

鬥魚的耀眼光彩

Show Betta Genetics and Breed



展示級鬥魚的育種

Betta Genetics

鬥魚的耀眼在於多變的體色及特殊造型的尾鰭，這些令人賞心悅目的外觀出自後天的選拔及育種改良而來；選拔，是為了挑選優良、能呈現特殊外觀及型態的基因，育種，更是為了能繁衍品質更優的後代，這些經由育種改良的鬥魚，其鮮豔身軀及鱗色正如牠們的育種史一般多彩多姿，來看看這個充滿生機、無限可能的育種世界吧！

理論篇

關於遺傳

遺傳學(Genetics)是一門專門研究親代的性狀如何傳給後代的科學。雖然遺傳學的歷史甚短，發展至今不過一百年光景，但卻進步神速，不僅在作為純理科學的基礎研究上呈現突飛猛進之勢，且與其他生物科學的基礎研究之進展互有影響、互相促進，同時又被大力推廣應用在農、漁、畜牧業、醫藥和發酵工業等應用科學方面，對人類健康及生活的改善，貢獻甚大。

(一) 遺傳學的演進

生物個體的若干性狀，可經由生殖繁衍而重現於後代的遺傳現象，早在數千年前即為人熟知。至少在千餘年前，人們就在設法利用遺傳現象以求生活上的改善，例如試用選拔和育種的方法來改良家禽、家畜或農作物的品種，雖然倖獲成功，但也常

遭失敗，因此在很長的一段時間，人們大多處於混沌狀態中，雖然一直致力探討遺傳的理論，卻始終未能掌握到開啓遺傳學的奧秘之鑰。孟德爾進行了八年的豌豆雜交實驗，並於1865年在台恩自然科學學會宣讀論文「植物雜交實驗」(Versuche uber Pflanzenhybriden)，但未引起注意，直至他死後，沉寂了三十多年，才於1900年科倫斯(Carl Erich Correns)、賽塞內格(Erich Tschermak von Seysengg)、德弗里斯(Hugo de Vries)分別得出與孟德爾相似的結論後，在文獻中提出他被人遺忘的論文，於是孟德爾學說重新被人發現與重視，稱為孟德爾主義，而他的遺傳法則被闡明於世，由此奠定了以科學方法研究遺傳學的基礎。

(二) 孟德爾與遺傳學

孟德爾對於探索自然科學奧秘的執著，讓他成為研究遺傳學的專家，最負盛名的便是選用豌豆進行出色的「植物雜交實驗」，推翻十九世紀以來的



「遺傳血液理論」，因為在傳統觀念裡，大部分生物學家認為單一個體的遺傳特性，是自雙親的血液遺傳而來，或是透過雙親的其他體液傳給子女的；而孟德爾當時雖發表出這驚人且具突破性的實驗結果並不受人重視，直至多年後其他生物學家也作出相同的實驗結果，證實此項結論後，不僅奠定了孟德爾在遺傳學上的地位，更讓後代奉稱他為遺傳學之父，其貢獻為後代開拓了一個新世紀。

孟德爾小檔案

姓名：喬安·葛利果·孟德爾

(Gregor Johann Mendel, 1822.7.22~1884.1.6)

出生地：奧地利

職業：神父

紀事：

- 1843年 ● 於1843年輟學，10月時進入奧古斯汀(布台恩Brunn, 今捷克的斯洛伐克布諾爾Brno)做修道士。
- 1847年 ● 任職神父。
- 1851~1853年 ● 到維也納大學學習自然科學，受到著名物理學家都普勒指導數學和統計，受植物學家翁格爾的物種可變，和植物通過雜交可能產生新種觀念的薰陶。對於日後他的實驗研究及發現有深遠的影響。
- 1854年 ● 被委派到布呂恩技術學校任物理和博物學的代理教師，長達14年。
- 1856~1863年 ● 進行豌豆雜交實驗，歷時8年。
- 1865年 ● 在台恩自然科學學會宣讀論文「植物雜交實驗」(Versuche über Pflanzenhybriden)。
- 1900年 ● 科倫斯(Carl Erich Correns)、賽塞內格(Erich Tschermak von Seysengg)、德弗里斯(Hugo de Vries)分別得出與孟德爾相似的結論後，在文獻中提出他被人遺忘的論文，於是孟德爾學說重新被人發現與重視。

