

陰陽五行生物鏈相生相剋之灰色防治模擬分析

陳鈞華¹ 蔡瀚德² 李煜基³ 鄭富尚⁴ 張武訓⁵ 甘俊二⁶

1屏東科技大學土木工程系副教授、水利技師

2、3、4屏東科技大學土木所碩士班

5交通部高速鐵路工程局副局長、水利技師

6七星農田水利研究發展基金會董事長水利技師

摘要

本研究提出灰色生物鏈防治模型模擬福壽螺 (*Pomacea canaliculata* (Lamarck))、螢火蟲幼蟲 (*Pyrocoelia analis* (Fabricius)) 與水生植物 (水芙蓉 (*Pistia stratiotes*)) 共生互制之食物鏈關係。以屏東縣玉泉村螢火蟲保育區為研究區域，研究中以馬爾柯夫模型 (Morkov model, M. model) 結合陰陽五行根據 (金剋木、火剋金) 進行模擬探討。本研究目的為利用外來種螺類-福壽螺 (屬金) 防治繁殖快速之水芙蓉 (屬木)，並以螢火蟲幼蟲 (屬火) 釋放之激素防治福壽螺，此激素對福壽螺為一種致命毒液。模擬結果表明情境 1：完全消滅研究區域之水芙蓉，福壽螺對水芙蓉的比為 17:1；情境 2：要完全消滅研究區域之福壽螺，螢火蟲幼蟲對福壽螺的比值為 13:1。在此模型中考慮物種生命週期之動態變遷問題但未考慮氣候變遷。後續研究者可依此模型評估物種相生相剋之相對性數量，關係藉以規劃螢火蟲保育區之參考依據。

關鍵詞：螢火蟲保育區、福壽螺、螢火蟲幼蟲、馬爾柯夫模型

一、研究動機目的

陰陽五行的規則，是一種哲學、一種實用的分類方法，五行間的關係多重涵義，系統與子系統間的互動，由生、剋理論來改善系統功能。生物學 (Ecology) 中生物間藉由捕食者 (predator) 與被捕者 (prey) 的機制，來改變和平衡整個生態環境系統；延續此概念，運用「供給-需求」的想法，建立此系統方程式的平衡點穩定系統。

(Susan G. Sterrett, 2002; Darwin, C., 1964) 物競天擇為生物與環境互動之結

果，生物無優劣，端視能否適應環境而生存及能對環境中質能條件之利用。生物生存活動也會改變環境，如製造出生物本身無法利用的廢物產物，累積過多會危害自身。故生物都需要與其它生物合作，(John J. Wiens, Michael J. Donoghue, 2004) 以相互利用彼此之產物作為生存所需之反應物。能配合此機制之生物，將會存活，反之則被淘汰。生物此合作機制是以同類生物競爭為基礎，視誰比較能與其他生物合作無

間。人工智慧生物也在其生存環境中彼此競爭，視誰最善用環境中資源，從而產生分工合作之團隊，以連結所有棲位之生命體，直接或間接形成更有效率、效能之體系。

本研究引用(陳、宋與蔡等人, 2011)在自然生態濕地中，水芙蓉、螢火蟲幼蟲以及福壽螺，可以形成生態食物鏈關係，這種關係主要表現在:由於營養值(氮、磷)大量增加，導致濕地中水芙蓉大量繁殖，而(Jen-Zon Ho, Pi-Hei Chiang, et al, 2010)螢火蟲幼蟲和福壽螺又都以水芙蓉為生，所以要消除漂浮在濕地中的大量水芙蓉，只有向濕地中投入大量螺類，我們正是基於這一考慮進行研究的。

