



對話式教學在探究與實作的應用

—「如何知道」比「知道」更重要！

以密碼子為三個核苷酸一組為例

教師 陳妙嫻、賴雪蕙
板橋高中生物科



掃描QRcode，
下載教材電子檔

課程規畫

或許是因為生物科的考試方式，目標總是要學生是否「知道」某個生物知識，而使得生物總被學生認為是一科「背科」——只要不明究理的全部背下來，就可以考高分。而藉由十二年國教新課綱的改革，在自然科必修中設置了「探究與實作」課程，我們可以開始思考，生物課本上的所有知識，難道不是科學家經由探究與實作而來的嗎？

一、只要兩個動作，讓生物課變成探究與實作課程

筆者認為，科學本身就帶有探究與實作的特性，我們只需要從兩個問題著手，就可以通往科學的道路，這兩個問題就是「為什麼是…，而不是…？」和「科學家是如何知道的…的」，其中的「…」就是生物課本上的知識，讓我們用分子生物學中的「以密碼子為三個核苷酸一組」為例子，說明到底怎麼將一門傳授知識的生物課，變成探究與實作課程。

分子生物學的中心法則中，若要將mRNA上核苷酸的排列，轉譯成蛋白質的胺基酸排列順

序，就必須以三個相連的核苷酸，才能解讀出一個胺基酸，我們將mRNA上三個一組的核苷酸稱為「密碼子」，那麼「為什麼mRNA上的密碼子是三個一組，而不是兩個、一個或四個一組？」

回答問題之前，我要先強調問句中第二句「而不是…」的重要性，如果問題只是「為什麼密碼子是三個？」，那可能的回應會是「就是三個，沒有為什麼啊…」。而如果加上「那為什麼不是兩個、一個或四個？」，就有了對比，學生就可以專注去想——如果是其他個數的話，可能會有什麼問題，導致大自然非「三」這個數字不可。

在課堂中問學生這個題目，他們可以很快地討論出答案——因為mRNA是由四種核苷酸（A、T、C、G）排列組合而成，但是構成蛋白質的胺基酸種類，卻高達二十種，那麼四種胺基酸，該如何對應那麼多種胺基酸呢？如果是一種核苷酸對應一種胺基酸，那麼剩下有十六種胺基酸都沒有可對應的核苷酸了；抑或是一種核苷酸必須對應到五種胺基酸，若是這樣的話，就無法分辨要到底是五種的哪一種了。



如果是兩個相鄰的核苷酸一組，對應一種胺基酸，那麼總共會有十六種組合，因此會剩下四種胺基酸沒有可對應的組合；因此，三個相鄰的核苷酸一組，就可以有六十四種組合，對應二十種胺基酸可說是綽綽有餘。以此類推，既然三個一組核苷酸已經可以組合出超過二十種組合，那麼就沒有必要四個一組、五個一組作為密碼了。

二、邏輯上是這樣，事實上是這樣嗎？

按照推理，可以知道mRNA上的密碼子以三個一組最為合理，但是，科學家到底「怎麼知道／證明」密碼子真的是三個核苷酸一組呢？

學生初聽這個問題，完全不明所以，思忖著：「剛剛不是才討論完密碼是三個一組嗎？」此時老師可以再次跟學生強調「思想先於行動」的觀念——在做實驗之前，科學家心中早已演過長長的內心戲，幾經思索推敲，老早想好各種劇本，才著手做實驗。因此，提煉出生長素並定出其結構之前，早已知道「應該」有生長素的存在；在摩根以果蠅證實「染色體學說」前，薩登與包法利早已預測「基因應該位在染色體上」；而我們現在正走著先人的路，先「預測」密碼是三個字一組，接下來，要證明事實上真的是這樣！

這個問題比較困難，如果看到學生沉默不做答，除了可以給予思考時間外，也可以給予一些鷹架，讓學生可以搭著鷹架回答出答案來。例如說，可以告訴學生，以我們的技術，可以將一條已知序列的mRNA，令細胞轉譯成蛋白質後，可以用儀器檢測此蛋白質的胺基酸序列。以下就筆者的課堂經驗，紀錄與學生的對話，呈現在課堂中探究的過程。

