

土壤沖蝕性指數不同推估公式比較之研究

林湘芸⁽¹⁾ 李文櫻⁽²⁾ 林俐玲^{(3)*}

摘 要

土壤沖蝕性指數為土壤抵抗沖蝕之分離及搬運作用能力高低的一種量化指標，台灣現行使用之土壤沖蝕性指數 (K_m) 資料為萬鑫森及黃俊義 (1989) 依據 Wischmeier and Smith 之列線圖推算得台灣 280 處土壤之沖蝕性指數。

本研究以苗栗縣市為試區，選取 250 個土樣，配合由農業試驗所紀錄之各樣點座標及土壤物理性質之分析結果，以 Wischmeier、USDA 及 Torri 等三種推估公式進行估算結果之探討。Wischmeier 公式考慮因子較多，為目前廣泛應用之公式，但在土壤資料有所缺漏時，USDA 公式仍為一簡單方便之替代公式，而 Torri 公式在台灣之適用性仍較低。

(**關鍵詞**：土壤沖蝕性指數，幾何平均粒徑)

Study of Different Formulas to Estimate Soil Erodibility Factor

Siang-Yun Lin⁽¹⁾ *Wen-Ying Lee*⁽²⁾ *Li-Ling Lin*⁽³⁾

Graduate student⁽¹⁾, Master⁽²⁾ and Professor⁽³⁾, Department of Soil and Water Conservation National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

ABSTRACT

Soil erodibility factor (K) is an index to quantify the ability of soil to resist the erosion separation and transportation. Soil erodibility factors of 280 locations in Taiwan have been calculated by Wann and Huang (1989) using the Wischmeier and Smith nomograph. In this research, 250 soil samples were collected at Miaoli. The coordinates of every sample point and land use situations were recorded. Soil erodibility factors were estimated by three designated kinds of equations, which are published in Wischmeier et al. (1978), Torri et al. (1997), and United States Department of Agriculture (1984). The Wischmeier equation is used widely for its

(1) 國立中興大學水土保持學系碩士生

(2) 國立中興大學水土保持學系碩士

(3) 國立中興大學水土保持學系教授 (通訊作者 e-mail:llin@dragon.nchu.edu.tw)

consideration of more factors. Results show that USDA equation is a simple and convenient substitutable equation when the soil properties data are missing. The Torri equation is not suitable in Taiwan.

(**Keywords** : Soil erosion index, geometric mean particle diameter)

前言

台灣地區由於地文、水文及人為等因素使得土壤沖蝕情形甚為嚴重，為有效了解沖蝕產生的影響，土壤沖蝕量之量測與預估成為目前首要的課題。

現今台灣最常使用的土壤沖蝕量推估模式為通用土壤流失公式(USLE, Universal Soil Loss Equation)，其中，土壤沖蝕性指數 K_m 值為土壤抵抗沖蝕之分離及搬運作用能力高低的一種量化指標，土壤沖蝕性指數越低，顯示土壤的抗蝕能力越強(吳嘉俊、盧光輝、林俐玲,1996)。

USLE 公式中使用 Wischmeier et al.(1978)所提出之經驗公式以計算土壤沖蝕性指數，但 Wischmeier 公式計算所需因子數據十分繁雜，且取得不易，又台灣地區實測資料較少，以致尚未建立本土的估算方法。故本文以不同公式推估土壤沖蝕性指數，並比較其優缺點及方便性。