由於人類對於土地的過度開發與使用，(So Kazama, Satoru Matsumoto, et al, 2007)導致螢火蟲在內的許多生物失去棲息環境；而農藥大量的使用造成螢火蟲及其食物的傷亡，也傷害了環境和其他動植物；又因外來生物的大舉入侵，使原生生物遭受競爭及捕食，導致螢火蟲受到間接即直接的影響，因此本研究探討螢火蟲吃福壽螺；福壽螺吃水芙蓉，但(R.G. Van Driesche, R.I. Carruthers, T. Center, et al, 2010)優養化會造成螢火蟲幼蟲無法生存，而自然防治是生物防治的一部份，運用自然界的天敵，防治破壞農作物的害蟲。(Wei Zhang, Scott M. Swinton, 2009)人類運用天敵防治害蟲，中國有『以蟲治蟲』記載與觀念。

(A. Markov, 1907)馬爾柯夫 (Andrei Andreevich Markov)是俄國數學家，他於1907年提出馬爾柯夫鏈(Markov Chain)理

論以研究物理現象的布朗運動(Brownian Motion)，後來在1923年由N. Wiener建立了馬爾柯夫過程(Markov Process)的模型，隨後在1930至1940年間，由A. N. Kolmogorov、W. Feller、W. Doebelin、P. Lery及J. L. Doob等人進一步發展完整的馬爾柯夫鏈理論架構。馬爾柯夫鏈現在廣泛應用於工程與社會科學等各領域。而在管理行銷上，主要用於預測消費者對品牌嗜好，及品牌轉換的消費傾向。

二、材料與方法

2.1 研究區域調查

2.1.1 地理位置

本研究區域位於台灣省屏東縣九如鄉玉泉村一處，湧泉溪流旁之流域，如圖1所示。



圖1 地理位置圖(來自 google 地球)



圖2 研究區域1 溪流旁之側流入流口



圖 3 研究區域 2 湧泉地出水源頭



圖 4 研究區域 3

2.2 生態調查

本團隊將於每季每場址至少一次(至少 3 季)，進行四處湧泉處之生態調查，每次調查時間為連續 24 小時。調查湧泉處存在之物種及其數量，包括動物、植物及指標物種，陸域動物包括鳥類、兩生類、爬蟲類、蝴蝶、昆蟲及哺乳類等，水域動物包括魚類、水生昆蟲、浮游生物、底棲無脊椎動物等，植物包括蕨類、雙子葉、單子葉及藻類等。另依各場址特性選擇數類適當之動植物指標，進行生物多樣性指數及水質指標分析。

表 1 生態調查表

生態調查
湧泉處 4 處
每季 1 次(共 3 次)
湧泉處現有物種及數量調查
動物、植物及指標物種

2.3 水域生物

2.3.1 魚類：

依據行政院農業委員會於 1996 年委託林曜松、梁世雄所編撰之「台灣野生動物資源調查之淡水魚資源調查手冊」，魚類之採集方式視選定採樣點實際狀況而定。有關魚類調查採集可分成下列方法：

- (1)手拋網採集法：適用於水量較小，底質為沙質且流速較緩的水域。各樣點以二十網為努力量。
- (2)電氣採集法：適用於水深較淺的水域，使用背負式電魚器電擊魚體，並配合手抄網撈捕。每次調查操作三十分鐘，以時間取代距離作為努力量。
- (3)魚籠、蝦籠誘捕：於籠內放置餌料(豆餅與秋刀魚)以吸引魚類進入，於各採樣點分別設置 5 個籠具，並至少放置 3~4 天，以捕捉足夠數量。

若在採集時遇到釣客則進行訪問，所採集到的魚類均進行種類鑑定及個體體長的測量。

2.3.2. 底棲無脊椎動物(蝦蟹螺貝類)：

蝦、蟹、螺、貝等無脊椎生物以手抄網或徒手採集，或施放蝦籠，混合魚餌拌米飯為誘餌，置隔夜後收集籠中獲物。可以鑑定種類當場記錄後釋放，無法鑑定物

種則以數位相機拍照分類特徵同樣當場釋放，或加以收集後以 5% 之甲醛固定，攜回實驗室以顯微鏡觀察鑑定其種類及計數。其他無脊椎動物則以目視記錄和篩網採集過濾底泥為主。

