

遺傳指標在教學上的應用

國立臺灣教育學院科學教育學系生物組 唐淑芳

一、前言

遺傳學真正的研究是始於 1900 年，在生物學中算是一門新興的學問，但在短短八十幾年中却有驚人的進展，無論在純粹科學或應用科學上，均有不可忽視的價值。尤在作物育種和家畜育種的應用最為廣泛。

「孟德爾遺傳」是遺傳學的基礎，更是遺傳教學的重心，但對初學者而言，總覺得其抽象、複雜，必需花費許多的時間和精力，才能有所了解。在此介紹一種簡單、價廉，易於自製的教具——遺傳指標（herediscope），希望有助於學習遺傳學的學生及工作上需要用到遺傳知識的人，使其能透過具體、簡易的途徑，習得基本的遺傳法則。

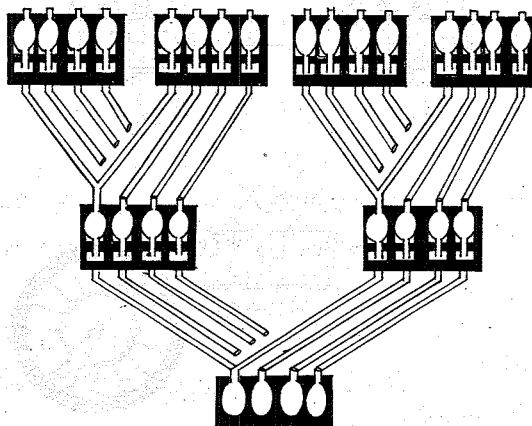
二、遺傳指標的發明及改良

1928 年，一位遺傳學家 R.R. Graves 發明助於教導孟德爾遺傳的裝置，稱之為遺傳指標。

R.R. Graves 在美國農業部酪農局從事乳牛遺傳的研究。他觀察不同品系乳牛的交配及產量紀錄，深覺孟氏遺傳法則在此的重要性，同時需要一種更好的工具來教導它。因為除非酪農確實了解遺傳法則，他們無法明白培育攜帶高乳產量的牡牛之重要性及如何利用此牡牛育成高產量

之子代。Mr. Graves 基於此乃設計出遺傳指標，用來說明培育優生牡牛的法則。然而遺傳指標使用的範圍十分廣泛，同樣可用於植物、動物，甚至人類的遺傳上。

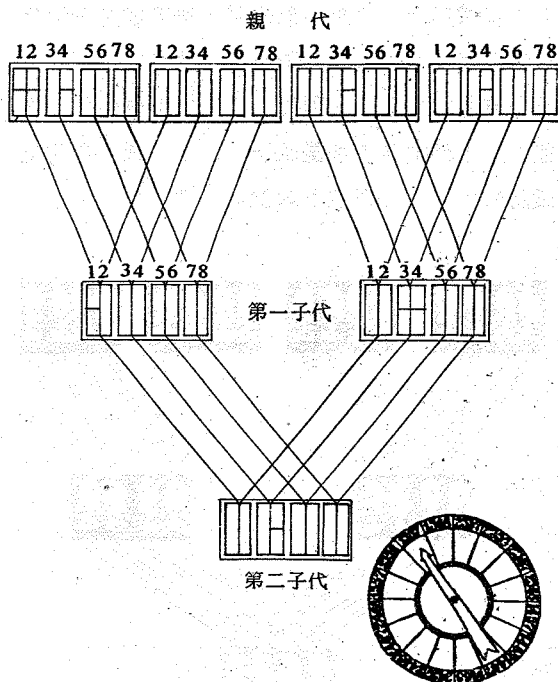
最初的裝置包含幾群的鋁瓶（圖一），每一群（四個鋁瓶）代表一個個體，排列成三個世代（四個親代，二個第一子代，一個第二子代）。許多有色的小球，分別代表特定的遺傳性狀，例如：“牛奶中含有多量脂肪的因子”或“含少量脂肪的因子”。這些小球置於“親代瓶”中，



圖一 遺傳指標的連接機制，色球經管道，由一個瓶子傳到另一個瓶中，這些外表似乎未完成的管子，由其背後的管橋（Channel-bridges）控制，可與朝向它們的瓶子相連（Anonymous 1928）。

