

水的經濟價值評估—線性規劃法之應用

鄭欽龍*

【摘要】森林涵養水源增加可用水量的經濟效益，可以應用線性規劃法及其影子價格理論，建立適當模型加以評價。本研究利用民國75年台灣22部門用水量、產出、附加值以及產業關聯模型等工商普查資料，量化假設缺水狀況下最適的水資源分配與國內生產毛額損失之間的關係，而估計出每一立方公尺用水的經濟價值為26元。經與其他研究比較，顯示本研究方法具有適當之理論架構，在研究的費用和時間上也更為節省。

【關鍵詞】水的經濟價值，水源涵養，線性規劃，影子價格。

台大實驗林研究報告 8(1) : 149-160 (1994)

An Evaluation of the Economic Value of Water —An Application of the Linear Programming Model

Chinlong Zheng*

【Abstract】The economic value of increasing the available water supply as a result of conservation of forested watersheds can be evaluated by an application of the linear programming model and its shadow price approach. This study empirically uses data for 22 sectors from the water consumption, output, value added and input-output tables obtained from Taiwan's 1986 business survey. It quantifies the relationship between optimal water resource allocation and the loss of gross domestic product under an assumption of water shortage, and concludes that the economic value of water is 26 NT dollars per cubic meter. Comparison with other studies shows that this proposed approach has a sound theoretical framework and is more effective both in cost and time saving.

【Key words】Economic value of water, water conservation, linear programming, shadow price.

Quart. Journ. Exp. For. Nat. Taiwan Univ. 8(1) : 149-160 (1994)

一、前言

森林在涵養水源上具有顯著的效益，森林可將降於地面之雨水迅速轉入地下，一方面減少地表逕流沖蝕，提高水質；另一方面又將水分貯於地層，增加可用之水量（陳信雄，1984）。但在傳統的森林評價上，由於水源不存在交易市場，故未將這種非市場財貨（nonmarket goods）的效益加以評估其貨幣價值。近年來在環境效益的評價方法上發展出多種理論，諸如旅行成本法、特徵價格法以及假設條件評估法等，國內也有許多應用的案例。這些方法可應用於評價水質改善、防洪或河川景觀等屬於公共財（public goods）之效益，但是否適用於評價增加水量此一效益仍有爭議。所謂公共財需具備消費上的非互競性（non-rivalness），即新增之消費對原既有之消費者不產生效用之減少，例如河川

* 中華經濟研究院研究員。

* Research Fellow of Chung-Hua Institution for Economic Research.

景緻之欣賞、防洪均屬之；但顯然消費性用水（consumptive uses）則具互競性，而前述方法係為評價公共財而發展出之理論（Pearce and Markandya, 1989）。

本文試圖應用影子價格化（shadow pricing）的概念，將不具非互競性但又不存在一個運作市場的水資源，加以評估其經濟價值。本文利用線性規劃法及其對偶理論（dual theorem）延伸之影子價格（shadow price）概念，建立適當的評價模型，再應用台灣地區之產業關聯表、各部門產出及用水量等實證資料評估水的經濟價值。此評估結果可供評價森林在涵養水源增加可用水量上之經濟效益的參考。

二、文獻回顧

國內研究森林涵養水源效益的文獻大多為探討集水區植被、坡度、土壤型態或森林作業方式對集水區水質和水量的影響，進而分析水源涵養的實體（physical）效益（陳信雄，1993,1984；謝豪榮，1983-1986）。然而因為缺乏水的經濟價值資料，對於水源涵養的經濟效益評估則尚不能利用此實體效益加以貨幣量化。在水的經濟價值評估方面，國內的研究尚在發展階段。任憶安等（1988）曾利用近年完工的10座水庫每立方公尺的開發工程費的平均值做為評估水源涵養經濟效益的基礎。台灣省林務局（1985）也以興建翡翠水庫的工程費用以及應用孔隙率推算森林土壤含水量而估計森林在水源涵養上的效益。但是以水庫工程費來評估水的經濟價值除了受到水庫型式、庫址及其目標而異之外，應用生產成本代替價值是否適當，在學理上尚有爭議（Gibbons, 1985）。

