

# 教育部 105 學年度中小學科學教育專案期中報告大綱

計畫名稱：系統性思考教學促進學生公民在社會性科學議題的最佳化決策

內容分析—以基改食物議題為例

主持人：鐘建坪

電子信箱：hexaphyrins@yahoo.com.tw

共同主持人：宋文汀、張力中

執行單位：新北市立錦和高中

## 一、計畫目的

### (一)研究計畫的背景與動機

培養現代公民需要強化相關的素養能力，而科學教育的主要目的即在提升學生的科學素養，其涵蓋的目標範圍有四大項(Hodson, 2008)：(1)學習科學(learning science)，即學習科學活動的知識產物；(2)學習做科學(learning to do science)，即透過實際動手操作學習科學相關的技能；(3)學習關於科學(learning about science)，即學習科學本質，透過學習科學活動的參與，從中學習知識、技能、倫理以及社群等對於科學意涵的探討；(4)學習參與(engaging in sociopolitical action)，即能夠實際執行的行動力。學校培育學生學習科學需要整合科學本質、知識以及能力並將其轉化成個人或群體實際執行的行動力(Birmingham & Barton, 2014; Hodson, 2008; Skamp, Boyes, & Stanisstreet, 2013)。

課程中強化科學素養而達到上述四項科學教育目標的途徑之一即是強化學生對於社會性科學議題(socio-scientific issues)的認識與理解(Roberts, 2007)。學生透過社會性科學議題課程的參與可以學習議題中相關的科學知識、實際動手操作搜尋相關資料與數據、多元觀點的體會，並且從中體認科學本質意涵(e.g., Evagorou, Jimenez-Aleixandre, & Osborne, 2012; Galvão, Reis, Freire, & Almeida, 2010; Organisation for

Economic Co-operation and Development [OECD], 2006; Sadler, Barab, & Scott, 2007)。因此，社會性科學議題活動的參與可以提供機會讓學生獲得現代公民所具備的相關能力(Levinson, 2006; Ratcliffe & Grace, 2003)。目前許多文獻藉由社會性科學議題的探索，讓學生獲得以科學概念為基礎的論證能力(Chin & Osborne, 2010; Driver, Newton, & Osborn, 2000; Neilsen, 2013; Zohor & Nemet, 2002)。然而很少文獻探討如何藉由論證活動協助學生獲得更全面性的議題觀點(Neilsen, 2011, 2012)。有鑑於此，為強化學生具有全面性的議題想法，本研究將著重如何啟發學生面對多樣因素的社會性科學議題時會如何進行決策的論證歷程，以形成具有可遷移的系統性思考能力(the competencies of system thinking)。

## **(二)文獻探討與理論基礎**

### **1.培養學生具有科學知識與能力的現代公民**

科學教育的主要目標即是提升學生的科學素養讓學生具備現代公民所需要的相關能力(Davies, 2004)。雖然科學素養一詞沒有明確的概念定義(Dillon, 2009)，但是仍可以從兩個面向著手，包括：(1)強調學科內部：強調科學知識與歷程的學習；(2)強調學科外部：強調科學在社會文化情境所扮演的角色，例如：決策社會性科學議題(Robert, 2007)。因此，九年一貫自然與生活科技課程以及 12 年國教自然科學領綱皆強調科學素養的重要性(教育部，2006、2015)，企圖培養具有科學知識與能力的現代公民。

### **2.學習社會性科學議題的效益**

身為現代公民必定會面臨社會性科學的相關議題，學生從實際參與社會性科學議題的討論中，除了可以提升個人的論證技能之外，尚可學習相關的科學知識，並且從中獲得多方立場的觀點，理解牽涉倫理議題時無明顯對與錯的價值觀(Evagorou et al., 2012; Galvão et al., 2010; Sadler, 2004; Walker & Zeidler, 2007)。Sadler、Barab 和 Scott (2007)認為學校課程強調社會性科學議題應該具備四項特徵，包括：(1)辨識社會性科學議題的複雜性；(2)需要從多元觀點檢視這些議題；(3)認同社會性科學議題仍在進行相關的研究；(4)能夠對於偏見的資訊持有懷疑的態度。因此，學習社會性科學議題不應該只有著重在單一面向的討論，而是應該透過多面向因素的深入探究才能夠讓學生