遺傳法則與鬥魚育種

(一)遺傳法則的緣起

在正式進入鬥魚育種的主題之前，必須先建立起育種的基本常識，因此必須先了解孟德爾遺傳法則；1857年，孟德爾以豌豆為材料開始從事實驗，前後約歷時八年，以證明上一代的特徵會遺傳給下一代是遵循著一個定律而不是漫無目的的，孟德爾選取七種兩兩對偶的性狀(請參見表1-1)，

表1-1、豌豆雜交實驗中所選用的七種相對性狀

植株部位	對偶性狀(顯性：隱性)
種子外型	圓形：皺皮
種子顏色	黃色：綠色
種皮顏色	灰色：白色
莢的外型	膨莢：皺莢
莢的顏色	綠莢：黃莢
花的位置	腋花：頂花
莖的高矮	高莖：矮莖

分別進行交配，然後觀察所產生的子代；純種豌豆所產生的子代仍具有親代的性狀，即使經過若干世代後，性狀始終不改變，如表1-2：

表1-2、純種豌豆所產生的子代

A.純種高莖豌豆(TT)×純種高莖豌豆(TT)

	T	T
T	TT	TT
T	TT	TT

對偶基因(Allele)：100% TT

基因型(Genotype)：100% 同型合子(Homozygous)

表型(Phenotype)：100% 高莖(Tall stalk)

B.純種矮莖豌豆(tt)×純種矮莖豌豆(tt)

	t	t
t	tt	tt
t	tt	tt

對偶基因(Allele)：100% tt

基因型(Genotype)：100% 同型合子(Homozygous)

表型(Phenotype)：100% 矮莖(Short stalk)

更進一步地，他使用不同性狀的純種豌豆來進行雜交實驗；以豌豆莖的高矮為例，當他將純種的高莖及矮莖的豌豆進行交配時，發現長出的第一子代(F1)都是高莖豌豆，如表1-3：

表1-3、純種高、矮莖交配後的第一子代(F1)：
純種高莖豌豆(TT)×純種矮莖豌豆(tt)

	T	T
t	Tt	Tt
t	Tt	Tt

對偶基因(AIlele)：100% Tt
基因型(Genotype)：100% 異型合子(Heterozygous)
表型(Phenotype)：100% 高莖(Tall stalk)

而繼續將這些第一子代的個體相互交配，則觀察到發現產生的下一子代(F2)中，約有四分之三(75%)為高莖豌豆，而另外四分之一(25%)則為矮莖豌豆，如表1-4：

表1-4、第二子代(F2)：第一子代(F1)×第一子代(F1)

	T	t
T	TT	Tt
t	Tt	tt

對偶基因(AIlele)：25% TT、50% Tt、25% tt
基因型(Genotype)：50% 同型合子(Homozygous)、
50% 異型合子(Heterozygous)
表型(Phenotype)：75% 高莖(Tall stalk)、
25% 矮莖(Short stalk)

(二)「孟德爾定律」

在豌豆雜交實驗中，獲得幾項重要的結論，直至今日，這些仍被人奉為圭臬的「孟德爾定律」，其內容如下：

1. 顯性律：

個體性狀的表現，是由兩種遺傳因子不同組合的結果，在成對基因中，只要有一個顯性基因存在時，就可以表現所控制的性狀，以鬥魚的尾鰭為例，單尾(Single Tail)是顯性基因的表現，以大寫的「S」表示；雙尾(Double Tail；DT)則是隱性基因，以小寫的「s」表示，以當基因組合為「SS」、「Ss」時，因為只要有一個顯性基因存在，就會表現在外觀上，因此會出現單尾的性狀；相反地，隱性基因必須兩者同時存在才能表現，因此要有「ss」的基因組合，才會表現雙尾的性狀。(圖1-1)

