

# 生物多樣性名詞與指數使用之釐清

林朝欽<sup>1,2</sup>，陸聲山<sup>1</sup>

<sup>1</sup>行政院農業委員會林業試驗所森林保護組；<sup>2</sup>通訊作者 E-mail: chin@tfri.gov.tw

**[摘要]** 多樣性是生物系統的一個重要表徵，也是用來研究與了解生物系統基本功能與結構重要的參數。長久以來物種多樣性或稱之為生物的多樣性，一直廣泛被用以代表生態的多樣性的量測值，但多樣性到底是什麼？生態學文獻中一直出現不同的名詞與定義，1988 年一個新的名詞—生物多樣性出現後，迄今雖已成為一個耳熟能詳的名詞，但這個名詞所代表的意義依然混淆不清，還從單純的生態學擴大到了政治學、社會學與經濟學不同的領域。多樣性如何測得？雖早在 1940-1950 年代就已有研究探討這個問題，並出現各種多樣性指數的計算式，但這些多樣性指數與真正多樣性之間的差距及計算式演進的討論不斷出現在文獻上。本文從釐清相關名詞及進行監測時需要使用的多樣性指數的正確使用加以討論，以了解其生態學真正內涵與有助於更適切的擬定保育政策。

**關鍵字：**生態學、保育生物學、集聚、多樣性

## Clarifying Terminology Use and Index of Biodiversity

Chau-Chin Lin<sup>1,2</sup> and Sheng-Shan Lu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute; <sup>2</sup>Corresponding author E-mail: chin@tfri.gov.tw

**ABSTRACT** Diversity is an important parameter of a biological assemblage as it is crucial to the study of the basic function and structure of biological systems. Traditionally, species diversity, or biological diversity, has been used to measure ecological diversity. However, what exactly is “diversity”? Many terminologies and definitions are found in the literature. Since 1988 after the term “biodiversity” emerged, it has become a common term to the public, but the meaning remains a debate to the present. Not only in the ecological domain its scientific meaning is discussed, but the term is also adapted by political, social, and economical disciplines. Furthermore, how can one measure diversity? The issue has been studied since the 1940s to the 1950s. Although many diversity indices are developed, they are calculated from different formulas and thus are often subjected to arguments. The purpose of this paper is to clarify the terminologies and indices of diversity to enhance ecological understanding of diversity and construction of conservation policies.

**Keywords:** Ecology, Conservation Biology, Assembling, Diversity

### 前言

多樣性到底是什麼？生態學文獻中一直

出現不同的名詞與定義(Hurbert 1971, Kaennel 1998, Magurran 1988, 2004, Moreno and Rodriguez 2010, Tuomisto 2010, 2011)，1988 年

另一個名詞—生物多樣性 (biodiversity) (Wilson 1988)出現後，多樣性的生態學意義更是混淆不清，1992 年全球推動「生物多樣性公約」以後，迄今生物多樣性雖已成為一個耳熟能詳的名詞，但這個名詞所代表的意義依然討論著，還從單純的生態學擴大到了政治學、社會學與經濟學不同的領域 (Harper and Hawksworth 1994, Kaennel 1998, Hamilton 2005, Tuomisto 2011)。

台灣於 2001 年由行政院核定通過「生物多樣性行動方案」，進行交流、研究、教育及保育生物多樣性。在此行動方案下，國內對於生物多樣性研究也如火如荼展開，齊心等 (2003)針對台灣生物多樣性已發表的研究進行分析指出國內的研究除名詞概念不清楚外，還有許多論文使用多樣性指數錯誤的現象。由於政府機關正持續推動與生物多樣性相關議題的方案與學術研究，並將在政府組織再造後把「特有生物研究保育中心」改名為「生物多樣性研究所」，因此釐清相關的名詞概念與定義，有助於往後生態學的研究主題與內容。

任何自然環境中不論動物或植物的集聚 (assemblage)都包含了不同的物種與個體數，這樣的集聚被稱為是具有多樣性的 (diverse) 集合體，除非這樣的集聚中的所有個體都屬於同一種類，多樣性為零以外，多樣性 (diversity) 就成為生物系統的一個重要的特徵，是研究與了解生物系統如群落 (community) 基本功能與結構很重要的參數，生態學家總稱之為生態的多樣性 (ecological diversity)。長久以來物種多樣性 (species diversity) 或稱之為生物的多樣性 (biological diversity)，一直被用以代表生態的多樣性的量測值，但事實上物種多樣性不是唯一的量測生態的多樣性值，棲位寬度 (niche width) 與棲地多樣性 (habitat diversity) 也可以當成是生態的多樣性量測值 (Hamilton 2005)。

物種多樣性如何測得？最簡單的一個方式為從採集的樣本估測總物種數目，例如取樣調查森林群落 (forest community)，再以取樣所得的數據估計的物種數，但這種單純以物種數

