

線蟲的女生比男生重要嗎？

王忠信、Dang Viet Dai（鄧越台）、黃韻、許容禎

我們的眼睛和大腦常被龐大、美麗和異國風情的東西所吸引——像是大象、蝴蝶和大王花——然而，微小的東西卻主宰著地球，並且非常迷人。在動物界中，可以說線蟲統治世界。

「美國線蟲學之父」有一句名言：

"If all the matter in the universe except the nematodes were swept away... we should find its mountains, hills, vales, rivers, lakes, and oceans represented by a thin film of nematodes."

「如果宇宙中除了線蟲之外的所有物質都被掃除……我們應該會發現山脈、丘陵、山谷、河流、湖泊和海洋都是由一層線蟲薄膜覆蓋著的。」

事實上，最近的一項研究指出，線蟲是地球上數量最多的動物，估計有 4.4×10^{20} 個個體。相較之下，地球上「僅」有 8.1×10^9 的人類。

那什麼是線蟲呢？

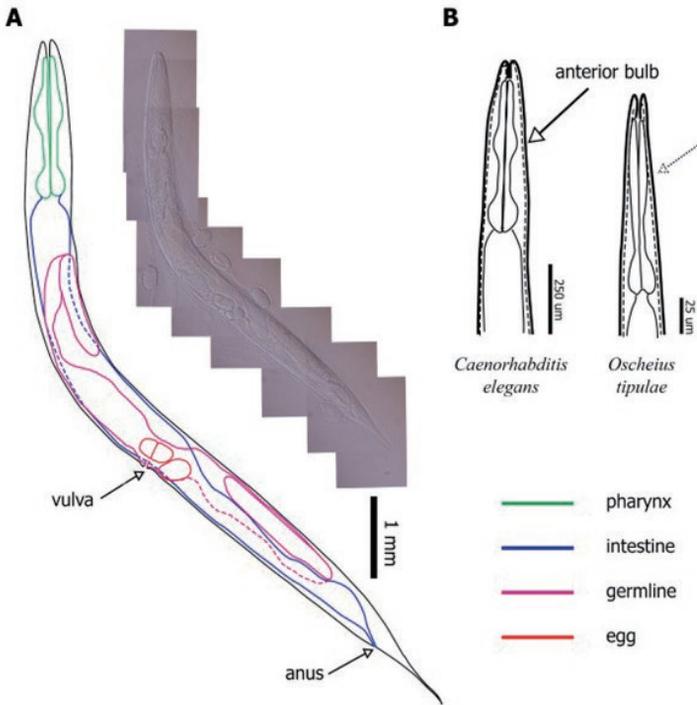
線蟲基本上是由兩個管道組成的（圖一）。主要管道是消化道，線蟲是進食的機器，這條管道從嘴巴延伸到咽部（粉碎細菌等食物的器官）、腸道，然後到達肛門。第二根管子是生殖道，大約占動物身體的一半。這是雌性產生卵子或雄性產生精子的器官系統，所以雌性線蟲也是產卵的機器。

像其他動物一樣，牠們也有其他器官，如神經系統、表皮/皮膚和肌肉。牠們是無脊椎動物，所以沒有骨頭。

線蟲通常是大約1毫米長的微小動物。但也有一些例外。動物寄生蟲豬蛔蟲*Ascaris suum*及其近親可以長達30至40厘米，抹香鯨中的*Placentonema gigantisma*可以長達8公尺。人類也會被線蟲感染，蟯蟲就是常見的兒童感染。

儘管人們常常將線蟲與感染和疾病聯想在一起，但絕大多數線蟲是自由生活的，牠們存在於土壤中，與土壤相關。牠們很容易找到。由於牠們吃其他微生物，通常是細菌，有時是真菌，因此人們可以在有細菌或真菌的地方找到牠們。

我們一直關注*Caenorhabditis*屬線蟲（以下簡稱C屬）。該屬包含*C. elegans*，牠是生物醫學研究和基礎生物學的主要實驗模型。基於*C. elegans*的基礎生物學研究已產生3項重大發現並榮獲諾貝爾獎！近年來牠也成為生態學和演化生物學研究的焦點。