實際理解其複雜、多元的內容。Chang Rundgren 和 Rundgren (2010)提出多面向因素架構，當面對社會性科學議題時可以從學生發展的知識、個人的價值判斷以及個人生活經驗出發思考細部牽涉的社會文化、經濟、環境/生態、倫理/道德以及政策因素。雖然 Chang Rundgren 和 Rundgren 提供多面向因素的思考面向，然而卻未說明學生如何透過多面向因素作為最後決策社會性科學議題內容的依據。

### **3.基改食物議題相關研究**

基因改造技術的發展已使基因轉殖的動植物成為可能(e.g., Ye et al., 2000)，但同時引發經濟、糧食、健康、環境與倫理等面向的爭議(余淑美，2009；郭華仁、吳東傑，2009；Evans, 2002; Sadler & Zeidle, 2004; Thompson, 2007)。例如：支持基改稻米者宣稱能夠解決人口爆炸所產生的糧食危機，然而反對者認為食用基改稻米的安全性目前仍存有疑慮(余淑美，2009；郭華仁、吳東傑，2009)。有鑒於不同論述的立場觀點，身為公民社會一份子的學生更需要理解此類基因修改食物議題所面臨的爭論，才能在未來做出最佳化的決策內容。雖然目前已有研究提供機會促進學生對於相關基改食物議題的理解與論證能力的提升(林樹聲、黃柏鴻，2009；靳知勤、楊惟程、段曉林，2010；Cinici, 2016)，但是這些研究主要是提供額外的訊息增強學生對於特定概念的理解以增進論證能力的提升。過度強調學生欠缺能力而忽略學生亦能共同參與的角色可能降低學生實際參與行動的意願，因此不僅要強化學生的背景知識，更應全面性地思考如何協助學生扮演公民參與的角色，如此學生才能從知識與行動中深層反思基改食物議題的內涵以提升學生決策的論證內容。

### **4.社會生態系統**

人類的活動影響生態環境，例如：全球暖化。因此決策歷程不應該只考量單一系統而是應該整合社會與所處的生態環境形成社會生態系統(socio-ecological system)。社會生態系統是將人類與非人類的外在環境整併的系統觀點，即強調人與環境彼此間的位置與交互作用關係(Anderies, Janssen & Ostrom, 2004; Halliday & Glaser, 2011)。而社會生態系統強調社會環境中經濟與其相關政策如何在資源本身、政府管理機制、使用者以及相關生態環境產生交互作用，彼此之間相互影響 (Halliday & Glaser, 2011;

Ostrom, 2009)。如圖 1 所示，Ostrom 提出社會生態系統分析架構說明不同次系統與其組成如何相互運作，當要考慮永續使用水資源則必須同時考慮經濟與相關的政策以及水資源系統、政府管理以及使用者之間產生交互作用並與相關生態環境，如森林資源與保育等相互關聯。基改食物牽涉不僅牽涉人類活動的經濟、糧食等因素亦同時牽涉基改作物可能為強勢物種造成的生態環境問題，因此不應該只探討基改食物對於環境的特定面向而是需要系統性思考基改食物在人類生態系統中的影響。

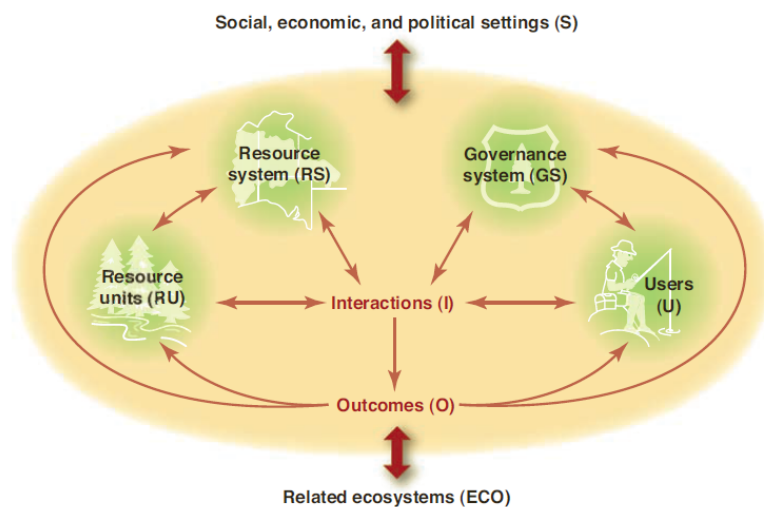


圖 1 社會生態系統架構 (引自 Ostrom, 2009, p.420)