研究方法與材料

研究材料

本文選定苗栗縣市為試區，共選定 250 個樣本點，大多位於苗栗縣境，少部分分佈於新竹與台中縣市邊界，詳細點位分布如圖 1.所示。

本研究資料來源為農業委員會農業試驗所現地採集之土樣，進行總體密度、顆粒密度、飽和水力傳導度、有機質含量、粒徑分佈等基本性質分析。

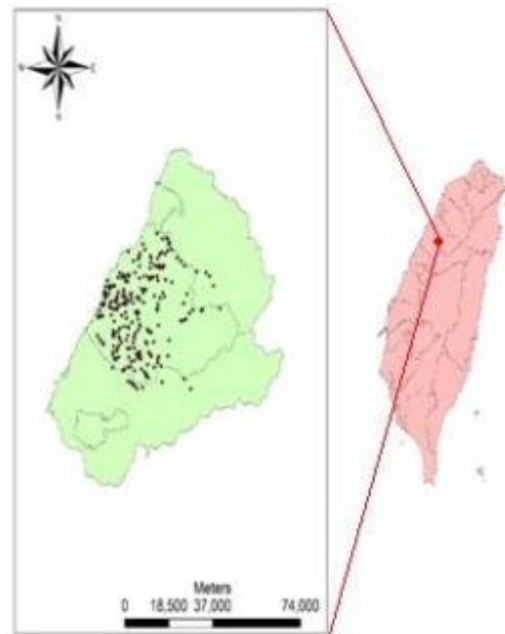


圖 1. 採樣點位分布圖

Fig1. Distribution of soil sampling locations

研究流程

本研究選定樣點篩選資料後，利用土壤之基本性質，以 Wischmeier 公式、USDA (United States Department of Agriculture) 公式與 Torri 公式等三種土壤沖蝕性指數估算公式進行推估，並針對結果進行探討，研究流

程如圖 2 所示。

研究方法

本研究依據土樣之基本物理性質進行 Wischmeier 公式、USDA 公式與 Torri 公式等三種土壤沖蝕性指數估算法進行推估，並針對結果進行探討。

一、Wischmeier 公式

現行通用之土壤沖蝕性指數 Wischmeier et al.(1978)所發表之公式:

$$K_m = 0.1317 \frac{2.1M^{1.14}(10^{-4})(12-a)+3.25(b-2)+2.5(c-3)}{100} \quad (1)$$

K_m = 土壤沖蝕指數 (ton-ha-hr-yr / ha-MJ-mm)

M = 粉粒與極細砂(0.002-0.1mm)% × (100% - 粘粒%)

a = 有機質含量百分比

b = 土壤結構參數 (表 1)

c = 土壤滲透性參數 (表 2)

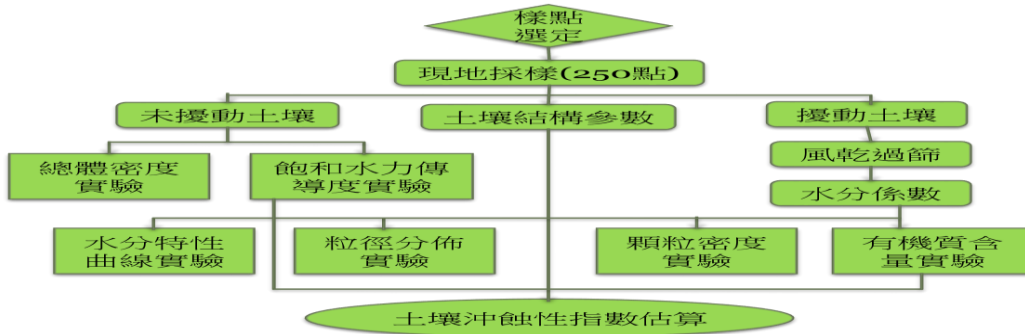


圖 2. 研究流程圖

Fig.2 The flow chart of research

表 1. 土壤結構參數表

資料來源為行政院農業委員會水土保持局
(2005)

Table1. Categories of soil structure index

結構參數值	土壤結構	粒徑大小 (mm)
1	極細顆粒	<1.0
2	細顆粒	1.0-2.0
3	中或粗顆粒	2.0-10.0
4	塊狀、片狀或粗顆粒	>10.0

表 2. 土壤滲透性參數表

資料來源為行政院農業委員會水土保持局
(2005)

Table2. Categories of soil infiltration index

滲透性參數值	滲透性	滲透速率 (mm/hr)
1	極快	>125.0
2	快	62.5-125.0
3	中等	20.0-62.5
4	中等慢	5.0-20.0
5	慢	1.25-5.0
6	極慢	<1.25

二、USDA 公式

美國農業部(USDA)利用幾何平均粒徑 (D_g)之觀念(Shirazi and Boersma, 1984), 使用土壤資料迴歸而得土壤沖蝕性指數計算公式:

$$K_m = 1.0001298 \times \left\{ 0.0034 + 0.0405 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(D_g) + 1.69}{0.7010} \right)^2 \right] \right\} \quad (2)$$

