

UbD 理論中大觀念應用在生物遺傳學之初探

陳若潔

臺北市立大學教育學系研究生

中文摘要

因應 108 新課綱高中生物遺傳學內容加深加廣，教學現況更須加強大觀念的理解。本研究即運用 UbD 理論中重視「大觀念的理解」之核心價值，以理論分析的方式探討 UbD 理論中「大觀念」的意涵，並彙整及蒐集國內、外遺傳學課程標準、迷思概念，再將這些重要觀念凝聚成最核心的高中生物遺傳學大觀念。研究目的主要包含以下三項：(1)探究 UbD 理論中大觀念之意涵。(2)分析其他近似於 UbD 理論中大觀念之概念。(3)以 UbD 理論之大觀念應用於高中生物遺傳學之統整。希望能更加釐清 UbD 理論中大觀念的意義、蒐尋方式；在教學實務現場，更希望凝聚、整合高中生物遺傳學各項概念，以提供教師有效運用。

關鍵詞：重理解的課程設計（UbD）、大觀念、生物遺傳學

Preliminary Study of Applying the Big Idea of UbD Theory in Biogenetics

Ruo-Chieh Chen

Department of Education, University of Taipei, Postgraduate

Abstract

In response to the broadening and deepening trend of the genetics in high school biology under the new curriculum, our teaching needs to reinforce the understanding of the big idea. This study aimed to use the “understanding of the big idea” of UbD theory, to explore the meaning of "big idea" in UbD theory through theoretical analysis. Integrate and collect domestic and foreign genetics curriculum standards and misconceptions. Then condense these important concepts into the core big idea of high school biogenetics. This study includes three main objects: (1) Explore the implications of big idea in UbD Theory. (2) Analyse other concepts similar to the big idea in UbD theory. (3) Apply the big concept in UbD theory to integrate high school biogenetics. Hope to clarify the meaning and search method of big idea in UbD theory. In teaching practice, condense and integrate various concepts of high school biogenetics to provide teachers with effective application.

Keywords: Understanding by Design (UbD), Big idea, Biogenetics

壹、緒論

一、108 新課綱中高中生物遺傳學內容之加深加廣

二十一世紀為生物科技（biotechnology）蓬勃發展的世紀，人類的生活與社會的進步愈來愈依賴生物科技的發展。然而任何科學研究和發展，均需要政府決策乃至社會大眾的支持方能達成，也因此，如何教育社會大眾以及政府未來的決策者，使具有最基本的生物學素養乃為中等學校生物教育必須特別注意與重視的重要課題（鄭湧涇、楊坤原，1997）。隨著 108 新課綱的施行，高中端面臨的衝擊最大，各校紛紛發展屬於校本的自由選修、探究實作課程，也意味著素養導向教學的正式上路，如何落實素養是現今教師所面臨的挑戰。

而以高中生物科而言，更是為符應學生未來選填醫學、生技相關科系的趨勢，而陸續設計不同的加深加廣課程。相較以往舊課綱，在內容涵蓋度與知識量的部分，著實大增。以高中生物學中最具連貫和展望性而言，便是遺傳學相關課程。遺傳學是生物學的核心領域之一（Wandersee, Fisher, & Moody, 2000），學習遺傳學可幫助學生認識因生物科技快速發展所衍生的一些社會議題，故其亦為具有科學素養的未來公民所必需（Browning & Lehman, 1988；Mertens & Hendrix, 1990）。然而，研究指出遺傳學是多數老師覺得難教、學生覺得難學，且學生較不喜歡，但確是高中生物教學中重要的單元（林陳涌等，2009；黃台珠，2016；楊坤原、鄭湧涇，1997）。

相較以往舊課綱，僅在必修的《基礎生物》和必選修的《選修生物下》中各有一章遺傳相關主題，新課綱在內容涵蓋度與知識量的部分，著實大增，新課綱從高一至高三皆有遺傳學之學習內容，包含必修的《生物（全）》第二章〈遺傳物質〉；生物類群學生必選修的《選修生物 I》更以〈細胞與遺傳〉為整冊之內容，設定為一學期（2 學分）的授課時間（陳俊宏等，2019）。

二、高中生物遺傳學教學現況須加強大觀念的理解

然而，如同美國科學促進會（American Association for the Advancement of Science, AAAS）對其生物教科書的批評（Roseman, Kulm & Shuttleworth, 2001）：「以令人困惑的順序丟給學生雜亂無章的概念和術語。」及美國科學促進協會評論其高中生物教學上的普遍問題：

今日的高中生物教科書無法使學生理解重要的生物學概念……要求教科書內容必須涵蓋整個範圍……由此犧牲了以足夠深度探討核心概念，以利學生真實理解這些概念的機（p. 310）。

國內也有同樣的狀況。在知識量大增與難度加深加廣的情況下，國內大多數高中教師在講解生物課程中遺傳學知識時，為了納入全數內容，往往僅按課本之章節來編排順序，在進度壓力下無法深入審核學生的理解程度，導致多數學生總把生物學中最基礎、可延伸至後續課程內容的大觀念，以強記硬背的方式將一切專有名詞記憶下來，卻無法將內容彼此連結、更遑論當考題有所變化時便完全無法真實應用和理解。另一方面，相較於生物學中其他如動植物體的構造、生理、生態學等，遺傳學中有許多新穎的專有名詞，而 DNA、RNA 分子無法由肉眼所見；彼此之間的關聯、基因如何表現、性狀如何遺傳等內容更是抽象，學生就算看課本示意圖也難以理解；儘管部分教師會輔以出版社配套之投影片，但教學現場仍見學生多半是看過就忘、考過就算，無法真實應用、亦不了解自己的錯誤概念為何，整體學習效果不彰。

遺傳學是現代教育中具有重要意義的課題，可以說是科學素養的基石，而遺傳學的學習非常取決於學生的意會和理解（Choden & Kijkuakul, 2020）。黃顯華、霍秉坤（2008）曾經闡明為甚麼我們需要「以理解為目標」的教學法，提到以下幾個論述：(1)保證所有學生的教育權利，而不僅是社會或學術的精英。(2)設計的課程要既能滿足廣泛認可的標準，亦能回應個別教師和學生的需要。(3)要有明晰的學習證據，以便學生和教育工作者為自己的工作負責。(4)要令社會廣泛接受和欣賞「以理解為中心的教育目標」。

Passmore 的《教育哲學》一書中曾對何謂「理解力的教學」作出論述。其說明：如果學生不理解所教的知識，教師就沒有傳遞訊息；只有在孩子獲得了一定理解的基礎上，教師才能傳授事實（Passmore, 1980, 2015, p.293）。Perrone（1998, p.35）曾說，若教學著重的是每個學生的理解，則它必須能調動學生心智的所有可能性，還要必須適用於所有科目、所有年級。在教學實務上，要評估學生的理解與否、理解狀況，主要仍是透過外顯的行為表現，如同 Perkins（1998, p. 41）所言：第一，要判斷一個人的理解，必須要求他做需要理解的事，例如解釋事情、解決問題、給予論據、建構知識。第二，從學習者的回應可以知道他們當前的理解水平，亦明白有可能把理解水平提升。通過探討理解事情時所遇到的挑戰，學習者會理解得更好。

