且水生的柳葉水蓼衣平均斷面積均低於陸生者（表 7）。在水芹菜的實驗中也曾發現相同的結果，說明無論是彈性莖葉的水芹菜或木質莖的柳葉水蓼衣，均以降低斷面積的形態變化來因應流速越來越大的不良生長環境。

表 7、柳葉水蓼衣實驗前後平均斷面積變化

Experiment of <i>Hygrophila salicifolia</i> (Vahl) <i>Nees</i>	Average section of Exp. I after Exp.	Average section of Exp. II after Exp.	Average section of Exp. III after Exp.	Average section of terrestrial plant
Control group	3.64	4.03	5.36	11.1106
Experimental group	3.35	3.73	4.84	
Ratio of experimental group vs. control group (%)	92.25	92.50	90.26	

4.3.4 不同流速下柳葉水蓼衣之根長變化

實驗 I、II 在採收後測得實驗組之平均根長高於控制組，差距從 23.08 ~ 70.59 % 不等，但實驗 III 卻是實驗組平均根長低於控制組 8.70 %（表 8）。實驗 II 中實驗組的流速範圍較實驗 I、III 大，採收後之成活率已降至 42.7 %，但存活下來的植株平均根長卻比控制組平均值大許多，並在槽底形成綿密的根網，與水芹菜實驗中植株降低根長的反應並不相同。

表 8、柳葉水蓼衣實驗後平均根長比較

Experiment of <i>Hygrophila salicifolia</i> (Vahl) <i>Nees</i>	Average root length in Exp. I	Average root length in Exp. II	Average root length in Exp. III
Control group	222.06	128.71	158.41
Experimental group	273.32	219.56	144.63

4.3.5 不同流速下柳葉水蓼衣之繁殖方式與水平莖數量變化

本實驗所採用之植物材料柳葉水蓼衣本身為木質莖，當種植於陸地上時，其植株多採直立型式生長，並以開花方式繁殖，但在本研究三組實驗中，即使種植達 40 周以上亦未曾見到柳葉水蓼衣開花，其繁殖方式改為不定芽的營養生長方式繁衍，為了讓不定芽發根，在實驗第十周以後會陸續出現植株水平生長的趨勢，以便其不定芽可以碰觸到水面，這種水平莖形成的平均數量，在流速逐漸調高的實驗組中要高於控制組。在實驗 II 中，因為實驗組的流速範圍較大，從 11.2 cms^{-1} ~ 40.4 cms^{-1} ，其水平莖的平均數量約為控制組的 1.82 倍，說明流速不但讓柳葉水蓼衣改變了繁殖的模式，也讓其改變了生長的形態（表 9）。

表 9、柳葉水蓼衣實驗後水平莖之平均數量比較

	Average parallel stems after Exp. I	Average parallel stems after Exp. II	Average parallel stems after Exp. III
Control group	0.91	0.68	1.15
Experimental group	1.19	1.24	1.21

根據 Manz 與 Westhoff 之研究，植物可能透過增加芽的長度以增加本身的彈性，或者因

增加芽的厚度而降低其個體之彈性 (Manz and Westhoff, 1988)，在本研究中柳葉水蓴衣則是透過水平莖葉之形成，讓其植株具有流線形狀，這樣的形態變異模式，可以讓植株在流速增加時可以有較大的抗流能力，同時避免植株被水流沖斷。

V、結論

從本研究結果中，可以歸納出硬莖的水生植物柳葉水蓴衣在面對不同流速變化時，在生長速度、生物量、植株形態上均會產生改變。在生長速度方面，柳葉水蓴衣各周的總綠葉數會因流速增加而受到抑制，總黃葉數則隨流速提高而增加；在生物量方面，流速變化大的實驗組總乾鮮重與平均乾鮮重普遍低於流速變化小的控制組，說明流速確實影響水生植物的生長速度。