## 5. 系統性思考

系統包含物件與物件的關聯，而個別的行為機制無法單獨直接說明系統的動態歷程(鐘建坪，2014; Assaraf & Orion, 2005; Senge, 1990)。學生對於系統觀點是直觀的、容易著重在個體行為而忽略本身知覺的限制而缺乏系統性思考(鐘建坪，2014)。社會性科學議題牽涉多重彼此牽連的關係因子，為求學生具有最佳化的解決策略，學生需要發展與培養系統性的思考作為決策與問題解決的依據。而系統性思考即為個體完善的觀念架構，而此概念架構能夠充分運用知識、律則與工具說明問題中變化性的規則與重複性的現象(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Senge, 1990)。Assaraf 及其同儕依據文獻分析歸類出 8 種系統性思考技能並以此架構分析學生的水循環系統與人的身體系統(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Ben-Zvi Assaraf, Dodick & Tripto, 2013)，包括(1)確認系統的組成與系統的歷程；(2)確認系統內組成成分之間的關聯；(3)透過一個關係架構組

織系統的成分與歷程；(4)知道系統普遍的特性；(5)確認系統中的動態關係；(6)理解系統中隱含的面向；(7)理解系統循環的本質；(8)能夠反思並對未來進行預測。其中技能(1)為分析系統的組成成分，技能(2)至(5)為整合系統中的成分，而技能(6)至(8)為系統的施行。雖然系統性思考的提升可以協助學生概念發展，然而目前仍只有少數文獻提供系統性思考教學策略促進學生的系統性思考技能(Ben-Zvi Assaraf, Dodick & Tripto, 2013; Brandstädter, Harms & Großschedl, 2012; Riess & Micho, 2010)，在這些施行的文獻仍主要強調概念知識系統而非人與環境的社會生態系統。面對基改食物正是需要整體考量社會生態系統才能獲得良善解決之道的爭議性議題。

## 6.系統性思考教學

我們所處的社會與自然環境牽涉許多彼此之間相互關聯的因子，一個因子的改變可能會影響其他因子共同變化，因此決策時應該以系統觀點出發探討不同因子造成的效應。而教師應該提供學生機會參與系統性思考的歷程藉以提升學生系統性思考的能力(Ben-Zvi Assaraf & Orpaz; Riess & Mischo, 2010)。Reiss 和 Mischo 設計 3 種課程內容與傳統教學方式比較嘗試說明何種教學方式有助於提升學生的系統性思考能力。他們的研究結果顯示電腦模擬以及特定課程結合電腦模擬會在系統性思考的表現較佳。Ben-Zvi Assaraf 和 Orpaz 以解釋性的故事法(explanatory story approach)，藉由實務性的活動進行南北極生物主題的探討讓學生理解地球生態系統包括生物圈、水圈、地圈與大氣彼此間如何運作。雖然上述的研究提供系統性思考的教學策略，但是主要提供學生欠缺的相關概念知識作為系統思考的前提條件，忽略當學生概念建構充足之後如何讓學生掌握系統間的成分運作。

## 7.理念與研究架構

基於文獻探討形成本研究架構示意圖(見圖 2)，主要強調如何藉由系統性思考教學協助學生針對社會性科學議題考量多重面向，進行論證以形成個人最後之決策立場。相關的教學策略內容主要有(1)協助學生學習相關的科學內容與證據；(2)能夠幫助學生思考與反思不同立場的觀點；(3)輔助學生思考不同角色如何看待相同議題；(4)協助學生提出適切的解決之道作為因應方式。本研究探討學生面對社會性科學議題進行決策