三、UbD 理論重視大觀念的理解

1998 年美國教育專家 Grant Wiggins 與 Jay McTighe 所提出的「重視理解的設計（Understanding by Design, UbD）」之教學理論，其理念即在於其命名，是欲以「理解」的角度，強化課程的設計；重點聚焦在大觀念（big idea）的發展和深化。以教學的角度而言，作者指出大觀念主要指的是該學科內容的「核心」概念，是學科專家對該主題所指出的核心理解觀念，能有效連結學科內容的事實與技能

並具備可遷移到其他學科或主題的特質；藉由大觀念可澄清學科內容的優先學習項目（Wiggins & McTighe, 2005, 2008, p.65-69）。

生物學領域慣常以系統、結構、歷程等一般性概念來理解事物，並需要對於定義、專有名詞，以及原則與定理的解釋更精確的掌握（唐淑華，2017）。既然 UbD 的理論不斷聚焦於「連結大觀念以建構持久的理解」，自始至終的理解都須層層扣緊大觀念、以大觀念貫穿學生的理解、強調對大觀念的理解才是真正的理解，因此，若能藉由 UbD 理論凝聚出高中生物遺傳學內重要大觀念，並提供給實務現場之教師教學時運用，應能更有效率、完整的提升學生之理解。

綜合上述，本文將以理論分析的方式探討 UbD 理論中「大觀念」的意涵，並彙整及蒐集國內、外遺傳學課程標準、迷思概念，再將此些重要觀念凝聚成最核心的高中生物遺傳學大觀念。研究目的主要包含以下三項：

1. 探究 UbD 理論中大觀念之意涵。
2. 分析其他近似於 UbD 理論中大觀念之概念。
3. 以 UbD 理論之大觀念應用於高中生物遺傳學之統整。

貳、UbD 理論中大觀念之概念界定

一、UbD 理論中對於大觀念所做的界定

UbD 理論中十分強調的重點「大觀念（big idea）」，國內目前比較熟悉的翻譯用詞為「大概念」。然而，概念一般常見英文用語應為 concept；而 idea 在語意上有比 concept 包含更多的部分，idea 是發生在頭腦中的想法或建議，而 concept 是經過微調的、較為客觀、具體、經驗性的事物內涵。idea 指抽象普遍性、理想標準、本質、永恆可理解之特徵（教育大辭書，2022），故兩者之間仍有差別。為如實呈現 Wiggins & McTighe（2005, 2008）原文所用「big idea」之意涵，因此筆者本文仍以「大觀念」稱之。

在 UbD 理論中的大觀念也涵蓋了許多不同的內容、定義、類別，作者自己亦有一統整性的描述，重點在解釋大觀念的性質、屬性（p.69）。其指明大觀念可被想成是：

1. 對任何的學習都提供具焦點的概念性透鏡（focusing conceptual lens）。
2. 透過連結及組織許多事實、技能、經驗，來提供意義的廣度，以作為理解之關鍵。

3. 指出學科專家對該主題所的核心理解觀念
4. 需要”uncoverage”的教學，因為其意義或價值對學習者而言極不明顯，而且反直覺（counterintuitive）或易造成錯誤理解（prone to misunderstanding）。
5. 有很大的學習遷移價值：在一段時間內，可應用到許多其他探究或議題上一課程內或學校外生活的水平遷移（跨學科 across subjects）和垂直遷移（往後幾年所學課程）。

二、UbD 理論中對於大觀念所提過的各式描述

對 UbD 教科書中大觀念的概念說明、相關敘述或定義，此處分成三大部分做探討，第一部分為「大觀念的整體性概念描述」、第二部分為「教學實務上可以尋求大觀念的實際舉例」、第三部分則為「作者所提到其他學者或課程標準中對於大觀念的定義」。茲說明如下：

（一）大觀念的整體性概念描述：

此處筆者將大觀念的說明、相關敘述，歸納綜合成幾個不同的意涵類別，分別為：

1. 對於細小而破碎的內容（事實、技能）「可賦予意義的連結」
2. 「位於學科核心但不須涵蓋全部內容」
3. 「抽象易誤解而需真實經驗的」
4. 「可產生學習遷移並可實際應用」

整理及原文出處詳見表 1。

表 1 UbD 中對大觀念的整體性概念描述

意涵	相關敘述
可賦予意義的連結	大觀念是對個別的事實和技能賦予意義和連結之概念、主題、議題（p.5）/大觀念透過建立學習的優先順序為學習者將個別的小部分做連結。可利用它來聚合相關的內容知識（p.66）/大觀念除了是連貫連結學習領域的中心，同時也是使事實更易理解、更有用的概念性固定器（p.68）
位於學科核心但不須涵蓋全部內容	目標性的持久理解是基於可遷移性的、而大觀念是屬於學科的核心且需要被揭露（uncover）（p.28）/大觀念不必然是內容廣泛而涵蓋一堆模糊詞句的；大觀念也不是基本的觀念。大概念實為居於學科的核心，它們需要被揭露，而我們必須深入挖掘直到達到核心（p.67）/將大觀念當作可回想的資訊來教導，註定會失敗（p.314）/透過持續的探究和討論，我們必須揭露大觀念而非掩蓋大觀念（p.317）。
抽象易誤解而需真實經驗的	它們並非顯而易見的，大多數專家的大觀念對初學者而言都是很抽象、反直覺、易造成錯誤理解的（p.67）/大觀念是抽象觀念，而課程設計的挑戰即

可產生學習遷移並可實際應用

是使這些抽象觀念變得寫實且顯得至關重要。我們的課程設計必須幫助學習者練習關於大觀念的問題提問及再提問（p.76）/ 若缺乏以大觀念澄清經驗的豐富經驗基礎，大觀念將只是另一個無用的抽象事物（p.208）。

有些觀念顯然比其他觀念更大—亦即這些觀念在概念上更為概括、有更大的學習遷移性和影響（p.276）/大觀念是必須的，因為它們提供了學習遷移的基礎（p.40）/大觀念原本就是可以遷移的，故其有助於連結個別的主題和技能（p.65）/學生需要的不只是帶有大觀念的經驗，也需要體驗產生觀念的現象（p.234）。

資料來源：整理自 Wiggins & McTighe, (2005, 2008)

而作者也認為大觀念既為可遷移的理解事項，即應對個別事實和技能賦予意義及連結；最佳的設計不特別強調細瑣的事實或技能，而著重於如何運用相關事實或技能以達到最終的理解。大觀念的「大」不僅僅是由於其知識範圍，大觀念必須有教育上的效用，它必須能使學習者理解過去發生的事；最值得注意的是，它必須有助於使新的、不熟悉的事物似乎更熟悉。

(二) 教學實務上可以尋求大觀念的實際舉例

另一方面，UbD 理論中也有說明如何找出大觀念的訣竅(Wiggins & McTighe, 2005, 2008, p.73-74)，包含了：

1. 詳閱州定課程標準。
2. 圈選在課程標準中一再出現的關鍵名詞以強調大觀念。
3. 參照可遷移概念的既有清單。
4. 關於主題或學科學習標準，提出一個以上問題。
5. 以衍生的相關配對和建議配對來產生大觀念。

作者亦提供在教育實務上，大觀念通常可藉由哪些來源搜尋而得；這些例子皆為其認為明顯且又用的（Wiggins & McTighe, 2005, 2008, p.70）（結合專業發展實用手冊，頁 72）。包含有：

1. 概念（concept）如：適應（adaptation）、功能（function）、量子（quantum）、透視（perspective）。
2. 主題（theme）如：善良戰勝邪惡、成年、向西部開墾……
3. 持續的爭論（ongoing debate）和觀點（point of view）如：天生相對於教養、保守主義相對於自由主義……
4. 悖論、矛盾（paradox）如：自由有其限度、離家以尋找自我……

5. 理論（theory）如：天擇與演化.....
6. 基本假設（underlying assumption）如：市場機制是合理的、科學上的簡約原則.....
7. 反覆出現的疑問（recurring question）如：這公平嗎？我們如何知道？我們能證明嗎？
8. 理解（understanding）或原理（principle）如：形式會隨功能而定、讀者須對文本提問才能理解、相關性不保證有因果關係。
9. 過程（process）如：問題解決、科學調查、做決定、歷史探究.....