註：一般以大寫表示顯性基因，小寫表示隱性基因，而英文則是表型特徵的縮寫，文章中也以此方式作代表。

圖1-1、以鬥魚的尾鰭形狀為例：
基因型與表(現)型的相關性

對偶基因 (Allele)	s+s	S+s	S+S
基因型 (Genotype)	同型合子 (Homozygous)	異型合子 (Heterozygous)	同型合子 (Homozygous)
表型 (Phenotype)	雙尾 (Double tail；DT)	單尾 (Single tail；S)	單尾 (Single tail；S)

2. 分離律：

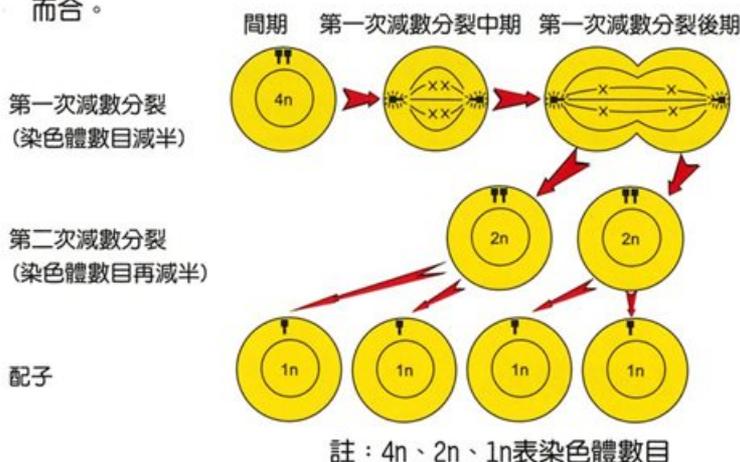
個體內的基因在形成配子時，會相互分離，各自進入一個配子中，如圖1-2；簡單的說，「SS」所產生的配子均為「S」，「ss」則會產生「s」的配子，「Ss」則會產生「S」和「s」兩種配子。

在受精時，雄配子與雌配子互相結合，進入合子內以發育為新的個體；因此，當純種的親代雜交時(SS×ss)，只會產生單尾的第一子代(其基因組合為「Ss」)；然而，當第一子代交配時，則會產生「單尾：雙尾=3：1」的第二子代(其基因型分別為「SS：Ss：ss=1：2：1」)。

圖1-2、分離率與減數分裂(meiosis)

所謂的減數分裂(meiosis)意指真核生物產生單倍體生殖細胞的過程。例如：精子和卵子，使單細胞和多細胞真核生物的遺傳物質，經由配子授精後發育成下一代，讓遺傳物質代代相傳。

生物學家在光學顯微鏡下，發現細胞核內有若干條能被色素染色的絲狀物，他們稱這些絲狀物為「染色體」(chromosome)，染色體由蛋白質與DNA組成，當生殖細胞分裂時，會進行特殊的「減數分裂」(meiosis)(如下圖)，這種染色體行為與孟德爾的分離率可說是不謀而合。



3. 自由分配律：

此外，當孟德爾同時以兩種性狀來作實驗時，亦發現這兩對遺傳因子的表現並不會互相影響，而是各自對其所控制的性狀造成的影響；因此，在形成配子時，此兩對基因可以任意組合，各自進入配子中。