時所考慮的因素面向與論證內容，進而思考學生在系統性教學前、後系統性思考能力的表現差異。

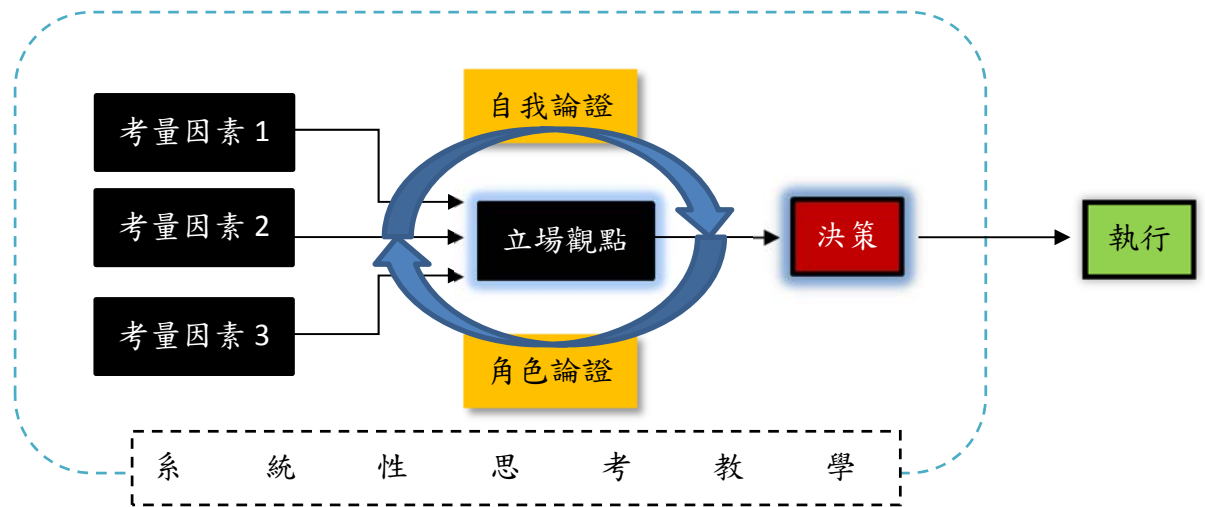


圖 2 本研究架構示意圖

## (二)計畫目的與研究問題

我們希望個人在面對社會性科學議題時能夠從多元角度切入並持續進行論證的歷程之後，才會形成最後的最佳決策結果。本研究設計系統性思考教學模組協助學生思考基改議題的不同面向，藉以找出學生面對基改食物等社會性科學議題的最佳策略方案內容為何。因此，本研究目的為探討學生面對社會性科學議題時的決策內容。研究問題羅列如下：

- 1.教學前，高一受試學生系統性思考能力為何？
- 2.教學後，高一受試學生系統性思考能力為何？
- 3.系統性思考教學如何促進學生發展系統性思考能力？
- 4.教學後，高一受試學生認為課程的收穫為何？

## 二、執行單位對計畫支持(援)情形與參與計畫人員

本計畫主要參與人員為計畫主持人以及協同主持人。經過審查確認核可之後，商請學校行政人員配合相關事宜。行政對口單位成員包括：教務主任、教學組長、實研組長、設備組長以及相關協助行政人員。任職學校方面包含校長等行政人員皆全力配

合研究方案進行。

### 三、研究方法

本研究探討系統性思考教學如何協助高中一年級學生提升社會性科學議題的系統性思考能力，以探索學生教學前後論證與決策內容的差異。研究工具主要為系統性思考決策問卷。

#### (一)研究對象與情境

本研究以便利取樣的方式選取新北市某完全中學高中部一年級 35 名學生為受試對象。該校學生多數為中社經背景，低社經背景約占 1%，歷屆畢業學生就讀國立大學與私立大學之比例約為 3:7。授課內容為專題研究課程 2 個研究主題之一。專題研究課程每周一節課，每節課 50 分鐘，基改議題共進行 12 周。學生在教師的引導之下，進行基改議題的資料搜尋、反思、論證、討論與評價。基改議題的資料內容主要是由學生自行搜尋並非由教師主動提供，教師作為引導的角色從旁觀察與提醒可能的思考方向。