（三）作者所提他人對於大觀念的定義

作者同樣亦引用其他學者對於大觀念的說明：如 Bloom（1981）所言，大觀念的特色和價值，在於幫助學生學習如何在極為不同的問題情境中使用這些觀念，此即為學習遷移、應用的本質。Bruner 在 1960 提出的「結構」概念，亦描述同樣的理念：掌握學科的結構就是，以允許許多事物有意義地相互關聯之方式來理解該學科。Phenix（1964）的大觀念則有不尋常的特色，他認為這些概念對學習領域除了可產生新的知識，也有助於初學者。Wynn & Wiggins（1997）認為大觀念之所以被選擇，是因其對於現象的解釋力很高、亦能為科學提供全面的勘查（Wiggins & McTighe, 2005, 2008, p.35）。

Erickson（2001）甚至曾對大觀念提供了有用的操作型定義，其認為大觀念應該是：

1. 廣泛抽象的（broad and abstract）。
2. 由一、兩個字詞組成的（represented by one or two words）。
3. 普遍應用的（universal in application）。
4. 永恆而歷久彌新的（timeless - carry through the ages）。
5. 可由同屬性的不同例證來表示的（represented by different examples that share common attributes）。

三、UbD 理論中的大觀念結構圖

UbD 作者對於大觀念有許多不同的說法，再加上各派學者又有許多和大觀念近似的名詞概念。儘管如此，不論名詞異同，筆者認為，大觀念應為該學科領

域中，最核心、重要、關鍵的概念/原理/原則，且可將零散雜亂的內容給予聚焦、串聯。

而在 UbD 理論中作者也說明，當我們面對學科內容比能合理探討的更多、每件事物好像對學生都同樣重要時，我們必須做出選擇、決定優先事項 (Wiggins & McTighe, 2005, 2008, p.70)。因此作者依據學科知識所需學習內容的優先事項，繪製出一由三個重疊的橢圓形所描述的結構圖，稱其為「澄清學科內容的優先學習項目圖」(圖 1)。其中最外層的橢圓為「值得熟悉的知識 (worth being familiar with)」，如一些可提供學生閱讀、觀看或接觸的資訊；中間的橢圓為「重要而須知道和做的 (important to know and do)」，可能是和大觀念有關聯、有遷移效力的重要知識、技能或概念；最內層的橢圓才是以理解事項所形成的大觀念，以及核心的學習任務 (core tasks)，如關鍵的實作能力。

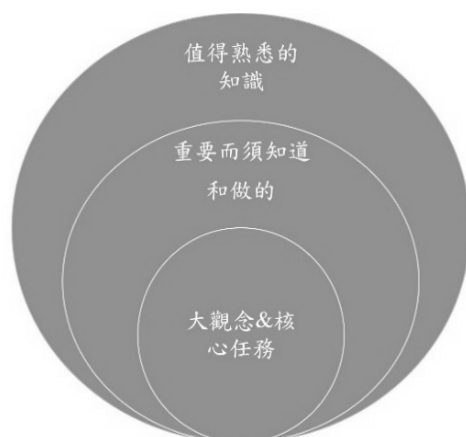


圖 1 UbD 中「澄清學科內容的優先學習項目圖」

參、其他近似於 UbD 理論中大觀念之概念

一、Bruner 的「結構」概念

Bruner (1960) 在其教育的過程《The process of education》一書中說明了「結構」在學習中的作用，以及如何使其成為教學的中心。他主張對於結構的教與學不應只是掌握工具或技術、技巧，其核心應是在遷移，即教師如何巧妙地將後續所學和先備經驗有所連結，而此需要教師能提供一個全面的圖像給學生，且儘可能的建立不同事物間清晰明確的關聯。教師應該確保學生在一些相關的學科中，不會偏離貫穿於整個學科的課程結構，這一理念有助於他們分析由此出現的新情況、使用的一般方法和應用的原理。此理念鞏固了螺旋式課程的想法：「課程發展時，應反覆重新審視其基本觀念 (basic ideas)，並在此基礎上繼續發展，直到學生能完全掌握與之相符的正式配備 (fullformal apparatus)」。

二、Mayer 的「概念模型」

美國著名的教育心理學家 Mayer（1989）提到的「概念模型（conceptual models）」一詞，也類似於作者的大觀念（Wiggins & McTighe, 2005, 2008, p.43）。Mayer 認為概念模型有助於理解，他界定概念模型為「意在幫助學習者對所學習的體系建立心智模式的詞語或圖表；概念模型強調的是體系中的主要目標和行為，以及它們之間的因果關係」。Mayer 認為好的模型可以使學習者的注意力集中在最重要的資訊上，這有助於建立資訊間的內在聯繫，亦能幫助學習者運用現有知識建構外在聯繫（Newton, 2000, p.49-50）。

三、McNeil 的「組織中心」

大觀念的概念也類似 McNeil（1981）所提到的課程組織（curriculum organization）要素。從事課程組織時一定要找出的組織要素包括概念、通則、技能、價值等。其中「概念」如文化、空間、演化、力等；「通則」則是科學家細心觀察所獲得的結論；「技能」是指學生必須精熟且需要練習的；「價值」是統治個人行為而不加懷疑的信念，例如尊重個人的尊嚴不因種族、性別、宗教、階級等之不同而異。組織要素是其所認為的課程深層結構。

而 McNeil 也曾說明，課程組織時不僅要考慮組織的要素，還要思索組織中心的問題。課程的「組織中心（organizing centers）」乃是一些焦點，經由它我們可以統整各種學習活動，組織中心可以包含主題、問題、疑問及計畫，它除了自身有價值，亦可引起學生動機並提供機會去獲得或統整特定的概念和價值。McNeil 對於組織中心選擇提出了一些指標，他認為組織中心最好是涵蓋學生能力和興趣的歧異度較大者、它有較佳之社會適切性、資源和時間之有效性以及其是否較能促進學生接觸到關於組織要素的教育內容。沒有組織中心，課程亦可加以組織完成，只不過各種課程組之要素間的關係可能較為稀鬆，以至於無法形成強而有力之連結及明確的標竿（黃光雄、楊龍立，2017，頁 206-207）。

四、Tina Blythe 的「中心議題」

對於如何找出學科中、學習內容中最精華的價值、最主要的關鍵字，如何安排最適宜的教學架構？除了 UbD 曾以大觀念的核心目標繪製出「澄清學科內容的優先學習項目圖」（圖 1）做說明外，Blythe（1998）也曾制定一個「為實踐理解的教學架構圖」，描述了「以理解為目標的教學」架構中的一些核心要素（圖 2）。在 Blythe 的架構中包含了四個面向：