由於水價通常受到政府或議會管制而不能反映其實際之經濟價值，在評估水經濟價值的文獻上大多以影子價格化的方法分析其實際價值（Gregerson *et. al*, 1987）。楊榮啓（1992）在研究台灣森林資源多目標經營，以目標規劃理論應用了影子價格來衡量森林的外部效益，在理論上此效益包括了水源涵養、水土保持和遊樂等。Colby（1989）應用消費者剩餘（即願付價值減去購買支出）分別將各種用途的水經濟價值加以估計。Henry 和Bowen（1981）利用產業關聯模型估計各部門用水的經濟價值，並推估供水對整體經濟的效益。Young 和Gray（1985）也應用產業關聯模型以及機會成本推估供水的效益，並進而評價區域供水計劃的經濟效益。

三、研究方法

本研究是以線性規劃法，應用產業關聯模型，分別在假設的不同供水量的下，以及依據水利法限制用水由農業部門移轉到工業部門和實務上 Unlimited 移轉的兩種狀況下，計算出不同條件下最適的水量配置以及相對應的最大化國內生產毛額（gross domestic product; GDP）。本研究模擬三種供水條件即：水量充足、水量不足工業用水的10%和水量不足20%。首先，我們模擬在水量充足時，藉由各部門之間的產業關聯關係，計算出此狀況下的最大化GDP，再與實際的GDP比較無誤後，再進而模擬水量不

足時，各部門最大淨產出值及其合計後所得出之最大化GDP。由供水不足時之最大化GDP和實際GDP之間的差額再與供水減少量比較，即可估算出水的影子價格，亦即水的經濟價值。

1.線性規劃模型

以下先將本文所用之線性規劃模型以數學式列出，再加以說明其意義。

(1)目標函數

$$\text{Max } Z = \sum v_i X_i$$

(2)限制條件

$$\begin{array}{lcl} (2.1) & \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \cdots & w_n \\ 1-a_{11} & -a_{12} & \cdots & -a_{1n} \\ -a_{12} & -a_{1n} & \cdots & -a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -a_{n1} & -a_{n2} & \cdots & 1-a_{nn} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} \\ (2.2) & & \leq \\ (2.3) & & \begin{bmatrix} W_{(s)} \\ F_1^0 \\ F_2^0 \\ \vdots \\ F_n^0 \\ W_1^0 \\ W_n^0 \end{bmatrix} \\ \vdots & & \\ (2.n+1) & & \\ (2.n+2) & \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & w_n \end{bmatrix} & \\ (2.n+3) & & \end{array}$$

其中， v_i ， $i=1, \dots, 22$ ，表示各部門的附加價值率；

X_i ， $i=1, \dots, 22$ ，表示各部門的產出值；

Z 表示 GDP為各部門附加價值（ $v_i X_i$ ）的總和；

a_{ij} ， $i=j=1, \dots, 22$ ，表示各部門的投入產出技術係數

$F_1^0, F_2^0, \dots, F_n^0$ ($n=22$)表示各部門在供水充足時的最終需求水準；

w_i ， $i=1, \dots, 22$ 表示各部門的單位產值用水量， $w_i = W_i/X_i$ ；

$W_{(s)}$ 表示總供水量；

W_1^0, W_n^0 分別表示供水充足時農礦部門及營建服務和家計部門的用水量。

本線性規劃模型的目標函數的意義為：在受限於下列的限制條件之下，使各部門附加值的總和（GDP）最大化。此模型共有22個部門，包括農礦業、二十項製造業部門以及營造、服務及家計部門，詳細之部門分類可參考下節之表1，不在此重述。

本線性規劃模型的限制條件可分成三類：用水量的限制、產業關聯和最終需求的限制以及用水移轉的限制。茲詳細說明如下：

(1)用水量限制

用水量限制表示在限制條件（2.1），即 $\sum w_i X_i \leq W_{(s)}$ 。 w_i 表示第 i 部門的單位產值用水量，等

於 W_i / X_i , W_i 表示第 i 部門的用水量, 因此 $w_i X_i$ 等於 W_i 。單位產值用水量 w_i 又被稱之為用水係數 (water requirement coefficients)。此一限制條件表示各部門的用水量總和 ($\sum w_i X_i$) 不得大於既定之總供水量 W_s 。此一總供水量在模擬時依據假設的不同供水條件而改變。供水條件有三種: (一) 供水充足, (二) 供水不足, 缺水量為原工業用水量之 10%, 以及 (三) 缺水量為原工業用水量之 20%。