當操縱者壓下連於機制上的開關時，則有一半的性狀代表者從每一個親代的瓶中傳送到子代。性狀的選擇，正如真正的配對一樣，完全是逢機的。藉著重複配對（操作），觀察者能注意到某些性狀如何一代一代的傳遞下來，或者在此過程完全遺失掉。也可探討某些基因存於某一個體，但被顯性基因所遮蓋；當顯性基因不存在時，這些基因又表現出何種性狀。

R.R. Graves 發明遺傳指標後，在世界各地引起極大迴響，紛紛向其索購。但最初之裝置過於龐大，無法適用於教室或較狹小場所。同時，價格過於昂貴，縱然由工廠大量生產銷售，也要花費美金一百六十元（1928 年之價格。Dr. Graves 將其簡化，保持原設計的功能和目的，但製作費用只需原價的幾分之一（美金二元五角）。



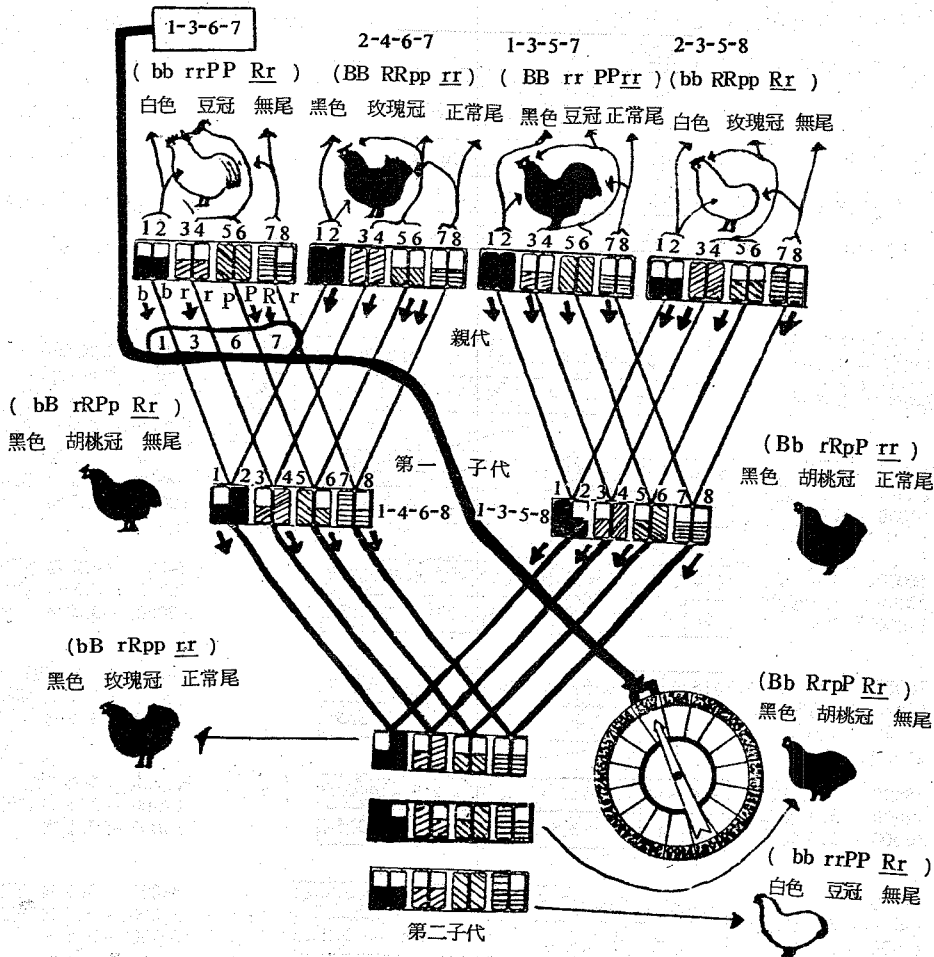
圖二 簡化後的遺傳指標。每一群“矩形牌”（四對染色體）代表一個個體。配對時，每對中僅一個染色體傳到下一代。何者被選擇，則由旋轉的指針決定之。以手撥動指針，其停止的位置即說明那四個基因被決定傳遞。每旋轉兩次就可決定一新個體。（Anonymous 1929）

簡化的遺傳指標如同可折疊的西洋棋盤（圖二）。不同的性狀，以不同顏色的瓊瑤珞板代表，同一對基因中，較長的代表顯性；短的代表隱性。在此四對基因，任一個性狀中那個基因被選擇，則由以手旋轉的指針來決定，完全符合逢機選擇的原則。此種機制和最初設計一樣，均可證明四對分離性狀的遺傳和重組，也可用於說明多對基因的遺傳，如牛奶產量、蛋產量、身高和其他數量遺傳。