來表示群落的特徵不夠精確，不能呈現多樣性全貌，所以生態學家再加入較多的資訊。不過因為任何研究都不易有充足的資源進行全面調查或採集，所以取樣調查的推估會造成誤差；就算有足夠的資源進行調查，但在調查期間群落本身的結構變動，也會影響到調查的結果。更甚者，許多生物群落中具有不少稀有種，不易在取樣調查種發現到。因此，不論何種推估方法都面臨修正或被新的方法所取代，例如引用資訊理論 (information theory) 且被廣泛使用的一種推估方法 Shannon 多樣性指數就有四個修正式出現 (王壽兵 2003, Chao and Shen 2003, Pla 2004, 楊滿霞等 2008)。另外研究報告或期刊論文普遍使用的多樣性指數 (尤其是 Shannon 多樣性指數) 所代表的意義為何？其解釋生態問題的適合性如何？是否有助於提供保育政策之擬訂或執行上作為依據？本文就上述的問題，先針對多樣性的名詞概念與定義進行討論，再就 Shannon 指數的使用進行分析，以釐清這個生態學上重要的主題及探究如何用多樣性指數回答生態學上的問題，期以作為擬訂或執行保育政策或方案所需科學數據的依據。

#### 一、生物的多樣性抑或生物多樣性？

當今 Biodiversity 這個生態學名詞已成為耳熟能詳的英文字，這個英文字大多譯成「生物多樣性」，雖然有些學者譯為「生物歧異度」 (呂光洋 1991)，但從國家圖書館的文獻查詢系統搜尋 1990 年至 2012 年的中文文獻，「生物多樣性」的共出現 1,645 筆，但「生物歧異度」的只出現 98 筆，可以知道生物歧異度使用得不多 (圖 1)。不論譯成生物多樣性或生物歧異度，指的都是 biodiversity 這個英文名詞。但生態學上另外有一個英文名詞 biological diversity，如果要譯成中文應該是「生物的多樣性」，不過中文翻譯不但未區分這兩個英文名詞，並認為 biodiversity 是 biological diversity 的縮寫，官方的資訊中更直接說 biodiversity 就是 biological diversity 的簡稱，例如內政部營

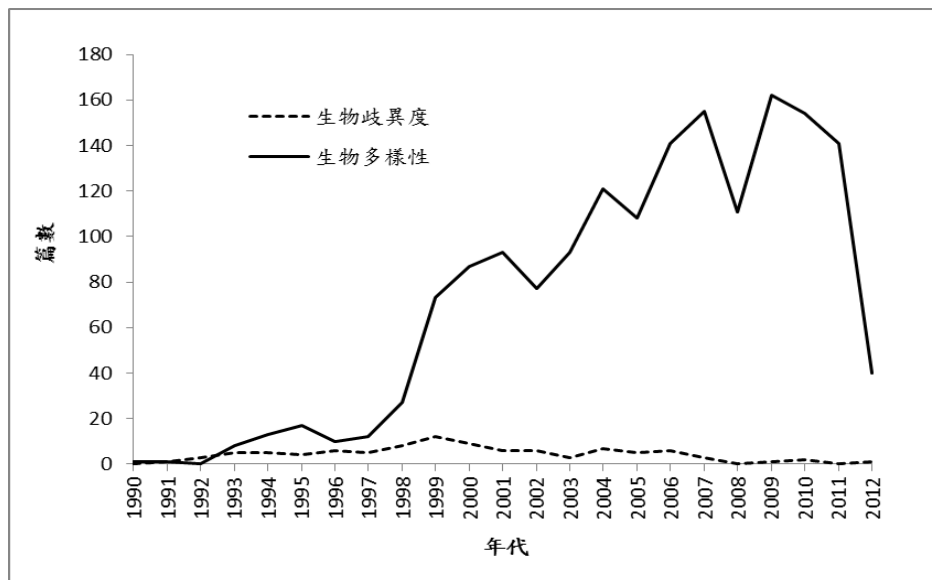


圖 1. 中文文獻中題目、關鍵詞、摘要中出現生物多樣性與生物歧異度這兩個詞篇數的比較

建署的國家公園網站介紹何謂生物多樣性的網頁就如此解釋這兩個英文名詞 ([http://np.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com\\_content&view=article&id=128&Itemid=149](http://np.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=128&Itemid=149))。

但回顧生態學上所謂的多樣性(diversity)這個名詞，卻有不同的概念及對應的名詞，物種多樣性(species diversity)是出現較早的，1940 年代從生物採集中，生物學家就發現一個特定採集的新出現物種數隨採集的個體數的增加而減少(Fisher *et al.* 1943)，所以可以透過取樣估計物種多樣性，並把它當成是生態的多樣性的表徵，不過有些生態學家認為生態多樣性的表徵不只是用物種多樣性來代表，其他如生態棲位寬度及棲地多樣性一樣可以作為生態多樣性的表徵(Halmilton 2005)。生態棲位寬度以量測物種在一定時空尺度內可以獲得的資源來代表生態的多樣性 (Magurran 1988)；棲地多樣性則以量測環境的複雜度來表示生態的多樣性(Mumby 2001)。因此有學者主張用「生物的多樣性」來涵蓋物種多樣性或當成物種多樣性，以區別生態的多樣性中與生物比較沒有關連的量測(Magurran 2004)。雖然「生物的多樣性」在 1960 年代就在生態學上