2.3.3. 水生昆蟲：

於靜止的人工溼地中則使用 D-frame 水網，可在水草叢生的湖泊、池塘區域內進行取樣動作。在取樣水域之中做總共 20 次的取樣動作 (jabs or kicks)：戳(jab)的取樣動作是由將網子用力地戳進富含生物的棲地之中達 0.5 m 的直線距離；踢(kick)的取樣動作則是先將網子放置好，然後驅趕網子上游處 0.5 m² 範圍內的生物。每做 3 次取樣動作之後，將取得的東西藉由乾淨、流動的水在網中清洗二到三次。如果發生阻塞的話，就拋棄網中的物質然後在另一處同類型的棲地之中重新取樣一次。在清洗和檢視完生物之後，將大型的碎片殘渣移除，將所有找到的生物放到樣本瓶中。

於緩水或靜水區域，具有軟性土泥底質環境則用管心法(Core method)進行採集，利用直徑 10 公分之管狀採集器，以機械方式深入底質中採集約 20 公分之底質後回實驗室分析。

2.3.4. 浮游動物：

以中型水桶在選擇採樣點內採取五十公升水樣，經孔徑 55 μ m 浮游生物採集網加以過濾濃縮，倒入裝有 0.3% 麻醉劑 (Procanine chloride) 的採集瓶中；再將 1 毫升福馬林倒入濃縮液中，加蒸餾水至 20 毫升，使溶液達到含有 4% 福馬林，後置於冰箱中。每個水樣取出 1 毫升，在光學

顯微鏡下加以鏡檢、鑑定、分類，並計算各浮游動物之個體數。每個水樣共計數三次，然後再利用下式換算成每一公升原水中所含各浮游動物之個體數。

$$\text{個體數} / \text{公升} = a \times b / 5$$

a: 每一標本瓶中每一毫升水樣各浮游動物之平均個體數。

b: 稀釋或濃縮後之樣品量(單位：毫升)

2.3.5. 浮游植物及附著性藻類

浮游性藻類樣品係以保特瓶取 2 公升水樣，靜置沈澱數分鐘，取上清液 1 公升 (或視情況決定) 直接裝瓶。本項採集避免於大雨後一週內進行。採集到的樣品以 3~5% 之中性福馬林固定保存，再帶回實驗室後以濾膜過濾，並置於烘箱內以 50 $^{\circ}$ C 烘 24 小時再製成玻片，進行鑑種及計數。

附著性藻類樣品係取水深 10cm 處之石頭，以細銅刷或毛刷刮取 10 cm \times 10 cm 定面積上之藻類，之後打散、溶解、過濾。本項採集避免於大雨後一週內進行。採集到的樣品都以 3~5% 之中性福馬林固定保存，再帶回實驗室進行鑑種。(徐貴新，台北縣人工溼地功能效益評鑑計畫)

2.4 生態模型表

設 X_1 為福壽螺數量； X_2 為螢火蟲幼蟲數量； X_3 為水芙蓉數量，則濕地中水芙蓉防治系統如圖 4 所式。即

$$x(k+1) = Ax(k) \quad (1)$$

$$x(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & -a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & \otimes_{23} \\ -a_{31} & \otimes_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \rightarrow \text{福壽螺生長關係} \\ \rightarrow \text{螢火蟲幼蟲生長關係} \\ \rightarrow \text{水生植物生長關係} \end{array} \quad (3)$$