式中 $D_g = \exp \left(0.01 \sum_{i=1}^n f_i \ln m_i \right)$

f_i : i 粒徑等級之含量比

m_i : i 顆粒粒徑上下限之算數平均值

三、Torri 公式

Torri 公式為義大利學者 Torri *et al.*(1997)考慮土壤對數幾何平均粒徑 (D_g)、有機質含量(OM)及粘粒含量(C)所迴歸分析所得如公式:

$$K_m = 0.0293(0.65 - D_g + 0.24D_g^2) \times \exp \left\{ -0.0021 \frac{OM}{C} - 0.00037 \left(\frac{OM}{C} \right)^2 - 4.02C + 1.72C^2 \right\} \quad (3)$$

結果與討論

本研究以 Wischmeier 公式估算所得之土壤沖蝕性指數作為標準值, 與 USDA 公式與 Torri 公式估算所得之結果進行分析與討論; 另取 150 點樣本資料嘗試以中值粒徑 D_{50} 取代 USDA 公式中之 D_g 及 Torri 公式中之 D_g , 以比較其結果之適用性。

USDA K_m 及 Torri K_m 與 Wischmeier K_m 之比較

將 USDA K_m 及 Torri K_m 與 Wischmeier K_m 以無偏估線(1:1 line)分布圖表示如圖 3.至圖 4

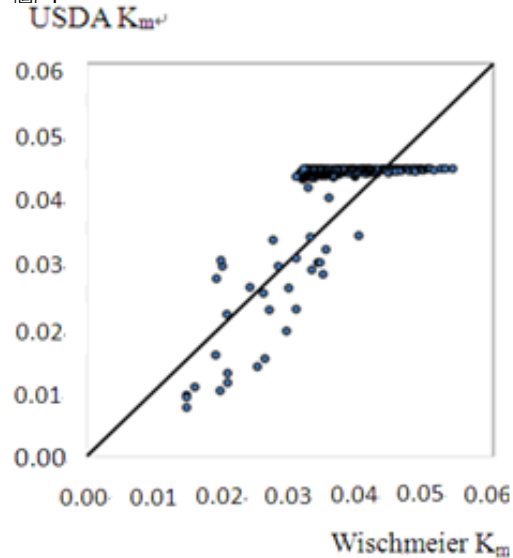


圖 3. USDA K_m 與 Wischmeier K_m 分佈圖

Fig.3. Relationship between USDA K_m and Wischmeier K_m

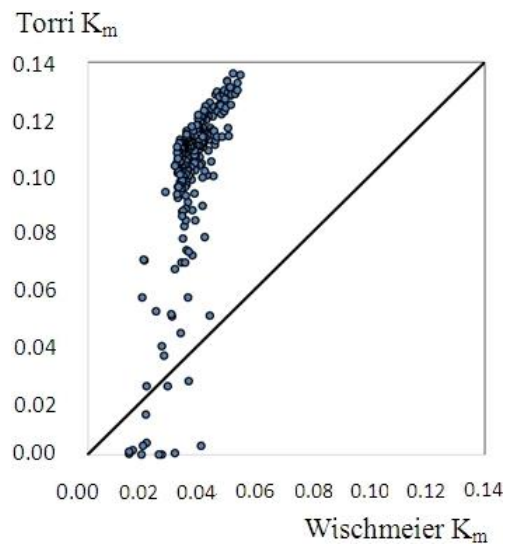


圖 4. Torri K_m 與 Wischmeier K_m 分佈圖

Fig.4. Relationship between Torri K_m and Wischmeier K_m

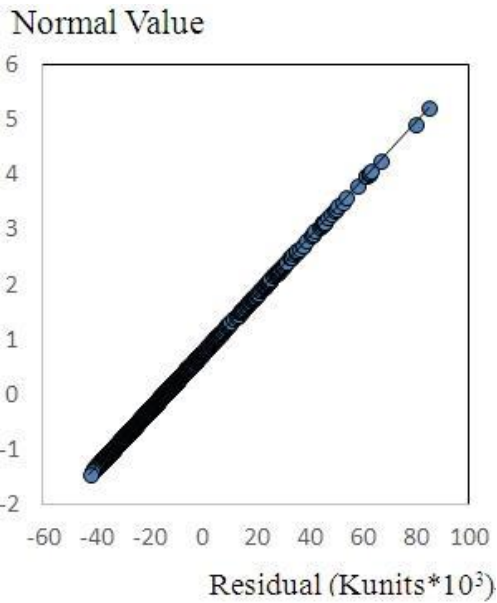


圖 5. Wischmeier 與 USDA 公式殘差分析之常態機率分佈圖

Fig.5 Normal probability plot of residuals calculated as Wischmeier Km minus USDA

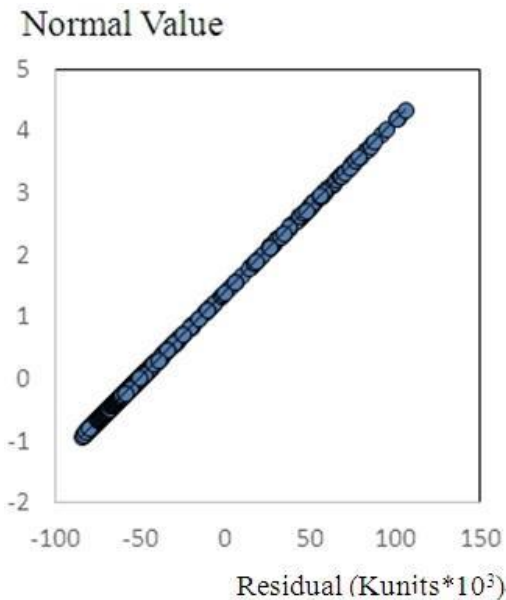


圖 6. Wischmeier 與 Torri 公式殘差分析之常態