名詞解釋

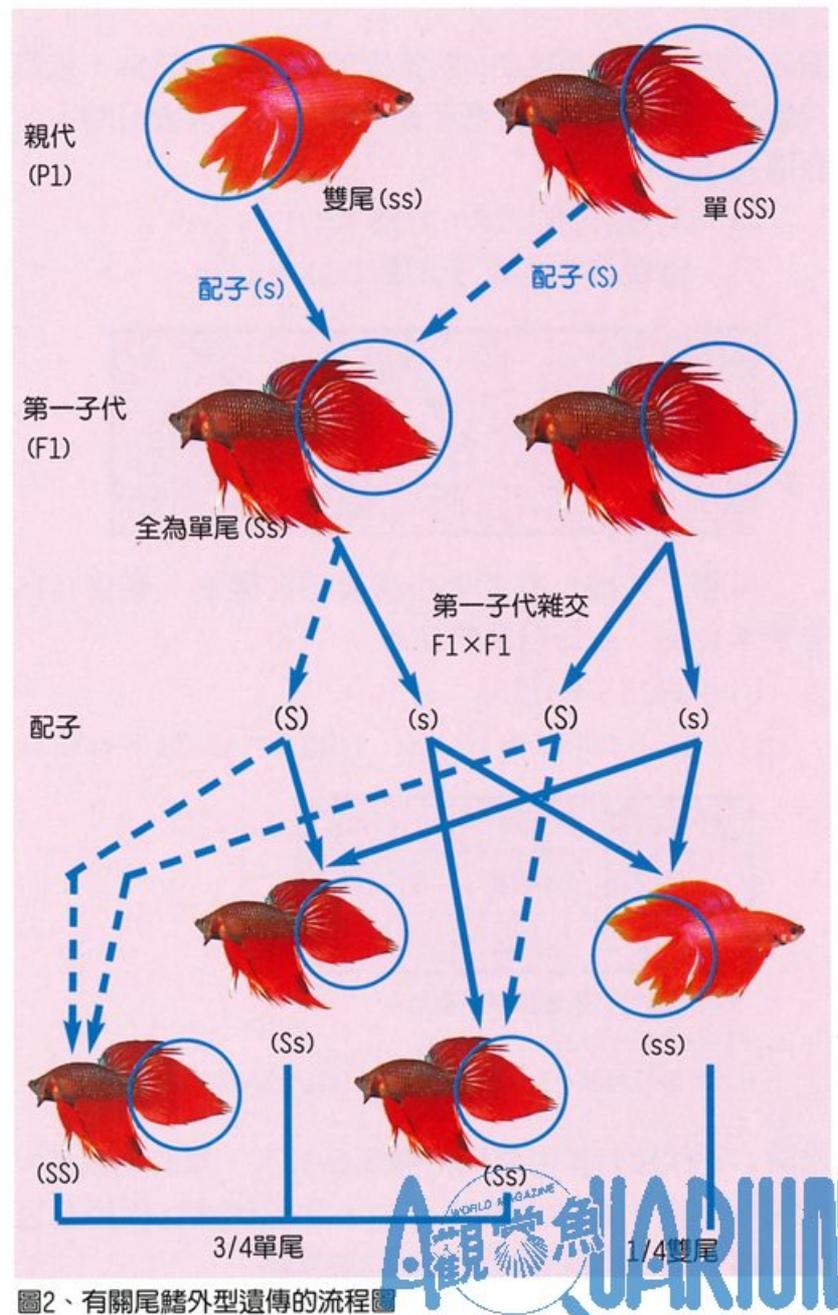
- 親代(Parents, P1) :**
取兩隻性狀相對的鬥魚互相交配，例如長尾和短尾，則這兩者稱為親代。
- 第一子代(Filial Generation, F1) :**
親代所產生的的後代為第一子代。
- 第二子代(Filial Generation, F2) :**
第一子代中的鬥魚相互交配所產生的後代，則稱為第二子代。
- 顯性(Dominant) :**
個體中控制相對應性狀的遺傳因子有兩個，其中能在第一子代表現出性狀的稱為「顯性」，以大寫的英文字母示之，如單尾以「S」表示、高莖以「T」表示。
- 隱性(Recessive) :**
個體中控制相對應性狀的遺傳因子有兩個，其中能在第一子代不能表現出來的性狀則稱為「隱性」，以小寫的英文字母示之，如雙尾以「s」、矮莖以「t」表示。
- 對偶基因(Allele) :**
指成對的兩個基因彼此互為對偶基因，有兩大重要特點：
(1) 一定是指成對的基因，如控制鬥魚單尾表現的Ss均為一對；
(2) 任一基因相較於另一基因的關係是相對的，簡而言之，控制單尾表現的Ss之中，S是s的對偶基因，而s也是S的對偶基因，所以S與s的關係是相對的；但若不是影響相同性狀的成對基因，則彼此獨立不相關連，如控制魚鰭為紅色的成對基因為Rr，無論是R或r都不會是S的對偶基因，因為影響鰭色的基因並不影響尾鰭的數目。
- 基因型(Genotype) :**
指基因所組合的型態，可用比例或百分比的方式表示，分為兩種-
(1) 同型合子(Homozygous)：指基因型中兩個相對基因完全相同的組合，如SS、ss。
(2) 異型合子(Heterozygous)：指基因型中兩個相對基因互不相同的組合，如Ss。
- 表現型(Phenotype) :**
指個體性狀表現，是由兩種遺傳因子不同組合的結果，即：基因組合為「SS」、「Ss」，可表現單尾的性狀，而基因組合為「ss」者，則會呈現雙尾的外觀。