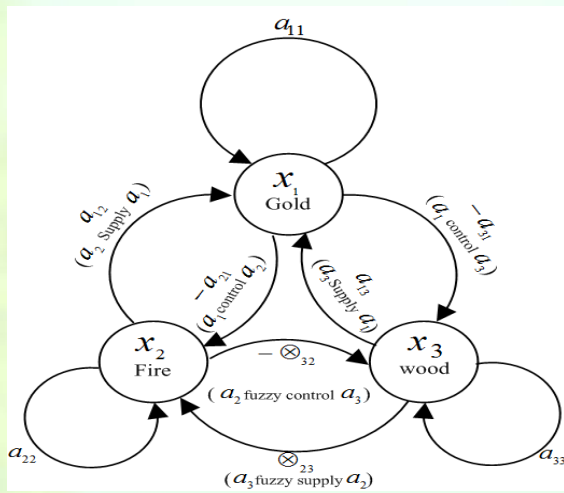


圖 5 螢火蟲保育區五行灰色生物鏈防治系統

由圖 5 為一馬爾柯夫模型，根據此灰色模糊防治模型可對此系統作定量之分析。

2.5 福壽螺與水芙蓉的最佳比例

假如分析在第 k 階段徹底消除水芙蓉，其福壽螺與水芙蓉的最佳比例模式如下方程。假設福壽螺與水芙蓉之比為 $\lambda(k)$ ， k 表示第 k 階段，如有 $\lambda(0) = \frac{x_1(0)}{x_3(0)}$ ，根據該模型，則

第 1 階段關係為 $x(1) = Ax(0)$

$$\begin{bmatrix} x_1(1) \\ x_2(1) \\ x_3(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & -a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & \otimes_{23} \\ -a_{31} & \otimes_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \\ x_3(0) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$x_1(1) = a_{11}x_1(0) + a_{12}x_2(0) + a_{13}x_3(0) \quad (5)$$

$$x_2(1) = -a_{21}x_1(0) + a_{22}x_2(0) + \otimes_{23}x_3(0) \quad (6)$$

$$x_3(1) = -a_{31}x_1(0) - \otimes_{32}x_2(0) + a_{33}x_3(0) \quad (7)$$

第 2 階段關係為 $x(2) = A^2x(0)$

$$\begin{bmatrix} x_1(2) \\ x_2(2) \\ x_3(2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & -a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & \otimes_{23} \\ -a_{31} & \otimes_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^2 \begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \\ x_3(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}a_{11} - a_{12}a_{21} - a_{13}a_{31} & a_{11}a_{12} + a_{12}a_{22} - a_{13}\otimes_{32} & a_{11}a_{13} + a_{12}\otimes_{23} + a_{13}a_{33} \\ -a_{11}a_{21} - a_{22}a_{21} - a_{31}\otimes_{23} & -a_{21}a_{12} + a_{22}a_{22} + \otimes_{23}\otimes_{32} & -a_{21}a_{13} + a_{22}\otimes_{23} + a_{33}\otimes_{23} \\ -a_{31}a_{11} + a_{21}\otimes_{32} - a_{31}a_{33} & -a_{31}a_{12} - a_{22}\otimes_{32} - a_{33}\otimes_{32} & -a_{31}a_{13} - \otimes_{32}\otimes_{23} + a_{33}a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \\ x_3(0) \end{bmatrix} \quad (8)$$

福壽螺

$$x_1(2) = (a_{11}^2 - a_{12}a_{21} - a_{13}a_{31})x_1(0) + (a_{11}a_{12} + a_{12}a_{22} + a_{13}\otimes_{32})x_2(0) + (a_{11}a_{13} + a_{12}\otimes_{23} + a_{13}a_{33})x_3(0) \quad (9)$$

螢火蟲幼蟲

$$x_2(2) = -(a_{11}a_{21} + a_{22}a_{21} + a_{31}\otimes_{23})x_1(0) + (-a_{21}a_{12} + a_{22}^2 - \otimes_{23}\otimes_{32})x_2(0) + (-a_{21}a_{13} + a_{22}\otimes_{23} + a_{33}\otimes_{23})x_3(0) \quad (10)$$

