

## 植栽渠道阻滯係數之研究

### The Study of Retardance Coefficient for Vegetated Channels

國立台北科技大學  
土木防災所  
副教授

陳彥璋\*  
Yen-Chang Chen

國立台北科技大學  
工程科技所 土木防災組  
研究生

高蘇白  
Su-Pai Kao

樹德科技大學  
休閒事業管理系  
助理教授

楊翰宗  
Han-Chung Yang

國立台北科技大學  
土木防災所  
教授

林鎮洋  
Jen-Yang Lin

#### 摘 要

植栽渠道或植生渠道係指邊坡與底床有植物的渠道。自然情況下的植栽渠道，通常係指在河岸、高灘地及主河道生長不同的陸生及水生植物的溪流等情形，而人工情形下的植栽渠道，則係指人工於全斷面或邊坡種植相關植物。植栽渠道因具有降低水溫、增加水生生物棲息地、污染控制等多種功能。因此，關於植栽渠道的各項設計應用方法日受重視。其中又以阻滯係數的選取，在渠道設計內為最基礎的要素。目前植栽渠道設計大多使用  $n$ -VR curve 做為植栽渠道阻滯係數推估方法。但是大部分植栽渠道研究都聚焦於陸生植物對於植栽渠道阻滯係數之影響，而未討論植栽為水生植物之情形。因此本研究首先藉由相關文獻探討分析植栽渠道阻滯係數的相關影響參數，並利用循環水槽及天然水生植物模擬植栽渠道，探討相關影響參數對阻滯係數之影響，並建立推求植栽渠道阻滯係數之方法。

**關鍵詞：**阻滯係數，水生植物。

#### ABSTRACT

The plants covered channel bottom or slope was called grass swale or vegetated channel. In the wild, the vegetated channel was growing terrestrial plants in the river bank or river high land and aquatic plants in the channel. In the artificial conditions, the vegetated channel was rearing choice plants at cross-section or in the river bank. Vegetated channel had multiple functions like reduce water temperature, increase habitat of aquatic organism and pollution control. Therefore, the researchers are pay attention to the application and design method of vegetated channel. The basically fundamental element is choice the

\*通訊作者，國立台北科技大學土木防災所副教授，10608 台北市忠孝東路三段 1 號，yenchen@ntut.edu.tw

retardance coefficient. Most designer of vegetated channel was use n-VR curve as retardance coefficient choice method. But, most research of n-VR curve for the vegetated channel was consideration about terrestrial plants. It was not concerned with aquatic plants. Thus, the researcher was referring to the former research of relationship of retardance coefficient and other influence parameters. Use the flume and natural aquatic plants estimated the retardance coefficient of vegetated channel. In the end, it provided the retardance coefficient estimation method of *Egeria densa* Planch and *Oenanthe javanica* channel bed.

**Keywords:** Retardance coefficient, Aquatic plan.

## 一、前言

植栽渠道或植生渠道係指邊坡與底床有植物的渠道，天然河溪類型的植栽渠道通常是指在河岸、高灘地及主河道生長有不同的陸生及水生植物，而人工渠道類型的植栽渠道則常指於全斷面或邊坡進行植生工程的人工開鑿渠道。植栽渠道因為具有增加入滲、降低流速、減緩渠道沖刷、改善下游水質及生態復育等功用，近期則被廣泛利用於最佳化管理(BMP)以降低非點源汙染(Lantin and Barrett 2005; Wong *et al.* 2006; Yates *et al.* 2007; 2001; Yu *et al.* 2005)，此外亦常用於河溪生態工程以改善或營造棲地等用途(Jones 1982; 林鎮洋 *et al.* 2005)。在灌溉水源不虞匱乏，但工程經費與後續維修經費受限的區域，建設灌溉排水渠道時，常利用夯實土作為渠道內面工，並任由其渠道內植栽發展，以降低土堤遭受沖蝕的機率，如圖 1 中所示台灣駐甘比亞技術團所興建之潮汐灌溉渠道，即為典型範例。

影響植栽渠道之最大因子為流速，流速會直接或間接的影響到渠道穩定性、流量及維修與建造經費等，明渠流流速常利用曼寧公式推求，然曼寧公式應用於植栽渠道時，因渠道邊壁特性與一般故體邊界渠道不同，因此將曼寧係數  $n$  值特稱為阻滯係數(Retardance coefficient) (Chow 1959)。Ree and Palmer (1949)發現植栽柔韌度與種植密度將會影響植栽在水流中的彎曲度，而此彎曲度又會影響植栽對於水流的阻力。Chow (1959)指出洪水平原的阻滯係數會隨著植栽浸深度不同而改變。Petryk and Bosmajian (1975)利用

力平衡推導高灘地農作物遭水淹沒時，阻滯係數會受邊界阻滯力、水力半徑、植栽阻滯力的影響，且植栽密度與水深成正比；當植栽為低矮作物時，阻滯係數與水深大部分成反比；若植栽為高莖作物時，阻滯係數與水深則會成正比。Temple(1980)發現阻滯係數會受植栽高度、生長期及植物狀態影響。此外植栽渠道流速分佈受水生植物之影響甚大(Temple 1982)，阻滯係數與流速、水力半徑、植栽高度及渠道邊界表面積有關。Mahbub and Suzuki (1988)利用塑膠長條模擬尖葉眼子菜(*Potamogeton oxyphyllus*)於渠槽中之水流特性，並指出植栽長度、流速及水深會影響阻滯係數。Wilson and Horritt (2002)發現在水深大於植栽高度兩倍時，阻滯係數會趨近一定值。Jarvela (2002)指出植栽渠道阻滯係數可由植栽渠道邊界摩擦因子與植栽因子所組成，然邊界摩擦因子通常遠小於植栽摩擦因子，因此可以忽略，但植栽摩擦因子則會受水生植物之直徑與植栽空間分佈的影響。



圖 1 甘比亞共和國潮汐灌溉渠道(高蘇白拍攝)

推估植栽渠道阻滯係數最常用的方法為  $n$ - $VR$  曲線, Palmer (1945)首先在實驗中發現植栽渠道中阻滯係數會隨著渠道平均流速( $V$ )、水力半徑( $R$ )的乘積改變,因此建立不同植栽種類的  $n$ - $VR$  曲線。美國農業部水保局(Soil Conservation Services, USDA; 以下簡稱 SCS)的研究發現阻滯係數即使是在同一種草類的情況下,當渠道水深、形狀或是坡度稍有變化時,就會有劇烈的變化,然阻滯係數與平均流速、水力半徑的乘積具有相對穩定的關係(U.S.D.A 1947),因而可以作為選取植栽渠道阻滯係數之用。 $n$ - $VR$  曲線的特性在於不受渠道形狀與坡度之影響,但卻明顯受到渠道中種植草種不同之影響(Kirby *et al.* 2005)。Kao and Barfield (1978)提出以渠道坡度會影響  $n$ - $VR$  曲線,其以坡度選擇  $n$ - $VR$  曲線之方法則與其他以植栽種類作為區分  $n$ - $VR$  曲線的方法具有顯著的不同。Kouwen and Unny (1973)利用植栽渠道之因次分析(Fenzl 1962),發現植栽渠道之流速剖面與植栽密度( $M$ )、植栽楊氏係數( $E$ )及植栽面積二次矩( $I$ )三者乘積有關。Kouwen and Ruh-Ming (1980)以 MEI 值作為選取  $n$ - $VR$  曲線的方法,其中 MEI 為植栽高度之函數,因此可加以推求阻滯係數。之後 Kouwen (1990)更進一步發展植栽渠道相關阻力公式組,將  $n$ - $VR$  曲線原理由實驗模式完善至理論模式。近年來, Kirby (2005)等也認為過去所做的  $n$ - $VR$  曲線大多是針對植栽渠道水深較大時之情況,但近年來植栽渠道也大量應用在 *BMP* 中非點源汙染所產生之逕流汙染物削減,因此水深較淺之情形下的阻滯係數之推估將變得非常重要,故於其研究中建立三種自然陸生草類於半浸沒狀況下之  $n$ - $VR$  曲線。