使用，也很清楚是在探討一個逢機的調查樣本中物種數目與調查到的個體數目間的關係 (Fisher *et al.* 1943, Preston 1948)。但自 1988 年一本名為 BIODIVERSITY 的論文集出版後 (Wilson 1988)，Biodiversity 這個詞變成了生態學的時尚名詞，我們以林業試驗所的两个文獻資料庫(AGRICOLA 與 CABI)查尋 biological diversity 與 biodiversity 的英文文獻，並加以比較，兩個資料庫所得的結果雖有差異，但趨勢一致，biodiversity 的使用大概是 biological diversity 的 10 倍(圖 2)，且 biodiversity 是 1988 年以後才開始使用的。

追溯這個字的出現，是因為 1985 年美國召開「國家生物的多樣性論壇」(National Forum on BioDiversity)，1986 年這個論壇的論文集出版，書名為 BIODIVERSITY，論文集的序言很清楚的說明了書名是使用 1985 年會議的一張海報的刊頭文字 BIODIVERSITY (圖 3) (Wilson 1988)。之後 biodiversity 這個名詞的使用與政治、社會及環境保育比較有關，與生態學研究關係較小，雖然一些生態學家不認同 biodiversity 是 biological diversity 的簡稱或縮寫 (Harper and Hawksworth 1994, Ghilarov 1996, Magurran 2004)，但已成為一股生態時尚

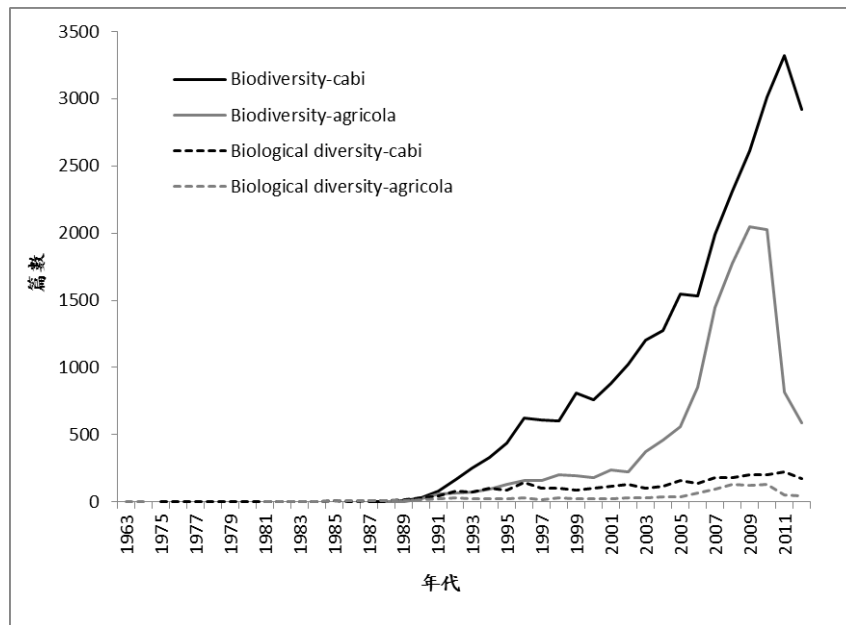


圖 2. Biodiversity與Biological diversity出現在英文文獻中的題目、關鍵詞、摘要的篇數比較

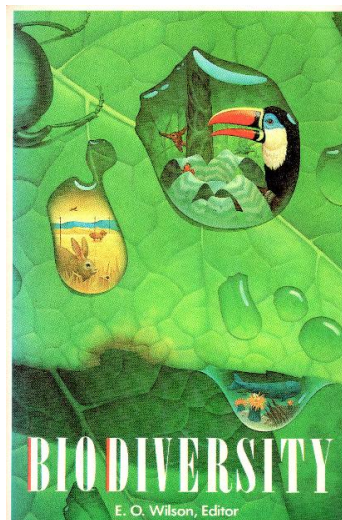


圖 3. 1985年美國召開的國家生物的多樣性論壇海報，由藝術家Robert Goldstrom設計，成為1986年出版的論文集封面

，雖某些生態學者譏諷 biodiversity 為科學偽裝，不過藉由 biodiversity 這個原本是政治辯論的議題，作為比較容易獲取研究經費的一種手法，讓生態學家仍然樂於使用 biodiversity 這個名詞(Ghilarov 1996, Hamilton 2005)。

不過科學名詞(scientific terminology)的出現主要是為了表達一個概念(concept)，理想的科學名詞是一個詞對應一個概念(Sager

1990)，biodiversity 這個名詞卻是一個名詞對應到多個概念，也因此難以明確定義何謂 biodiversity，而造成許多不同的定義(Haila and Kouki 1994, DeLong 1996)。之所以難以定義是因為它涉及不同領域的概念包括：生態學、演化生物學、保育生物學、環境倫理與資源管理，在這些領域裡它代表了不同的概念包括：物種數量、棲地類別的變化、自然界中的異質

性，這些概念回應出不同的量測與實務操作，例如物種數量的量測以多樣性指數或種數/公頃，棲地類別的變化量測以類/平方公里，自然界中的異質性以基因變異程度量測。至於定義則包含了許多不同語意的名詞可能都可以稱之為 biodiversity，Kaennel (1998)把這些名詞整理成為一個關聯系統樹，從該系統樹裡可以很清楚的看出 1859 年到 1996 年間文獻所提出來的諸多名詞在 1988 年以後都變成了 biodiversity。雖然 1992 年聯合國生物的多樣性公約 (The International Convention on Biological Diversity) 的名詞用的也不是 biodiversity (<http://www.cbd.int/convention/articles/?a=cbd-02>)，但似乎 biodiversity 是否就是 biological diversity 的簡稱或縮寫已不被人討論與區分。