實驗篇

機率、遺傳與鬥魚育種

一枚十元硬幣向空中拋去，掉下來是正面還是反面呢？(這可不是腦筋急轉彎喔！)答案很簡單，不是正面就是反面，機會各一半，對吧！說的正是一些，正面的機率為二分之一(用50%來表示也可以)，反面的機率亦然，這個簡單的觀念建立之後，接著，就來看看機率是如何在遺傳學上靈活運用！

若將先前所提到的遺傳學知識應用在鬥魚的育種上，我們就能利用純種的單尾鬥魚與純種的雙尾鬥魚培育出單尾及雙尾的子代，有關尾鰭外型的遺傳，其流程圖如下(參見圖2)；在育種過程中不僅能有效運用孟德爾的遺傳法則，並且針對控制不同性狀的每對基因，可簡單分為單對基因與雙對基因的遺傳：



1. 單對基因的遺傳

在孟德爾的遺傳法則裡，曾提及分離律和自由分配律，我們可以用簡單的棋盤方格計算法來表示，如圖3。

以下以鬥魚的尾鰭形狀為例，並將棋盤方格的演算簡化成表格的方式來解釋：

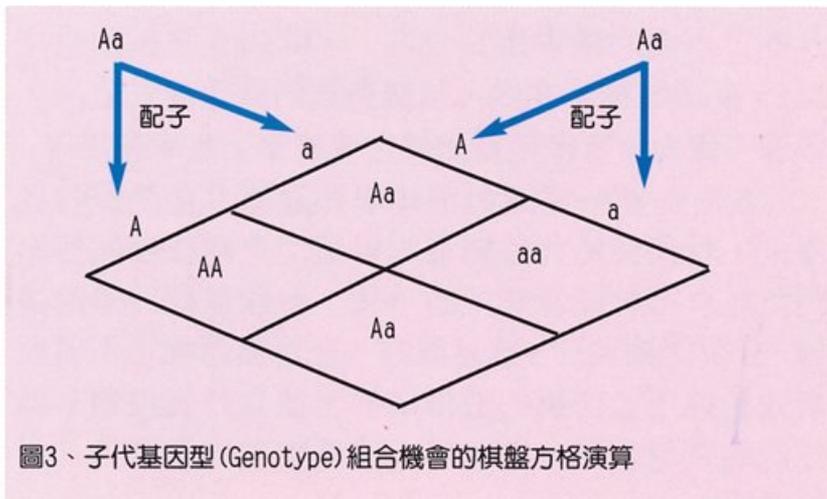


圖3、子代基因型 (Genotype) 組合機會的棋盤方格演算

□情況一

假設：單尾鬥魚親代(P1)的基因型為SS，一為Ss，依照分離律的準則，在形成配子時，親代的基因會分離，各自進入一個配子中，

而SS的配子為 $1/2S + 1/2S = 1/1S$ ；

另一個親代Ss的配子則為 $1/2S + 1/2s$ 。

親代(P1)	SS		Ss	
配子型態	♂ S	♀ S	♂ S	♀ s
機率	1/2	1/2	1/2	1/2

那麼子代(F1)所產生的基因型與機率，應為 $1/1S$ 分別與 $1/2S$ 、 $1/2s$ 相乘的結果：

$$F1 = 1/2SS + 1/2Ss$$

$$(1/2SS = 1/4SS + 1/4SS, 1/2Ss = 1/4Ss + 1/4Ss)$$

♀ \ ♂	1/2S	1/2s
1/2S	1/4SS	1/4Ss
1/2s	1/4Ss	1/4ss

子代所產生的基因型與機率為：

$$F1 = 1/2SS + 1/2Ss$$

$$(1/2SS = 1/4SS + 1/4SS, 1/2Ss = 1/4Ss + 1/4Ss)$$