$n$ - $VR$  曲線經過近 60 年來的發展,已經為所有水利、生態工程設計者接受為植栽渠道中阻滯係數的求取辦法之一,然而 60 年來多  $n$ - $VR$  曲線的研究多是針對陸生植物的阻滯特性進行,對渠道此種潮濕環境下的優勢物種(水生植物)卻較少著墨。我們知道所有的植物都依賴流體(水、空氣)進行氧氣與二氧化碳的交換,然所需之交換能量或動量則往往來自流體流經植物周邊所產生之紊流及壓差等,因此植物必須同時承受本身的自

重與外部流體對於其所施加外力,所以植栽生長環境將影響植栽外部幾何型態與柔韌性(Niklas 1992)。例如沉水性水生植物因生長於水中,在相同流速下因水的密度較大,所以對於外部流體所造成的抵抗動壓力較陸生植物大,但在承受自重方面,因為水具有浮力,故水生植物本體所承受的自重力較生存於氣體的陸生植物小。且水生植物為適應河溪環境,演化出流線型的外觀與柔軟的植身,將流水對植物體的沖擊減至最低,因此對於河溪的水理影響也較陸生植物不同。所以陸生植物與水生植物在生育型態上是具有本質的不同,然而水生植物對植栽渠道阻滯係數之影響的研究相較於陸生植物對於植栽渠道阻滯係數之影響的研究十分稀少,本研究目前所搜尋到有關植栽渠道阻滯係數的相關之研究結果,如表 1 所整理,承如所示大部分研究皆為針對陸生草類或是以人工塑膠條進行相關研究。

為解決多年來研究人員所忽略的水生植物渠道阻滯問題,本研究於實驗室循環水槽內種植水生植物以模擬水生植栽渠道,探討水生植物植栽渠道之阻滯係數,實驗將選取天然水生植物作為實驗材料,避免利用人工製品(塑膠條)模擬天然植物所可能造成的模型尺度化問題。一方面研究將補強前人所進行有關植栽渠道阻滯係數選取的研究,另一方面則利用前人研究數據,針對歷年來對於不同型態植栽渠道阻滯力係數關係及水生植物、陸生植物植栽渠道阻滯係數的相關研究進行比較,以了解其間的差異,最後基於已廣泛認可並使用的  $n$ - $VR$  曲線,提出推估水生植栽渠道阻滯係數之方法。

## 二、影響植栽渠道阻滯係數之因子

影響植栽渠道流況的參數甚多,其中以阻滯係數最為重要且被廣泛探討。植栽渠道的底床材質為可動且具有柔韌度,使植栽渠道的阻滯係數問題,並非一般材質渠道的固定邊界問題,而為動邊界問題,此種特性使得導致植栽渠道的阻滯係數問題更為複雜(Ree and Palmer 1949)。Rouse (1965)將渠道流動阻滯來源分類為四種:(1)表面阻滯;(2)形狀阻滯;(3)自由表面變形所造成

表 1 植栽渠道阻滯係數相關研究回顧

作者	植栽渠道阻滯係數推估	實驗材料	備註
(Chow, 1959)	回顧 USDA 所進行實驗，並加以整理。		
(Kouwen, 1973; Kouwen and Ruh-Ming, 1980; Kouwen, Li <i>et al.</i> , 1981)	$n = \frac{y_n^{1/6}}{\sqrt{8g[a + b \log(y_n/hl)]}}$	人工塑膠條	補強 MEI (植栽密度 M,E 楊氏係數, I 二次矩), 並以 MEI 值取代以往利用植栽種類劃分 n-VR 曲線, 並且導出可供數值運算的 n-VR 關係式。 a,b: 係數 y <sub>n</sub> : 正常水深 hl: 倒伏高度
(Thompson and Roberson, 1976)	$n = \left( \frac{\sqrt{8g}}{C_{chezy}} \right) (1.486R^{1/6})$		C <sub>chezy</sub> : Chezy 阻滯係數
(Temple, 1980)	$n_R = \exp \left\{ \begin{array}{l} C_1 [\ln(R_e)]^2 \\ + b \ln(R_e) + C_1 \end{array} \right\}$		C <sub>1</sub> 值為由 SCS 所訂定的不同阻滯力分級決定。 R <sub>e</sub> = (VR × v <sub>74</sub> ) × 10 <sup>-5</sup> v <sub>74</sub> : 74 華氏溫度之運動黏滯度; R <sub>e</sub> : 雷諾數
(Temple, 1982)	$n = \exp \left\{ \begin{array}{l} C_1 [0.0133 \ln(R_v)]^2 \\ - 0.0954 \ln(R_v) \\ + 0.0297 \right\} - 4.16$		同上
(Mahbub and Suzuki, 1988)	$n = 0.006 + (0.001 + 0.0058L_{veg.})/V + (0.0018 + 0.0027L_{veg.})/y + (S - 0.01)L_{veg.}$	塑膠長條模擬尖葉眼子菜	L <sub>veg</sub> : 植栽長度(m) Y: 水深(m) V: 流速(m/s) S: 渠道坡度
Fathi-Maghadam and Kouwen, 1997	$n = \sqrt{f} \left( \sqrt{\frac{y_n^{1/3}}{8g}} \right)$	陸生草類	f: Darcy-Weisbach 阻滯因子 y <sub>n</sub> : 正常水深
(Kirby <i>et al.</i> , 2005)	$n = \left\{ \frac{\bar{R}^{-4/3}}{\bar{V}^2 \Delta x} \left[ h_1 + \frac{V_1^2}{2g} - \left( h_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) \right] \right\}^{1/2}$	淺水流試驗 天然植物 (Bluegrass, Centipede, Zoysia)	h: 水面高程 V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> : 上下游斷面流速 R̄: 上游斷面水力半徑與下游斷面水力半徑之平均值 V̄: 上下游斷面平均流速。

的坡降阻滯：(4)區域加速度或流況不穩定所造成的阻滯。在加速流動的狀態下，單位長度區域阻滯力可為

$$\frac{\partial F}{\partial S} = f(d, V, k, \zeta, \theta, \eta, \rho, \gamma, \mu, \frac{\partial d}{\partial t}) \dots \dots \dots (1)$$

其中  $\frac{\partial F}{\partial S}$  為長度區域阻滯力；d 為特徵長度(常為水深等)；V 為平均流速；k 為表面粗糙度；ζ 為斷面形狀無因次因子；θ 為渠道縱斷面無因次因子；η 為渠道平面無因次因子；ρ 為流體密度；γ 為流體單位重；μ 為動力黏滯係數； $\frac{\partial d}{\partial t}$  為特徵長度(常為水深等)隨時間的改變率。若取 ρ, V, d 為主要重複變數；則式(1)可為

$$\frac{\partial F/\partial S}{\rho V^2 d} = f\left(\frac{k}{d}, \zeta, \theta, \eta, \frac{V}{\sqrt{gd}}, \frac{\rho V d}{\mu}, \frac{\partial d/\partial t}{V}\right) \dots (2)$$

其中為  $\frac{\rho V d}{\mu}$  為雷諾數(R<sub>e</sub>)； $\frac{k}{d}$  為相對粗糙度(K)是表面粗糙度 k 與特徵長度 d 之比值；ζ 為渠道斷面幾何參數(C)；θ 及 η 為渠道縱斷面與平面的非均勻參數(N)， $\frac{V}{\sqrt{gd}}$  為福祿數(F<sub>r</sub>)， $\frac{\partial d/\partial t}{V}$  為流況不穩定程度(U)。因此式(2)可為以下無因次函數：

$$f = f(R_e, K, C, N, F_r, U) \dots \dots \dots (3)$$

其中 f 為 Darcy-Weisbach 摩擦係數。常應用之明渠流速公式有曼寧公式及

Darcy-Weishbach 公式以及 Chezy 公式，Chezy 公式為

$$V = C_{chezy} \sqrt{RS} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中  $C_{chezy}$  為 Chezy 阻滯係數， $R$  為水力半徑， $S$  為能量坡降