水芙蓉

$$x_3(2) = -(a_{31}a_{11} - a_{21}\otimes_{32} + a_{31}a_{33})x_1(0) + (-a_{31}a_{12} - a_{22}\otimes_{32} - a_{33}\otimes_{32})x_2(0) + (-a_{31}a_{13} - \otimes_{32}\otimes_{23} + a_{33}^2)x_3(0) \quad (11)$$

由於螢火蟲幼蟲對水芙蓉影響甚微，為簡化起見，不妨認為 $\otimes_{32} = 0$ ，式(11)變為 $x_3(2) = -(a_{31}a_{11} + a_{31}a_{33})x_1(0) - a_{31}a_{12}x_2(0) + (-a_{31}a_{13} + a_{33}^2)x_3(0)$ (12) 該模型即為水芙蓉防治系統模型。

若考慮第二階段完全消滅水芙蓉，即令 $x_3(2) = 0$ ，也即福壽螺與水芙蓉之比 $\lambda(0)$ 為

$$\lambda(0) = \frac{x_1(0)}{x_3(0)} \quad (13)$$

將 $\lambda(0)$ 代入式(2)中，即

$$0 = -(a_{31}a_{11} + a_{31}a_{33})\lambda(0)x_3(0) - a_{31}a_{12}x_2(0) + (-a_{31}a_{13} + a_{33}^2)x_3(0) \quad (14)$$

解得

$$\lambda(0) = \frac{a_{33}^2 - a_{31}a_{13}}{a_{31}(a_{11} + a_{33})} - \frac{a_{31}a_{12}}{a_{31}(a_{11} + a_{33})} \cdot \frac{x_2(0)}{x_3(0)} \quad (15)$$

記 $\lambda_1^{(0)}$ 為螢火蟲幼蟲與水芙蓉之比，即

$$\lambda_1^{(0)} = \frac{x_2(0)}{x_3(0)}, \quad x_2(0) = \lambda_1^{(0)}x_3(0)$$

將 $x_2(0)$ 代入式(15)，得到實際的福壽螺與水芙蓉之比 λ^* ，過程如下。

$$\lambda(0) = \frac{\text{福壽螺群}}{\text{水生植物}} \frac{x_1(0)}{x_3(0)} = \frac{a_{33}^2 - a_{31}a_{13}}{a_{31}(a_{11} + a_{33})} - \frac{a_{31}a_{12}}{a_{31}(a_{11} + a_{33})} \cdot \frac{\lambda_1^{(0)} \cdot x_3(0)}{x_3(0)} = \frac{a_{33}^2 - a_{31}a_{13}}{a_{31}(a_{11} + a_{33})} - \frac{a_{31}a_{12}\lambda_1^{(0)}}{a_{31}(a_{11} + a_{33})} \quad (16)$$

三、結果與討論

3.1 福壽螺群與水芙蓉比例討論

假設有一等式為：

$$\frac{1}{a_{31}(a_{11} + a_{33})} (a_{33}^2 - a_{31}a_{13} - a_{31}a_{13}\lambda_1^{(0)}) < \lambda^{(0)} < \frac{a_{33}^2 - a_{31}a_{13}}{a_{31}(a_{11} + a_{33})} \quad (17)$$

如果把 $\lambda^{(0)}$ 視為最佳比例，可 $\lambda^{(0)} = \lambda^*$ ，則將 $\lambda^{(0)} = \lambda^*$ 代入上面不等式即可。式中的 $\lambda_1^{(0)}$ 是螢火蟲幼蟲與水芙蓉比，而 λ^* 才是我們要找的福壽螺群與水芙蓉之比。 λ^* 在兩個多項式之間，決定他的有諸多因素，如 a_{31} 、 a_{11} 、 a_{33} 、 a_{13} 等，它們每項變化都會影響 λ^* 值得大小。