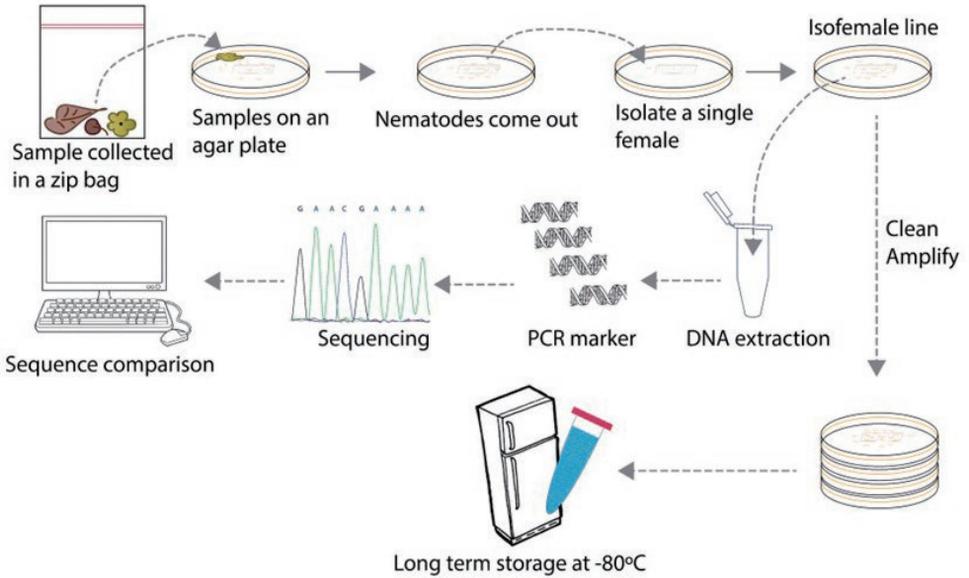


圖一、線蟲的構造。(A)綠色代表牠的咽部，藍色代表腸道，粉色代表生殖道，紅色的是卵。(B) *C*屬線蟲和他屬線蟲咽部的型態差異。

尋找野生 *Caenorhabditis* 屬線蟲物種

大約10年前，我們開始好奇在台灣是否容易找到 *C* 屬線蟲，以及是否有尚未被發現的新物種。當我們開始尋找時，我們發現台灣各地都可找到 *C* 屬線蟲。

分離 *C* 屬線蟲樣本的方法相當簡單。我們從自然或半自然的地點採集腐爛的水果或植物材料（例如葉子和花朵）的樣本。例如，我們會從森林的地面撿起一個部分



圖二、採集線蟲的流程。

腐爛的水果，將其帶回實驗室，並放在培養皿上（見圖二）。

培養線蟲的培養皿裡有一些細菌，我們用的是大腸桿菌。這種細菌通常存在於人類（哺乳動物）腸道中，科學家利用它來研究許多事情。事實上，線蟲在野外遇到大腸桿菌的可能性極低。但對於早期科學家來說，這是一種熟悉且易於使用的東西，因此他們開始使用大腸桿菌培養線蟲。

通常，如果腐爛的植物樣本中存在線蟲，牠們會在短時間內爬到細菌上取食——幾小時到幾天內，有時快至幾

分鐘。然後，我們嘗試使用型態學和遺傳分析來識別這些線蟲。

型態學意味著觀察線蟲的外觀。老實說我不是線蟲型態學的專家，也許我的實驗室團隊會比我好一點。但我們確實可以辨認出一些線蟲的共有特徵。

線蟲的形態學和分子鑑定

我們使用解剖顯微鏡來檢查線蟲。首先看牠們的咽部，這是線蟲用來研磨和絞碎細菌的器官。牠們的咽部有2個球狀體。在*C*屬中，第一個球狀體偏圓，而許多其他物種，這個部分較細長或呈管狀（見圖一B）。