另曼寧公式及 Darcy-Weishbach 公式為：

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中  $R$  為水力半徑， $S$  為能量坡降。

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{RS} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中  $g$  為重力加速度。由式(5)及式(6)可得

$$\sqrt{\frac{f}{8}} = \frac{n}{R^{1/6}} \sqrt{g} = \frac{\sqrt{gRS}}{V} \quad \dots\dots\dots (7)$$

植栽渠道曼寧阻滯係數的選取，因植栽渠道邊界具有不固定的特性，因此  $n$  值之推估會與固體邊界渠道略有所不同。藉由式(7)與式(3)可得

$$\frac{\sqrt{gRS}}{V} = f(R_e, K, C, N, F, U) \quad \dots\dots\dots (8)$$

因此

$$\frac{n}{R^{1/6}} = f(R_e, K, C, N, F, U) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式(9)應用於植栽渠道時，其  $K$  可為(Yen 2002)

$$K = f\left(\frac{k}{R}, L_v, J, D_R, M\right) \quad \dots\dots\dots (10)$$

其中  $(k/R)$  為植栽渠道狀態的相對粗糙度，在植栽渠道中  $k$  通常被設定為與植栽倒伏高度相同， $L_v$  為植栽幾何型態參數， $J$  為撓性， $D_R$  為植栽浸沒水深比為水深( $y$ )與植栽倒伏高度( $hl$ )之比值( $=y/hl$ )，植栽倒伏高度( $hl$ )定義為植栽受外力伏倒後植栽頂部至渠底垂線高度， $M$  為植栽密度。因此式(9)將可為

$$\frac{n}{R^{1/6}} = f(R_e, F_r, S_w, S_0, \frac{k}{R}, L_v, J, D_R, M) \quad \dots\dots (11)$$

其中  $S_w$  為水面坡降， $S_0$  為渠道坡降。式(11)即為於植栽渠道情況下， $n$  值與其他可能影響變數間

之關係(Yen 2002)。

由(11)可得知， $R$  亦可為  $n$  的變數之一，因此

$$n = f(R_e, F_r, S_w, S_0, \frac{k}{R}, L_v, J, D_R, M, R^{1/6}) \quad \dots (12)$$

Palmer(1949)藉由實驗證實  $n$  值與  $VR$  值具有一定之關係，因此

$$n = f(VR) \quad \dots\dots\dots (13)$$

由式(12)與式(13)可得

$$\begin{aligned} n &= f(R_e, F_r, S_w, S_0, \frac{k}{R}, L_v, J, D_R, M, R^{1/6}) \quad \dots (14) \\ &= f(VR) \end{aligned}$$

$D_R$  為植栽浸沒水深比( $D_R = y/hl$ )，亦會影響到植栽渠道渠道阻滯力形式，當  $y/hl > 2$  時植栽渠道渠道阻滯力來源主要為底床阻滯力，但當  $y/hl < 2$  時植栽渠道渠道阻滯力來源主要為植栽形狀阻滯力(Yen 2002)。 $y/hl$  越大時，代表植栽倒伏程度越大、水深越深、通水斷面積越大。植栽葉片大小與幾何形狀亦會影響到植栽倒伏程度與受力(Wilson *et al.* 2003)，植栽浸沒水深比= $f$ (植栽倒伏程度、水深、通水斷面積)，植栽葉片大小與幾何形狀= $f$ (植栽倒伏程度，植栽受力)，由植栽倒伏程度關連，則植栽浸沒水深比應與植栽幾何型態有關。因此  $n$  值除了與  $VR$  值有關聯性之外，亦會受  $y/hl$  影響，故

$$n = f(VR, D_R) = f(VR, y/hl) \quad \dots\dots\dots (15)$$

### 三、實驗方法

水生植物依據生長型態，可區分為漂浮性植物、沉水性植物與挺水性植物三種，其中漂浮植物多存在於湖泊地區，對於溝渠影響較小。因此本文針對生長於溝渠環境，影響植栽渠道阻滯較大的沉水性植物與挺水性植物進行研究，並由兩種水生植物類型中，分別各選取一種具有代表性、普遍分佈於台灣植栽渠道之沉水性與挺水性植物，作為實驗對象。實驗所選取之代表性沉水水生植物為水蘊草(*Egeria densa* Planch.)，其為多年生草本植物，葉平均分佈於全莖部，生育環境

表 2 實驗植栽特性

	水蘊草	水芹菜
學名	<i>Egeria densa</i> Planch	<i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC
分類	水蘊科 (Hydrocharitaceae)	繖形花科 (Umbelliferae)
照片		
型態特徵	常綠性沉水植物，莖圓柱狀，可長達 1 m，葉 3-8 片輪生，無柄，寬線形，鋸齒緣。花單性且雌雄異株。雄花佛焰苞內具 2-5 朵，開花時雄花不會自佛焰苞脫離；花梗長；萼片 3，闊卵形；花被片大型，白色，具有明顯的蜜腺；雄蕊 3 枚，與萼片對生。雌花佛焰苞圓筒狀，單生，腋生，雌花有一長花梗；萼片 3 枚；花瓣 3 片。果實成熟時不規則開裂。	莖具分枝，具條紋，光滑。葉長橢圓形至卵形，羽狀至 3 回羽狀，最末端裂片卵形，狹卵形或線形，鋸齒緣或全緣；柄長 2-10 cm，具鞘。
備註	水蘊草引入臺灣已有多年歷史，原產於巴西，目前已是全球性的水生雜草。在臺灣各地的溝渠中皆可見到大量族群，尤以宜蘭等北部縣市為多。	全島低至中海拔，水田溝渠池沼邊或溪流邊濕地上生長。

資料來源：楊遠波等，2001；林春吉 2005

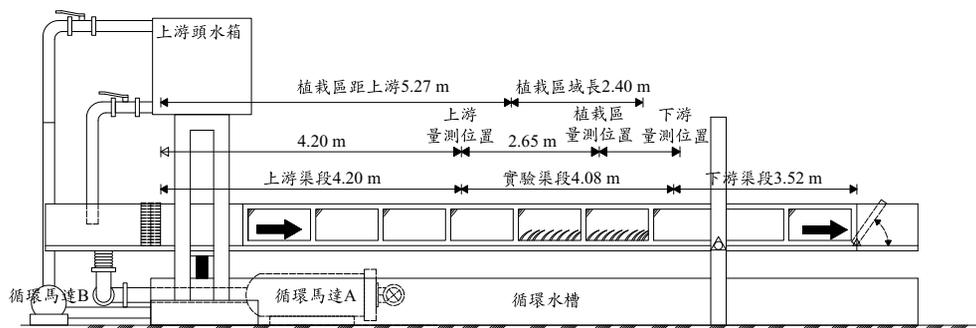


圖 2 直線循環水槽實驗配置位置示意圖

主要於溝渠、溪流、池塘等地，族群普遍佈於全台。實驗選取之代表性挺水水生植物為水芹菜 (*Oenanthe javanica*)，水芹菜亦為多年生草本植物，葉片生長於莖部頂端，水芹菜普遍分布於全台水田、溝邊等潮濕環境。因實驗水槽之限制，兩種實驗物種植栽高度皆約控制為 10 cm 左右。水生植栽的養護是交由專業的水草養殖專家與養殖場進行繁殖，繁殖的位置與時間皆相同，藉此降低植物生理特性不均勻對於實驗結果的影響，表 2 為此兩種水生植物之特性說明(林春吉

2005；楊遠波 *et al.* 2001)。

本研究利用全長為 11.80 m、寬 0.40 m 的直線循環水槽進行實驗，以研究渠底具有植生之植栽渠道的阻滯係數變化。在實驗水槽中，於距離上游入水口 5.27 m 處，開始設置兩盤各長 1.20 m、寬 0.40 m 的植生盤如圖 2 所示，植生盤中以河川土壤作為培養基質。所選取的兩種水生植物之植生盤配置皆設計為 5 種不同密度，均勻種植水生植物，如圖 3 所示。植生盤設置於實驗水槽的情形，則如圖 4 所示，實驗渠道中放置與