在植株形態變化方面，木質化的柳葉水蓴衣在株高方面依扦插芽的成熟度有不同的反應，在成熟木質化的扦插芽部分，其植株因應流速變化會以增加株高的方式讓細長的莖部可以水平流線化，若是尚未完全木質化的嫩莖，其平均株高仍會受到流速的抑制。至於平均直徑與斷面積方面，實驗組的平均尺寸均小於控制組，但無論是控制組或實驗組，其直徑與斷面積均遠低於陸生的柳葉水蓴衣，說明水生植物的形態會因流速而改變。

在根長方面，雖然實驗 I、II 平均根長是實驗組高於控制組，實驗 III 則是控制組高於實驗組，但當進一步以株高與根長相比時卻發現，三組實驗的株高與根長比值均是控制組高於實驗組，與水芹菜的實驗結果相反，後者在三次實驗中呈現實驗組之株高比值大於控制組的結果，所以水芹菜是以降低根長的方式讓植株有機會在錨定降低的情形下，較容易離開高流速的不良環境而尋得更適合繁殖的環境 (陳湘媛、林鎮洋, 2010)，然而柳葉水蓴衣卻是加強錨定並讓植株成水平莖生長方式，以便不定芽能碰觸到水面後發根，增加更多存活的機會。原本在陸地上以開花方式繁殖的植株也因此改為不定芽的營養方式繁殖。

柳葉水蓴衣的反應是否可代表所有木質化水生植物？當寬葉的大安水蓴衣遇到高流速的水流環境時，其形態變化的趨勢與細葉的柳葉水蓴衣有無不同？這樣的種間差異還存在著許多值得進一步探討的空間，也是本計畫後續的研究方向。

VI、誌謝

本研究獲得國科會專題研究補助，研究編號 NSC 100-2410-H-216 -011，謹此誌謝。

VII、參考文獻

1. Järvelä J., "Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants," *Journal of Hydrology*, 269, 44-54 (2002).
2. Green, J.C., "Modelling flow resistance in vegetated streams: review and development of new theory," *Hydrological Processes*, 19(6):1245-1259 (2004).
3. Järvelä, J., *Flow Resistance in Environmental Channels: Focus on Vegetation*, Helsinki University of Technology Water Resources Publications, Finland, (2004).
4. Lewis, N.K., "Use of the Discharge-weighted Average Velocity in studies of the frictional energy loss of streamflow," *Earth Surface Processes and Landforms*, 22:329-336 (1997).
5. Dabney, S.M., Moore M.T. and Locke M.A., "Integrated Management of In-field, Edge-of-field, and After-field Buffers," *Journal of the American Water Resources Association*, 42(1):15-24 (2006).
6. Sand-Jensen, K., "Drag and reconfiguration of freshwater macrophytes," *Freshwater Biology*, 48:271-283 (2003).
7. Greenway, D.R. "Vegetation and Slope Stability," In: *Slope Stability*, M.G. Anderson and K.S. Richards (Editors), John Wiley and Sons Ltd, New York, New York, (1987).