1. 衍生性主題（generative topics）

有若干主要特徵：處於一個或多個學科或領域的中心，學生易於接近（有很多資源可供學生使用），主題跟學生校內外的經驗存在多重關連，以及學生和教師都覺得主題有趣。此類似 UbD 理論中「澄清學科內容的優先學習項目圖」的最外圈—「值得熟悉的知識」及中層—「重要而須知道和做的」之綜合。

2. 理解目的

有單元及課程兩個維度。單元維度的理解目標是描述老師期望學生從一個具體的衍生性主題的課業中所能學習的東西。課程維度的理解目標又稱概括性理解目標，貫穿探究的中心議題（throughlines），指的是老師期望學生在整個學期課程的課業中所能學到的東西。這兩種目標通常都以象徵或問題的方式來表述（Blythe, 1998, p.36）。此即為 UbD 橢圓結構圖中最內層的大觀念。

3. 有關理解的表現

對於發展理解來說是核心的，因此需要跟理解的目標緊密聯繫。單元或課程由起始到終結，學生都應投身於理解的表現，以展示和發展他們的理解（Blythe, 1998, p.21）。此則為 UbD 橢圓結構圖中最內層的核心任務。

4. 持續評核

在「以理解為目標的教學」架構下的評核、回饋和反思過程。學生需要有評核的標準和回饋，並有機會在整個指導過程中反思。評核的目的是要做到為理解而學習（Blythe, 1998, p. 22）。

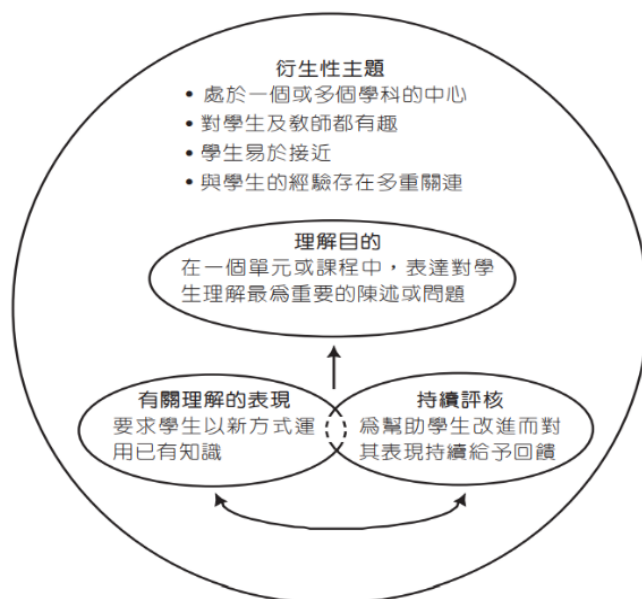


圖 2 Blythe 的實踐理解教學架構圖

資料來源：黃顯華、霍秉坤（2008）

五、美國 NGSS 的「核心觀念」

美國對 K-12 階段科學教育課程提出的「新世代科學標準」(The Next Generation Science Standards, NGSS)中，也有提到「核心觀念(Core Ideas)」一詞，認為教導學生不斷更新的科學知識是一件不可能的事情，所以讓學生理解充足的核心觀念，以便他們在未來可以自己吸收額外的知識。而構成核心觀念的條件須符合：(1)融合不同學科的重要原理與原則；(2)解決複雜問題與概念的重要工具；(3)學生興趣及生活連結的科技知識；(4)適合各年級學習並有不同的深度供學生探索(李驥、邱美虹，2019)。

六、國內學者的「關鍵概念」

黃顯華、霍秉坤(2008)則提過，內容是圍繞有限但有影響力(powerful)的概念而組織起來的；而此處所指有影響力的概念指的是基本的理解和原則。若以我國十二年國教課綱中，素養導向課程發展的「概念、內容、主題」之設計來看，則大觀念應類似「聚焦重要的主題」此一向度。而此一向度強調的要點有二：(1)聚焦少許但相對重要的某些主題；(2)主題在不同年段重複出現，以強化關鍵概念(楊俊鴻、張茵倩、張淑惠，2019)。國內常用的「關鍵概念(key concept)」一詞，即指在學科知識上，有其範圍、結構及研究方法的基本概念，常需要藉由實際操作經驗的累積而領悟。

在科學教育界，為因應眾多科學知識該如何選擇的爭議，學者專家也主張應該找出科學中的關鍵概念來教給學生。而這些主要概念，依照赫德(Hurd)的看法，應該能夠：(1)代表該學科結構的基本觀念；(2)在解釋科學現象方面具有最大的潛力；(3)在闡釋和概括性上具有最大的潛力；(4)自實驗結果證據中引申得到；(5)對心智認知技能的發展有幫助；(6)宣述科學在人類心智成就中的角色。然而，近年來隨著「科學—技術—社會」取向的科學教育理念受到重視，科學教育方面也開始以統整的作法，在教學單元中不再將不同科學領域的概念加以區隔，而是同一單元的活動中可能涉及一個以上的領域、打破學科界限，試圖由生活化的學習活動中使學生自然習得科學中關鍵概念，彌補將科學中關鍵概念由情境中抽離的缺失(莊奇勳，2000)。科學教育不是講授一些零碎的、不連貫的知識片段和堆積在一起的科學定律，而是需要圍繞涉及重要科學領域的有結構、有聯繫的科學核心概念和模型—大概念來進行學習。這些科學大概念是有組織、有結構的科學知識和模型，它們能夠解釋較大範圍內的一系列相關現象(韋鈺，2016)。

七、小結

綜合以上，以教學的角度而言，大觀念主要指的是該學科內容的核心概念、

能有效連結學科內容的事實與技能，並具備可遷移到其他學科或主題的特質；藉由大觀念可澄清學科內容的優先學習項目，教學者也可利用大觀念引導學習者積極學習。大觀念應具備的特質包含：Bruner「結構」概念的「貫穿於整個學科的課程結構」、Mayer「概念模型」的「使學習者的注意力集中在最重要的資訊上」、McNeil「組織中心」的「統整特定的概念和價值」、Tina Blythe「中心議題」的「老師期望學生在整個學期課程的課業中所能學到的東西」或國內學者「聚焦重要的主題」等。而在教學實務現場，UbD 也建議可利用詳閱國定課程標準、圈選在課程標準中一再出現的關鍵名詞、參照學科學習標準清單或學科迷思概念等，來作為找出大觀念的訣竅（Wiggins & McTighe, 2005, 2008, p.73-74）。

肆、以 UbD 理論之大觀念應用於高中生物遺傳學之統整

根據上述對於大觀念特質的描述，以及在教學角度尋找大觀念的方式，筆者即蒐集文獻中所提生物遺傳學常見之迷思概念，再參考英國、美國及我國的高中階段生物科學課程標準，彙整出遺傳學課程內之各項主題，以整合並確認遺傳學中最核心的理論架構以及大觀念。