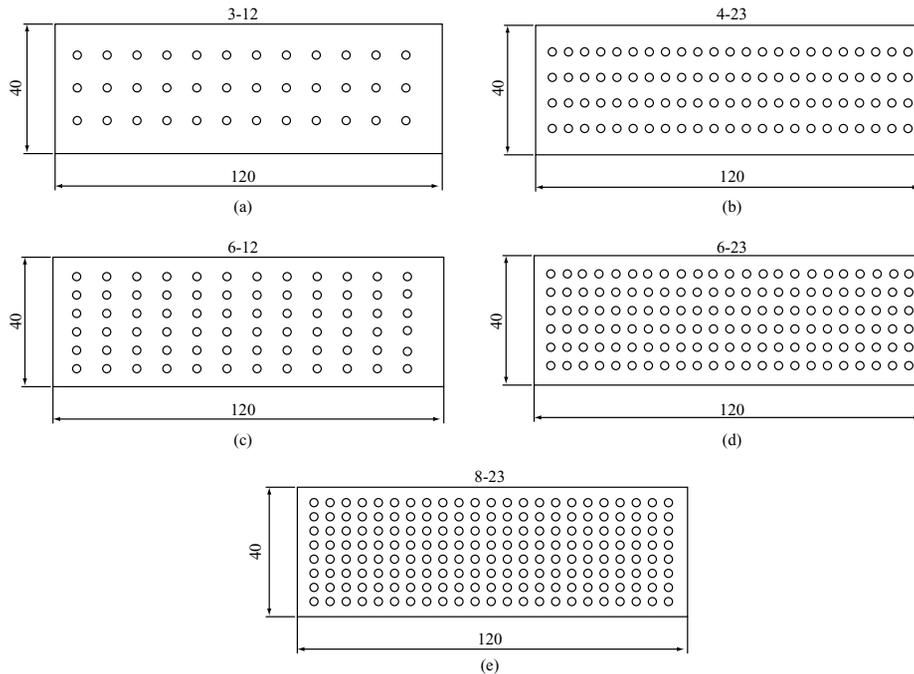


圖 3 植栽盤配置：(a) 3×12 株；(b) 4×23 株；(c) 6×12 株；(d) 6×23 株；(e) 8×23 株



圖 4 實驗水槽內佈置圖

植栽盤同高之粗糙磚塊，以使植栽盤與原渠道底床間無高程差。實驗條件則以植栽完全浸沒的情形下，以兩種渠槽坡度、五種抽水馬達轉速，所形成之不同流量之分組進行實驗，為方便進行實驗紀錄與計算相關實驗結果，將各實驗以“植栽種類”+“植栽密度”+“馬達轉速”進行實驗編號，如 SUB312R12 為“水蘊草”+“種植密度 3×12 株”+“馬達轉速 12 rpm”；若為 EM312R21 則為“水芹菜”+“種植密度 3×12 株”+“馬達轉速 12rpm”，依此類推至各組實驗，各組詳細之實驗

條件，如表 3 所示。

流場及流速分佈之觀測則利用超音波都普勒流速儀(Acoustic Doppler Velocimeter; ADV)，其乃利用都普勒頻移的現象觀測流速。ADV 藉由傳送固定頻率聲波，並接受由水中運動的微小微粒所反射的訊號。經由觀測水中質點運動造成儀器所發出超音波的強度變化所造成的都普勒頻移值，並加以換算後，以推斷該點流體運動速度(陳彥璋 *et al.* 2007)。

本實驗所使用之儀器流速量測點為三支感測器所連延伸線交叉點，為儀器軸心向外 5cm 處。雖然流速量測採用侵入性量測，但也因儀器離量測點有 5 cm 距離，所以並不會干擾量測點的流速。實驗初始將水生植物依據所選取密度均勻種植於植生盤，加以養護兩至三天後移至實驗水槽實驗區段，並固定渠底坡度，確定實驗渠槽流況穩定後，利用 ADV 分別於上游入流區、中游實驗區、下游出流區量測各斷面流速分佈，每一斷面五條垂線，以左岸邊界為原點，向右岸方向分別量測距離左岸邊界 7 cm、15 cm、20 cm、

表 3 實驗條件

水芹菜實驗編號	Q (m <sup>3</sup> /sec)	渠床坡度	水蘊草實驗編號	Q (m <sup>3</sup> /sec)	渠床坡度
EM312R12	0.0063	0.0042	SUB312R12	0.0015	0.0081
EM312R15	0.0113	0.0042	SUB312R15	0.0107	0.0081
EM312R21	0.0139	0.0042	SUB312R21	0.0220	0.0081
EM312R24	0.0220	0.0042	SUB312R24	0.0260	0.0081
EM312R27	0.0242	0.0042	SUB312R27	0.0276	0.0081
EM423R12	0.0057	0.0042	SUB312R33	0.0343	0.0081
EM423R15	0.0112	0.0042	SUB312R36	0.0367	0.0081
EM423R21	0.0170	0.0042	SUB312R40	0.0389	0.0081
EM423R24	0.0188	0.0042	SUB423R12	0.0033	0.0081
EM423R27	0.0215	0.0042	SUB423R15	0.0123	0.0081
EM612R12	0.0013	0.0042	SUB423R21	0.0227	0.0081
EM612R12	0.0098	0.0042	SUB423R24	0.0273	0.0081
EM612R21	0.0191	0.0042	SUB423R27	0.0301	0.0081
EM612R24	0.0201	0.0042	SUB612R15	0.0109	0.0081
EM612R27	0.0225	0.0042	SUB612R21	0.0215	0.0081
EM623R12	0.0062	0.0042	SUB612R24	0.0260	0.0081
EM623R15	0.0084	0.0042	SUB612R27	0.0298	0.0081
EM623R21	0.0154	0.0042	SUB623R12	0.0009	0.0081
EM623R24	0.0196	0.0042	SUB623R15	0.0138	0.0081
EM623R27	0.0232	0.0042	SUB623R21	0.0202	0.0081
EM823R12	0.0038	0.0042	SUB623R24	0.0229	0.0081
EM823R15	0.0110	0.0042	SUB623R27	0.0281	0.0081
EM823R21	0.0203	0.0042	SUB823R12	0.0053	0.0081
EM823R24	0.0234	0.0042	SUB823R15	0.0129	0.0081
EM823R27	0.0262	0.0042	SUB823R21	0.0222	0.0081
			SUB823R24	0.0267	0.0081
			SUB823R27	0.0306	0.0081

25 cm、33 cm 五條垂線上各點流速，每垂線上除底床向水面方向第一點間距為 2.5 cm 外，其他皆為每 1 cm 量測一點流速，斷面平均流速則以中垂線斷面平均流速值代表。此外阻滯係數則由曼寧公式推估

$$n = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{V} \dots\dots\dots (16)$$

#### 四、結果與討論

實驗一共進行 60 組，植栽渠道一共進行 51 組實驗其中水蘊草為渠底材料進行 26 組實驗，水芹菜為渠底材料進行 25 組實驗，另外進行 9 組無植栽渠底實驗做為對照組使用。圖 4 為植栽渠道流速剖面量測結果，圖 5(a)渠底為兩盤植

栽盤，單盤植生 8 × 23 株之水蘊草，流量 0.03 m<sup>3</sup>/sec、水深 0.243 m，植栽倒伏高度 0.040 m 之流速剖面。圖 5(b)兩盤植栽盤，單盤植生 8 × 23 株之水芹菜，植生兩盤，流量為 0.026 m<sup>3</sup>/sec，水深為 0.267 m，植栽倒伏高度為 0.095 m 之流速剖面。圖 5 中空圓點為實測之流速資料，並以植栽倒伏高度(h)作為分界，分界以下為植栽區域(Region 1)，分界以上為明渠流區域(Region 2)。

圖 6 分別為水蘊草及水芹菜之阻滯係數、雷諾數(Re)、能量坡降(S)、植栽浸沒水深比、植栽密度及流量等之散佈圖，利用 SPSS<sup>®</sup>軟體進行相關性分析，表 4 為以水蘊草為渠底的實驗結果相關性，其中 n 與 Re、y/hl、Q、VR、V 具有較佳之關連性，而與 S<sub>w</sub>、M 並無顯著相關性。此外，n 值會隨 Re、y/hl、Q 及 VR 漸增而有遞減之