3.2 福壽螺、螢火蟲幼蟲及水芙蓉探討由公式(17) $\lambda^* = \frac{a_{33}^2 - a_{31}a_{13}}{a_{31}(a_{11} + a_{33})}$ 時，可分析福壽螺和水芙蓉的最佳比例。可看出：

(1) a_{33} 是水芙蓉前一段對後一段的影響，他代表了自身群體的繁殖能力； a_{11} 表示福壽螺自我繁殖能力，如用 μ 表示這兩者繁殖能力之比，即福壽螺與水芙蓉繁殖比，

記為 $\mu = \frac{a_{11}}{a_{33}}$ 便有

$$\lambda^* = \frac{a_{33} - \frac{a_{31}a_{13}}{a_{33}}}{a_{31}(\mu + 1)} = \frac{a_{33}}{a_{31}(\mu + 1)} - \frac{a_{31}a_{13}}{a_{31}(\mu + 1)} \quad (18)$$

以式(18)可以看出，如果 μ 越大，福壽螺與水芙蓉的比 λ^* 就越小，說明福壽螺的發展速度快於水芙蓉。

(2) 在 μ 一定時，若水芙蓉群體發展能力較強，即 a_{33} 越大，則 λ^* 越大。

(3) 在 μ 一定，即 a_{33} 一定時，若福壽螺能力強，及福壽螺吃水芙蓉的能力大 (a_{31} 大)，則 λ^* 小。

(4) 水芙蓉本身繁殖能力為 8，即 $a_{33} = 8$ (顆/ m^2)，福壽螺與水芙蓉繁殖能

力比 μ 為 0.66，福壽螺消滅水芙蓉能力係數 $a_{31} = 0.27$ (也就是說 10 隻福壽螺與有 3 隻吃水芙蓉)，則

$$\lambda^* = \frac{a_{33}}{a_{31}(\mu + 1)} = \frac{8}{0.27(0.66 + 1)} \approx 17 \quad (19)$$

如要完全消滅研究區域之水芙蓉，福壽螺對水芙蓉的比為 17:1。

(5) 福壽螺本身繁殖能力為 10，即 $a_{11} = 10$ ，依數量調查 3 月~4 月螢火蟲數量增加 2 (隻/ m^2)，則福壽螺幼體少 4 (隻/ m^2)，推估螢火蟲幼蟲影響福壽螺繁殖能力比值 μ 為 0.6，螢火蟲幼蟲釋放之毒液激素消滅福壽螺能力係數 $a_{21} = 0.5$ (也就是說 10 隻螢火蟲幼蟲釋放毒液激素可消滅 5 隻福壽螺)，則

$$\lambda^* = \frac{a_{11}}{a_{21}(\mu + 1)} = \frac{10}{0.27(0.5 + 1)} \approx 13 \quad (20)$$

四、結論與建議

1. 這說明要完全消滅水芙蓉，福壽螺與水芙蓉的最佳比為 17:1。說明要消除水芙蓉，必須投入大量螺類。水芙蓉重量約為 4.5(t)，完全消除螢火蟲保護區中水芙蓉，必須確保保護區內螺量約為 55(t) 左右。
2. 在模擬之最佳比例中得知在第二階段之前，即第一階段時對於水芙蓉之防治未能立即見效，依此模擬模式可知水芙蓉防治至少要在第二階段(下一階段生命週期)才會見效。
3. 本研究中灰色生物鏈防治系統基本結構為福壽螺吃水芙蓉，即 a_{31} 是存在而且是不可忽視的。此外，螢火蟲幼蟲會影響福壽螺之生存能力，即 a_{12} 也是不可忽視的。 \otimes_{23} 為螢火蟲幼蟲(屬火)吃水芙蓉

(屬木)，其食物鏈關係叫福壽螺(金)為弱(換言之金剋木，較火剋木為強)，以灰色模糊計算代替。 \otimes_{32} 水芙蓉又可供給螢火蟲部份食物來源，以灰色模糊計算代