結論：子代擁有基因型SS的機率為50%，擁有基因型Ss的機率亦然，根據顯性律可知，此子代雖有兩種基因型：SS、Ss，但兩者的表型應均屬單尾。

將表格整合後(如圖4)，即可清楚地了解子代的對偶基因、基因型的種類及外型表現與機率。

(圖4)

		親代Ss	
親代Ss	♀ \ ♂	S	S
	S	1/4SS	1/4SS
	s	1/4Ss	1/4Ss

對偶基因 1/2同型合子(SS)、1/2異型合子(Ss)

基因型 1/2SS、1/2Ss (SS : Ss = 1 : 1)

表現型 均為單尾

□情況二

假設：兩親代均為異型合子Ss，同樣可按上述方法予以計算，因此，

親代Ss的配子中的基因與機率為： $1/2S + 1/2s$ ；

另一親代Ss的配子中的基因與機率為： $1/2S + 1/2s$

由兩項相乘的結果，則子代所產生的基因型及機率 = $1/4SS + 1/2Ss + 1/4ss$ (如圖5)：

圖5、子代基因型組合機率(棋盤式計算)

		親代Ss	
親代Ss	♀ \ ♂	1/2S	1/2s
	1/2S	1/4SS	1/4Ss
	1/2s	1/4Ss	1/4ss

對偶基因 1/2同型合子(SS、Ss)、1/2異型合子(Ss)

基因型 1/4SS、1/2Ss、1/4ss (SS : Ss : ss = 1 : 2 : 1)

表現型 3/4單尾、1/4雙尾(單尾 : 雙尾 = 3 : 1)

結論：由圖中可得知子代的基因型及其機率有SS、Ss、ss三種情況，而三者的比例為1 : 2 : 1，但依表型而言，其比例為3 : 1，也就是說子代出現單尾的機率為四分之三，雙尾出現的機率為四分之一。

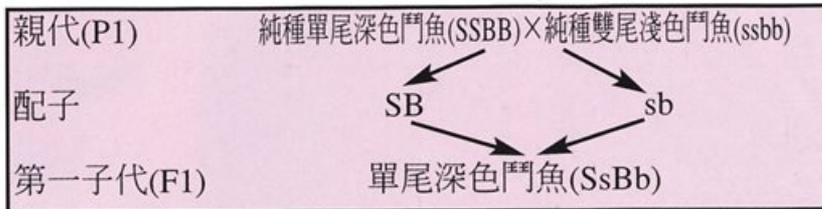
2. 兩對基因的遺傳

□情況：單尾深色鬥魚與純種雙尾淺色鬥魚的雜交

所謂兩對基因，指的是控制兩種不同性狀表現的基因，彼此互不影響，以控制尾鰭形狀(S、s)與控制體色深淺(B、b)的兩對基因為例以純種單尾深色鬥魚與純種的雙尾淺色鬥魚雜交(Cross-breeding)，其第一子代(F1)的尾鰭數目均為單尾，體色為深色，如圖6：



圖6、純種單尾深色鬥魚與純種雙尾淺色鬥魚雜交所產生的第一子代(F1)