表 4 水蘊草實驗參數相關性

水蘊草		阻滯係數 n	雷諾數 Re	水面坡降 $S_w$	植栽浸沒 水深比 y/hl	植栽種植 密度 (株/m <sup>2</sup> )	流量 Q (m <sup>3</sup> /s)	VR	流速 V (m/s)
曼寧係數 n	Pearson Correlation	1.000	-0.585**	0.145	-0.524**	-0.149	-0.585**	-0.718**	-0.763**

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

表 5 水芹菜實驗參數相關性

水芹菜		阻滯係數 n	雷諾數 Re	水面坡降 $S_w$	植栽種植 密度 (株/m <sup>2</sup> )	流量 Q (m <sup>3</sup> /s)	VR	流速 V (m/s)
曼寧係數 n	Pearson Correlation	1.000	-0.883**	0.366	-0.253	-0.879**	-0.871**	-0.858**

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

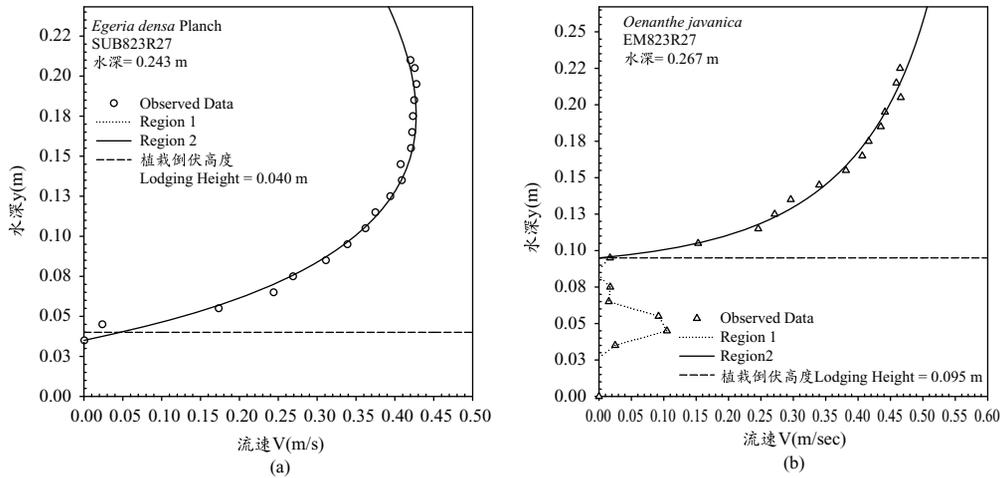


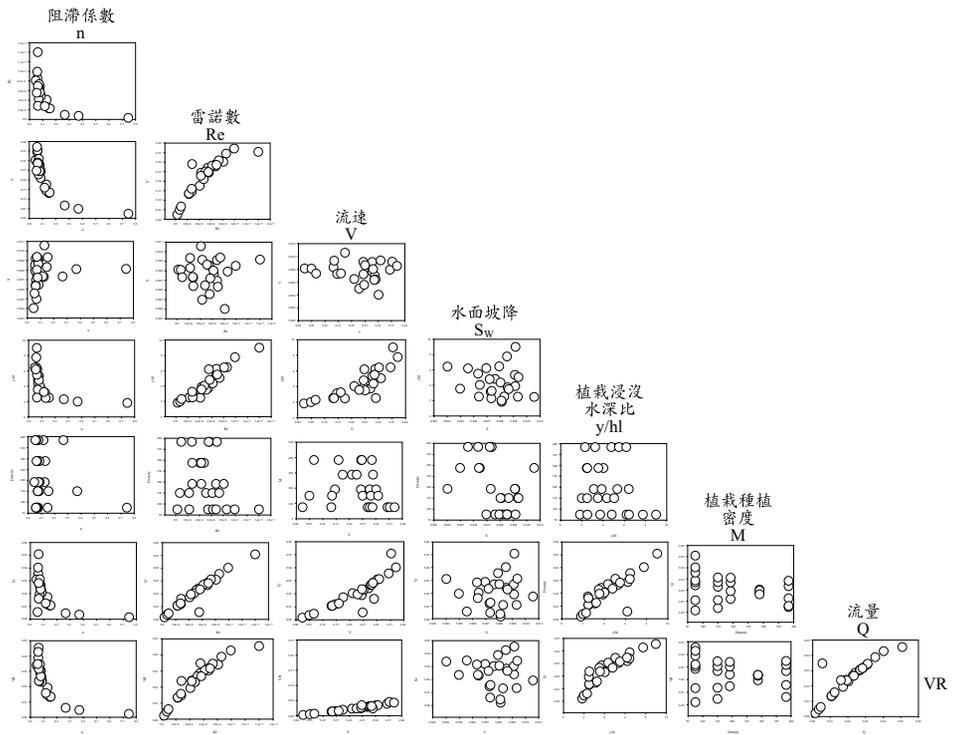
圖 5 實際量測流速分布值：(a)水蘊草；(b)水芹菜

趨勢。表 5 則為以水芹菜為渠底的各項實驗參數之實驗結果相關性，其中 n 與 Re、Q、VR、V 具有較佳之關連性，而與  $S_w$ 、M 較無顯著相關性。

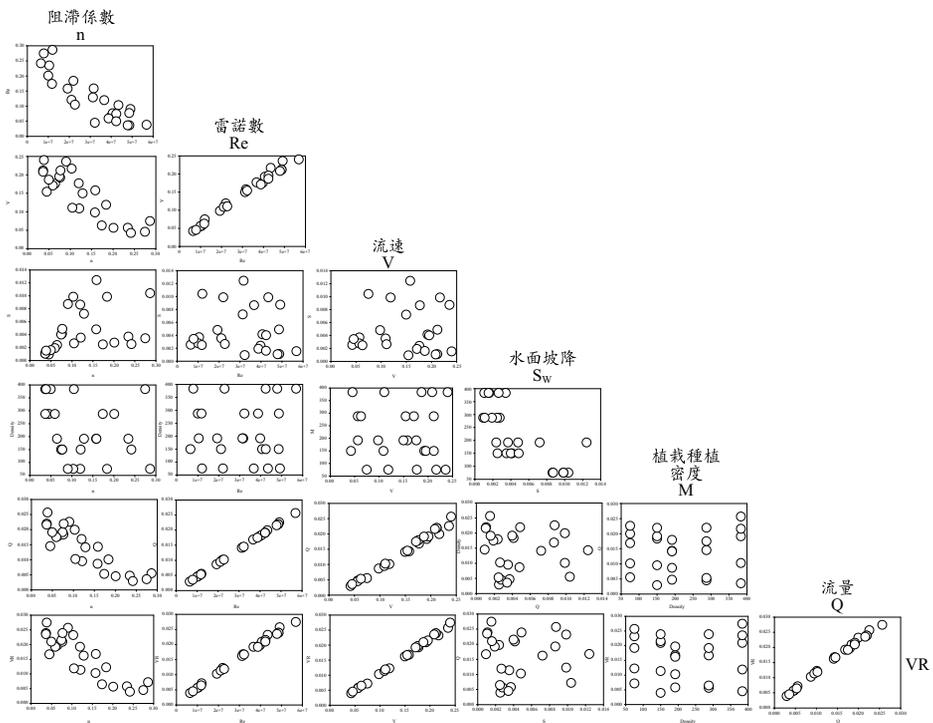
在本研究中 n 值會隨 Re、y/hl、Q 及 VR 漸增而有遞減之趨勢。推論應是本研究中阻滯係數最主要的控制項應是渠道平均流速，流速的趨勢間接控制雷諾數(Reynold number)、流量(Q)、與 VR 的趨勢。因此在本研究條件下，當阻滯係數降低時，流速自然會是增加的情形，也間接的影響與流速有關的其他參數項。