有一位學生的答案是：「做一條都是由九個A所組成的RNA，看他可以轉譯出幾個胺基酸，如果做出來的多肽鏈由八個胺基酸組成，那就是一個字組成一個密碼；若做出來的多肽鏈是由四

個胺基酸組成，則可知兩個字組成一個密碼，其他依此類推。」

示意如下：

A A A A A A A A A A

若以一個核苷酸為一個密碼，則會轉譯出九個胺基酸

AA AA AA AA A

若以兩個核苷酸為一個密碼，則會轉譯出四個胺基酸

AAA AAA AAA

若以三個核苷酸為一個密碼，則會轉譯出三個胺基酸

這個想法非常好，不但邏輯上可行，也可以由結果倒推出哪一個假說是對的。經過這樣的一輪對話，教師可以嘗試更進階的問題——給予一些技術上的限制，激發學生創意及解決問題的思考，例如，如果技術只能合成一串A，沒辦法精準的合成九個A，那該怎麼設計實驗呢？

另一位同學為了解決老師的問題，提出一個很好的想法：可以做一條GAAAAAAAAA……的mRNA，再放到細胞內轉譯成蛋白質，再檢查蛋白質的胺基酸序列。

讓同學們了解他的方法之後，老師可以帶領全班一起對這個想法進行討論，如果是一個字組成密碼，則胺基酸序列會是1 2 2 2 2 2 2……；若是兩個字組成密碼，則胺基酸序列會是1 2 2 2 2 2……；三個字組成密碼的胺基酸序列還是1 2 2 2 2 2……！

大家此時發現，這條mRNA無法測試到底密碼子是幾個為一組，因為做出的胺基酸完全相同，因此這個方法並不能證明哪個假說是正確的。但是看似失敗的假說，卻引發了下一個同學的想法，第三位同學說：「做一條ACCACCACCACCACC……試試看！」

老師再請全班同學一起討論，這個方法是否可以證明密碼子是三個為一組，發現——如果是一個字組成一個密碼，做出來的胺基酸序列是1 2 2 1 2 2 1 2 2……；若是兩個字組成一個密碼，則胺基酸序列是1 2 3 1 2 3……；三個字組成一



個密碼，做出來的胺基酸序列是1 1 1 1 1 ……接下來，只消去測試實際做出來的胺基酸序列為何，就可以得到真正的答案了！

結論是，只要做一條三個一循環的核苷酸鏈，轉譯後再檢測其核苷酸序列，就可以測試到底哪個假說是正確的！

三、錯誤的答案往往是引發思考的好開端

從這個課堂的風景中，可以發現第二位同學提出的方法雖然失敗了，但是她身先士卒，在第一時間就想出方法，表示她不但聽得懂題目，而且可以運用所學想出一個沒人想到的方法，這是非常有創意的人才做得到的；如果沒有這位同學的想法，第三位同學恐怕無法一次就想到解答，他是站在巨人的肩上，才能看得更遠；而且，全班同學恰好利用這次機會，練習如何判斷這個方法是否可行，而在這堂課中，剛好出現錯誤答案，與正確答案的結果呈現對比，更加深同學理解的程度。

因此，若是善用課堂上的錯誤答案，引發同學思考，更能夠促進全班同學的邏輯能力，也能促使深刻的體悟。因此，錯誤答案是探究與實作課堂中，非常有價值的內容，老師甚至可以蒐集許多錯誤答案，作為課堂對話的材料！

然而在臺灣的教室裡，通常是鼓勵答對者、懲罰答錯者，造成學生害怕犯錯的心理，因此，探究與實作課堂中，老師必須大大鼓勵答「錯」的同學，看到答案的創意、對其他同學的影響，營造出全班勇於說出心中想法的氣氛，才能讓想像力奔馳，激發出各種創意的答案。