從科學名詞的語意與概念的產生的過程而言，新的科學名詞代表了該領域的新概念或新方法的產生，但這樣的新名詞如果被其他領域或大眾普遍使用時，這個科學名詞的專業性將會降低，並演化成為普通名詞，語言學把這樣的演化分五個階段：1. 創造，2. 專業化，3. 穩定，4. 去專業化，5. 再產生新名詞 (Sager 1990)。Kaennel (1998) 調查 1985 年至 1995 年 125 篇不同領域的文獻顯示 biodiversity 這個字已進入到第四階段。

如果深入回顧 biodiversity 這個字出現的歷史背景，很清楚的可以發現當初討論與探討的重點是物種，例如 1986 年出版國家生物的多樣性論壇的論文集第一篇文章「生物的多樣性現況 (The current state of biological diversity)」(Wilson 1988)，雖然作者使用 biological diversity 這個名詞，但文章內容談的是全球物種的現況。因此我們可以說，1985 年以前所說的「生物的多樣性」就是物種多樣性，雖然可再由不同空間及族群分布的物種名錄中區分  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  多樣性 (Whittaker 1956)，但都在物種的概念與層次中，其中最重要的是探討物種豐富度 (species richness) 與物種均勻度 (species evenness)。當時的生態學家認為物種

多樣性與群落穩定性有關外，也與生態系的功能有關，這兩個議題是具有生態學意義的，也確實屬於生態學領域。1988 年以後 biodiversity 這個字所涵蓋的內容已經不再是局限於物種層次，例如功能性的多樣性 (functional diversity) 或生態系多樣性 (ecosystem diversity)。因此我們認為就生態學領域而言，biodiversity 就是 biological diversity 的簡稱或縮寫的說法並不恰當，翻譯這兩個詞也宜不同，biodiversity 譯成「生物多樣性」的話，biological diversity 則宜譯成「生物的多樣性」或直接用物種多樣性來取代。當使用生物多樣性時或認為 biodiversity 就是 biological diversity 時，也宜加以定義及更清楚說明所指的內容，例如生物多樣性公約秘書處所出版的全球生物多樣性展望 (Global Biodiversity Outlook 3) 中，聲明 biodiversity 即 biological diversity 縮寫的同義詞，其定義是指「來自所有陸地、海洋和其他水生生態系統的各種生物體，以及也屬於其中一部分的各物種內、物種間、生態系統內所構成的生態複雜性 (CBD 2010)」。這個定義適用於生物多樣性公約，但不見得適用於生態學中僅僅針對物種多樣性的討論與量測。如果把生態學文獻所出現的相關名詞及其探討的內容加以整理 (圖 4)，可以很清楚的區分不同名詞間的語意。例如大部份討論生物多樣性量測的文獻其實都以物種分類為基礎，亦即探討物種多樣性。尤其是使用取樣推估物種多樣性的指數時。

## 二、多樣性指數是多樣性嗎？

不論我們所說的生物多樣性是圖 4 中的任何一個概念，都是人類為解釋生態現象所建構的代名詞，每一個代名詞都只代表這個現象的「名」，而這個現象的「實」就是定義中所描述的內涵。但不論是「名」或「實」都沒有數學上的特殊意義，以物種多樣性為例，生態學慣以物種豐富度代表一個樣本或調查區域的物種多樣性，它的「實」是一個數字，但這個簡單的數字可能不能真正的代表物種多樣性的

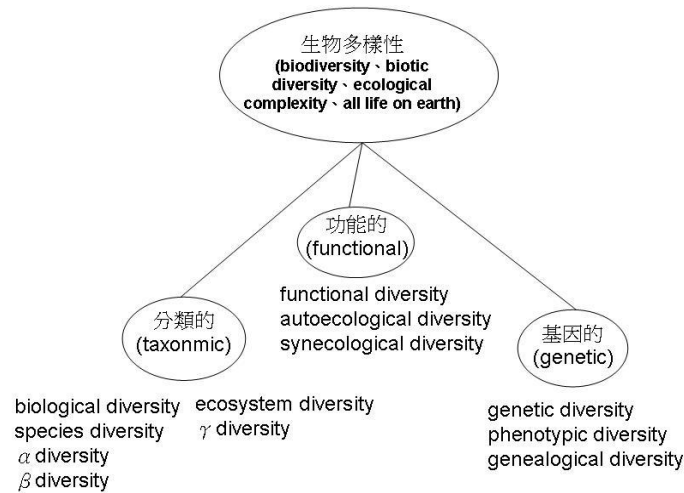


圖 4. 生物多樣性所涵蓋的不同名詞間的區分

「實」。例如兩片都具 10 種樹種的森林，其中一片每一樹種的個體數相同，另一片森林的個體數由其中一種樹種占 91%，其他 9 種樹種的個體數各只占 1%，兩片森林物種豐度相同，但其中的樹種數量的分布卻完全不同，很明顯的比較此兩片森林的生物多樣性是「名」「實」不符的。所以要能「名」「實」相符，生態學利用數學函數或統計模式作為另一種表達的方法，這就是所謂的物種多樣性指數。它是利用數學函數計算出一個綜合性的結果，例如計算物種數與物種個體數的相對頻度的結果作為物種多樣性表示的資訊。因此有許多的計算方法被發展出來，不論那一種都包含了這兩個重要的資訊：物種豐度與物種均勻度，根據這樣的資訊所計算出來的值來作為生態的多樣性參數(Pielou 1967, Ghilarov 1996)。