(2) 產業關聯和最終需求限制

此類限制條件為上述限制式中的 (2.2) 至 (2.n + 1) 的 22 項限制式。此限制表示在固定的各產業之間的投入產出技術係數 (即 a_{11} 至 a_{nn}) , 由於供水不足各部門的產出不得大於其在供水充足時的產出水準, 所以供水不足時的各部門的最終需求水準亦不能超出其原來水準 (即 F_i^0)。限制各部門在供水不足時產出和最終需求水準不能超過其原水準, 其理由是表示在供水不足時, 各部門的用水量只可能減少而不會增加。倘若在線性規劃模式中不加入此一限制, 則在求最大化 GDP 時會將用水分配至用水效率更高之部門, 如此一來, 用水效率高之部門在供水不足時反有更多之用水量。然而在缺水時若有這樣的水源調度顯然是不合實際的。

另外, 此一限制係將整個經濟體系中各部門之間的互相依賴關係 (interdependency) 藉產業關聯模型而表示出來。由於產業關聯模型存在固定的投入產出技術係數, 所以當某一部門的產出減少時, 與其存有互相依賴關係的部門的產出亦會減少。反之, 若不存在互相依賴關係的部門則其產出和最終需求都不會減少。將產業關聯模型帶入限制條件中即是考慮了供水不足時各部門之間的產出與與最後需求關係, 故本模型評估用水減少與附加值減少的關係時, 已經包含了的整個經濟體系因產業關聯關係而導致的間接和引伸的 (indirect and induced) 生產損失。

(3) 用水移轉的限制

我國水利法對於水源不足時, 有不同用途別的水需依優先順序分配的規定。水利法第十條規定「用水標的之順序如左: 一、家用及公共給水。二、農業用水。三、水力用水。四、工業用水。五、航運。六、其他用途。……」, 第二十條並規定「……因水源之水量不足, ……用水標的順序在先者有優先權, 順序相同者, 先取得水權者有優先權……」。本模型中在加入用水移轉限制時, 即表示水源不足時農礦部門和營建、服務和家計部門的用水量優先供給而不能移轉至工業部門, 而使其少於供水充足時的原用水量, 即 W_1 和 W_n 。此條件是為反映法律上之限制。另外, 在模擬中此一限制條件也將之解除, 俾便比較有或無用水移轉限制條件下的水的經濟價值。雖然水利法有優先供給家庭用水和農業用水之規定, 但近年台灣工業發展迅速農業相對萎縮, 因此實際上在水量不足時, 經常減少農業灌溉用水而移轉至工業部門。所以在模擬時不限制用水移轉則是反映了水源調度的實務。

2. 水的影子價格: 對偶模型之探討

線性規劃模型具有對偶性 (duality), 就是每一個原始 (primal) 線性規劃問題都可以轉換成對偶 (dual) 問題, 而兩者的最適解相等 (Hiller and Lieberman, 1980)。對偶模型引進新的決策變數替代原始模型的決策策數, 此新決策變數在本模型中即是影子價格。

前小節的原始線性規劃模型可以改寫成以下之對偶模型, 在此模型中引入一組包括水以及各部門

最終需求的影子價格，為其新的決策變數。從對偶模型中可以更進一步了解如何應用線性規劃法的影子價格概念評估水的經濟價值。

以下為前述線性規劃模型之對偶模型的目標函數和限制條件：

(1') 目標函數

$$\text{Min } D = W_{(s)} \cdot P_w + \sum F_i \cdot P_{fi}$$

(2') 限制條件

$$\begin{array}{l} (2'.1) \\ (2'.2) \\ \vdots \\ (2'.n) \end{array} \begin{bmatrix} w_1 & 1-a_{11} & -a_{21} & \cdots & -a_{n1} \\ w_2 & -a_{12} & 1-a_{22} & \cdots & -a_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n & -a_{1n} & -a_{2n} & \cdots & 1-a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_w \\ P_{f1} \\ P_{f2} \\ \vdots \\ P_{fn} \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}$$

其中， P_w 為水的影子價格， P_{fi} ， $i=1, \dots, n$ 為第 i 部門最終需求的影子價格。其餘之 $W_{(s)}$ ， F_i ， w_i ， a_{ij} 以及 v_i ($i=j=1, \dots, n$) 都與前述原始模型的定義相同，茲不再重述。