四、標準答案可不只一個！隨時隨地可進行探究與實作

就上一個班級討論的結果，可以得出做出三個一循環的核苷酸鏈的結論，而這可不是唯一解，有學生提出，若做出GGAAAAAAAA……或GGGAAAAAAAA……這樣的mRNA，也可以得出核苷酸以三個一組的結論。這樣的討論，不像一般課堂上有標準答案的問答，學生的腦中可能創意迸發，丟出各式各樣可能的答案，而這些答案都可能是對的！老師可要隨時接招！這樣的「對話」不但考驗同學的邏輯思考，也讓老師在這樣的對話實戰中磨練成長。

在一個具探究與實作特徵的生物課堂中，老師的工作不再是傳授知識的夫子，而是提出問題、提供鷹架、引導討論、做出結論的導航員，因此，每堂課都可以是探究與實作課程。試想，如果在生物課時拼命傳授知識，絲毫不進行任何思考活動；卻又另闢一個時段，特別尋找額外的課程主題，要求學生探究，不是很奇怪嗎？



教案簡介：如何確認密碼子是三個字一組？

搭配課程	高中 生物科 選修生物（下） 11-3 基因的表現
教學對象	高中 生物科 三年級
教學時間	50 分鐘
學習目標	一. 欲培養學生的能力與態度： 1. 利用分子生物學的素材，帶領學生挑戰課本提到的密碼子是三個字一組，除了問「為什麼是三個」以外，更進一步問「為什麼是三個，而不是一個、兩個或四個？」，以猜想與反駁的方式，讓學生自行發現後者的錯誤之處，並進而建構出前者的正確。 2. 能大膽提出假說，並能設計相對應實驗應證該假說正確與否的科學能力。 3. 培養學生勇於推理，面對錯誤亦無懼的大無畏精神。 二. 學生能獲得的知識內容： 1. 密碼子是三個字一組，而不是一個字、兩個字或四個字一組。 2. 科學家如何確定上述這件事。
教學活動	1. 地點：一般教室即可。 2. 不必分組，學生可自由與鄰近同學討論。
教學建議	1. 營造安全的教室氣氛，答錯不會被扣分或受懲罰，而且還鼓勵學生「有錯誤答案比完全沒有答案來得好」的學習精神。 2. 學生提出假說後，留一小段時間讓他們與鄰近同學自由討論，教師見機收網。 3. 只要舉手回答，請教師務必把握機會予以正向鼓勵，再進行接下來的討論。
學生先備知識	1. 已學習高三選修生物(下) 11-3 基因的表現。 2. 理解分子生物學得中心法則，知道轉錄、轉譯的基本原理。



PPT教案及學習單，
請至龍騰官網下載；
或是掃描 p.23 QRcode
獲得下載連結。

教案規畫

教學內容架構	投影片		教學策略
	頁碼	教學重點	
引起動機	2	教師提問： 「為什麼mRNA上的密碼子是三個一組，不是一個或兩個？」 讓學生討論、舉手回答。	這個問題學生可以很快就討論出來，所以可先用這個問題建立學生討論的信心。
	3	引導學生思考推論出參考答案： 因為RNA由四種核苷酸組成，蛋白質由二十種胺基酸組成，若一種核苷酸對應一種胺基酸，密碼只有四種，顯然不夠對應於二十種胺基酸；當兩個核苷酸一組形成一個密碼對應一種胺基酸時，這是從四種元素可重複的取兩個出來排列的狀況，可有十六種密碼，依然少於二十，因此也不夠用；此時很自然的，三個一組共六十四組密碼，對應二十種胺基酸則綽綽有餘。	- 教師可提供「構成蛋白質的胺基酸有二十種」與「構成RNA的核苷酸有四種」這兩項資訊。 - 提問後讓學生討論學習單問題一，再進行全班討論。
進階問題	4	老師提出挑戰題： 上面的討論解釋了因為密碼種類不夠，所以一個、兩個一組皆不可行，理論上三個一組是可行的，但如何證明事實真的如此？	- 學生初聽此提問，常會不明所以，需再次跟學生強調「思想先於行動」的觀念，在做實驗之前，科學家心中早已演過長長的內心戲，幾經思索推敲，老早想好各種劇本，才著手做實驗。因此，提煉出生長素並定出其結構之前，早已知道「應該」有生長素的存在；在<u>摩根</u>以果蠅證實「染色體學說」前，<u>薩登</u>與<u>包法利</u>早已預測「基因應該位在染色體上」，所以我們現在正走著先人的路，「預測」密碼是三個字一組，接下來要證明事實上真的是這樣！ - 提問後讓學生分組討論學習單問題二與三，再進行全班討論。