一、生物遺傳學常見之迷思概念

許多國外學者的研究皆指出，在許多生物教師眼中，遺傳學單元是教學上最重要但也是學生在學習生物學時最感到生澀及困難的內容。傳統生物教學時教材內容囿於編寫模式、呈現方式及實例講解等等影響，可能導致學生對於遺傳學的知識，尤其是 DNA 的概念產生誤解及疑惑。而大多數的學生能瞭解 DNA 是遺傳物質，但卻未能真正瞭解 DNA 的功能以及與基因染色體之間的關係，及其在遺傳學領域所佔重要性；且在國內高中學習階段，所有生命科學及生物領域的教材中，有關遺傳學的學習內容，均是延用抽象的方式來介紹 DNA 概念，因此必須儘可能在現有教材的現實環境中，另外開闢學習途徑才能協助學習者在目前教材的呈現方式下，可以建立初步、基礎的遺傳學概念的學習（薛龍，2008）。

遺傳學的概念中有些是專門的詞彙（基因，gene）或記號（基因型，genotype），或指稱物體的屬性（顯性，dominance），是為符號概念；有些則是指在特定的時間內以特殊方式所進行的交互作用之事件概念（如減數分裂，meiosis）。而基因、減數分裂一類的概念因其實體無法直接知覺，其意義是由一些想法結合經驗而得，故屬抽象概念（Driver, 1983；Lazarowitz & Penso, 1992）。國內外的研究或調查皆指出，基於上述這些特性，使遺傳學概念成為學生學習與教師教學上的一個難題，也是各級學生常會出現迷思概念的單元之一（黃台珠，1993）。

若要改進生物遺傳學的教學與學生的理解、破除其迷思，唯有對遺傳學迷思

概念的內容及其來源與特徵有所認識，方能採取有效的教學措施。楊坤原、張賴妙理（2004）曾分析 1970~2000 共 40 篇文獻，針對遺傳學上常見的單元及其內的迷思概念做出探討，並提出教學上的建議。其中列舉了從國小至大學、研究所各階段學生對細胞分裂（包括有絲分裂、減數分裂）、有性生殖（包括配子、性狀遺傳）、孟德爾遺傳定律（包括機率在遺傳學上的應用、基因型）、基因（包括對偶基因、DNA 的化學組成與結構、顯（隱）性、共顯性和不完全顯性）、染色體（包括同源染色體、性染色體和性聯遺傳）、突變與遺傳工程等七類主要概念及其相關概念所出現之各項迷思概念。

二、國內外遺傳學課程標準

（一）英國國定科學課程標準

最新版的英國國定科學課程標準（Science in the national curriculum, 2015）中，第四階段（對應年紀為 14-16 歲，為我國的國三至高二階段）有關生物學學科內容標準的描述：

生物學研究涉及收集和解釋有關自然界的資訊，以識別模式並關聯可能的因果關係。生物學用於幫助人類改善生活並了解周圍的世界。應該幫助學生了解如何通過生物學的思想，用許多普遍應用的關鍵思想來描述自然世界的複雜多樣的現象。這些思想可以在單獨的主題集中說明，這些想法包括：生命過程取決於結構與其功能有關的分子、生物的特徵受其基因組及其與環境的相互作用的影響……

其所列出之「可集中說明的單獨主題」中，第一要項即為「生命過程取決於結構與其功能有關的分子」，亦即 DNA 結構與功能之主題。進一步細看其中「演化、遺傳與變異」之課程內容中，主要和基因表現相關者，包含有：基因組作為生物體的整個遺傳物質；基因組及其與環境的相互作用如何影響生物體表型的發展；基因組學對醫學的潛在影響；大多數表型特徵是多個基因的結果，而不是單個基因的結果；單基因遺傳和單基因交叉與顯性和隱性表型；性別決定在人類；一個物種種群的遺傳變異；現代生物技術（包括基因技術）的應用；現代生物技術的一些實際和倫理考慮。

若是查看英國國家科學課程內容中更高階的 GCE AS 和 A Level，其內對於生物遺傳學中 DNA 分子成分與結構、基因表現相關的內容標準如：

1. 生物分子通常是聚合物，並基於少量的化學元素；活生物體中的核酸（DNA 和 RNA），碳水化合物，蛋白質，脂質，無機離子和水都具有與其相關的重要

作用和功能屬性。

2. DNA 分子中的鹼基序列決定了蛋白質的結構，包括酶。
3. 遺傳信息從一代傳給下一代可以確保物種的連續性或導致物種內的變異和可能的新物種的形成；生殖隔離可導致不同基因的累積。
4. 基因體定序計畫已經讀取了生物體的基因組，範圍從微生物和植物到人類。這允許蛋白質的序列可由遺傳密碼來預測。
5. 基因技術允許基因功能的研究和改變，以便更好地了解生物體功能並設計新的工業和醫療過程。

(二) 美國生物科學課程研究 (BSCS)

美國的生物科學課程研究 (Biological Science Curriculum Study, BSCS) 是美國生物科學研究所 (American Institute of Biological Sciences, AIBS) 在 1950 年代晚期，為改進高中生物教育而推動發展的生物課程。在 1960 年代初期，「生物科學課程研究」出版了三套適用於高中階段學生的生物教科書，目前我國之高中生物教科書所使用的架構、內容以及章節編排亦有極大部分參考至此；而 BSCS 中黃版的教材內容主要便論及許多生物之間的交互作用及生物的遺傳、發育與演化等 (楊冠政，1977)。

參考其 K9-12 級 (相當於我國國三至高三階段) 的課程標準 (2013) 中，和「基因表現」相關的描述包含：

1. 學生將通過吸收更多抽象知識 (例如 DNA 的結構和功能) 和更全面的理論 (例如進化論) 來擴大對生物學的理解。
2. DNA 中儲存的遺傳信息可用於指導每個細胞所需的數千種蛋白質的合成。
3. DNA 的調節可通過蛋白質活性的變化和單個基因的選擇性表達而發生，這種調節使細胞能夠響應其環境並控制和協調細胞的生長和分裂。
4. 在所有生物中，用於特化生物特徵的說明都包含在 DNA 中。
5. DNA 是由四種鹼基 (A, G, C 和 T) 形成的大型聚合物。
6. DNA 的化學和結構特性，解釋了作為遺傳基礎的訊息是如何在基因中編碼 (作為一串分子字母) 並被複製 (通過模板機制)。
7. 細胞中的每個 DNA 分子形成一條染色體；人類的大多數細胞都包含 22 個不同染色體中每個染色體的兩個副本。此外，還有一對決定性別的染色體：一

- 個雌性包含兩個 X 染色體，一個雄性包含一個 X 和一個 Y 染色體。
8. 遺傳信息向後代的傳播是通過卵和精子細胞進行的，其中每個染色體對僅包含一個代表。卵和精子結合形成一個新個體。
 9. 人體由包含每個染色體兩個副本（因此每個基因兩個副本）的細胞形成的事實解釋了人類遺傳的許多特徵，例如如何在下一代中表達隱藏的變異。
 10. DNA 的變化（突變）以低速率自發發生。這些變化中的一些對生物沒有影響，而其他一些則可以改變細胞和生物。只有生殖細胞中的突變才能產生改變生物體後代的變異。