對偶模型的目標函數的意義為：機會成本(D)最小化，而此一機會成本包括用水的機會成本 ($W_{(s)} \cdot P_w$) 和各部門最終需求的机会成本 ($\sum F_i \cdot P_{fi}$)。由於多生產某一最終產品必須透過產業關聯關係增加其他產品的需求，進而增加某一定的用水量，而使這一定量的水不能分配至其他部門使用，相對減少其他部門的生產，所以產生用水的機會成本。相同的，若不分配用水至某一部門或分配之水量不足該部門所需，則會使該一部門生產停頓或減少，同時也產生最終需求的机会成本。對偶模型的目標函數即在使水量分配所生之用水機會成本和最終需求機會成本的總和最小化，亦即將供水不足所產生之損失最小化。

對偶模型的限制條件其意義可用第一部門為例加以說明，此部門之限制式可改寫如下：

$$w_1 P_w + P_{f1} - a_{11} P_{f1} - a_{21} P_{f2} - \cdots - a_{n1} P_{fn} \geq v_1 \quad (3)$$

式(3)的經濟意義可被解釋為生產一單位第一部門的最終產品的用水價值 ($w_1 P_w$) 加上此產品之價值 (P_{f1}) 減去此產品所需投入之各項中間需求的價值總和 ($-a_{11} P_{f1} - \cdots - a_{n1} P_{fn}$) 應大於等於第一部門最終產品的附加值率 (v_1)。另外，產品之價值減去各項中間需求的價值總和為此最終需求產品的附加值率，所以式(3)可再改寫為：

$$w_1 P_w + v_1' \geq v_1 \quad (4)$$

其中， $v_1' = P_{f1} - a_{11}P_{f1} - a_{21}P_{f2} - \dots - a_{n1}P_{fn}$ 。式(4)的意義為：在供水不足時，生產一單位第一部門產品的用水的影子價格（ w_1P_w ）加上該產品的新的附加價值率（ v_1' ）應大於等於原來之附加價值率（ v_1 ）。反之，若供水充足時，用水的影子價格為零，故 $v_1' = v_1$ 。此外，從對偶理論中，得知原始線性規劃問題的最適解 Z^* （即最大化之GDP*）等於對偶問題的適解 D^* （即最小之機會成本），而最適解 D^* 可以用機會成本函數表示如下：

$$D^* = D(P_w, P_{f1}, P_{f2}, \dots, P_{fn}/W(s), F_1, F_2, \dots, F_n) \quad (5)$$

式(5)機會成本函數之意義為：最適解 D^* 係內生之影子價格 $P_w, P_{f1}, P_{f2}, \dots, P_{fn}$ 和外生之供水量 $W(s)$ ，各部門最終需求， $F_1, F_2, \dots, F_n$ 的函數。由於 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 係既定之外生變數，機會成本 $P_w, P_{f1}, P_{f2}, \dots, P_{fn}$ 為內生變數，所以最適解 D^* 可用隱函數（implicit function）表示為缺水時總供水量 $W(s)$ 之函數。然而，供水充足時，總供水量為一常數，故缺水時之供水量即為此常數減去缺水量 s 。所以最適解 D^* 亦為缺水量 s 之函數，所以可用下式表示：

$$Z^*(s) = D^*(s) = f(W(s)) \quad (6)$$

令用水量供給足夠，即缺水量 $s=0$ ，則供水充足時之最適解 $Z^*(0)$ ，亦即不缺水時最大之GDP = $Z^*(0) = Z^0$ 為原來之GDP水準。我們可以定義水的經濟價值亦即水的機會成本為：水量不足時最有效率的用水分配所得到最大化之GDP（即 $Z^*(s)$ ）與原來之最有效率GDP水準（ Z^0 ）之間的差距，即 $Z^0 - Z^*(s)$ ，而水的影子價格為單位水量的機會成本，等於 $Z^0 - Z^*(s)$ 除以缺水量 s 。

四、水的經濟價值評估

我們利用上述的線性規劃模型，以民國75年的實際資料進行模擬，分析在供水不足時的各部門最適用水量以及附加值的狀況，最後再計算水的影子價格。在模擬時，首先假設供水不足的缺水量為一週工業用水量的10%和20%，亦即一週內分別短缺220.8萬立方公尺和441.60萬立方公尺的用水量。這一模擬假設的理由為：本線性規劃模型因其包括了李昂提夫生產函數形式的產業關聯模型故為一短期的生產函數，所以用一週表示短期；另外，依據我國水利法對於水源不足時規定工業用水分配的順位低於農業用水及生活公共用水，故缺水量以工業用水總量的百分比表示之。

