

孟德爾的豌豆： 統計和機率在遺傳學上的重要貢獻

陳夢綺
新竹縣竹北高中

在中小學基礎教育環境裡，「學習數學有何用？」是學生常有的疑惑，而教師的解釋也往往無關痛癢。或許我們來看看十九世紀孟德爾的故事，可以給我們一點新鮮的啟發。

孟德爾 (Mendel, 1822-1884) 生於奧地利鄉下的一個農家，中學畢業後進入奧爾米次哲學院，但卻因家貧而輟學，爲了生活，只好進入位於維也納北部布爾諾的奧古斯丁修道院做修道士，他一方面在修道院裡當神父，一方面仍努力地學習研究，並受委派到茨納伊姆中學擔任希臘文和數學代課老師。兩年後，修道院院長派他到維也納大學學習物理、化學、數學和動植物學以獲取大學預科教學之永久資格，在往後的十幾年時間裡，雖然從未通過教師合格考試，仍繼續在布爾諾的技術中學教授物理學與自然歷史，直到 1868 年被選爲修道院院長。孟德爾終生爲維也納動植物學會會員，且爲布爾諾自然科學研究學會及奧地利氣象學會的創始人。

孟德爾的豌豆實驗 1856-1863 年

十九世紀，達爾文 (Darwin, 1809-1882, 英國博物學家)，隨海軍科學考察船「小獵犬號」到世界各地旅行考察，觀察到各地的動植物之後，開始質疑「創世說」— 萬物都是由上帝所創造，進而提出「演化論」，主張所有生物都是從少數原始的物種慢慢演變繁衍而來。然而此理論卻有一疏漏：當時的人以爲每個人都是父母兩人的揉合，如同將黑漆與白漆調在一起，得到灰色的漆。在這種論點下，天擇 (natural selection) 根本不可能存在，因爲變異會沖淡，生物都會變成一致的灰色，可是我們又確切地知道，並不是所有的生物都成了一致的灰色。然而達爾文卻提不出自然變異的機制究竟爲何，同時，各地的博物學家及生物學家也努力地想找出合理的答案。

孟德爾出生農家，在自然環境裡成長，從小喜愛蒔花弄草，對植物的生長開花極感興趣。長大後，雖然因爲家貧而當了神父，但修道院的院子反倒成了他的舞台。以他對植物生長的長期觀察，希望能由此而找出遺傳的機制。他觀察到豌豆的花瓣閉合，可自花授粉，同時實驗時也可以人工方式異花授粉，且生長期只有三個月易於栽培，可順利地進行實驗。更重要的是，它們恰好有兩兩對應又截然不同的性狀，例如高莖、矮莖等，可供觀察比較，所以，他選定了豌豆作爲他實驗觀察的對象。

在進行實驗之前，他花了很多時間仔細篩選出親代(即自花授粉數代後均只表現單一性狀的豌豆植株)，準備開始進行實驗。

實驗一及假說一

爲了瞭解一項對偶性狀的遺傳機制，孟德爾將具有對偶性狀的親代交配，產生第一子代，只觀察其此項特徵，卻發現第一子代中，居然很整齊地只留下了一種性狀，例如：高莖和矮莖交配後，新生代中清一色地都是高莖的。孟德爾將此保留下來的性狀稱爲「顯性」，而其對偶性狀稱爲「隱性」。再由第一子代自交而得到第二子代，結果隱性性狀又出現了。孟德爾仔細做下紀錄(參考下表)，觀察分析這些數據，發現了不論是哪一種性狀都呈現出大約是 3 : 1 的比例。

親代	第一子代	第二子代	比例
圓形種子×皺皮種子	圓形種子	5474 圓形種子 1850 皺皮種子	2.96 : 1
黃色種子×綠色種子	黃色種子	6022 黃色種子 2001 綠色種子	3.01 : 1
灰色種皮×白色種皮	灰色種皮	705 灰色種皮 224 白色種皮	3.15 : 1
飽滿豆莢×癟縮豆莢	飽滿豆莢	882 飽滿豆莢 299 癟縮豆莢	2.95 : 1
綠色豆莢×黃色豆莢	綠色豆莢	428 綠色豆莢 152 黃色豆莢	2.82 : 1
腋生花×頂生花	腋生花	651 腋生花 207 頂生花	3.14 : 1
高莖×矮莖	高莖	787 高莖 277 矮莖	2.84 : 1

孟德爾由實驗結果分析，提出解釋(假說)，他假設：

- 性狀的遺傳是由細胞中的某種因子所控制的(今天我們稱爲基因)，控制一種性狀的因子有二種型式：一爲顯性，一爲隱性。
- 此種因子在細胞中是成對存在的，當形成精子和卵子時，便互相分離，各帶一個。
- 受精時，若顯性因子和隱性因子相結合，便表現出顯性性狀。

以上三點即爲孟德爾的第一定律 — 分離律。

精	A	a
卵	AA(顯)	Aa(顯)
A	Aa(顯)	Aa(隱)