(三) 我國之高中生物遺傳學課程綱要

我國十二年國教自然與科學領域課程綱要「普通型高中必修課程學習重點」中，生物的學習內容和「基因表現」相關的詳細學習內容項目如圖 2（教育部，2018）。

主題	次主題	學習內容	學習內容說明	參考節數
演化與延續 (G)	生殖與遺傳 (Ga)	BGa-Vc-1 孟德爾遺傳法則中，性狀與遺傳因子之關係。 BGa-Vc-2 孟德爾遺傳法則的延伸。 BGa-Vc-3 遺傳的染色體學說之發展歷程。 BGa-Vc-4 性聯遺傳。 BGa-Vc-5 遺傳物質為核酸。 BGa-Vc-6 分子遺傳學的中心法則。 BGa-Vc-7 同一性狀具有不同的表徵。	1-1 說明孟德爾遺傳法則中的遺傳因子，是藉由性狀推論出來的抽象名詞。 2-1 可以 ABO 血型為例，說明共顯性遺傳與複等位基因遺傳。 2-2 可以人體的膚色為例，說明多基因遺傳，但不涉及計算。 3-1 以遺傳的染色體學說之推論歷程，說明遺傳現象與染色體的關係。 3-2 說明遺傳因子是位於染色體，不再只是抽象的名詞，具有實體的性質，可以遺傳與控制性狀。 4-1 說明性聯遺傳，可以人類紅綠色盲為例。 5-1 核酸中的 DNA 可承載傳遺訊息。DNA 的粗萃取，避免使用雞血為材料。【探討活動】 5-2 每段 DNA 分子上有許多基因。不涉及 DNA 的分子結構式。 6-1 說明分子遺傳學的中心法則之概念。 6-2 簡介 DNA 的複製過程，不涉及機制。除聚合酶外，不涉及其他酶與蛋白質的名稱或作用。 6-3 簡介轉錄與轉譯的過程，不涉及機制與基因表現的調控。 6-4 可延伸閱讀 Barbara McClintock (芭芭拉·麥克林塔克) 在基因研究的重要貢獻之發展歷程。 7-1 不同的表徵是因為遺傳變異所造成。 7-2 性狀表現受環境因子的影響。	8.5-9.5 節
科學、科技、社會及人文 (M)	科學發展的歷史 (Mb)	BMb-Vc-1 細胞學說的發展歷程。 BMB-Vc-2 孟德爾依據實驗結果推論遺傳現象的規律性。 BMB-Vc-3 性染色體的發現。 BMB-Vc-4 演化觀念的形成與發展。	1-1 藉由探討細胞學說的發展，了解學說形成的科學歷程及細胞學說的重要性。 1-2 學習內容可與次主題「細胞的構造與功能」整合，以達到概念的完整性。 2-1 說明孟德爾的遺傳實驗過程，以了解孟德爾實驗設計的思考過程，並探討遺傳法則的推論歷程。	2 節
			2-2 體認生物的遺傳現象具有規律性，並可用科學方法加以探討，實驗結果可以數學模式解釋。 2-3 學習內容可與次主題「生殖與遺傳」整合，以達到概念的完整性。 3-1 說明性染色體的發現過程。 3-2 學習內容可與次主題「生殖與遺傳」整合，以達到概念的完整性。 4-1 從科學史的觀點，探討演化觀念的形成與發展之歷程。 4-2 學習內容可與次主題「演化」整合，以達到概念的完整性。	
科學在生活中的應用 (Mc)	BMc-Vc-1 基因轉殖技術的應用。	1-1 簡介重组 DNA 與基因轉殖技術的應用。 1-2 不涉及機制與化學分子結構式。 1-3 學習內容可與次主題「生殖與遺傳」整合，以達到概念的完整性。	0.5 節	

圖 2 普通型高中必修課程學習重點中遺傳學學習內容

而在「普通型高中加深加廣選修課程學習重點」中，和「基因表現」相關項目則包含如圖 3。

主題	次主題	學習內容	學習內容說明	參考節數	
演化與延續 (G)	生殖與遺傳 (Ga)	BGa-Va-1	遺傳的染色體學說的建立。	1-1 從科學史的觀點，探討遺傳的染色體學說之發展歷程，並說明遺傳的染色體學說對孟德爾遺傳法則的解釋。 1-2 從科學史的觀點，探討連鎖的相關實驗與推論，並說明互換與連鎖群的研究結果可提供證據支持遺傳的染色體學說。 2-1 藉由製作雙股DNA螺旋結構模型，探討DNA分子結構的主要特點。【探討活動】 2-2 從科學史的觀點，探討雙股DNA螺旋結構模型之發展歷程，包括Rosalind Elsie Franklin（羅莎琳·富蘭克林）的貢獻。 4-1 說明分子生物學的中心法則中轉錄與轉譯的過程。 5-1 僅以原核生物為例，說明基因表現的調控。 6-1 說明染色體層次變異的原因與影響。 6-2 說明分子層次基因變異的原因與影響。 6-3 說明常見遺傳疾病的篩檢意義與重要性。 7-1 說明重組DNA的基本原理與應用。 7-2 說明基因轉殖技術的基本原理與應用。 7-3 說明聚合酶連鎖反應(PCR)的基本原理與應用。	12-13 節
		BGa-Va-2	確認DNA為遺傳物質的歷程。		
		BGa-Va-3	遺傳訊息的複製。		
		BGa-Va-4	遺傳訊息的轉錄與轉譯。		
		BGa-Va-5	基因表現的調控。		
		BGa-Va-6	遺傳變異。		
		BGa-Va-7	生物科技的應用。		
科學、科技、社會及人文 (M)	科學、技術及社會的互動關係 (Ma)	BMc-Va-1	生物科技的應用。	1-1 說明生物科技在日常生活中的應用與影響，可與次主題「生殖與遺傳 (Ga)」項下之BGa-Va-7生物科技的應用整併，以達到概念的完整性。 2-1 可與次主題「生殖與遺傳 (Ga)」項下之BGa-Va-7生物科技的應用整併，以達到概念的完整性。	3 節
		BMa-Va-2	探討人類基因組計畫及其意義與重要性。		
科學發展的歷史 (Mb)		BMb-Va-1	從科學史的觀點，探討生物膜的模型之發展歷程。	1-1 可與次主題「細胞的構造與功能」項下之BDa-Va-2生物膜的構造與功能整併，以達到概念的完整性。 3-1 可與次主題「生殖與遺傳」項下之BGa-Va-1遺傳的染色體學說的建立整併，以達到概念的完整性。 4-1 可與次主題「生殖與遺傳」項下之BGa-Va-1遺傳的染色體學說的建立整併，以達到概念的完整性。 5-1 可與次主題「生殖與遺傳」項下之BGa-Va-2 確認DNA為遺傳物質的歷程整併，以達到概念的完整性。 6-1 可與次主題「生殖與遺傳」項下之BGa-Va-2 確認DNA為遺傳物質的歷程整併，以達到概念的完整性。 7-1 可與次主題「生殖與遺傳」項下之BGa-Va-3遺傳訊息的複製整併，以達到概念的完整性。	
		BMb-Va-3	從科學史的觀點，說明遺傳的染色體學說之發展歷程。		
		BMb-Va-4	從科學史的觀點，探討連鎖的相關實驗與推論。		
		BMb-Va-5	從科學史的觀點，探討確認DNA為遺傳物質之發展歷程。		
		BMb-Va-6	從科學史的觀點，探討DNA分子結構模型之發展歷程。		
		BMb-Va-7	從科學史的觀點，探討DNA複製為半保留複製模式之發展歷程。		