問題討論	5	學生猜想狀況1 做一條「GAAAAAAAAA……」的RNA，看看轉譯的結果。	- 學生猜想，老師引導討論。 - 此處謹以此為例說明，請依實際情況調整。 - 其實學生原來猜想狀況如下： 「做一條都是由八個A所組成的RNA。如果做出來的多肽鏈由八個胺基酸組成，那就是一個字組成一個密碼；若做出來的多肽鏈是由四個胺基酸組成，則可知兩個字組成一個密碼，其他依此類推。」 但教師可根據學生的狀況，修改命題，增加挑戰性，例如：「非常好！邏輯上可行，也可以由結果倒推出哪一個假說是對的，但是，我的技術只能合成一串A給你，沒辦法精準的合成九個A給你，怎麼辦？」
	6	學生猜想狀況1之討論 以「GAAAAAAAAA……」為例說明： 一組密碼一個字 G A A A A A A A A…… 做出來的胺基酸鏈序列為 1 2 2 2 2 2 2 2…… 一組密碼二個字 G A A A A A A A…… 做出來的胺基酸鏈序列為 1 2 2 2…… 一組密碼三個字 G A A A A A A…… 做出來的胺基酸鏈序列為 1 2 2 2…… 在無法控制核苷酸數目的情況下，該實驗設計針對三種假說推出來的結果是相同的，因此無法以此判斷何種假說才是正確，所以此法行不通。	
	7	學生猜想狀況2 做一條「GGAAAAAAAAA……」的RNA，看看轉譯的結果。	
	8	學生猜想狀況2之討論 以「GGAAAAAAAAA……」為例說明： 一組密碼一個字 G G A A A A A A A…… 做出來的胺基酸鏈序列為 1 1 2 2 2 2 2 2 2…… 一組密碼二個字 G G A A A A A A…… 做出來的胺基酸鏈序列為 1 2 2 2…… 一組密碼三個字 G G A A A A A…… 做出來的胺基酸鏈序列為 1 2 2 2…… 這個方法可以分辨是否為一字一組，卻無法分辨二字或三字一組，比上一個策略好一些，卻無法完全解決問題。	



	9	學生猜想狀況3 「做一條ACCACCACCACCACC……試試看！」	
	10	學生猜想狀況3之討論 以「ACCACCACCACCACC……」為例說明： 一組密碼一個字 <u>A</u> <u>C</u> <u>C</u> <u>A</u> <u>C</u> <u>C</u> <u>A</u> <u>C</u> <u>C</u> <u>A</u> <u>C</u> <u>C</u> …… 做出來的胺基酸鏈序列為 1 2 2 1 2 2 1 2 2…… 一組密碼二個字 <u>AC</u> <u>CA</u> <u>CC</u> <u>AC</u> <u>CA</u> <u>CC</u> …… 做出來的胺基酸鏈序列為 1 2 3 1 2 3 1 2 3…… 一組密碼三個字 <u>ACC</u> <u>ACC</u> <u>ACC</u> …… 做出來的胺基酸鏈序列為 1 1 1 1…… 用此方法推論，不同假說會有不同的結果，因此只要實際著手進行實驗，即知哪一個假說是正確的，所以該策略可行。	
	延伸問題 11	用上述方法，可證明三個一組可行，但不排除三的倍數例如六個一組的可行性呀！如何證明是三個一組而非六個一組？	

學習單

提問一：為什麼mRNA上的密碼子是三個一組，不是一個或兩個？

提問二：上面的討論解釋了因為密碼種類不夠，所以一個、兩個一組皆不可行，理論上三個一組是可行的，但如何證明事實真的如此？請提出實驗設計以便證明「密碼子確實是三個字一組」。

提問三：根據上述實驗設計，分別預測「一字一組」、「二字一組」及「三字一組」的實驗結果，並說明你的實驗設計是否可以達到預期目的。