#### (二)教學設計

本研究將社會生態系統觀點整併至 Yu 和 Yore(2013)提出之論證教學模式，並根據系統思考能力設計教學策略。教學流程如圖 3 所示，一開始教師先引導出學生對於基改議題的特定想法，讓學生將這些探討的因素繪製成心智圖，作為學生一開始的初始觀點。接著進行 3 周立場觀點的自我反駁，由設定的立場中不斷地藉由自我反駁深入獲得贊成與反對方的想法。此時，教師適時引導學生需要考量的因素不應該侷限在特定範圍系統之內，而是應該以整體性的思考模式，探討經濟、環境、生態、政策之間的關聯與動態本質。再由學生扮演不同的角色，以消費者、科學家、家庭主婦與商人等多元的角色探討基改議題的想法。緊接著學生需要整理自我反駁與角色論證的論點內容形成個人對於基改議題的心智圖，再藉由小組討論相互切磋繪製小組心智圖。各小組依據心智圖開始思考模擬公聽會的說明與答辯內容，藉由準備、整理、說明與答辯精緻化自身的想法。再者，從模擬公聽會的說明與答辯內容中獲取基改議題的優點與缺點，並思索如何制定合宜的政策內容。最後，小組需要發表各自的政策內容並票選適切的政策內容小組。

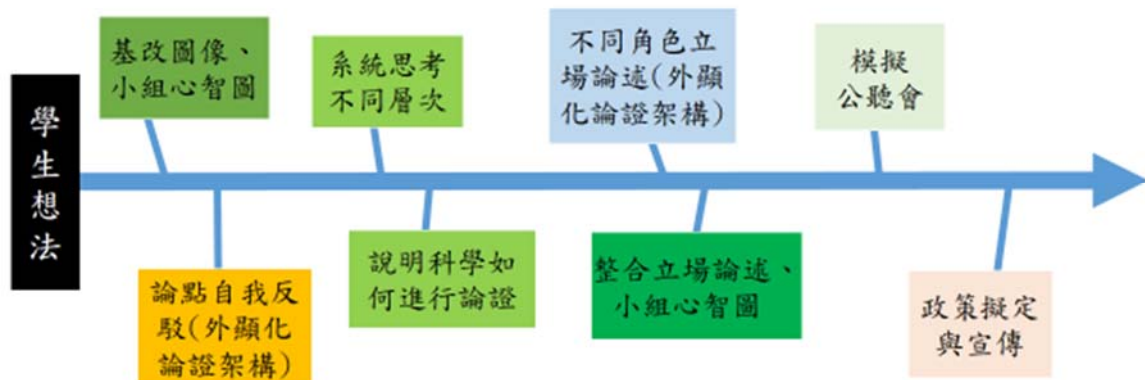


圖 3 教學流程圖

教學內容與系統性思考的關聯性如表 2 所示，教師引導學生呈現基改食物中涉及的相關系統與其物件成分，尤其強調人類與環境的系統關聯。接著讓學生確認可能影響基改食物合宜與否的考量因素，再經過角色扮演的的方式藉由指定角色呈現特定角色的立場論述。當學生論述完成之後，教師綜合呈現學生的想法並補充未考量之處。接著，與扮演不同角色的學生分享立場論點，並嘗試收集資訊找出不同角色立場論證決策缺失的改進之道。最後，教師帶領學生反思不同立場論證的優缺點以決定如何採取何種行動。

### (三)研究工具與系統思考能力

本研究的工具主要為系統性思考決策問卷。根據社會性科學議題的特性，修改自 Ben-Zvi Assaraf 與 Orion(2010)8 項系統性思考能力，形成本研究之 6 項系統性思考能力。本問卷以設計核電廠情境讓學生說明或繪製概念圖形式，說明情境內如何進行以系統性觀點解決問題。情境問題與相對應的系統思考能力如表 2 所示：



表 1 系統性思考能力與決策問卷之對應

試題內容	對應能力
1.盡可能寫出影響台灣核四廠商業運轉與否的相關因素。(可以用畫圈標示，例如影響成績的因素：讀書時間)	系統的組成：議題的相關因素
2.根據第 1 題，盡可能說明這些變因之間的關係。(可以用畫圈與線條表示，例如影響成績的因素：讀書時間—專心聽講)	組成成分之間的關聯：相關因素之間的關聯
3.根據第 1、2 題的回答，請提出更全面性的思考架構以說明核電廠商業運轉的因素與因素之間關係，並解釋為何是更全面的思考架構。	關係架構組織系統：生態、政策、經濟之間的系統
4.請問如果你是政府官員你會如何說服民眾贊成核四商業運轉? 5.請問如果你是貢寮居民你會如何反駁政府贊成核四商業運轉?	系統隱含的面向：知悉正反立場內部的意見
6.請說明如果其中一項核四廠商業運轉的因素改變時，其他的因素會如何受到影響與改變。請說明核四廠商業運轉的不同因素間動態消長的情形(以核廢料與電力供應為例)。	系統的動態關係：當因素改變時，其他因素如何變化
7.如果你是國家高層的決策者，請衡量各方贊成或反對核四商業運轉的優缺點。	反思及預測：整合正反意見，提出政
8.承 7 請提出一個合宜性的政策，並請說明此項政策對國家未來的影響是甚麼?	策並預測未來發展