1. 實證資料來源

首先說明進行本線性規劃模型所需實證資料的來源。本模型所使用之資料均以民國75年工商普查及產業關聯表之編製所得之資料為基本，這是目前可得到之最近期資料。模型所用之資料茲分別說明如下：

- (1) v_i ：各部門的附加價值率，係由行政院主計處編製之民國75年49部門產業關聯表合併為本研究所需之22部門產業關聯表後，再行計算而得。

- (2) a_{ij} ：依據民國75年之49部門產業關聯表合併成22部門產業關聯之投入產出技術係數。
- (3) F_i ：各部門的最終需求係依據民國75年之49部門產業關聯表合成22部門，再計算各部門全年之最終需求值除以52週而得。
- (4) w_i ：各部門的單位產值用水量，亦即用水係數，係根據民國75年工商普查之各部門用水量除以75年產業關聯表所列之各部門產出值而得之。
- (5) $W_{(s)}$ ：供水充足時，一週之供水量 $W_{(s)}$ 係依據民國75年工商普查之全年總用水量除以52週而得。另外，又模擬缺水量為工業用水總量之10%和20%兩種不同缺水程度之供水，即一週分別短缺220.8萬立方公尺和441.6萬立方公尺。

2.模型模擬結果

在模擬時，我們首先分別以缺水量一週220.8萬立方公尺和441.6萬立方公尺兩種狀況加以模擬，其在各部門之最適用水減少量及附加值損失上，缺水量220.8萬立方公尺的模擬結果都為缺水量441.6萬立方公尺之模擬結果的二分之一。換言之，各部門之用水減少及附加值損失在此模擬範圍內都與其缺水量成固定比例。另外為求審慎，我們亦另模擬缺水量為工業用水之5%和15%，其結果亦是附加值減少與缺水量成固定比例，所以在此範圍內的缺水量並不改變水的影子價格之計算結果。因此以下我們就以缺水量為一週441.6萬立方公尺的模擬結果表示，以節省篇幅。

(1)用水量

表1所列為在供水不足時，為使國內生產毛額（GDP）最大化的目標下，各部門最適的用水減少量的分配情形，同時也使實際GDP與供水不足的GDP之間的差距最小化；換言之，最適的減少用水使水資源配置效率提高，將供水不足的社會損失最小化。若部門用水量未減少者，在表1中以橫線表示。

依據水利法水源不足時限制將農業用水移轉至工業部門，或依據目前水量調度實務則不限制移轉，兩者缺水量都假設是441.6萬立方公尺。在限制移轉的情況下，最適之減少水量以造紙、紙製品及印刷業為最多。這是由於除了農礦業外，此產業之單位產值所需的用水量最高，顯示比其他產業的用水效率低。此外，農礦業在限制用水移轉下，其用水量仍然減少，其原因為透過產業關聯效果，農礦業仍會減少其最終需求的生產水準而減少其用水量。

另外在不限制農業用水移轉的模擬條件下，在總減少的441.6萬立方公尺的水量中，以農礦業的減少量最多，為437.4萬立方公尺，高達99%。產生農礦業用水分配減少最多的原因是：農礦業的單位產值用水效率最低，在線性規劃模式模擬中，此一分配可使供水不足產生之損失最小化。

(2)附加值

表1顯示，限制農業用水移轉和不限制移轉兩項模擬的結果，兩者附加值損失相差甚大。在限制移轉時，水資源無法在各部門之間自由移動，所以其附加值損失大於不限制移轉時之附加值損失。此情形下，以造紙、紙製品及印刷業損失最多，營建、服務業及家計部門其次。但在不限制移轉時，則

水資源可由用水效率低的農礦部門移轉至其他部門，所以全體部門總的附加值（即 GDP）損失可以減少。在限制移轉下，最小化的 GDP 損失達 1073 百萬元，然在不限限制移轉下，最小化的 GDP 損失可減為 114 百萬元。