我們再來看牠們的腸道。*C*屬線蟲的腸道顏色較淺，通常有大塊的白色區域。這些白色區域其實是這些細胞中非常大的細胞核。而其他線蟲腸道通常顏色較深，細胞核也較不明顯或觀察不到。

此外，就很難將*C*屬線蟲與其他類似的線蟲區分開來。還有，僅透過外觀識別物種有可能會因表觀的差異而排除了未知的*C*屬線蟲。想像一下比較黑猩猩、大猩猩和人類。表面看來，人類可能會被排除在這一類猿之外。新事物的演化在我們的意料之外。

我們尋找*C*屬線蟲的方式也存在偏差。我們用腐爛的食物、水果和蔬菜來探索。但並非所有的*C*屬線蟲物種都以此為棲息地。一個值得注意的例外是*C. inopinata*（圖



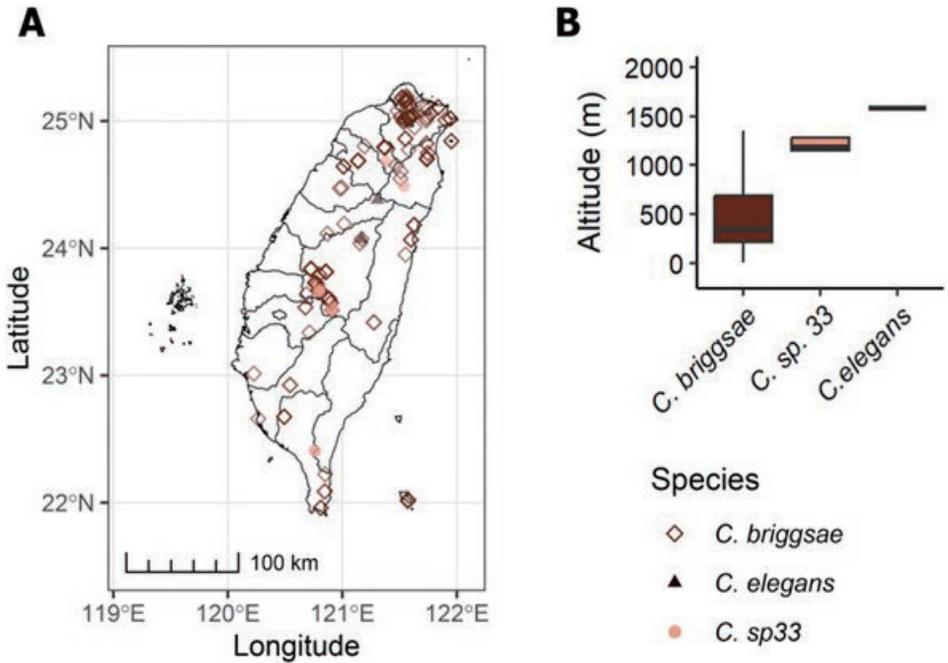
圖三、*C. elegans* (左) 和 *C. inopinata* (右)。

三)。這是一個由日本研究小組發現的物種，並由我的同事蔡怡陞博士進行定序和分析。我們在台灣很多地方都有發現牠。牠存在於榕樹 *Ficus septica* 的無花果實中。更有趣的是，牠是由無花果黃蜂在果實之間攜帶而來的。所以這是一個三方關係。我想說的是，我們也要探索其他東西，像是塵土、果實、昆蟲的屍體等。

接下來是DNA分析。這是地球上所有生命的藍圖。它是大家共有的，但它會隨著時間而慢慢改變。一部分DNA的演化是中性的或隨機的，我們使用這種片段來做物種鑑定，我們稱之為條碼序列。在條碼序列的兩側都是重要的基因，通常不同物種間非常相似且不太變動。但中間部分的ITS2是非編碼的，不重要的，因此它可以改變。在我們的領域，兩個物種之間的差異通常大於3%。換句話說，如果該序列相似度達到97%，則兩者很可能