表 2 系統性思考技能與基改食物議題的連結與教學方案說明

系統性思考成分	與基改議題的意義說明	教學活動舉例
確認系統的組成	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 確認基改食物中涉及的相關系統與其物件</li> <li>● 確認影響決策基改食物合宜與否的考量因素</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 讓學生自行寫出或說出基改食物議題牽涉的範圍與相關考量的因素</li> </ul>
確認系統組成成分之間的關聯	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 確認基改食物中涉及的相關系統的關聯性</li> <li>● 考量影響基改食物合宜與否的因素間的關聯性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 讓學生自行寫出或說出基改食物議題牽涉的範圍與相關考量的因素間的關聯性</li> </ul>
透過一個關係架構組織系統的成分與歷程	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 提升社會生態系統觀點整併社會與生態面向說明基改食物議題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 教師協助學生以社會生態系統觀點整合先前考量的多項因素</li> </ul>
知道系統普遍的特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 理解基改食物在社會生態系統中的定位與其特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 讓學生形成一個隨機指派的角色立場論述(例如：政府官員、農夫、家庭主婦、醫生等)與其解決之道</li> <li>● 提供相關角色立場的概念資訊內容以擴大學生考量因素</li> </ul>
確認系統中的動態關係	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 理解基改食物在社會生態系統中的與其他相關因素或系統的關聯性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 讓學生針對被指派角色的立場形成論點，並確認論點的影響。</li> </ul>
理解系統中隱含的面向	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 從分享的資源或是不同立場的論述中找出系統隱含的面向</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 與不同角色立場分享自己的論點</li> <li>● 評估其他不同角色的論點，並收集資訊找出其他不同角色決策論證的優點與缺失</li> </ul>
理解系統循環的本質	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 理解基改食物的議題牽涉多項因素，透過不斷地思考與辯證才能獲得較為理想的解決之道</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 收集資訊找出不同角色立場論證決策缺失的改進之道</li> <li>● 反思不同立場論證的優缺點以決定如何採取行動</li> </ul>
能夠反思並對未來進行預測	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 反思整個基改議題的決策歷程，並提出解決之道以因應未來相似事件的處理。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 反思不同立場論證的優缺點以決定如何採取行動</li> </ul>

#### (四)資料處理與分析

質性資料為檢驗學生面對多因素社會性議題時具備的系統性思考的決策內容(見表 1)。主要依據並修改自 Ben-Zvi Assaraf 及其同儕的分類(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Ben-Zvi Assaraf et al., 2013)，將其原先 8 種系統思考能力變更為 6 種，學生須以教學歷程中學習到的想法針對核能電廠進行作答。如表 3 所示，根據學生作答情形將不同能力區分為 0、1、2、3 等級，其中等級 0 表示無法說出相關內容，等級 1 表示只能以特定單一系統進行作答，等級 2 表示能以兩個系統的因素進行作答，並說明跨系統的關聯性，等級 3 表示能說明 3 個系統以上的因素內容，並說明跨系統之間的關聯。同時，根據學生編碼結果以單組前、後測 t 檢定進行量化分析，效果量以 d 值呈現(Cohen, 1988)。

