

線蟲的演化賽局

既然是孤雌生殖，為何還
需要精子？

適用國中生物【七下】生殖

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

「孤雌」生殖，但是永遠需要精子

如今常用的模式生物：秀麗隱桿線蟲（*Caenorhabditis elegans*），最早慧眼識線蟲的是法國生物學家 Victor Nigon。在 1949 年時，他還記錄了一種土壤中的線蟲 *Mesorhabditis belari*，這種線蟲只有少量男生，男生會和女生交配，卻很少將 DNA 遺傳給後代。

而最近的新研究也發現，這種線蟲的生殖方式真的十分特殊，且相當巧妙。

[1][2]

Mesorhabditis belari 線蟲是本文的主角，之後直接簡稱作「線蟲」。

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

它的生殖方式算是孤雌生殖（parthenogenesis），卻又不是典型的孤雌生殖。孤雌生殖屬於無性生殖的一種，往往不需要男生，只要有媽媽就能生下女兒，例如**大理石紋螯蝦**。

某些孤雌生殖的動物卻需要精子刺激，才能讓卵母細胞活化，發育為胚胎。此一孤雌生殖的方式稱作「假受精（pseudogamy）」、「雌核發育（gynogenesis）」，或是「依賴精子的孤雌生殖（sperm-dependent parthenogenesis）」，通常用的是別種動物的精子，而這些精子只作為啟動器使用，精子本身的DNA不會影響胚胎的遺傳組成。

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

但線蟲又不太一樣，她們是利用同種男生的精子激活卵子，然而儘管使用同類的精子，男生的遺傳物質同樣無法傳承下去。

有上過演化課的話，應該會感到非常可疑。世界上不同生物的生殖方式無奇不有，但是再獵奇也不該與演化原則衝突：不同性別間的利益要達到平衡，否則將系統崩潰，導致生物滅絕。

假如像線蟲這樣，女生缺乏男生就無法受孕，但是男生付出代價後，卻也無法傳承自己的遺傳物質作為回報，對男生沒有好處；這種看似依賴單方面奉獻的生殖系統，是如何維持的呢？

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

無性生殖、有性生殖，同時進行

線蟲在實驗室環境下，一輩子產下的後代總是約有 9% 男生。線蟲女生一定要有同種男生的精子，才能產下後代，而男生也無法跨物種情慾交流，因此，男生在生殖中的功能，只有讓同種女生受孕。這是為什麼呢？線蟲的卵細胞發育為胚胎，為什麼非要精子不可？

細胞發育與分裂的時候，需要形成正確的結構拉開空間。線蟲受精以後，精子可以提供細胞骨架的材料，作為中心體（centrosomes）讓胚胎能夠這些結構卵細胞無法自行生產，必需要靠精子提供，胚胎才能正常發育。

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

線蟲女生會製造兩種胚胎，實驗總共觀察的 258 個胚胎中，大部分 227 個是雌核發育（gynogenetic），小部分 31 個是兩性融合（amphimictic）。兩種胚胎形成的性別截然不同，雌核發育胚胎都長成女生，兩性融合胚胎皆發育為男生。

如此生下的後代，源自雌核發育的女兒，完全不會繼承任何精子的 DNA，遺傳上 100% 複製母體，可以算是無性生殖的產物。源於兩性融合的儿子，則是繼承精卵各一半的遺傳物質，能視為有性生殖的個體。

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

為什麼兩性融合的胚胎，幾乎全部發育為男生？這是由於精子不同所致。線蟲與人類一樣，都用 X、Y 性染色體決定性別。不論雌核發育或是兩性融合胚胎，配備 Y 染色體的精子穿透機率都高達 90%，遠遠超過配備 X 的精子。

然而，雌核發育的胚胎不會傳承男生的遺傳物質，獲得哪種精子沒有差別；兩性融合的胚胎則是有很高比例得到 Y 精子，假如接收到 X 往往還會陣亡。

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

這些因素綜合起來，最終的結果是：高比例的雌核發育胚胎全部形成女兒，低比例的兩性融合胚胎通通產生兒子，大約占 9% 左右。

為什麼總是生9%兒子？

了解線蟲怎麼生寶寶以後，接著要回答的問題是：為什麼兒子總是 9%？後代的性別比例，其實可以歸納為數學問題。研究者使用「賽局」模型，希望參透線蟲的生殖天機。生女生男的賽局中，有哪些條件要考慮呢？

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

以線蟲女生角度來看，受孕需要精子，所以沒有男生不行；但是男生只有卵細胞啟動器的功能，不能傳承 DNA，生太多兒子又是浪費資源；更重要的是，假如兒子去當別的媽媽的卵細胞啟動器，對自己的世系將毫無幫助。

綜合起來就是：

媽媽一定要生兒子，但是比例不需要太高，能精子不落外人田更好。

為了妹妹，甘心成為生殖後代的零件吧！

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

對線蟲男生而言，自己的整個基因組，都無法傳承給有生殖能力的後代，
這樣活著還有什麼意義？

且慢！有聽過這句話嗎？

「我將會為兩位兄弟或是八位表親犧牲生命。（ I would lay down my life
for two brothers or eight cousins ）」

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

這句名言來自族群遺傳學界的上古神獸霍爾丹（J.B.S. Haldane），他的意思是，血緣關係更親近的個體，之間共享更多遺傳成分，從演化來看，「一個我」量化以後等於「兩位兄弟」或「八位表親」。此一概念，後來成為解釋利他行為（altruism），與重要理論親擇（kin selection）的基礎。

身為線蟲男生，儘管註定沒有後代，卻會有大概 10 位姐妹（由於許多男生出生的比女生早，他們將擁有很多妹妹）。他們與姐妹間，有部分遺傳組成是共通的，如果能協助自己的姐妹生寶寶，等於能間接傳播自己的 DNA，又有利於自己所屬的世系。

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

由上述假設的條件推論，如果地方的媽媽生下一定比例的兒子，兒子又大部分留在附近，傾向和自己的同母姐妹情慾交流，就可以達到兩性都能接受的平衡。而賽局模型估計，要達到此一平衡的男生比例是：9%。

生物個體的細胞，可以分為生殖細胞與體細胞兩種。線蟲男生雖然也是獨立的個體，不過以生殖狀態來看，卻可以視為供應中心體的「體細胞」。這似乎有點像是蜜蜂，不過又不一樣。

大自然的賽局平衡

孤雌生殖是演化的結果，並不會總是維持現狀。孤雌生殖的動物，可以

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

完全不需要男生，也可能無法長期維持無性生殖，又回到有性生殖或是不幸滅團。

經過一系列精巧的研究以後，研究團隊終於釐清 *Mesorhabditis belari* 線蟲繁衍後代時，同時綜合無性與有性生殖的細胞機制；也以賽局計算，得知兒子的比例為什麼總是 9% 的原因。

線蟲的生殖機制，不論當初是如何形成，都使得它當下處於微妙的平衡上，保持在「自體假受精（autopseudogamy）」的特殊狀態。

【線蟲的演化賽局】既然是孤雌生殖，為何還需要精子？

參考文獻

1. Grosmaire, M., Launay, C., Siegwald, M., Brugière, T., Estrada-Virrueta, L., Berger, D., ... & Félix, M. A. (2019). Males as somatic investment in a parthenogenetic nematode. *Science*, 363(6432), 1210-1213.
2. [In this nematode species males are needed for reproduction but not their genes](#)