表 1 各部門最適用水減少量及附加值損失

部 門 別	用 水 減 少 量 (立方公尺)		附 加 價 值 損 失 (千元)	
	限制移轉	不限限制移轉	限制移轉	不限限制移轉
01 農礦業	1,527,821	4,374,292	28,505	81,613
02 食品業	10,837	12,859	4,527	5,371
03 飲料及菸草業	47	—	112	84
04 紡織業	5,618	292	3,078	160
05 成衣及服飾品業	80	—	1,943	247
06 皮革及毛皮業	123	—	392	29
07 木竹製品及家具業	1,064	—	5,576	182
08 造紙、紙製品及印刷業	2,484,005	1,844	672,520	499
09 化學材料業	43,129	1,476	13,263	454
10 化學製品業	4,045	452	13,949	1,559
11 石油及煤製品業	16,846	1,522	29,147	2,633
12 橡膠業	1,010	44	1,942	113
13 塑膠業	3,035	143	9,826	464
14 非金屬礦物業	8,115	645	4,763	379
15 金屬基本工業	4,125	323	4,086	320
16 金屬製品業	1,854	107	6,983	402
17 機械業	146	—	3,347	272
18 電機及電子業	586	—	2,598	219
19 運輸工具業	391	21	1,656	367
20 精密器械業	47	—	1,420	18
21 雜項製品業	582	102	1,411	246
22 營造、服務業及家計部門	302,825	22,145	262,010	19,171
全體部門	4,416,331	4,416,331	1,073,053	114,803

(3) 影子水價

從上表各部門的附加值損失除以其缺水量可算出水的影子價格，詳見表 2。表中橫線欄表示該部門未減少用水量，故無法計算出其影子水價。在限制移轉下，全體部門的影子水價每一立方公尺高達 243 元，此乃因水資源不能有效率配置所致，然而此一高價並不符實際，因為在水源調度的實務上並不限制農業用水移轉。然而，由此亦可見現行的實務是較水利法的規定對社會更有利。個別部門的影子水價最低者為農礦業，每一立方公尺 19 元。在不限限制移轉的情況下，全體部門的影子水價 26 元，此價格等於全體部門的附加值損失總和除以總缺水量，同時亦為各部門影子水價的加權平均值，其權數為各部門缺水量對應於總缺水量的比例。

表2 各部門影子水價

單位：元 / 立方公尺

部 門 別	限制移轉	不限制移轉
01 農礦業	19	19
02 食品業	417	418
03 飲料及菸草業	—	—
04 紡織業	548	548
05 成衣及服飾品業	—	—
06 皮革及毛皮業	3,161	—
07 木竹製品及家具業	5,245	—
08 造紙、紙製品及印刷業	271	271
09 化學材料業	308	306
10 化學製品業	3,448	3,451
11 石油及煤製品業	1,730	1,727
12 橡膠業	1,921	2,568
13 塑膠業	3,237	3,245
14 非金屬礦物業	587	586
15 金屬基本工業	990	990
16 金屬製品業	3,769	3,757
17 機械業	—	—
18 電機及電子業	4,438	—
19 運輸工具業	4,235	17,476
20 精密器械業	—	—
21 雜項製品業	2,425	2,411
22 營造、服務業及家計部門	865	865
全體部門	243	26

五、討 論

每一立方公尺的影子水價為26元的評估結果是否可靠？以下我們列出一些不同來源的水價和開發成本數據做為參考。依據經濟部（1994）資料，目前在施工及規劃中的鯉魚潭等6座水庫的工程經費，若以水庫年增水量為權數，每一立方公尺水量的加權平均開發成本為16.8元。在此六座水庫中，最高值為23.95元，最低值為4.21元。任憶安等（1988）分析近年10座完工水庫每立方公尺水量開發工程費，平均為50.3元（民國70年幣值），最高為131.75元（澎湖東衛水庫），最低為7.33元，3座介於12元至19元之間。另依據黃宗煌（1987）對屏東沿海水產養殖業的調查估計地下水每一立方公尺的影子價格為14.5元。由此可見，本研究所評估的影子水價應屬合理。

此外，以上每立方公尺影子水價26元在解釋及應用上須注意以下四點：

- (1)此一影子水價為一短期價格。因為線性規劃模型中的產關聯關係為線性的李昂提夫生產函數，並未考慮水與其他生產因素之間的替代性。若隨供水不足的時間延長或發生次數增加，用水戶將採用省水設備，以增加資本財來減少用水，故長期影子水價應向下修正。
- (2)此一影子水價所表示之水的經濟價值包含了缺水而產生之直接、間接和引伸性減產損失，因為本模型已將整體經濟體系中各部門的產業關聯關係納入。
- (3)此一影子水價是在模型中假設水已送至各部門，所以在估算森林涵養水源的效益時，運水成本及途中之失漏應扣除。
- (4)此一影子水價係以民國75年的幣值計算，故應用時須視不同時期而調整幣值變動。