表 3 學生系統性決策編碼表

	0	1	2	3
1.系統的組成：欲探討議題的相關因素	無法說明	提出1個系統內相關因素	提出2個系統內相關因素	提出3個以上系統內相關因素
2.組成之間的關聯：欲探討議題相關因素之間的關聯	無法說明	說明1組系統內相關因素的關聯	說明2組系統內相關因素的關聯	說明3組以上系統內相關因素的關聯
3.關係架構組織系統：探討環境、安全、經濟之間的系統	無法說明	以單一系統(如：環境)架構核四議題	以兩個系統關聯(如：環境與經濟)架構核四議題	以三個以上系統關聯(如：環境、安全與經濟等)架構核四議題
4.系統的動態關係：當因素改變時，其他因素的變化	無法說明	說明1個系統內部連動關係(如：環境內部的關係影響)	說明1個跨系統連動關係(如：環境的因素如何影響經濟)	說明2個跨系統連動關係(如：環境的因素如何影響安全再如何影響經濟)
5.系統隱含的面向：知悉正反立場內部的意見	無法說明	以1個系統的因素陳述雙方的想法	以跨1個系統的因素陳述雙方的想法	以跨2個系統的因素陳述雙方的想法
6.反思及預測：整合正反意見、提出政策並預測未來發展	無法說明	陳述雙方立場想法，提出涵蓋1個系統的政策	陳述雙方立場想法，提出涵蓋2個系統關聯的政策	陳述雙方立場想法，提出涵蓋3個系統關聯的政策

#### 四、執行進度 (請評估目前完成的百分比)

本研究流程分為四個階段，第 1 階段主要搜集資料進行文獻探討，針對目前文獻中已有針對社會性科學議題所探討的相關論點進行整理，以發展質性問卷；第 2 階段時實際進行教學蒐集高一學生對於基改食物的核心論點；第 3 階段為登錄所蒐集的資料並進行分析；最後，第 4 階段為撰寫研究報告。詳見下圖 5：



圖 5 本研究工作流程圖

目前本研究計畫內容所完成的部分為第 1 至 4 階段，主要包含收集相關文獻資料、研發相關試題以及商討教學策略與修改作為實際教學可行度之分析。參照高一專題研究課程進度，目前已經完成實際教學以及系統思考問卷的前、後測驗。目前工作在進行階段 5，主要將學生質性作答結果謄錄至試算表中以利作後續質性資料探討以及進行量化分析。

## 五、預期完成

預期完成的內容包含設計系統性思考決策教學活動、增進學生系統性思考的能

力、尋找影響學生系統性思考的限制以及評估適切於高中學生基改食物議題相關的論證因素。

#### **(一)設計系統性思考決策教學活動**

本研究嘗試將社會生態系統觀點納入基改食物的社會性科學議題之中，透過整合系統性觀點與結構性的爭論模式，從提供學生相關知識到模擬會議的角色扮演進行的公民參與，再到透過模擬會議而提出可能相關的解決方案。

#### **(二)增進學生系統性思考的能力**

透過融入社會性科學議題而設計系統性思考教學方案，讓學生能夠從上位觀點思考不同次系統的關係與其交互作用的過程，透過爭論與思辯的過程提供學生機會反思自己立場觀點的不足，藉以增進學生以更廣的系統思考解決的方案。

#### **(三)尋找影響學生系統性思考的限制**

研究顯示學生對於系統性思考具有侷限性，而科學性社會議題通常需要透過多重因素交互作用的才能理解，學生的理解會受到知覺的限制而形成推理或是論證的困難，因此有必要找出高中學生對於相關社會性科學議題的侷限因素，作為爾後協助教師輔助學生提升系統性思考能力的參考依據。

#### **(四)評估適切於高中學生基改食物議題相關的論證因素**

透過本研究尋找學生評估基改食物議題廣度並諮詢相關教師審查相關因素做為國中學生論證探索的適切性，以提供系統性教學的參考依據。

## **六、檢討**

### **(一) 事先規劃並與同仁的協調**

計畫的推行並非單獨 1 人可以順利完成，需要同時動員相關學校同仁的協助。目前會先思考可能需要相互搭配的情形，先行討論出適切的方案，再實際運作。例如：學生進行論證時需要使用電腦教室以方便進行茲論的搜尋與論證，則電腦教室的使用則須先與負責單位的同仁協調。

### **(二) 編碼表的製作與修訂**

編碼表的制定是依據並修改相關學者所提出之系統性思考能力，然而此編碼表是第一次運用在社會性科學議題之中，因此，與共同計畫主持人需要反覆思考的定義以及運用的情境，並整合學生系統思考問卷的作答內容。

### (三) 學生正向回饋課程

期末學生對於課程反思中認為所學習到的包含(1)搜尋、處理資料與形成論點的能力提升；(2)能以多元角度看待相同議題；(3)對於基改議題相關知識的提升。未來將納入科學建模與論證擴展成為 1 學期 18 節課的選修課程。