#### 4.1 水蘊草與水芹菜 n-VR 之關係

圖 7 分別為水蘊草及水芹菜在完全浸沒於水中情形下之 n-VR 曲線，當渠底材質為水蘊草時，其 n-VR 關係為  $n = 0.002 (VR)^{-0.897}$ 。式中，n 為阻滯係數(範圍：0.047~0.745)，VR 為流速(V)與水力半徑的乘積(範圍：0.002~0.042)。而當渠底材質為水芹菜，藉由迴歸可得其 n-VR 之關係為  $n = 0.004 (VR)^{-0.738}$ 。式中，n 為阻滯係數(範圍：0.036~0.286)，VR 為流速(V)與水力半徑的乘積(範圍：0.003~0.027)。比較兩者曲線趨勢可發現兩種植物的阻滯係數都隨 VR 值增加而降低，此點符合 Green (2005)針對植栽渠道於植栽完全浸沒時 n-VR 行為的描述。由水蘊草與水芹菜 n-VR 曲線比較，據此可知植栽渠道的阻滯係數會隨流



(a)



(b)

圖 6 參數散佈圖：(a)水蘊草；(b)水芹菜

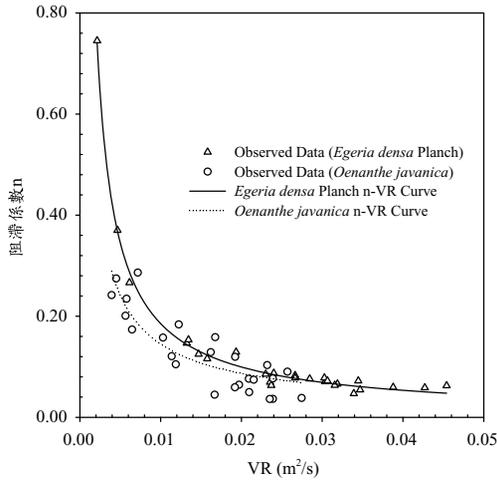


圖 7 水蘊草與水芹菜阻滯係數 n-VR 乘積之關係

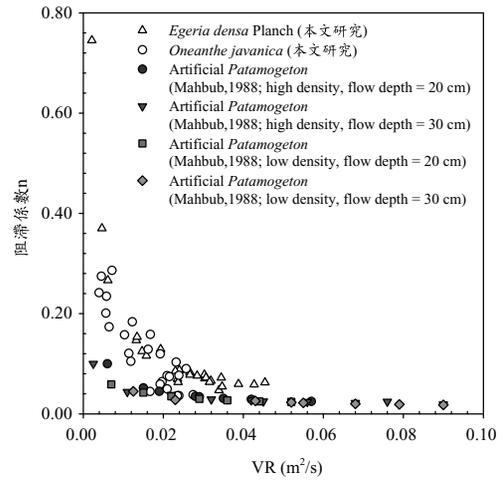


圖 8 不同型態水生植物阻滯係數 n-VR 乘積之關係

速與水力半徑變化而變化，並且在高流速水流發生時，目前選取的兩種水生植物之植栽渠道阻滯係數會降低並且趨近一定值。

圖 8 為 Mahbub 與 Suzuki (1988) 利用人工塑膠條模擬尖葉眼子菜於完全浸沒情形下 n-VR 關係與本研究所進行之水蘊草與水芹菜 n-VR 關係比較，藉由不同型態水生植物 n-VR 曲線比較，天然植物之水蘊草與水芹菜的阻滯係數值在相同 VR 值的情況下，會大於 Mahbub 利用人工塑膠條所模擬的尖葉眼子菜。但從 Mahbub 實驗可知當植物長度越長，其阻滯係數越大，Mahbub 的此項發現若與本研究植物選取高度 10 cm 相比，在同樣 VR 值下，本研究之阻滯係數較其所進行較長之人工水生植物分別為 20 cm、30 cm 都大，其可能原因推就應是 Mahbub 利用塑膠長條模擬天然植物時，因塑膠長條幾何形狀的單一性與均勻性，並無法完全將天然植物的幾何特性表現出來，且亦無法表現水生植物之運動特性。Yen (2002) 與 Wilson (2003) 指出植栽幾何形狀會影響到植栽渠道阻滯係數，故進行相關植栽渠道阻滯係數實驗時，應以真實天然植栽作為實驗材料，以避免失真。另外 Wilson and Horritt (2002) 選用一般英國庭院天然草類作為實驗材料進行 n-VR 相關研究時，發現當 VR 值較小時，阻滯係數值會有快速升高的現象，此結果與本研究 n-VR 結果相符。

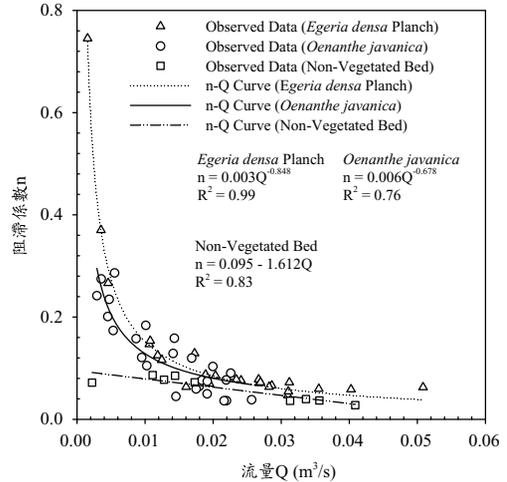


圖 9 水生植栽渠底與無植栽渠底 n-Q 關係

#### 4.2 植栽渠道阻滯係數與流量、流速關係

圖 9 為水蘊草、水芹菜與無植栽渠底(河川土壤)之 n-Q 關係，可發現植栽渠道則不同於固定邊界渠道，阻滯係數與流量呈現非線性變化，隨流量增加則阻滯係數呈現指數遞減趨勢，水蘊草 n-Q 迴歸式為  $n = 0.003Q^{0.848}$ ；水芹菜 n-Q 迴歸式為  $n = 0.006Q^{0.678}$ ；無植栽渠底迴歸式為  $n = 0.095 - 1.612Q$ 。由三種不同渠底材質的實驗值與迴歸式可以發現在本研究中，當流量約大於  $0.03 \text{ m}^3/\text{sec}$  時，水生植物為渠底的阻滯係數值與以土壤為渠底的阻滯係數值將相當接近，此結果說明當明渠

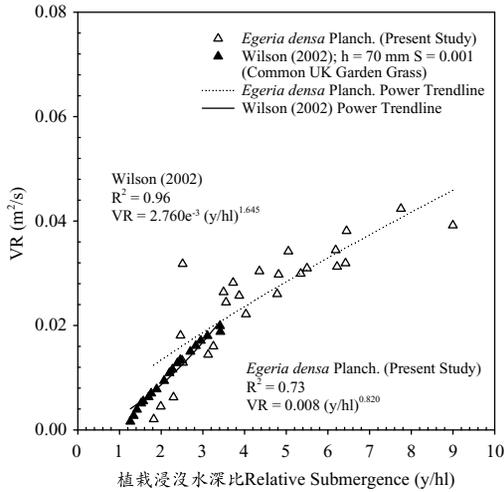


圖 10 天然水生植物與天然陸生植物間植栽浸沒水深比對 VR 比較

水流中具有水生植物時，也許在較低流量時，水生植物會造成渠道阻滯係數增大，但隨著流量增加至一定值時，水生植物會因倒伏，使得阻滯係數下降至與無植栽渠底的阻滯係數值接近。

#### 4.3 植栽浸沒水深比對於渠道阻滯力的影響

圖 10 為天然水生植物(水蘊草: *Egeria densa* Planch)與天然陸生植物間，植栽浸沒水深比對流速( $V$ )與水力半徑( $R$ )乘積關係，其中本研究水蘊草  $VR-y/hl$  迴歸式為  $VR = 0.008(y/hl)^{0.820}$ 。可以發現在相同的  $VR$  值下，水生植物植栽浸沒水深比普遍較陸生植物高，此點也許代表著本研究所選取的水生植物柔韌性值較 Wilson 和 Horritt (2002) 所選取的陸生草類低，更容易在水流中倒伏。