三、遺傳指標用於教學的例證

茲簡介兩例，以說明如何將遺傳指標用於教學上。

例一為具有四對不同基因的矮腳雞間的交配，若以遺傳指標解釋，則一目了然。此四對基因為體色（黑—白），雞冠形狀（玫瑰冠—單冠；豆冠—單冠），尾部形狀（正常尾—無尾，分別以不同色彩的矩形牌狀物表之。若以黑色“牌”代表雞的體色性狀，則較長的黑牌代表顯性基因—身體為黑色；短的黑牌代表隱性基因—白色。黑色的雞，其基因組成可能為兩個黑色長牌或一長一短，白色的個體，則均為黑色短牌。圖三中，體色性狀其基因對編號為（1-2），其他分別為兩對雞冠形狀基因對（3-4，5-6），尾部基因對（7-8）。在孟氏遺傳定律中，配對時，對偶基因彼此自由分離，形成配子。因此四對基因可得到十六種不同組合，其標示於旋轉盤中。以手撥動指針，則可確定配對中，對偶基因何者被傳遞到子代。例中，第一次旋轉指針，轉動停止時，針尖指著 1-3-6-7 的號碼，所以雄性親代編號 1、3、6、7 的染色體傳遞到子代。第二次旋轉，得到 2-4-6-7 的組合，即雌性親代編號 2、4、6、7 的染色體傳到子代。兩次旋轉完成第一子代中「父親」的遺傳組成，產生一黑色、胡桃冠、無尾（bB rR Pp Rr）的矮腳雞。同



圖三 家禽四對基因的遺傳：羽毛顏色（黑—白）；雞冠形狀（玫瑰冠或豆冠—兩獨立性狀，兩者各有一顯性為胡桃冠，兩者皆隱性為單冠）；尾部形狀（正常對無尾）。長的矩形表顯性，短者代表隱性（Anonymous 1929）。

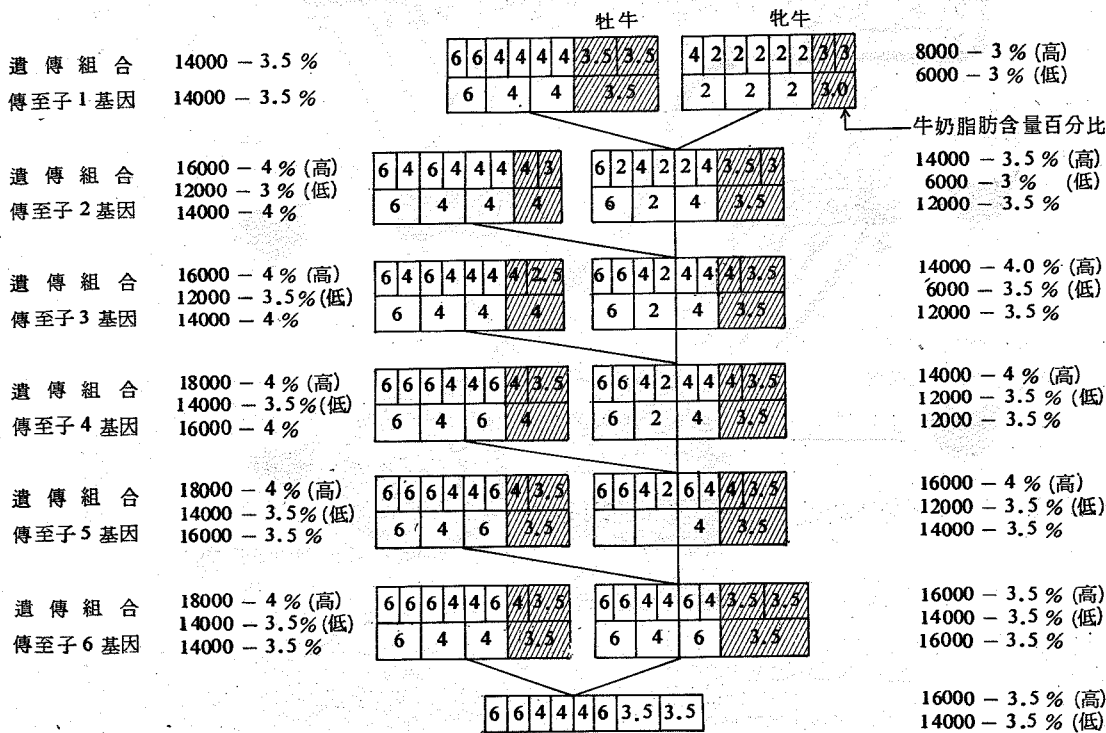
樣的方法，由右方兩親代產生黑色、胡桃冠、正常尾的雌雞（ $Bb\ rR\ pP\ rr$ ），因為次兩次旋轉指針的結果為 1-3-5-7 和 2-3-5-8。