是同一物種。

台灣目前已發現14種線蟲。圖四是其中一些的分佈。最常見的一種是 *C. briggsae*。我們也有發現模式物種 *C.*



圖四、全台灣*C*屬線蟲的分佈。(A)三種*C*屬線蟲的地理分佈；(B)三種*C*屬線蟲的海拔分佈。

elegans，但僅在較高海拔地區發現。我們發現的第一個新物種是*C. species 33*，我們尚未但很快會給牠正式命名。

在台灣發現如此多的*C*屬物種是十分令我們興奮的。這對國際線蟲研究領域也有很大幫助，因為台灣是發現*C*屬線蟲物種數量名列前茅的國家。當然，台灣地理位置優越，有亞熱帶氣候和山脈。

C屬線蟲的性別比例偏差

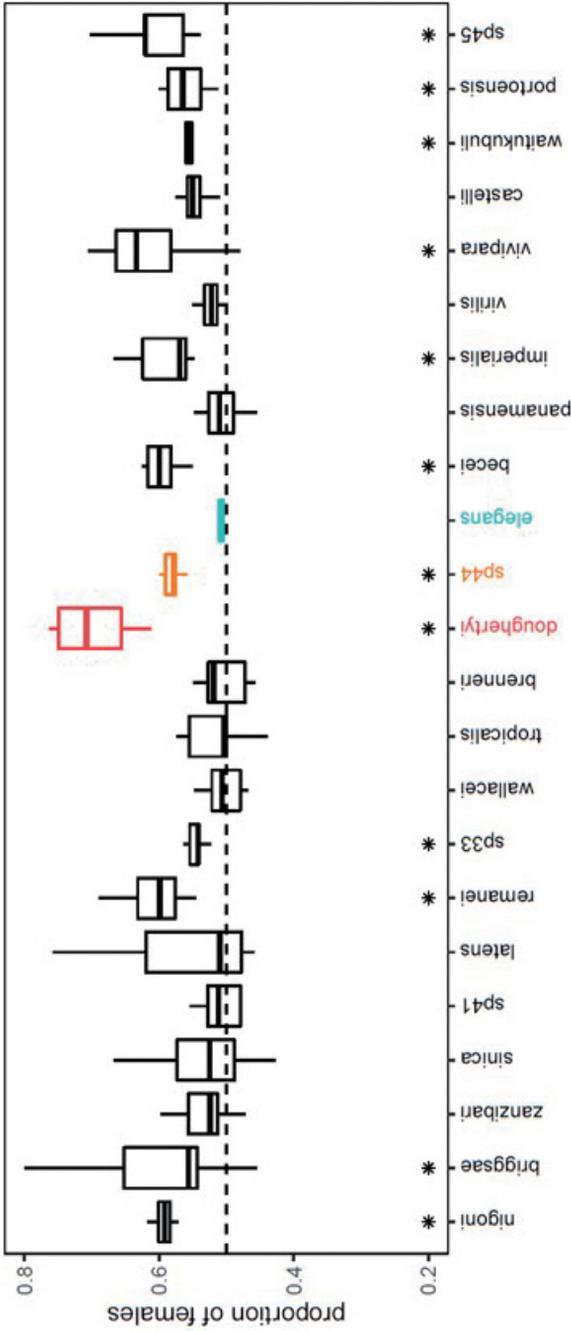
我們可以用這些物種做什麼？在另一個實驗中，我們需要記錄幾個*C*屬物種中具有某種表型的女兒和兒子的數

量[1]。偶然發現，女兒的數量並不等於兒子的數量。也就是說，我們預計會看到大約一半的女兒和一半的兒子，但我們經常看到更多的女兒。

這對我們而言是一個非常有趣的發現。我們隨後進行了一項實驗來檢查23個物種的性別比例，即女兒與兒子的比例[2]。實驗非常簡單。我們把一隻雄性和一隻雌性放在同一個培養皿裡，牠們（通常會）交配，然後雌性開始產卵。我們每天都會把親代移到新的盤子，這是因為牠們從卵到成蟲的生命週期約為2天，但雌性在開始產卵後可以繼續產卵多天，如果我們把牠們放在同一個盤子裡，有時我們就無法分辨子輩和孫輩。等子代孵化發育，然後我們數生了多少個女兒和兒子。由於我們每天都會移動親代，我們也知道性別比例在不同生命階段是否一致。