機率分佈圖

Fig.6 Normal probability plot of residuals calculated as Wischmeier Km minus Torri Km

比較圖 3.與圖 4.，Wischmeier K_m 對 USDA K_m 分佈圖之點位分佈較為集中，圖 3. 相關係數達 0.722， R^2 為 0.622，而圖 4. 相關係數為 0.652， R^2 為 0.525，顯示 Wischmeier K_m 對 USDA K_m 之分佈圖之精度相較於 Wischmeier K_m 對 Torri K_m 之分佈圖為高；圖 3. 相關係數為 0.652， R^2 為 0.526，圖 4. 相關係數為 0.573， R^2 為 0.429。

表 3. 為 K_m 值估算公式統計整理之比較結果，由表中可看出最大值與最小值皆出現於 Torri 公式之推估，此公式之標準偏差也明顯較其他公式為高，由此可知 Torri 公式推估結果之變異程度相當大。

以 Wischmeier K_m 與 USDA K_m 及 Torri K_m 分別進行殘差分析，結果以標準化常態機率分佈圖表示如圖 5. 至圖 6.。

圖 5. 及圖 6. 中之 X 軸為兩公式估算之 K_m 值之殘差乘以 10^3 ，Y 軸為其常態分佈之標準化值。若殘差值大部分集中於零並往兩邊逐漸減少，表示兩公式之 K_m 值呈現常態分布，具有良好的相關性。

由圖 5. 可看出 Wischmeier K_m 與 USDA K_m 殘差值分佈情形呈現明顯常態分佈，顯示兩資料群間具有明顯相關性；圖 6. 中，

表 3. 各估算公式之 K_m 值統計比較表
 Table3. K_m value compared by different equations

最小值	0.0147	0.0074	0.0000002
平均值	0.0369	0.0410	0.1001
標準偏差	0.00708	0.00754	0.02921
	Wischmeier	USDA	Torri
最大值	0.0540	0.0439	0.1360

Wischmeier K_m 與 Torri K_m 殘差值均勻分佈，無明顯常態分佈現象，顯示兩資料群間之相關性並不顯著。

由以上分析結果可知，雖然 USDA 僅利用幾何平均粒徑作為估算因子，但其推估結果與 Wischmeier 公式推估之 K_m 值具有極佳之相關性。考量土壤沖蝕性指數估算公式之方便性、適用性及正確性，USDA 實為一良好之估算公式，可用以替代較為繁複之 Wischmeier 公式。