圖 3 普通型高中加深加廣選修課程學習重點中遺傳學學習內容

因此，綜合上述整理之國內外生物遺傳學課程標準，以及遺傳學內常見之迷思概念如「基因」、「孟德爾遺傳定律」、「染色體」、「遺傳工程（基因轉殖）」等，筆者統合英國、美國、台灣生物科遺傳學的重要學習內容（見表 2），其中包含五個主題概念：孟德爾的遺傳法則；染色體、DNA 與基因；遺傳法則的延伸；DNA 的構造；分子生物學的中心法則。

表 2 英國、美國、台灣生物科遺傳學中的主題概念與重要學習內容

主題概念	重要學習內容相關敘述
孟德爾的遺傳法則	單基因遺傳和單基因交叉與顯性和隱性表型（英）。遺傳信息向後代的傳播是通過卵和精子細胞進行的，其中每個染色體對僅包含一個代表。卵和精子結合形成一個新個體（美）。人體由包含每個染色體兩個副本的細胞形成的事實解釋了人類遺傳的許多特徵，例如如何在下一代中表達隱藏的變異（美）。孟德爾遺傳法則中，性狀與遺傳因子之關係（臺）。說明孟德爾遺傳法則中的遺傳因子，是藉由性狀推論出來的。說明遺傳因子是位於染色體，不再只是抽象的名詞，具有實體的性質，可以遺傳與控制性狀（臺）。同一

染色體、DNA 與基因	<p>性狀具有不同的表徵（臺）。以遺傳的染色體學說之推論歷程，說明遺傳現象與染色體的關係（臺）。</p> <p>核酸中的 DNA 可承載傳達訊息；每段 DNA 分子上有許多基因（台）。基因組作為生物體的整個遺傳物質（英）。在所有生物中，用於特化生物特徵的說明都包含在 DNA 中（美）。細胞中的每個 DNA 分子形成一條染色體；人類的大多數細胞都包含 22 個不同染色體中每個染色體的兩個副本。此外，還有一對決定性別的染色體：一個雌性包含兩個 X 染色體，一個雄性包含一個 X 和一個 Y 染色體（美）。</p>
遺傳法則的延伸	<p>基因組及其與環境的相互作用如何影響生物體表型的發展（英）。大多數表型特徵是多個基因的結果，而不是單個基因的結果（英）。說明性聯遺傳，可以人類紅綠色盲為例（臺）。可以 ABO 血型為例，說明共顯性遺傳與複等位基因遺傳。可以人體的膚色為例，說明多基因遺傳（臺）。</p>
DNA 的構造	<p>DNA 是由四種鹼基形成的大型聚合物（美）。DNA 的化學和結構特性，解釋了作為遺傳基礎的訊息是如何在基因中編碼並被複製（美）。藉由製作雙股 DNA 螺旋結構模型，探討 DNA 分子結構的主要特點（臺）。從科學史的觀點，探討雙股 DNA 螺旋結構模型之發展歷程，包括羅莎琳·富蘭克林的貢獻（臺）。</p>
分子生物學的中心法則	<p>說明分子生物學的中心法則中轉錄與轉譯的過程（臺）。簡介 DNA 的複製過程（臺）。DNA 分子中的鹼基序列決定了蛋白質的結構（英）。DNA 中儲存的遺傳信息可用於指導每個細胞所需的數千種蛋白質的合成（美）。現代生物技術（包括基因技術）的應用（英）。基因體定序計畫已經讀取了生物體的基因組，範圍從微生物和植物到人類。這允許蛋白質的序列可由遺傳密碼來預測（英）。基因技術允許基因功能的研究和改變，以便更好地了解生物體功能並設計新的工業和醫療過程（英）。說明基因轉殖技術的基本原理與應用（臺）。</p>

而此五個主題概念，又可整合凝聚成最核心之「基因表現」大觀念；五大主題概念依照概念間的邏輯順序排列，將「基因表現」的大觀念完整而系統性的串連。各主題和「基因表現」間的關係，依序說明如下（詳見表 3）：

1. 孟德爾的遺傳法則：性狀的產生其實是不同的遺傳組合下，基因表現的結果。
2. 染色體、DNA 與基因：基因是一段可做出蛋白質的 DNA 片段。
3. 遺傳法則的延伸：基因的表現不一定只有單純顯隱性定律。
4. DNA 的構造：基因表現的時候，DNA 的雙股螺旋鍵結必須要斷開。
5. 分子生物學的中心法則：DNA 必須透過轉錄與轉譯，才能做出蛋白質，此即為基因的表現。

表 3 各主題概念與大觀念間的連結

大觀念	主題概念	大觀念和主題概念間的連結
基因表現	孟德爾的遺傳法則	孟德爾的遺傳為古典遺傳學，當時尚未有「基因」一詞出現，而是孟德爾由子代各種性狀出現的機率，推導出親代可能的遺傳組合。而性狀的產生即為基因的表現，故可還原遺傳學研究的真實現場，使學生體會：「性狀的產生其實是不同的遺傳組合下，基因表現的結果」，而孟德爾的遺傳法則即是在推算各種不同遺傳組合下，會有怎樣的基因表現。

染色體、DNA 與基因	由於孟德爾的古典遺傳學尚未出現「基因」一詞，而染色體遺傳學說亦僅提出「遺傳因子」和染色體動態間的關聯，故藉由將染色體、DNA 與基因間的概念釐清，導引出學生思考「基因」到底是甚麼？ 學生有辦法理解出基因在 DNA 上所代表的意義：「 基因是一段可做出蛋白質的 DNA 片段 」後，對於後續「基因是藉由 DNA 轉錄、轉譯作用而表現」之概念，才能更加深刻。
遺傳法則的延伸	藉由上一個主題對染色體和對偶基因的認識之後，導入此一主題中各種遺傳型式的案例；請學生比較這些遺傳型式中符合與不符合孟德爾遺傳法則之處，進而了解：「 基因表現不一定只有單純顯隱性定律 」之概念。
DNA 的構造	DNA 的兩股由聚核苷酸鏈構成，學生須要先知道核苷酸的化學組成，才能知道兩股核苷酸鏈如何鍵結。 在知道核苷酸鏈的鍵結方式之後，才可以延伸到下一主題，了解：「 基因表現的時候，DNA 的雙股螺旋鍵結必須要斷開 」。
分子生物學的中心法則	基因為可表現蛋白質的 DNA 片段，基因表現所合成的蛋白質有些可組成生物體的構造，此即為性狀。而「 DNA 必須透過轉錄與轉譯，才能做出蛋白質，此即為基因的表現 」。

伍、結語

誠如作者原文書中自省的疑慮（Wiggins & McTighe, 2005, 2008, p.268-270）：我們如何聚焦在大觀念的學習卻不會太哲學化或太抽象，以致於學生學不到主要的知識和技能？在《當代教育心理學》一書中曾提到，學科教學的模式，應是根據一套有限的強有力構想（基本的理解和原則）來組織內容（李素卿，2003，頁 362）。筆者認為，教師至少該多方參閱各國的課程標準、或是國內歷年的課程綱要來搜尋大觀念，找出真正普世公認有價值、歷久不衰而重要又必須的概念。