早在 1940-1950 年代就已有研究探討物種多樣性指數問題(Fish *et al.* 1943, Preston 1948, MacArthur 1957)，這類研究透過一個可以參考的理論機率分布來估測取樣數據以求得物種多樣性。除了以參考的理論機率分布來估測的方法外，另有一類以數學模式計算出一個值的方式呈現，1960 年代以後許多這類的物種多樣性指數計算式出現在文獻上 (Magurran

2004)。數學模式的物種多樣性指數除了數學與統計理論上的會有一些理論上的適合性問題外，經由取樣調查計算所得的指數具有什麼直覺上的生態意義？還有不同數學式計算出來的值是否能精確的進行科學溝通(一個名詞對應一個現象)？一直是最受到討論的，因為不同的計算式所得到的值不同，它們之間的解釋也就不一致，造成了許多混淆不清的現象。因此在 1970 年代就有研究者認為多樣性指數根本就不是一個生態概念(Hurlbert 1971)，尤其把多樣性指數當成多樣性的混淆，讓多樣性這個名詞成為沒有實質意義的概念(Jost 2006)，例如我們說半徑是一個球體體積的指數，但如果工程師把半徑當成體積放在工程計算式中，可以想像其結果是不正確的。又如果以物種數作為群落多樣性的表徵，則兩個群落各具 8 種個體相同的物種與 16 種個體相同的物種為例，生態學上可以直覺的認識到：後者是前者的兩倍，但以 Shannon 多樣性指數的公式計算的話，前者的指數是 3.0，後者的指數是 4.0，兩個群落的多樣性並不是兩倍關係，可以很明顯的看出指數不能代表群落多樣性的表徵，所以多樣性指數如果誤用會讓生態學家作出錯誤的結論。

但何謂真正的多樣性？有沒有真正的多樣性存在(Hoffmann and Hoffmann 2008)？生態學界持續著不同觀點的辯論，這些辯論除涉及數學與統計理論的使用外，也涉及到生態學上的名詞定義、語意及其複雜的內容解釋的差異(Hoffmann and Hoffmann 2008, Jost 2009, Moreno and Rodriguez 2011)。試再舉以一個例子，就可以清楚的看出諸多辯論的必然性，假設隨機調查兩座面積完全相同的森林樣區，甲森林有 10 種喬木，每一樹種均有 10 株；乙森林也有喬木 10 種，但每一樹種有 100 株，用 Shannon 多樣性公式計算，兩座森林的 Shannon 多樣性指數都是 1.0，縱使把乙森林的每一樹種都砍伐 90 株，Shannon 多樣性指數也沒有改變，但我們能說乙森林也沒有改變嗎(王壽兵 2003)？因此所謂物種多樣性(或真正的多樣性)指的是什麼？Tuomisto (2011)認為所謂的物種多樣性指的是包含物種數與個體分布狀態的有效數字型式(an effective number of types)，可以用圖 5 來表示，所謂有效數字型式，我們可以想像成一堵牆上有許多格子，物種豐度是以物種名稱為基礎，把相同物種名稱的個體全部放進牆上的一個格子，例如圖 5 中有三種樹種以三個格子來代表；物種多樣性則在牆上的格子裡放入平均的不同樹種，平均可以是調合平均、幾何平均或算術平均，例如圖 5 的 3、2.34、1.96，可以用數學式(1)來表示如下(Jost 2006, Chiarucci *et al.* 2011)：

$$D = \left( \sum_{i=1}^R p_i^q \right)^{1/(1-q)} \quad (1)$$

提出真正的多樣性並不是指多樣性指數沒有用，而是要強調指數的值不等於多樣性而已。

### 三、Shannon 多樣性指數的使用

目前生態學使用的多樣性指數超過 200 種(Chiarucci *et al.* 2011)。其中 Shannon 多樣性指數是最普遍被生態學家使用的一種

(Ghilarov 1996, Izsak and Papp 2000, Pla 2004, Ricotta and Szeidl 2006, Jost 2006, Chiarucci *et al.* 2011)。Shannon 多樣性指數的計算式(2)如下