8. Anderson, R.J., Bledsoe B.P. and Hession W.C., "Width of Streams and Rivers in Responsive to Vegetation, Bank Material, and Other Factors," *Journal of the American Water Resources Association*, **40**(5):1159-1172 (2004).
9. Puijalon S., Bornette G. and Sagnes P., "Adaptation to increasing hydraulic stress: morphology, hydrodynamics and fitness of two higher aquatic plant species," *Journal of Experimental Botany*, **56**(412): 777-786 (2005).
10. Simon, A. and Collison A.J.C., "Quantifying the Mechanical and Hydrologic Effects of Riparian Vegetation on Stream-Bank Stability," *Earth Surface Processes and Landforms*, **27**(5):527-546 (2002).
11. 楊紹洋、陳獻、邱金火、洪偉哲，「生態渠道水理特性之研究」，第十五屆水利工程研討會，第 H128-133 頁 (2006)。
12. 林鎮洋、陳彥璋，水庫集水區生態水工結構物設計參數之建立，經濟部水利署 (2006)
13. 呂珍謀、詹勳全、黃偉哲，「河道植生群型態對水流之影響」，中華水土保持學報，第 39 卷，第 1 期，第 95-107 頁 (2008)。
14. 台灣河川復育網站，http://trrn.wrap.gov.tw/index.php?option=com_content&view=frontpage.20090510.
15. 黃增泉等，「台灣植物誌第二版」，國立台灣大學植物學系，第 3 卷，第 1030 頁 (1998)。
16. 台北植物園資訊網，, 20100908.
17. 陳湘媛、林鎮洋，「模擬水道中水生植物抗流機制之種間差異研究」，第十九屆水利工程研討會，pp. 69-76 (2010)
18. Manz, D.H. and Westhoff D.R., "Numerical analysis of the effects of aquatic weeds on the performance of irrigation conveyance systems," *Canadian Journal of Civil Engineering*, **15**:1-13 (1988).

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/10/06

國科會補助計畫	計畫名稱: 水生植物於不同流速下之形態變異與抗流適應
	計畫主持人: 陳湘媛
	計畫編號: 100-2410-H-216-011- 學門領域: 景觀學
無研發成果推廣資料	

100 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：陳湘媛		計畫編號：100-2410-H-216-011-					
計畫名稱：水生植物於不同流速下之形態變異與抗流適應							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	0%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	0%		
		研討會論文	2	2	100%		
		專書	0	0	0%		
	專利	申請中件數	0	0	0%	件	
		已獲得件數	0	0	0%		
	技術移轉	件數	0	0	0%	件	
		權利金	0	0	0%	千元	
	參與計畫人力 （本國籍）	碩士生	1	1	24%	人次	
		博士生	0	0	0%		
博士後研究員		0	0	0%			
專任助理		0	0	0%			
國外	論文著作	期刊論文	1	1	100%	篇	已投稿, 正審查中
		研究報告/技術報告	0	0	0%		
		研討會論文	0	0	0%		
		專書	0	0	0%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	0%	件	
		已獲得件數	0	0	0%		
	技術移轉	件數	0	0	0%	件	
		權利金	0	0	0%	千元	
	參與計畫人力 （外國籍）	碩士生	0	0	0%	人次	
		博士生	0	0	0%		
博士後研究員		0	0	0%			
專任助理		0	0	0%			

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

近年來生態設計理念已成工程界的共識，亦有許多生態資材之相關研究，然而在植物材料的研究方面，對於適生物種之判定仍侷限於綠覆率與成活率之高低，而少有從植物之抗流能力出發，針對植生對不同流速產生之抗流機制之探討，或者關於植生對不同流速之河床結構之適應性的實驗。本研究係從水工模型出發，探討硬莖水生植物在面對不同流速環境時的抗流反應。

在本次研究中，係以台灣原生種—柳葉水蓴衣為材料，探討其在不同流速環境時的抗流機制反應，以與彈性莖葉植物的抗流反應相比較。研究發現柳葉水蓴衣的生長速度確實受到流速之抑制，當流速持續增加後，柳葉水蓴衣之生長速度變緩，平均直徑變小，其原本挺立生長的硬質莖逐漸轉變成水平莖，呈水平形態的莖葉除可增加抗流彈性外，也讓水蓴衣有更大的機會接觸水面而得以在節間發根生長，增加其生存的機會，此外，本實驗同時發現水生的柳葉水蓴衣所呈現的繁殖方式亦與陸生者有所不同，實驗期間在水槽種植的柳葉水蓴衣係以不定芽的營養生長方式繁衍、擴大族群，至於陸生的水蓴衣則常見以開花方式做生殖生長方式繁衍。本研究之成果除了確認適性植生種類外，亦可瞭解植物在生態工程上可扮演的角色與極限，未來可做為河道植生工程之設計依據。