本文整理了 UbD 理論和不同學者對於大觀念特質的描述，並提供在教學角度尋找大觀念的方式；在生物遺傳學部分，筆者綜合文獻中所提生物遺傳學常見之迷思概念，再參考英國、美國及我國的高中階段生物科學課程標準，彙整出遺傳學課程內之五大主題概念，最後亦呈現各主題概念和「基因表現」的大觀念間系統性的連結。此五大主題概念依照彼此間的邏輯順序排列，未完全按照課本章節，而是以打破章節內容的方式進展，希望提供教師在實務現場可有更靈活之課程順序編排與設計，並讓學生藉「基因表現」的大觀念將遺傳學融會貫通，重視學生的理解。

另一方面，即便 UbD 理論中提供了非常方便有效的方式指引教師蒐尋大觀念，但筆者認為任何教師都不該完全照本宣科，真正重理解的教師應要充實自己的學養，而有清楚的判別能力、對學科知識有自己的看法和理解，且能在浩瀚無涯的學科知識中抽絲剝繭，如此方能帶給學生更全面且靈活的大觀念。

參考文獻

- 李驥、邱美虹（2019）。NGSS 和 12 年國民基本教育中探究、實作和建模的比較與分析。*科學教育月刊*，421，頁 19-31。
- 韋鈺（2016）。以大概念的理念進行科學教育。取自 <https://kknews.cc/education/o25qqq.html>
- 唐淑華（2017）。培養閱讀素養，何必遠求？從設計一本「以學生為主體」的中學課本開始。*教科書研究*，10(2)，1-31。
- 教育部（2018）。十二年國民基本教育課程綱要－國民中小學暨普通型高級中等學校自然科學領域。臺北市：教育部。
- 教育大辭書（無日期）。觀念 Idea，取自 <http://terms.naer.edu.tw/detail/423340/>
- 莊奇勳（2000）。科學中關鍵概念。教育大辭書，取自 <https://terms.naer.edu.tw/detail/1307715/>
- 陳俊宏等（2019）。*生物（全）*。新北市：龍騰文化。
- 陳俊宏等（2019）。*選修生物 I（全）*。新北市：龍騰文化。
- 黃台珠（1993）。中學生遺傳學習的現況及問題。*國立高雄師範大學學報*，269-300。
- 鄭瑞洲、洪振方、黃台珠（2016）。透過情境興趣教學策略促進高一學生之遺傳學學習。*科學教育學刊*，24(2)，115-137。
- 黃顯華、霍秉坤（2008）。理解「理解」：為「理解」的教學。*學校教育改革系列*，1-40。
- 楊坤原、張賴妙理（2004）。遺傳學迷思概念之文獻探討及其在教學上的啟示。*科學教育學刊*，12(4)，365-398。
- 楊坤原、鄭湧涇（1997）。高一學生遺傳學解題表現與解題策略之研究。*科學教育學刊*，5(4)，529-555。

- 楊冠政（1977）。美國 BSCS 生物課程研究。科學教育月刊，7。
- 楊俊鴻、張茵倩、張淑惠（2019）。素養導向課程與教學理論與實踐。臺北市：高等教育出版社。
- 楊龍立、黃光雄（2017）。課程發展與設計：理念與實作。臺北市：師大書苑。
- 薛龍（2008）。高中生物教科書中模型的類型與應用－以遺傳物質單元的 DNA 為例（未出版之碩士論文）。國立高雄師範大學，高雄。
- 賴麗珍譯（2008）。重理解的課程設計－專業發展實用手冊（Grant Wiggins and Jay McTighe 原著，2004 出版）。新北市：心理出版社。
- 賴麗珍譯（2008）。重理解的課程設計（Grant Wiggins and Jay McTighe 原著，2005 出版）。新北市：心理出版社。
- 賴麗珍譯（2015）。設計優質的課程單元（Grant Wiggins and Jay McTighe 原著，2011 出版）。新北市：心理出版社。
- 侯秋玲，吳敏而譯（2016）。核心問題－開啟學生理解之門（Grant Wiggins and Jay McTighe 原著，2013 出版）。新北市：心理出版社。
- 宋明娟、于霞、曾春蓮譯（2007）。教育哲學（John Passmore 原著，2007 出版，頁 289-308）。新北市：心理出版社。
- 賴麗珍譯（2008）。善用重理解的課程設計法（John L. Brown 原著，2008 出版）。新北市：心理出版社。
- 李素卿譯（2003）。當代教育心理學（Thomas, L. Good & Jere Brophy 原著，1995 出版，頁 357-362）。臺北市：五南圖書出版公司
- Blythe & Associates (1998). The Blythe and Associates Framework. *Teaching for Understanding Source*, 19.
- Browning, M. E., & Lehman, J. D. (1988). Identification of student misconceptions in gene-tics problem solving via computer program. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 747-761.

- Bruner, J. S. (1960). *The process of education*. Cambridge: Harvard University Press.
- Choden & Kijkuakul (2020). Blending Problem Based Learning with Scientific Argumentation to Enhance Students' Understanding of Basic Genetics. *International Journal of Instruction*, 13(1), 445-462.
- Grant Wiggins and Jay McTighe (2011). *The Understanding by Design Guide to Creating High-Quality Units*. Alexandria, Virginia USA: ASCD.
- Grant Wiggins and Jay McTighe (1999). *The Understanding by Design Handbook*. The. Alexandria, Virginia USA: ASCD.
- Grant Wiggins and Jay McTighe (2004). *Understanding by Design Professional Development Workbook*. Alexandria, Virginia USA: ASCD.
- Grant Wiggins and Jay McTighe (2005). *Understanding by Design Expanded 2nd Edition*. Alexandria, Virginia USA: ASCD.
- Wandersee, J. H., Fisher, K. M., & Moody, D. E. (2000). The nature of biology knowledge. In K.M. Fisher, J. H. Wandersee, & D. E. Moody (Eds.), *Mapping biology knowledge*. Dordrecht the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- GOV.UK (2015). *National curriculum in England: science programmes of study* . Retrieved from <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study#key-stage-4>
- GOV.UK (1996). *National science education standards*. Retrieved from <https://www.nap.edu/catalog/4962/national-science-education-standards>
- Newton, D. P., & Newton, L. D. (1999). Knowing what counts as understanding in different disciplines: Some 10-year-old children's conceptions. *Educational Studies*, 25(1), 35-54.
- Newton, D. P. (2000). *Teaching for understanding: What it is and how to do it*. London; New York: Routledge/Falmer.

- States (2013). *Next Generation Science Standards For States*. Retrieved from <https://www.nap.edu/catalog/18290/next-generation-science-standards-for-states-by-states>
- Passmore, J. (1980). *Philosophy of teaching*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Perrone, V. (1998). Why do we need a pedagogy of understanding? In M. S. Wiske (Ed.) , *Teaching for understanding: Linking research with practice* (pp. 13-38). San Francisco: JosseyBass.
- Perkins, D. (1998). What is understanding? In M. S. Wiske (Ed.), *Teaching for understanding: Linking research with practice* (pp. 39-57). San Francisco: Jossey-Bass.
- Roseman, J. E., Kulm, G., & Shuttleworth, S. (2001). Putting textbooks to the test. *ENC Focus*, 8(3), 56-59.
- Phenix, P. (1964). *Realms of meaning*. New York: McGraw-Hill.
- Erickson, L. (2001). *Stirring the head, heart, and soul: Redefining curriculum and instruction (2nd ed.)*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.