$$H(X) = - \sum_{i=1}^{i=n} p(X_i) \log p(X_i) \quad (2)$$

此計算式源自 Claude Shannon 在 1948 年發表的資訊理論(林朝欽、陸聲山 2012)。原先只是為了解決通信工程上如何在不受雜訊影響下傳送資料的問題(Shannon 1948)。1957 年生態學家 Margalef 把它引用作為群落的描述(Margalef 1957)。Shannon 多樣性指數是否適用於物種多樣性量測？生態學家見解不同，有反對的(Pielou 1967)，有贊同的(Martin and Rey 2000)，也有認為使用它須加以修正(王壽兵 2003, Chao and Shen 2003, Pla 2004, 楊滿霞等 2008)。至於 Shannon 多樣性指數提供的值有何意義？尤其是使用這些值作為環境影響評估或環境污染的參考依據，有些學者認為值得進一步省思(齊心 2006)。其原因是 Shannon 多樣性指數是源於資訊(Information)理論，是指一事件所帶來的訊息量的不確定性，不確定性越高，則其所帶來的訊息量就越多，而不確定性之高低即表示發生機率之情形，如果發生的機率高，則其不確定性就低，所帶來的訊息量就少。資訊理論用熵(Entropy)作為描述事件不確定性的度量，當事件完全確定時，熵值為零；事件的不確定性高，亦即可能出現的結果越多，熵值則會越大；當可能結果數一定，每種結果出現的機率相等時，不確定性會為最大值，即此時熵值為最大，也就是所透露的訊息量也是最大的。因不確定性之高低即表示機率發生之情形，熵值的計算可分為離散隨機變數的熵和連續隨機數的熵，所以 Shannon 多樣性指數也可以稱為 Shannon 熵。應用於計算物種多樣性時，必需知道總物種數與各物種的數目，所以在物種調查時，如果採用取樣調查，因常常不是依據各物種的空間分布與生態特



性、調查時間內無法確定總物種數、不同年齡或齡期的個體被採集機率不同等原因，計算出來的多樣性指數所代表的意義不盡明確(齊心等 2003, 齊心 2006)。齊心等(2003)針對台灣生物多樣性已發表的研究進行分析，並舉出數項使用 Shannon 多樣性指數不適宜之處，如不宜將不同時間記錄相加、宜以棲地為單位、不宜計算人工環境、物種種數(S)未趨近穩定時不宜計算等。

若多樣性指數不是真正的多樣性，那麼真正的多樣性如何計算？根據前述的數學式(1)，當  $q=0$  時， $D=R$ ，即為物種豐富度，當  $q=1$  時， $D$  的值是數學式(2)的結果再取對數，亦即 Shannon 指數的對數值( $\exp(x)$ )，我們可以回頭對照前述的兩個群落各具 8 種個體相同的物種與 16 種個體相同的物種的例子，直覺上物種有兩倍的關係，多樣性也應該有兩倍的關係，因為前者的 Shannon 指數為 3，它真正的多樣性是  $2^3=8$ ；後者的 Shannon 指數為 4，它真正的多樣性是  $2^4=16$ 。雖然這是一個特殊例子，但已很清楚的顯示出如圖 5 所顯示出來的，Shannon 多樣性指數是 0.84 與真正多樣性 2.34 間的不同。

#### 四、多樣性指數的演進

多樣性的研究早期是著眼在探討群落的結構，所以物種與各物種的個體數是兩個重要參數，是過去幾十年間生態學家很深入研究的物種多樣性問題，也是許多多樣性指數發展的基本依據。這些多樣性指數把所有物種平等看待，雖然可提供保育生物多樣性的參考，但實務上保育工作需要有其優先順序。傳統的這些指數所提供的資訊並未考慮到物種間的差異性，對保育決策的訂定來說，物種差異的區別是必須考慮的要素。因此就保育目的考慮物種間差異，並量化這種差異的需求日益增加，生態學家認為：有用的多樣性指數應該考慮不同物種間的差異，不論是生態功能性的、形態上的、分類學相關的或基因的差異，對保育那些物種的決策應該有不同的權重(Humphries *et*

*al.* 1995, Crozier 1997, Izsak and Papp 2000)，所以需要發展有別於傳統對所有物種同等重要看待的多樣性指數。據此最先發展出來的是加入種間距離與物種相對豐度的平方多樣性指數(quadratic diversity, Q) (Rao 1982)，計算式如下(3)：

$$Q = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S d_{ij} p_i p_j \quad (3)$$

其中  $d_{ij}$  是隨機取得的兩個種間的差異， $p_i$  與  $p_j$  則分別為其相對豐度。至於種間的差異如何測得與計算？最簡單的方法是依分類系統(Warwick and Clarke 1995, Ricotta 2004)，或者用形態或功能群(Izsak and Papp 1995)，或者是種系發生關係(phylogenetic relationships) (Allen *et al.* 2009)，或者用基因序列(Shimatani 2001)。這個新觀念的多樣性指數與傳統的多樣性指數有何不同？Khan (2006)利用假設性的資料計算兩個島嶼的紅樹林的多樣性，甲島有 12 種不同紅樹林樹種各 30 株，分別屬於不同的 12 個屬與 12 個科，乙島也有 12 種不同紅樹林樹種各 30 株，但屬於 5 個屬與 4 個科，計算這兩個島嶼的 Shannon 多樣性都是 3.58，但加入分類系統計算的話，甲島是 91.9，乙島則只有 77.9。實際應用的例子則可見諸 Shimatani (2001)在森林疏伐對多樣性影響的研究，該研究以美國密西根州立大學試驗林 150-250 年天然橡木為主的森林為對象，1971 年該森林經皆伐後自然更新，28 年後進行疏伐，如果只用傳統方式計算多樣性是看不出疏伐對多樣性有影響，但把種間差異用分類系統加進去計算，很清楚的看出疏伐作業對於促進物種多樣性的影響，所以考慮物種間的差異已是物種多樣性指數必然要加入的變數。因此就出現不少新的多樣性指數計算式的探討與發展(Shimatani 2001, Ricotta 2002, 2004, Ricotta and Szeidl 2006, Allen *et al.* 2009, Chao *et al.* 2010)，這些新計算式的出現似乎暗示了傳統使用的多樣性計算式如 Shannon 多樣性公式已不再合適，而認為加入種間距離與物種相對