USDA K_m 之討論

受公式本身之限制，USDA 公式之估算值最大僅能達到 0.0439，將圖 3.配合土壤基本性質比較可發現(如圖 7.)，當土樣砂含量低於 30%時， D_G 值較小，對公式影響不大，估算值多集中於 0.043~0.044，分布呈一平行線狀;反之，當土樣砂含量高於 30%時， D_G 值開始增大，對計算結果亦產生較大影響。

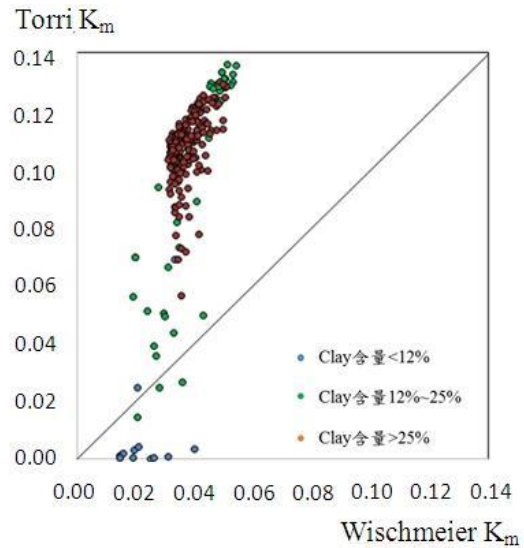


圖 7. USDA K_m 之 Sand 含量比較圖

Fig.7 Relationship of sand content of USDA K_m

Torri K_m 之討論

針對圖 4.中 Torri 公式估算值精度偏低情形配合土壤基本性質比較如圖 8.所示，可發現當 Clay 含量高於 25%時，Torri 公式之估算值有明顯高估的現象;反之，Clay 含量低於 12%時，估算值產生低估的情況。由本研究之實驗結果，Torri 公式之估算值於苗栗地區之適用性較低。