當第一子代(F1)產生配子時，S與s、B與b各自分離，因此配子會產生SB、Sb、sB、sb四種基因型，這四種配子的互相結合，如圖7所示：

圖7、以棋盤方格法計算兩對基因遺傳子代的基因型

		雄配子 ♂			
		SB	Sb	sB	sb
雌配子 ♀	SB	SSBB	SSBb	sSBB	sSBb
	Sb	SSBb	SSbb	sSBb	sSbb
	sB	SsBB	SsBb	ssBB	ssBb
	sb	SsBb	Ssbb	ssBb	ssbb

結論：將上圖的資料整理後，由第一子代(F1)互相交配產生的第二子代(F2)的表型、基因型及其比例可得以下結果：

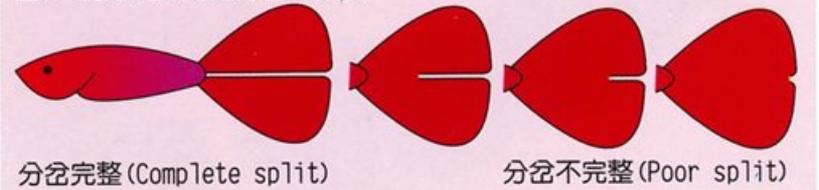
表型(Phenotype)	基因型(Genotype)	表型比例
單尾深色	SSBB + 2SSBb + 2SsBB + 4SsBb	9
單尾淺色	SSbb + 2Ssbb	3
雙尾深色	ssBB + 2ssBb	3
雙尾淺色	ssbb	1

由此可知，F2的表型分別為單尾深色、單尾淺色、雙尾深色及雙尾淺色，其比例為9：3：3：1；若就單一性狀而言，在尾鰭數目方面為單尾：雙尾 = 12：4；在體色方面則為深色：淺色 = 12：4。其比率仍與一對性狀的遺傳完全相同，有就是3：1。

結語

如果只是依孟德爾的遺傳法則，那麼鬥魚的魚鰭應該不是單尾，就是雙尾，但實際情形卻大大相反，我們可以觀察到有些雙尾的分岔點高低不一，導致分岔並不完整(如圖8)，有些學者懷疑可能有其他基因會影響雙尾外觀的表現，但對於控制鬥魚性狀的基因研究，近年來才興盛，因此仍有許多未知等待發掘，遺傳學識繁衍後代的基礎，人們靈活運用這份知識，培育出更多優良的品種，就如同鬥魚的玩家也正在這面領域中摸索，創造出外型更美、體色更亮眼的新品種；鬥魚，這道雨後的彩虹不僅為喜好鬥魚的人們帶來喜悅與希望，更帶領大家一同探索充滿奧妙的遺傳世界！

圖8、雙尾鬥魚尾鰭分岔的長度



在後世發現不同於遺傳法則的特例：

1. **中間型遺傳**：孟德爾的遺傳法則，認為決定某種性狀的對偶基因或為顯性、或為隱性，當兩個不同的基因相遇而形成異型合子時，只能表現顯性的性狀，但後來卻發現有些生物的遺傳現象與孟氏法則不盡相同，其異型合子所表現的性狀，竟是介於顯、隱性之間的中間型，這就是所謂的中間型遺傳。這種為孟德爾並未發現的遺傳現象，主要是由於對偶基因之一可能為不完全顯性之故，此種情形也稱為半顯性。

2. **血型遺傳**：通常人類血型分為A、B、AB和O等四型；抗原的產生受到三個對偶基因所支配，即I^A、I^B和i，其中基因I^A產生抗原A，基因I^B產生抗原B，而i則不產生任何抗原(參見圖9)。控制血型遺傳的對偶基因有三個，稱作複對偶基因。

圖9、血型與基因的關係

表型	定義	基因型
A	血球中帶有抗原A者	I ^A I ^A 或I ^A i
B	帶有抗原B者	I ^B I ^B 或I ^B i
AB	存在抗原A、抗原B兩種抗原者	I ^A I ^B
O	不帶有抗原A、抗原B兩種抗原者	ii

註：I^A、I^B均為顯性，i為隱性