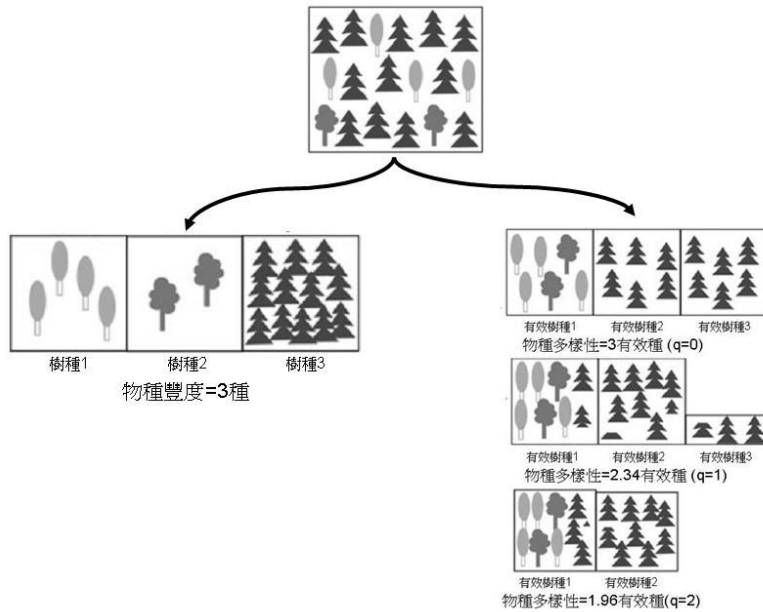


圖 5. 物種豐富度是以物種名稱為基礎，把相同物種名稱的個體全部放進格子，本例只有三種樹種所以用三個格子來代表。物種多樣性則在格子裡放入平均的不同樹種，平均可以是調合平均、幾何平均或算術平均(修改自 Tuomisto 2011)。

豐富度的平方多樣性指數才是未來唯一的可用的計算式(Izsak and Papp 2000)。但有些人不同意這種說法，Ricotta (2002)提出把 Shannon 多樣性指數乘上一個加權因子，就可以連結傳統的多樣性指數的計算，它的公式(4)為：

$$H_G = -\sum_{i=1}^N w_i p_i \log p_i \quad (4)$$

其中  $w_i$  是加權因子，是根據數據中物種分類系統中差異的距離，計算這個差異距離可以用分類樹的矩陣來計算(圖 6)。這個公式可以看成是演進版的 Shannon 多樣性指數，填補了原來物種間沒有差異性的多樣性計算的不足。

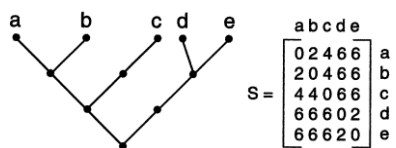


圖 6. 以分類系統樹建立種間差異矩陣來計算分類距離(引自 Ricotta 2002)

## 結論

多樣性是生物系統的一個重要的特徵，也是用來研究與了解生物系統(如群落)基本功能與結構一個很重要的參數，除了在生態學科學理論的研究外，也是 20 世紀以來資源保育、社會運動與政治協商的重要議題。在全球物種消失的速度持續增加的危險中，就種的數量而言，從 1970 年到 2006 年脊椎動物物種豐富度平均減少三分之一，聯合國生物多樣性公約原本希望在 2010 年底之前大幅降低生物多樣性喪失的速度，這個目標在 2010 年 5 月已正式宣佈失敗(CBD 2010)，並在 2010 年 10 月於日本名古屋生物多樣性高峰會重新訂定 21 世紀的新目標。可見生物多樣性議題與研究的重要與迫切，因此釐清相關名詞及監測時需要使用的多樣性指數的正確性，有助於了解其生態學真正內涵與保育政策的擬定更適切。