第一子代間做三次交配，產生三個不同基因組合的第二子代，分別為黑色、玫瑰冠、正常尾（ $Bb\ Rr\ pp\ rr$ ），黑色、胡桃冠、無尾（ $Bb\ Rr\ Pp\ Rr$ ）及白色、豆冠、無尾（ $bb\ rr\ PP\ Rr$ ）的個體，因為同基因結合的無尾性狀有致死作用，所以圖中無尾雞均為異基因結合。四對基因的配對，可能產生的組合非常多（理論上可產生81個

不同的遺傳組合和 256 個配子組），想解出這些組合和其比率，實為非常複雜的過程，但若運用遺傳指標，使學生親自動手組合，則不但可輕易的解決此問題，並加深其對孟氏遺傳的印象。

除上例外，將遺傳指標運用於數量遺傳，如牛奶年產量及牛奶中脂肪含量的遺傳性，更是十分適切。這是令一般學習者感到最迷惑的問題。因為在相同狀況下，血緣關係極為相近的乳牛，其牛奶產量變異性極大。此產量差異是因為未知數目的遺傳因子，每個均對產量有影響力。我們

顏色	數 值
黃	牛奶年產量：2000 磅
紅	" : 4000 磅
綠	" : 6000 磅
白	牛奶所含脂肪：3.0 %
粉紅	" 3.5 %
藍	" 4.0 %



圖四 最初，以高產量同基因的牝牛和低產量的牝牛交配。表格中為經遺傳指標求得的優生牝牛之子代。顯示牝牛的最高產乳量由 8,000 磅提高至 16,000 磅。產乳量的差異和“返相現象”發生的機率逐代的減少。(R.R.Graves 1929)

如何由遺傳組成來推斷其年產量？乳牛飼養者又如何培育高產量的乳牛，我們可用遺傳指標來闡釋數量遺傳上的難題。

使用遺傳指標說明數量遺傳時，需注意這些基因對是屬於累加性—非顯性遺傳（Cumulative-nondominant）或是較高值的對偶基因對較低值而言是顯性。本例設計中，前三對染色體攜帶決定牛奶產量的因子，三對基因所生產之牛奶量

分別爲每年 2000 磅、4000 磅和 6000 磅，此爲累加性—非顯性遺傳。第四對染色體則帶有決定牛奶中脂肪含量的因子，以 Holstein-Friesian 種的乳牛而言，脂肪含量可能爲 3 %、3.5 %、4.0 %。此對基因，高值者對低值者是顯性。

圖四爲乳牛連續交配的情形，分別以黃色、紅色、綠色的長牌代表每年產生牛奶 2000 磅、4000 磅、6000 磅的基因。以白色、粉紅色、藍

色的長牌代表牛奶中 3 %、3.5 %、4.0 % 的脂肪含量。由遺傳組合中可判斷乳牛產乳量的範圍。在此三對基因中，由每對基因內較高值的對偶基因相加，則可知此乳牛的最高產乳量。最低產乳量則由每對中較低值基因累加決定之。假如三個高產量因子之加成總和為 12000，另三個低產量因子之加成總和為 8000，即說明在適宜的環境中，這隻乳牛為每年 12000 磅牛奶的生產者。她可能遺傳給子代高至 12000 磅，低至 8000 磅的牛奶產量，也可能是兩者間的變化值。

圖四的子代基因，顯現一些有趣的重組值，揭示培養高產量乳牛的奧秘。每一代配對中所選用的牝牛，其遺傳組合中，需要攜帶高產量因子（此種優生牝牛，可由紀錄其子代牝牛產乳量而選拔出，若其子代牝牛大部份為高產量，則可斷定此牝牛帶有高產量的遺傳基因）。本例中，第一代為最高產量 8000 磅，最低產量 6000 磅，脂肪含量 3 % 的牝牛與帶有年產量 14000 磅，3.5 % 脂肪的同基因牝牛結合。若將其子代產量詳加紀錄，發現此牛群牛奶產量最高為 14000 磅，牛奶中含 3.5 % 脂肪，而最低產量為 6000 磅。此族群的牛奶產量大部份趨向中間值。