替。

4.研究過程中沒有考慮到水、土屬性之關係進去，有關這一課題還有待進一步探討及研究。

參考文獻

1. A.Markov.1907. Extension of the limit theorems of probability theory to a sum of variables connected in a chain. The Notes of the Imperial Academy of Sciences of St.Petersburg, VIII Series, Physio-Mathematical College XXII, NO.9.
2. McDermott F.A.1964.The Taxonomy of the Lamyridae (Coleoptera) Trans. Amer. Ent.Soc. 90:1-72.
3. Kim,J.G.,K.Y.Kim,C.C.Young,J.Y. Choi,S.E.Kim,B.R.Jin,S.M.Lee,J.E.Lee,K.Y. Lee,andS.H.Lee.2003.Developmental characteristics and life history of the Korean native firefly, *Pyrocoelia rufa*. Int.j.Indust. Entomol.6(1):69-73.
4. Ohba,N.1981.The luminous insects and museums of Taiwan.Sci.Rept.Y okosuka City Mus.27:43-47.
5. Susan G. Sterrett,2002, Darwin's analogy between artificial and natural selection: how does it go? Stud. Hist. Phil. Biol. & Biomed. Sci. 33 , P151~ 168.
6. Darwin, C. ,1964, On the origin of species by means of natural selection, Reprint. Cambridge, MA & London: Harvard University Press (First published 1859).
7. John J. Wiens,Michael J. Donoghue, 2004,Historical biogeography, ecology and Species richness, TRENDS in Ecology and Evolution Vol.19 No.12,P639~644.
8. Jen-Zon Ho, Pi-Hei Chiang, Chia- Hsiung Wu, Ping-Shih Yang,2010, Life cycle of the aquatic firefly *Luciola ficta* (Coleoptera: Lampyridae), Journal of Asia-Pacific Entomology 13 ,P189~196.
9. So Kazama, Satoru Matsumoto, S. Priyantha Ranjan, Hiroshi Hamamoto, Masaki Sawamoto,2007, Characterization of firefly habitat using a geographical information system with hydrological simulation, ecological modeling 207, P392~400.
10. R.G. Van Driesche, R.I. Carruthers, T. Center et al,2010, Classical biological control for the protection of natural ecosystems, Biological Control 54 , PS2~S33.
11. Wei Zhang, Scott M. Swinton,2009, Incorporating natural enemies in an economic threshold for dynamically optimal pest management, Ecological Modelling 220 ,P1315~1324.
- 12.陸慶光，1997，論生物防治在生物多樣性保護中的重要意義，生物多樣性，5(3)，第224~230頁。
- 13.周明浩、楊維芳、孫俊(譯)，2003，日本城市有害生物防治的過去現在及未來。
- 14.劉春光，邱金泉，王雯等，2004，富營養化湖泊治理中的生物操縱理論，農業環境科學學報，23(1)，第198~201頁。
- 15.李傳紅，謝貽發，劉正文，2007，魚類對淺水湖泊生態系統及其富營養化的影響，安徽農業科學學報，36(9)，第3679~3681頁。
- 16.陳鈞華、宋建明、蔡瀚德、徐貴新、甘俊二，2011，福壽螺、螢火蟲幼蟲與水生植物共生互制之灰色控制模擬分析，水利會訊 14 期，第136~142頁。
- 17.魏文宜、林宗岳、游進裕、楊佳純、徐貴新，2009，應用人工濕地現地處理設施淨化河川水質在台灣地區之操作維護情況，第二屆海峽兩岸生態工法研討會，第207~217頁。
- 18.張文亮、張尊國、陳秋揚、林裕彬、游進裕、徐貴新，2004，水質自然淨化工法，編號 EPA-93-G107-02-203，行政院環境保護署編。
- 19.徐貴新，台北縣人工溼地功能效益評鑑計畫，東南科技大學環境教育研究中心。

收稿：101年4月30日
修改：101年5月14日
接受：101年5月22日