## 引用文獻

- 王壽兵。2003。對傳統生物多樣性指數的質疑。復旦學報 42(6):867-868。
- 呂光洋。1991。Biodiversity: 生物歧異度、生物龐雜度、生物多樣性。大自然季刊 31:4-9。
- 林朝欽、陸聲山。2012。生物多樣性指數-Shannon 公式探源。台灣生物多樣性研究 14(1-2):41-50。
- 楊滿霞、歐尚零、汪家琪、彭雲明。2008。兩種 Shannon 生物歧異度指數矯正估式之研究。作物、環境與生物資訊 5:258-267。
- 齊心、黃玉冰、戴佑達、吳宜穎、劉人璋。2003。由國內生物多樣性論文談生物多樣性研究。生態系經營-永久樣區理論與實務探討研討會論文集，335-360 頁。行政院農業委員會林務局。
- 齊心。2006。生物多樣性研究的省思。科學發展 605:64-65。
- Allen B, M Kon and Y Bar-Yam. 2009. A new phylogenetic diversity measure generalizing the Shannon index and its application to phyllostomid bats. *The American Naturalist* 174(2):236-243.
- CBD. 2010. *Global biodiversity outlook 3*. Montreal, Canada.
- Chao A and TJ Shen. 2003. Nonparametric estimation of Shannon's index of diversity when there are unseen species in sample. *Environmental and Ecological Statistics* 10:429-443.
- Chao A, CC Chiu and L Jost. 2010. Phylogenetic diversity measures based on Hill numbers. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences* 365:3599-3609.
- Chiarucci AC, G Bacaro and SM Scheiner. 2011. Old and new challenges in using species diversity for assessing biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series* 366:2426-2437.
- Crozier R. 1997. Preserving the information content of species: genetic diversity, phylogeny, and conservation worth. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28:243-268.
- DeLong DC. 1996. Defining biodiversity. *Wildlife Society Bulletin* 23(4):738-749.
- Fish RA, AS Corbet and CB William. 1943. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology* 12:42-58.
- Ghilarov A. 1996. What does biodiversity mean—scientific problem or convenient myth? *TREE* 11(7):304-306.
- Haila Y and J Kouki. 1994. The phenomenon of biodiversity in conservation biology. *Annales Zoologici Fennici* 31:5-18.
- Hamilton AJ. 2005. Species diversity or biodiversity? *Journal of Environmental Management* 75:89-92.
- Harper JL and DL Hawksworth. 1994. Biodiversity: measurement and estimation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series* 345:5-12.
- Hoffmann S and A Hoffmann. 2008. Is there a “true” diversity? *Ecological Economics* 65:213-215.
- Humphries C, P Williams and R Vane-Wright. 1995. Measuring biodiversity value for conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26:93-111.
- Hurlbert SH. 1971. The non-concept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology* 52(4):577-586.
- Izsak J and L Papp. 1995. Application of the quadratic entropy indices for diversity studies of drosophilid assemblages. *Environmental and Ecological Statistics* 2(3):213-224.
- Izsak J and L Papp. 2000. A link between ecological diversity indices and measures of biodiversity. *Ecological Modelling* 130:151-156.
- Jost L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113:363-374.
- Jost L. 2009. Mismeasuring biological diversity: response to Hoffmann and Hoffmann (2008). *Ecological Economics* 68:925-928.
- Kaennel M. 1998. Biodiversity: a diversity in definition. In *Bachmann P, M Kohl and R Paivinen (eds), Assessment of biodiversity for improved forest planning*. Dordrecht, Kluwer, pp. 71-81.
- Khan SA. 2006. *Methodology for assessing biodiversity*. Centre of Advanced Study in Marine Biology, Annamalai University.
- MacArthur RH. 1957. On the relative abundance of bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States* 45:293-295.
- Margalef DR. 1957. *Information theory in ecology*. *General Systems Year Book* 3: 36-71.
- Magurran A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. New Jersey USA.
- Magurran A. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd.
- Martin MA, JM Rey. 2000. *On the role of Shannon's entropy as a measurement for heterogeneity*. *Geoderma* 98: 1-3.
- Moreno CE and P Rodriguez. 2010. A consistent terminology for quantifying species diversity? *Oecologia* 163:279-282.
- Moreno CE and P Rodriguez. 2011. Commentary: do we have a consistent terminology for species

- diversity? Back to basic and toward a unifying framework. *Oecologia* 167:889-892.
- Mumby PJ. 2001. Beta and habitat diversity in marine systems: a new approach to measurement, scaling and interpretation. *Oecologia* 128:274-280.
- Pielou EC. 1967. The use of information theory in the study of the diversity of biological populations. *In Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, vol 4:163-177. University of California Press.
- Pla L. 2004. Bootstrap confidence intervals for the Shannon biodiversity index: a simulation study. *Journal of Agriculture, Biological, and Environmental Statistics* 9(1):42-56.
- Preston FW. 1948. The commonness and rarity of species. *Ecology* 29:254-283.
- Rao CR. 1982. Diversity and dissimilarity coefficients: a unified approach. *Theoretical Population Biology* 21:24-43.
- Ricotta C. 2002. Bridging the gap between ecological diversity indices and measures of biodiversity with Shannon's entropy: comment to Izsak and Papp. *Ecological Modelling* 152:1-3.
- Ricotta C. 2004. A parametric diversity measure combining the relative abundances and taxonomic distinctiveness of species. *Diversity and Distributions* 10:143-146.
- Ricotta C, L Szeidl. 2006. Towards a unifying approach to diversity measures: bridging the gap between the Shannon entropy and Rao's quadratic index. *Theoretical Population Biology* 70:237-243.
- Sager JC. 1990. *A practical course in terminology processing*. John Benjamins Publishing Company.
- Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27:379-423 and 623-656.
- Shimatani K. 2001. On the measurement of species diversity incorporating species differences. *Oikos* 93:135-147.
- Tuomisto H. 2010. A consistent terminology for quantifying species diversity? Yes, it does exist. 2010. *Oecologia* 164:853-860.
- Tuomisto H. 2011. Commentary: do we have a consistent terminology for species diversity? Yes, if we choose to use it. *Oecologia* 167:903-911.
- Warwick RM and KR Clarke. 1995. New biodiversity measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series* 129:301-305.
- Whittaker RH. 1956. Vegetation of the great smoky mountains. *Ecological Monographs* 26(1):1-80.
- Wilson EO (ed.). 1988. *Biodiversity*. National Academy Press. Washington, DC. USA.