### 參考文獻

- 教育部 (2006)。國民中小學九年一貫課程綱要—自然與生活科技領域。臺北：行政院教育部。
- 教育部 (2015)。十二年國民基本教育自然領域課程綱要草案。臺北：教育部國家教育研究院。
- 靳知勤、楊惟程和段曉林(2010)。引導式 Toulmin 論證模式對國小學童在科學讀寫表現上的影響。科學教育學刊，18(5)，443-467。
- 鐘建坪 (2014)。複雜系統觀點在擴散教學的應用。台灣化學教育，1(1)，99-102。
- Anderies, J. M., Janssen M. A., & Ostrom, E. (2004). A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecology and Society*, 9(1), 18. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18/>
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orpaz, I. (2010). The “life at the poles” study unit: developing junior high school students’ ability to recognize the relations between earth systems. *Research in Science Education*, 40(4), 525–549.
- Ben-Zvi Assaraf, O., Dodick, J., & Tripto, J. (2013). High school students’ understanding of the human body system. *Research in Science Education*, 43(1), 33-56.
- Birmingham, D., & Barton, A. C. (2014). Putting on a green carnival: Youth taking educated action on socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(3), 286–

- Brandstädter, K., Harms, U., & Großschedl, J. (2012). Assessing system thinking through different concept-mapping practices. *International Journal of Science Education*, 34(14), 2147-2170.
- Chang Rundgren, S. N., Rundgren, C. J. (2010). SEE-SEP: from a separate to a holistic view of socioscientific issues. *Asia-Pacific Forum Science Learning and Teaching*, 11(1), article 2.
- Chin, C., & Osborne, J. (2010). Students' questions and discursive interaction: their impact on argumentation during collaborative group discussions in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 883–908.
- Cinici, A. (2016). Balancing the pros and cons of GMOs: socio-scientific argumentation in pre-service teacher education. *International Journal of Science Education*, 38(11), 1841-1866.
- Davies, I. (2004): Science and citizenship education, *International Journal of Science Education*, 26(14), 1751–1763.
- Dillon, J. (2009). On scientific literacy and curriculum reform. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4(3), 201-213.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
- Evagorou, M., Jimenez-Aleixandre, M. P., & Osborne, J. (2012). Should we kill the grey squirrels? A study exploring students' justifications and decision-making. *International Journal of Science Education*, 34(3), 401-428.
- Evans, J. H. (2002). *Playing God? Human genetic engineering and the rationalization of public bioethical debate*. Chicago: University of Chicago Press.
- Galvão, C., Reis, P., Freire, S., & Almeida, P. (2010). Enhancing the popularity and the relevance of science teaching in Portuguese science classes. *Research in Science*

*Education*, 41(5), 651–666.

Halliday, A., and M. Glaser. 2011. A management perspective on social ecological systems: a generic system model and its application to a case study from Peru. *Research in Human Ecology*, 18(1), 1-18. [online] URL:

<http://www.humanecologyreview.org/pastissues/her181/halliday.pdf>.

Hodson, D. (2008). *Towards scientific literacy. A teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science*. Rotterdam: Sense.

Levinson, R. (2006). Towards a theoretical framework for teaching controversial socio-scientific issues. *International Journal of Science Education*, 28(10), 1201–1224.

OECD. (2006). *Assessing, scientific, reading and mathematical Literacy - A framework for PISA 2006*. Paris: OECD.

Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419-422.

Ratcliffe, M., & Grace, M. (2003). *Science education for citizenship: teaching socio-scientific issues*. Maidenhead: Open University Press.

Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/Science literacy. In S.K. Abell & N.G. Lederman, (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729–780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513–536.

Sadler, T. D., Barab, S., & Scott, B. (2007). What do students gain by engaging in socioscientific Inquiry? *Research in Science Education*, 37(4), 371–391.

Skamp, K., Boyes, E., & Stanisstreet, M. (2013). Beliefs and willingness to act about global warming: Where to focus science pedagogy? *Science Education*, 97(2), 191-217.

Thompson, P. B. (2007). *Food biotechnology in ethical perspective*. 2nd Edition, Dordrecht, NL: Springer.



Walker, K., & Zeidler, D. L. (2007). Promoting discourse about socioscientific issues through scaffolded inquiry. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1387–1410.

Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35–62.