若再比較天然水生植物與利用人工塑膠條模擬陸生植物如圖 11，可以發現天然水生植物 (*Egeria densa* Planch.) 柔韌性還是較大部分的模擬塑膠條低。

另比較天然陸生植物與人工模擬植物間植栽浸沒水深比對流速( $V$ )與水力半徑( $R$ )乘積如圖 12，可以發現相同的結果。此乃因植栽浸沒水深比會影響到排洪斷面積與渠道力型態。植栽浸沒水深比中的倒伏高度變化可阻隱喻水流流速與植栽的柔韌性，而水深變化則隱喻流量流速的

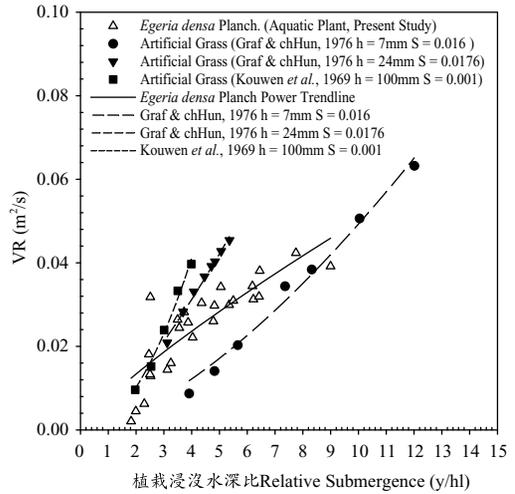


圖 11 天然水生植物與人工模擬陸生植物，植栽浸沒水深比對 VR 比較

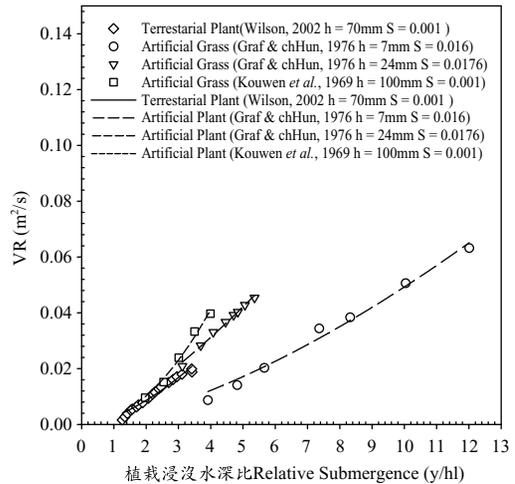


圖 12 天然陸生植物與人工模擬植物間植栽浸沒水深比對 VR 比較

變化(M.Fathi-Maghadam and Kouwen 1997; Yen 2002)。

植物在完全浸沒狀態時會隨著水流流速增強而有向下游倒伏的現象。由(14)式與圖 6 可知阻滯係數除了與  $VR$  值有關聯性之外，亦會受  $y/hl$  影響。在植栽完全浸沒於水中，流速增加造成植栽倒伏高度越低，使植栽浸沒水深比值增加，而通水斷面積增加，造成阻滯係數降低。由

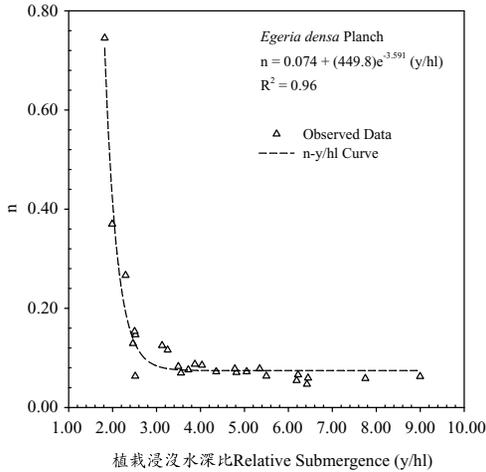


圖 13 水蘊草阻滯係數(n)與植栽浸沒水深比(y/hl)關係

圖 13 渠底材質為水蘊草時，阻滯係數與植栽倒伏水深比之迴歸式為  $n = 0.074 + 449.8e^{-3.591(y/hl)}$ ，由此公式可依據現場植栽種類不同，紀錄植栽倒伏高度與水深比例，進而求出阻滯係數。

#### 4.4 阻滯係數之推估範例

前人研究較少針對於水生植物植栽渠道之阻滯係數推估，本研究提供四種水生植物植栽渠道阻滯係數推估辦法，其範例如下。

本研究之實驗條件：矩形渠道斷面，斷面寬度 0.4 m，水深範圍 0.13 m ~ 0.28 m；植栽種類為水蘊草與水芹菜，植栽高度皆為 10 cm；植栽密度為 75 株/m<sup>2</sup>、150 株/m<sup>2</sup>、191.6 株/m<sup>2</sup>、287.5 株/m<sup>2</sup>、383.33 株/m<sup>2</sup>；實驗流量介於 0.0015 m<sup>3</sup>/s ~ 0.0306 m<sup>3</sup>/s 之間；水蘊草為渠底之曼寧係數介於 0.047~0.745，水芹菜為渠底之曼寧係數介於 0.036~0.286；水蘊草為渠底之 VR 值為 0.002~0.042 之間，水芹菜為渠底之 VR 值為 0.003~0.027 之間。

**第一種方法**為在實驗條件範圍內，若已知植栽渠道植栽種類、水流流速、水深及渠道斷面幾何值，即可利用圖 7 所迴歸出水蘊草與水芹菜之 n-VR 關係，推求該斷面之阻滯係數，步驟如下：

1. 判定植栽種類；
2. 量測渠道斷面與水流流速，以求出 VR 值；

3. 若植栽種類為水蘊草則將 VR 值代入  $n = 0.002(VR)^{-0.897}$ ，若為水芹菜則將 VR 值代入  $n = 0.004(VR)^{-0.738}$ ，即可得該斷面阻滯係數值。

**第二種方法**為若現場無法求取植栽渠道內水流流速則可利用 n-y/hl 曲線，若已知植栽渠道植栽種類、水深及渠道斷面幾何條件，且已知渠道中之植栽倒伏高度，利用圖 13 所迴歸出水蘊草之 n-y/hl 關係，推求該斷面之阻滯係數，步驟如下：

1. 判定植栽種類；
2. 量測水深與水中植栽倒伏高度，並計算水深與植栽倒伏高度比值(y/hl)；
3. 若植栽種類為水蘊草則將 y/hl 值代入  $n = 0.074 + 449.8e^{-3.591(y/hl)}$ ，即可得該斷面之阻滯係數。

**第三種方法**為若現場可求流量且已知植栽種類則可利用 n-Q 曲線求取該斷面阻滯係數，步驟如下：

1. 判定植栽種類；
2. 量測流量；
3. 若植栽種類為水蘊草則將 Q 值代入  $n = 0.003Q^{-0.848}$ ，若為水芹菜則將 Q 值代入  $n = 0.006Q^{-0.678}$ ，即可得該斷面阻滯係數值。

但以上方法皆有其限制，主要限制為植栽必須為完全浸沒狀態且植栽水深比不可小於 2。若必須設計一已知流量之渠底為水蘊草之矩形植栽渠道，坡度已知，**第四種方法**為藉由 n-(y/hl) 曲線與 V-(y/hl) 曲線可設計渠道，建議設計步驟如下：

1. 假設水深 y，並且計算通水斷面積 A 與水力半徑 R。
2. 由  $Q = VA$ ，推求出第 i 次假設之 V 值。
3. 由 VR 值代入水蘊草 VR-y/hl 迴歸式  $VR = 0.008(y/hl)^{0.820}$ ，求取(y/hl)。
4. 由(y/hl)可知渠道內植栽倒伏高度必須保持在此值以下，才不會阻礙流量。
5. 將求取之(y/hl)代入  $n = 0.074 + 449.8e^{-3.591(y/hl)}$ ，求取阻滯係數值。
6. 將阻滯係數值代入曼寧公式中求取第 i+1