第二代為最高遺傳能力 16000 磅，脂肪含量 4 %，最低 12000 磅，3.5 % 脂肪的牝牛與第一子代中牝牛交配，其產生子代—第三代牝牛，最高產乳量仍與其親代相同（14000 磅），但最低產量已由 6000 磅提高至 12000 磅。如圖，每代均選用高產量遺傳組成之牝牛與子代中之牝牛交配，則牛乳產量每一代均逐漸的提高。到了第六代，已將最高年產量由 8000 磅提高至 16000 磅，最低產量由 6000 磅提高至 14000 磅，奶油含量大部份為 3.5 % 或 4.0 %。

若以與圖四相同遺傳組成，但有十對連續基因的乳牛試驗，則可得到表(一)的結果。乳牛的乳產量逐代的增加，同時每代產量的差異性減少。

雖然大部份數量遺傳均超過四對基因，但遺傳指標仍能增加“牌數”，設法證明其遺傳變異性。不限於上述兩例，讀者更能舉一反三，想出更多的例證。

表(一) 具有與圖四相同遺傳組成，十對連續基因的乳牛產乳量紀錄
(R.R.Graves. 1929)

第一代			
最高產量		最低產量	
14000	3.5	8000	3.0
14000	3.5	6000	3.0
第二代			
12000	4.0	8000	3.0
14000	4.0	8000	3.0
14000	3.5	8000	3.0
14000	3.5	8000	3.0
14000	4.0	8000	3.0
16000	3.0	12000	3.0
14000	3.5	6000	3.0
14000	4.0	8000	3.0
14000	4.0	10000	3.5
14000	3.0	8000	3.0
第三代			
14000	4.0	12000	4.0
16000	4.0	12000	3.5
14000	4.0	14000	3.5
14000	4.0	12000	3.5
16000	4.0	10000	3.5
16000	4.0	12000	3.5
14000	4.0	14000	4.0
14000	4.0	10000	4.0
14000	3.5	10000	3.0
14000	3.5	14000	3.0

第四代

最高產量	最低產量
16000 4.0	14000 3.5
18000 4.0	12000 3.5
14000 3.5	14000 3.5
16000 4.0	12000 4.0
14000 4.0	14000 3.5
16000 4.0	14000 4.0
16000 4.0	12000 3.5
16000 4.0	14000 3.5
14000 3.5	14000 3.5
16000 4.0	12000 4.0

第五代

16000 4.0	14000 3.5
18000 4.0	14000 3.5
16000 3.5	16000 3.5
16000 3.5	14000 3.5
16000 4.0	16000 3.5
16000 4.0	14000 3.5
16000 4.0	12000 4.0
14000 3.5	12000 3.5
18000 4.0	12000 3.5
16000 4.0	12000 3.5

第六代

16000 4.0	16000 3.5
14000 4.0	14000 3.5
16000 4.0	14000 3.5
18000 3.5	14000 3.5
14000 4.0	14000 3.5
16000 3.5	14000 3.5

16000 4.0	16000 3.5
16000 4.0	14000 3.5
16000 4.0	14000 3.5
16000 3.5	16000 3.5

四、遺傳指標的自製

遺傳指標在遺傳教學上的用途十分廣泛，操作容易，是為值得推廣的教具。惜尚未有廠商製作銷售。幸而其構造十分簡單，教師們極易模仿自製。指標中的矩形，可以紙牌著色代之，甚或以厚紙板切割成，再著以所需要之顏色。轉盤也可用同樣方法製作。厚紙板背後可貼上黏條或磁鐵，配合絨布板與磁鐵板使用。如此製成的教具，不但花費極小，攜帶方便，且可使教學具體生動，提高學生之學習效果。 □

參考資料

1. Anonymous: The herediscope, *A new contrivance for demonstrating Mendelian inheritance*. J. Hered. 19:55-56 1928.
2. _____, *A simplified herediscope*. J. Hered. 20:126-127 1929.
3. _____, *A demonstration of the herediscope*. J. Hered. 20:428-431 1929.
4. Graves R. R. *A herediscope demonstration of dairy cattle improvement*. J. Hered. 20:431-440 1929.
5. Rothschild M. F. and M. Grossman *Teaching Mendelian inheritance with a herediscope*. J. Hered. 72:64 1981.