此外，由以上各水庫開發工程成本之間的差距可見，工程費視水庫大小、庫址而異，而本文之線性規劃模型已包含全台灣地區各部門的產業關聯模型、用水量及附加值等整體性經濟資訊，故此評估方法可避免以個別水庫或個別地區資料計算水價所產生之取樣偏誤。另外，應用本模型進行水價值的評估是屬事前的（ex-ante），不需待水庫工程完工或規劃完成後估價，或在個別地區進行統計調查，才能獲得事後的（ex-post）評估結果。所以本模式所需之費用較低，而且適合於計劃評價（project appraisal）之需，因為計劃評價係做為投資決策的事前分析之用。

綜合以上討論，我們認為線性規劃模型提供了利用影子價格做為評估水的經濟價值適當的理論基礎，同時模型運用大量的全台灣地區經濟普查資料，如產業關聯表、各部門用水量、產出和附加值，故其評估結果不致產生取樣上的誤差。這些資料可由政府部門獲得，所以應用本模型評估所需的費用較低，而且時間較短，故適用於事前的計劃評價。

六、結 論

森林在涵養水源增加可用水量上具有明顯的效益，如何評估此一效益的經濟價值，做為森林經營決策上之參考，實屬必要。本文首先應用線性規劃法及其對偶模型，建立以影子價格做為評估水的經濟價值之理論架構，再將各部門之實際用水量、產出、附加值以及產業關聯表帶入模型，進而估計影子水價為每一立方公尺26元。此一水價並與其他研究所得之水庫單位水量開發成本及地下水機會成本比較，顯示此一影子水價之評估值應屬合理。

本文之研究方法較其他水經濟價值之評估法尚具三項有利之處。第一、本方法具有適當之理論基礎；其次為應用全國性普查資料可避免取樣之偏誤；第三，為事前之評估，且評估所需之時間及成本都較少。

七、參考文獻

- 1.臺灣省林務局 (1985) 森林水源涵養功能及其社會效益的評估, 研討報告。
- 2.任億安、王鴻濬、賴柳英 (1988) 臺灣森林對水資源涵養之經濟效益評估, 中華林學季刊21(3):17-25。
- 3.陳信雄 (1993) 不同土地利用對水資源涵養效益之調查研究, 中華林學季刊26(3):41-61。
- 4.陳信雄 (1984) 森林在水資源涵養效益評估之研究(一), 國立臺灣大學農學院實驗林研究報告 151號。
- 5.黃宗煌 (1987) 臺灣蝦類養殖業之外部效果及受水污染之影響的經濟評估, 清華大學經濟系, 行政院農業委員會補助研究計劃。
- 6.楊榮啓 (1992) 目標規劃在臺灣森林經營管理計畫決策上之應用, 國立臺灣大學農學院實驗林研究報告。6(1):1-24。
- 7.經濟部 (1994) 水資源基本政策與規範, 全國水利會議研討資料。
- 8.鄭欽龍 (1991) 臺灣地區工業用水需求及其經濟價值分析, 中華經濟研究院, 經濟部水資會委託研究計畫。
- 9.謝豪榮 (1983-1986) 森林在水資源涵養效益評估之研究(一)~(四), 中興大學水土保持研究所。
- 10.Colby, B.G. (1989) "Estimating the Value of Water in Alternative Uses." *Natural Resources Journal* 29:511-527.
- 11.Davis, H. C. and H. Cherniack (1987) "Interindustry Approaches to the Analysis of a Supply Disruption of a Critical Resource". *Resource Policy* 13(1):47-54.
- 12.Gibbons, D. C. (1986) *The Economic Value of Water*. Resources for the Future, Inc. Washington D.C.
- 13.Gregerson, H. M. *et. al.* (1987) *Guidelines for Economic Appraisal of Watershed Management Projects*. FAO.
- 14.Henry, M.S. and E. Bowen (1981) "A Method for Estimating the Value of Water Among Sectors of a Regional Economy". *Southern Journal of Agricultural Economics* 13(2):125-132.
- 15.Hiller, F. S. and G. J. Liberman, (1980) *Introduction to Operational Research*. 3rd ed. Holden-Day Inc, San Francisco.
- 16.Moncur, J. E. T. and R. L. Pollock (1988) "Scarcity Rents for Water: A Valuation and Pricing Model". *Land Economics* 64(1):62-72.