次  $V$ 。

7. 第  $i$  次與第  $i+1$  次  $V$  兩者必須小於設定之容許誤差值。
8. 若小於容許誤差值，則各步驟求取之設計參數即為解，若否則自第 1 步驟重複。

## 五、結 論

本研究藉由文獻探討，分析植栽渠道阻滯係數之影響參數。並利用循環水槽及兩種水生植栽模擬植栽渠道，以探討相關參數對阻滯係數之影響，綜合本文相關研究，獲致相關結論，整理說明如下：

1. 本研究針對水生植物進行研究，發現水生植物在模擬植栽渠道水流中有以下兩種特性。(1) 水生植物在流速剖面在植栽冠層下方具有流速近乎停滯的特性，而該流速剖面難以利用傳統之流速分佈公式加以模擬，但此種特性可以利用於抵抗渠底沖蝕。(2) 高流量時水生植物其倒伏與其柔韌特性均較陸生草類優異，使水生植物在高流量時，阻滯係數可趨近於完全裸露無植生的土壤渠底。
2. 水蘊草、水芹菜之阻滯係數與植栽密度、坡度並不具有相關性，但與  $VR$ 、植栽倒伏水深比及流量具有強烈相關性。利用非天然植栽與使用天然植物進行實驗時，當  $VR$  值較低時之阻滯係數的差異甚大，但  $VR$  值高時，其兩者之阻滯係數皆會遞減而趨於定值，在進行水生植物時，應使用天然植物進行，而不應利用人工製品模擬，則得出結果可能較不失真。
3. 在實驗範圍內，植栽為水蘊草之植栽渠道的阻滯係數  $n$  與  $VR$  乘積之關係為  $n = 0.002(VR)^{-0.897}$ ；植栽為水芹菜之植栽渠道的  $n$  與  $VR$  之關係為  $n = 0.004(VR)^{-0.738}$ 。
4. 在實驗範圍內，植栽為之水蘊草植栽渠道的阻滯係數  $n$  與流量  $Q$  之關係為  $n = 0.003Q^{-0.848}$ ，植栽為水芹菜之植栽渠道的  $n$  與  $Q$  之關係為  $n = 0.006Q^{-0.678}$ 。
5. 在實驗範圍內，植栽為水蘊草之植栽渠道的阻滯係數  $n$  與植栽浸沒水深比  $y/hl$  之關係為  $n = 0.074 + 449.8e^{-3.591(y/h)}$ 。

## 誌 謝

本研究承蒙水利署研究經費之補助及中華民國駐甘比亞共和國技術團之協助，謹此致謝。

## 參考文獻

1. Chow, Ven Ten. (1959). *Open-Channel Hydraulics*, Mc-Graw-Hill, New York.
2. Fenzl, R.N. (1962). "Hydraulic Resistance of Broad Shallow Vegetated Channels," University of California, at Davis, Davis.
3. Green, Julian C. (2005). "Modelling flow resistance in vegetated streams: review and development of new theory." *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 19, 1245-1259.
4. Jarvela, Juha. "Determination of flow resistance of vegetated channel banks and floodplains." *River Flow 2002*, Lisse.
5. Jones, Janathan E. (1982). "Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems." 77, ASCE, RESTON.
6. Kao, David T.Y., and Barfield, Billy J. (1978). "Prediction of flow Hydraulic for Vegetated Channels." *Transactions, American Society of Agricultural Engineers*, 21(3), 489-494.
7. Kirby, J.T., Durrans, S.R., Pitt, R., and Johnson, P.D. (2005). "Hydraulic resistance in grass swales designed for small flow conveyance." *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(1), 65-68.
8. Kouwen, N. (1990). "Morden Approach to the Design of Grassed Channels." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 118(5), 733-743.
9. Kouwen, Nicholas, and Li, R.M. (1980). "Biomechanics of Vegetative Channel Linings." *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 106 (HY6, Proc. Paper, 15464), 1085.
10. Kouwen, Nicholas, and Unny, Tharakal Eroman. (1973). "Flexible Roughness in Open Channels." *ASCE J Hydraul Div*, 99(HY5), 713.
11. Lantin, Anna, and Barrett, Michael. "Design and Pollutant Reduction of Vegetated Strips and

- Swales.” *World Water and Environmental Congress*, Anchorage, Alaska USA.
12. M.Fathi-Maghadam, and Kouwen, Nicholas. (1997). “Nonrigid nonsubmerged vegetative roughness on floodplains.” *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(1), 51-57.
  13. Mahbub, A.K.M. Reza, and Suzuki, Shigeyoshi. (1988). “Flow Retardance in Open Channels due to Artificial Flexible Vegetation.” *Journal of irrigation engineering and rural planning*, 13, 5-17.
  14. Niklas, Karl J. (1992). *Plant Biomechanics: An Engineering Approach to Plant Form and Function*, University of Chicago Press.
  15. Palmer, V.J. (1945). “A method for designing vegetated waterways.” *Agricultural Engineering*, 26(12), 516-520.
  16. Petryk, Sylvester, and Bosmajian, George. (1975). “Analysis of Flow Through Vegetation.” *Journal of hydraulic division*, HY7, 871-884.
  17. Ree, W.O., and Palmer, V.J. (1949). “Flow of water in channels protected by vegetative linings.” *Tech. Bull. 967*, USDA.
  18. Rouse, Hunter. (1965). “Critical Analysis of Open-Channel Resistance.” *Journal of Hydraulic Division*, HY4, 4387-4411.
  19. Temple, D.M. (1980). “Tractive force design of vegetated channels.” *Transactions, American Society of Agricultural Engineers*, 23(4), 884-890.
  20. Temple, Darrel M. (1982). “Flow Retardance of submerged Grass Channel Linings.” *Transactions, American Society of Agricultural Engineers*, 25(5), 1300-1303.
  21. U.S.D.A. (1947). “Handbook of channel design for soil and water conservation.” USDA, Washington, D.C.
  22. Wilson, C.A.M.E., and Horritt, M.S. (2002). “Measuring the flow resistance of submerged grass.” *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 16, 2589-2598.
  23. Wilson, C.A.M.E., Stoesser, T., and P.D.Bates. (2003). “Open Channel Flow through Different Forms of Submerged Flexible Vegetation.” *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(11), 847-853.
  24. Wong, Tony H.F., Fletcher, Tim D., Duncan, Hugh P., and Jenkins, Graham A. (2006). “Modelling urban stormwater treatment--A unified approach.” *Ecological Engineering*, 27(1), 58-70.
  25. Yates, A.G., Bailey, R.C., and Schwindt, J.A. (2007). “Effectiveness of best management practices in improving stream ecosystem quality.” *Hydrobiologia*, 583(1), 331-344.
  26. Yen, Ben Chie. (2002). “Open Channel Flow Resistance.” *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(1), 20-39.
  27. Yu, Shaw L., Kuo, Jan-Tai, Fassman, Elizabeth A., and Pan, Henry. (2001). “Field Test of Grassed-Swale Performance in Removing.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(3), 168-171.
  28. Yu, Shaw L., Stanford, Richard L., Zhen, Jenny Xiao-yue, and Lin, Jen-Yang. (2005). “Water management for eco-friendly urban and highway construction.” *Journal of Ecotechnology*, 1, 1-8.
  29. 林春吉(2005) “水芹菜”台灣的水生與溼地植物，林春吉，ed.，綠世界出版社，宜蘭，122。
  30. 林鎮洋，賴進松，郭振泰，曹先紹，陳彥璋，楊翰宗，高蘇白，翁岳毅，李豐佐，張向寬，林宣佑和李允如(2005)。“水庫集水區生態水工結構物設計參數之建立(2/3)”。經濟部水利署，經濟部水利署，170。
  31. 陳彥璋，郭振泰，楊翰宗和楊孝忠(2007)。“高水位時期河川流量觀測”。*台灣水利*，55(4)，21-33。
  32. 楊遠波，顏聖紘和林仲剛(2001) “台灣水生植物圖鑑”。行政院農業委員會，行政院農業委員會。

收稿日期：民國 98 年 1 月 14 日  
 修正日期：民國 98 年 1 月 22 日  
 接受日期：民國 98 年 2 月 9 日