我們發現有的物種具有相同的性別比，例如*C. elegans* 性別比例約為50:50（在圖五中以藍色顯示）。有的物種的性別比例偏向雌性（即更多的女兒），例如*C. doughertyi*，大約是70:30（在圖五中以紅色顯示）。某些物種，例如*C.sp.44*（在圖五中以橘色顯示），性別比例略有偏向雌性，雌性：雄性僅為55:45。我們沒有發現物種具有明顯偏向雄性的性別比。

怎麼會女生比男生多？我們還不知道，這需要更多的研究。這可能有多種機制發揮作用。我們有一些證據顯示，其中一種可能性是，具有X染色體的精子和不具有X染色體的精子之間存在競爭（與人類不同，大多數線蟲「失



圖五、C屬線蟲的性別比。中間的橫虛線代表50:50的性別比。高於此代表偏向雌性的性別比，低於此代表偏向雄性的性別比。文中提到的三個代表物種以不同顏色凸顯。Box下方的星號代表該物種的性別比偏差具有統計學意義。

去」了Y染色體，我們將這種缺失稱為「O染色體」)。在這個猜想中，雄性會產生相同數量的X和O精子。一開始，X精子先佔得優勢，因此我們一開始看到更多的雌性。隨著X精子漸漸用完，餘下大量的O精子就有更大的機會使卵細胞受精。所以隨著時間，雄性會越來越多。我們在一些物種中看到了這種狀況。

為什麼會出現這種狀況？換句話說，這種性別比偏差對生物體或物種有利嗎？

一種可能性被稱為「本地配偶競爭」。這有點複雜，但想法是，如果一個區域（例如一顆腐爛的蘋果）僅被少數線蟲定殖，並且牠們是近親，例如兄弟姐妹，那麼就會有很多兄弟姐妹交配。當近親交配時，產生更多的雌性會更有生產力，因為卵是一種昂貴且有限的資源，孩子的數量基本上是由可以產生的卵子數量決定的。那麼只要足夠的男生，能夠產生足夠的精子，讓所有的卵子受精就可以了。這會導致性別比例偏向雌性。

所以標題的答案是，是的，在許多線蟲中，女生比男生重要。

參考文獻

1. Le, T., Yang, FJ., Lo, YH. *et al.* Non-Mendelian assortment of homologous autosomes of different sizes in males is the ancestral state in the *Caenorhabditis* lineage. *Sci Rep* 7,

- 12819 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13215-4>
2. Huang, Y., Lo, YH., Hsu, JC. *et al.* Widespread sex ratio polymorphism in *Caenorhabditis* nematodes. *R. Soc. open sci.*10:221636 (2023)

後記

線蟲看似不起眼，卻隱藏著許多生物學的秘密。牠們以較簡單的身體構造和短暫的生命週期，被科學家們用來研究生命在微觀世界中關鍵的分子機制。我們也用來瞭解牠們在大自然環境中演化出的生存模式。多生女兒（比起兒子），也許是牠們對於環境的適應，這有待我們的進一步探究。

作者簡介



王忠信

中研院生物多樣性研究中心副研究員。美國史丹佛大學生物學博士。致力於分子遺傳學，演化遺傳學的研究。使用線蟲和入侵紅火蟻作為研究對象。



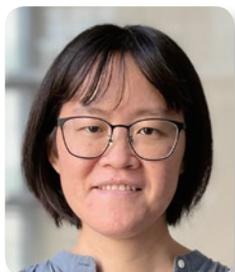
Dang Viet Dai (鄧越台)

越南南方生態研究所研究員及中研院生物多樣性研究中心博士後研究員。主要研究昆蟲和線蟲的多樣性、行為、與生態。



黃韻

中研院生物多樣性研究中心博士後研究員。德國馬普演化生物研究所博士。研究興趣為利用模式生物瞭解演化中的遺傳變化。



許容禎

中研院生物多樣性研究中心約聘助理。國立中山大學海洋生物研究所碩士。對各種生物、生態、遺傳演化的研究皆有興趣。