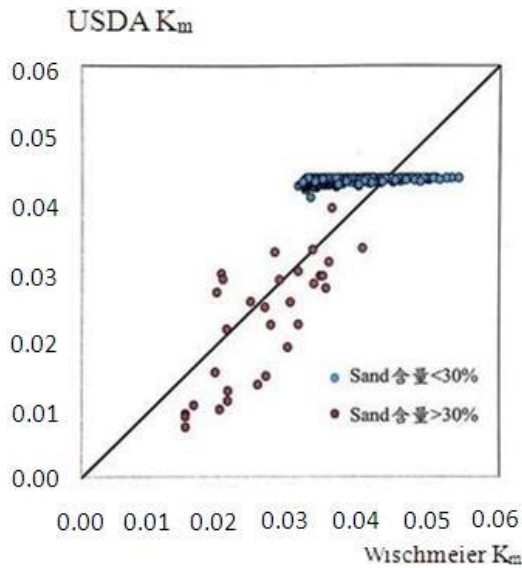


圖 8. Torri K_m 之 Sand 含量比較圖

Fig.8 Relationship of sand content of USDA K_m

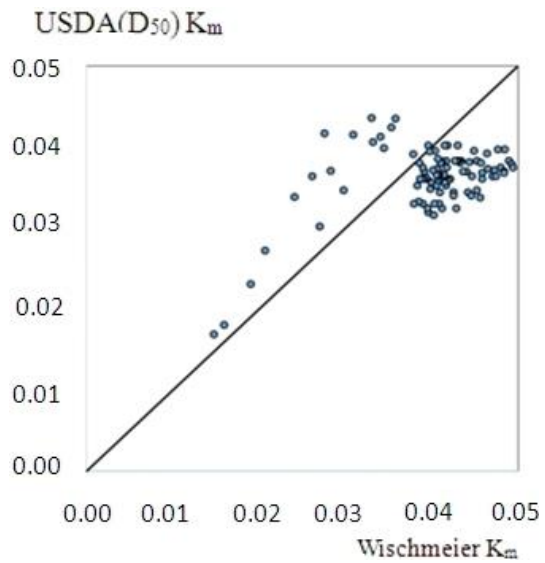


圖 9. USDA(D_{50}) K_m 與 Wischmeier K_m 分佈圖

Fig.9 Relationship between USDA K_m and Wischmeier K_m

以 D_{50} 取代 D_G/D_g 之比較

本研究另取 150 個樣本點資料，以中值粒徑 D_{50} 取代 USDA 中之幾何平均粒徑 D_G 及 Torri 中之 D_g ，比較此方法於苗栗地區之適用性，其中，中值粒徑 D_{50} 為土樣之砂坭黏累計含量百分比達 50% 時所對應的粒徑。

由圖 9. 及圖 10. 之結果可知，在 USDA 公式中，利用 D_{50} 所計算出之 K_m 值稍有低估現象，但仍有不錯的推估成果，其相關係數達 0.728；而 D_{50} 應用於 Torri 公式時則產生明顯低估之現象，可判斷此法於苗栗地區之適用性仍較低。

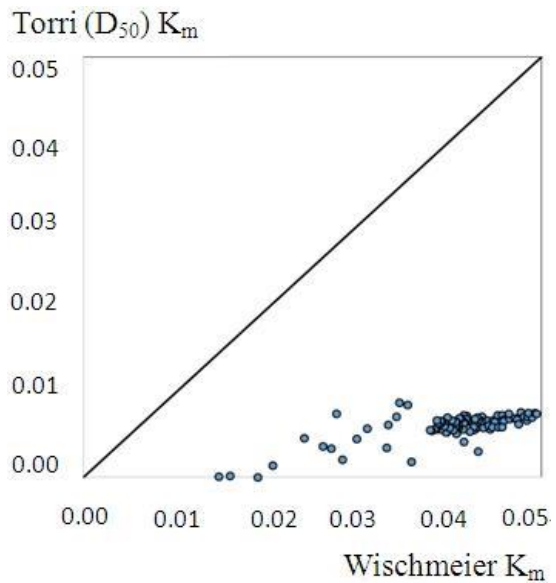


圖 10. Torri(D_{50}) K_m 與 Wischmeier K_m 分佈圖

Fig.10 Relationship between Torri K_m and Wischmeier K_m

Wischmeier K_m

結論

本研究以 Wischmeier K_m 作為基準，與 USDA K_m 及 Torri K_m 進行分析與比較，結果顯示 USDA K_m 之推估結果較佳，故往後若土壤資料有所缺漏時可利用 USDA 之幾何平均粒徑公式進行計算與參考。

本文另以 D_{50} 取代 USDA 中之幾何平均粒徑 D_G 及 Torri 中之 D_g ，USDA 公式有不錯之推估成果，但在 Torri 公式中之推估值則有明顯低估的情形。

目前通用之 Wischmeier 公式有使用條件之限制且較適用於壤土，當粘粒含量高於 25% 時在本研究中並不適合，且現有之土壤資料庫尚未建立完善，故利用較為方便取得之粒徑分佈資料進行土壤沖蝕性指數之估算實為一可行之辦法，亦可善加利用中值粒徑或是幾何平均粒徑並配合適當之推估公式以求得最佳之推估成果。

參考文獻

1. 行政院農業委員會水土保持局(2005)，「水土保持手冊」，台灣。
2. 吳嘉俊、盧光輝、林俐玲(1996)，「土壤流失量估算手冊」，行政院農業委員會。
3. 林俐玲、張舒婷(2008)，「土壤沖蝕性

指數估算公式之研究」，中華水土保持學報，39(4)：355~366。

4. 萬鑫森、黃俊義(1989)，「臺灣坡地土壤沖蝕」，中華水土保持學報，20(2)：17~45。
5. Torri, D., J. Poesen and L. Borselli (1997), "Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset," Elsevier Sci. B. V., 31: 1~22.
6. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith (1978), Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning, U.S. Dep. Agric. Handb., No. 537.
7. Wischmeier, W.H., C.B. Johnson and B.V. Cross (1971), "A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites," J. Soil and Water Conserv., 26:189~193.

103 年 03 月 05 日收稿

103 年 03 月 15 日修改

103 年 03 月 26 日接受