這樣一來，就可以正確地解釋爲什麼顯性與隱性性狀是 3 : 1 的比例，並進一步反駁當時黑漆、白漆調成灰漆的說法。

實驗二及假說二

爲了瞭解不同性狀間的遺傳機制，同時考慮兩對不同性狀來進行實驗，以黃色圓形種子（顯性）和綠色皺皮種子（隱性）爲親代，交配後第一子代全爲黃色圓形種子，再由第一子代自交而得到第二子代，其中有 315 株黃色圓形種子，108 株綠色圓形種子，101 株黃色皺皮種子，32 株綠色皺皮種子，可得大約的比例 — 黃色圓形：綠色圓形：黃色皺皮：綠色皺皮是 9：3：3：1。孟德爾提出解釋（假說），他假設控制不同性狀的成對因子，都會獨立地分配到精子和卵子去。這即爲孟德爾的第二定律 — 獨立分配律。

例如：親代是黃色圓形種子（顯性；因子爲 YYRR）和綠色皺皮種子（隱性；因子爲 yyrr）第一子代即爲黃色圓形種子（顯性；因子爲 YyRr）。精子或卵子即分配爲 YR 或 Yr 或 yR 或 yr，則第二子代爲：

精 卵	YR		Yr		Yr		yr	
YR	YYRR	黃圓	YYRr	黃圓	YyRR	黃圓	YyRr	黃圓
Yr	YYRr	黃圓	Yyrr	黃皺	YyRr	黃圓	Yyrr	黃皺
YR	YyRR	黃圓	YyRr	黃圓	YyRR	綠圓	yyRr	綠圓
Yr	YyRr	黃圓	Yyrr	黃皺	YyRr	綠圓	yyrr	綠皺

故結果爲黃色圓形：綠色圓形：黃色皺皮：綠色皺皮是 9：3：3：1。

驗證

(a) 將 YyRr 型與 YYRR 型均爲黃色圓形種子的豌豆互相交配，依其理論，子代的基因型有 YYRR，YYRr，YyRR，YyRr，均應爲黃色圓形種子。結果：子代 98 株豌豆果然全是黃色圓形種子，與理論吻合。

(b) 將 YyRr 型與 yyrr 型互相交配：

應得	YR	Yr	yR	yr
Yr	YyRr 黃圓	Yyrr 黃皺	yyRr 綠圓	yyrr 綠皺

結果：子代 31 株黃圓，27 株黃皺，26 株綠圓，26 株綠皺，接近 1：1：1：1，與理論吻合。

發表

孟德爾於 1865 年在布隆城召開的自然科學會議上公開發表論文，並在會刊中刊登，分送到歐洲的各圖書館裡去，可惜，很少人注意到這篇文章，甚至沒有人了解。他以數學方法分析性狀的機率，也只有數學家才感興趣，偏偏這些數學家對豌豆興趣缺缺，因此，在當時這些發現並未受到學術界的重視。直到 1900 年分別由植物學家荷蘭的德弗里斯 (Hugo De Vries)，德國的科倫斯 (Karl Correns)，奧地利的切爾馬克 (Erich Von Tschermak)，在各自獨立的工作中得到和孟德爾同樣的結論，他們在發表論文前查閱文獻資料時，又不約而同地發現三

十多年前孟德爾早已發現且証實過了。於是，孟德爾從此被公認為「遺傳學之父」，遺憾的是，直到去世，孟德爾並不知道自己的研究是近代遺傳學的起點。

啟示

孟德爾由平時的細心觀察，到訂下實驗計劃、分析實驗數據、建立假說、預測結果，再由實驗驗證，最後，終於確定整個理論，這一個符合科學精神的嚴謹程序，確立了他「遺傳學之父」的地位。

有人說：「數學是大自然的語言」，在科學的發展史上，因為看透大量數據而得到重大進展的科學家，除了孟德爾，還包括了刻卜勒 (Johannes Kepler, 1571-1630，發現行星運動三大定律)，馬克士威 (James C. Maxwell, 1831-1879，馬克士威電磁方程式) 等，他們都是憑著深厚的數學基礎及銳利的數學敏感度，才能在大量的數據中看出有意義的端倪。很多學習者 (尤其是現代速食文化盛行) 常著急地只學了一點點，就要問做什麼用，上列三位大科學家，如果不是在平時培養好敏感度與洞察力，又豈能在大堆數據中看出任何規律？

另一方面，仔細看看孟德爾的背景經歷，他學習物理、化學、動植物學、氣象學等，涉獵層面廣泛，也因此能不局限在單一學科裡打轉。他能用不同的角度 (量化的處理方式) 來觀察「遺傳」，反而跳脫了當時思想的窠臼，得到超越時代的結果。自然界中的規律俯拾皆是，各學科間其實互相關聯，不論是哪一學科都無法和別的學科劃清界限，學習者、研究者當然也不應劃地自限了，尤其是從事科學教育者，更應重視科際整合，以擴大學生的視野。

參考資料

- 大美百科全書 (1980). Vol.18 Mendel (pp.402-403)。台北：光復書局。
- 中國大百科全書 (1994). 生物學 II Mendel's laws。台北：錦繡出版社。
- 曹亮吉 (1996).《阿草的葫蘆:文化活動中的數學》。台北：遠哲科學教育基金會。
- 梁衡 (1985).《數理化通俗演義》上、下冊。新竹：理藝出版社。
- 諸亞儂等 (1985).《高中生物》第三冊。台北：國立編譯館。
- Brockman, John (唐勤，梁錦鏗譯) (1998).《第三種文化：跨越科學與人文的鴻溝》。台北：天下遠見出版社。
- Taggart, Cecie Starr Ralph (丁澤民，王偉，張世玲，連慧瑞譯) (1989).《生物學》上冊，台北：藝軒圖書出版社。

附記：本文原載於《HPM 通訊》3(2/3)。