

## 系統思考能力的分析架構、評量與教學：K-12 科學教育相關 實徵性研究之文獻回顧

林英杰 李文瑜\* 莊秋蘭

### 摘要

研究旨在透過文獻分析，回顧過去國外科學教育領域中的系統思考能力相關研究，歸納其適用年級與學科、系統思考能力分析架構，以及評量與教學的趨勢並提出建議。研究者於 SCOPUS 與 Web of Science 資料庫搜尋 2000 年到 2019 年的英文期刊論文，經有系統篩選後，針對 20 篇文章進行分析。分析結果發現，系統思考的研究對象以國、高中生為主，有些研究以小學生為對象，其學習成效主要在基礎系統思考能力的獲得。涉及的學科領域則以生態、生物以及地科最為常見，所回顧的文獻中並沒有應用於物理領域，顯示系統思考並非適合融入所有自然科學領域。對於系統思考能力的分析架構，共可歸納出組件連結模式、階層發展模式、複雜系統模式及內容導向模式等四種類型。在系統思考量測方法上許多研究採多元評量，最常被採用的是開放性試題與晤談。至於教學策略，許多研究都採取了多元的教學活動，且多半包含知識統整活動，部分研究則採用電腦模擬進行教學。由於文獻中已有較為完整的系統思考能力分析架構，未來建議可以進行學習進程或是縱貫性研究，並將資訊科技應用於系統思考評量上。最後，我們對系統思考在教學與評量的實務建議包含有：教學上應優先嘗試初階的組件連結模式；教學方法則以明示教學法協助學生建立系統思考概念鷹架、嘗試採用多元的活動設計、引進科技輔助以及引導學生廣泛地將系統思考應用於各種生活情境中；評量方面則是建議以概念圖、概念繪圖及概念填空題進行，容易實施且能獲得較多訊息。

關鍵詞：系統思考、系統思考教學、系統思考評量、系統思考分析架構

---

林英杰，國立彰化師範大學科學教育研究所博士

\* 李文瑜，國立臺灣師範大學資訊教育研究所教授（本文通訊作者）

莊秋蘭，臺中市新光國民小學教務主任

電子信箱：swylee@ntnu.edu.tw

來稿日期：2020 年 11 月 11 日；修稿日期：2021 年 7 月 6 日；採用日期：2021 年 9 月 27 日

## A Review of Empirical Studies about Systems Thinking in Science Education

Ying-Chieh Lin   Silvia Wen-Yu Lee\*   Chiu-Lan Chuang

### Abstract

The aim of this research was to review past empirical studies about systems thinking in science education in order to understand the applied grade levels and subject areas, the analytical framework for systems thinking, and its trends in teaching and assessment. We searched for research articles published from 2000 to 2019 in the SCOPUS and Web of Science database and found 20 qualified studies. The results showed that most studies were conducted at junior high schools and senior high schools. Some studies were conducted at the elementary school level and found gains in fundamental competence of systems thinking. The most frequently applied subject areas were ecology, biology, and earth science. In this review, no studies applied systems thinking in physics. This indicates that systems thinking might not be suitable for all subject areas of science. In terms of the analytical framework for systems thinking, different studies invented different frameworks. The common features of the systems thinking framework include components recognition, as well as the mutual interactions and influence of different components. Regarding assessment for systems thinking, some studies used multiple assessments, and the most commonly used types of assessments were open-ended questions and interviews. Many studies adopted a variety of teaching activities and included knowledge integration activities. Some studies also used computer simulations to support learning. For future research, we suggest investigating the learning progression of systems thinking or conducting longitudinal studies by applying the available analytical framework of systems thinking. Future studies can also apply computer technology in the assessment of systems thinking. Finally, we offer some specific suggestions for teaching and assessments of systems thinking.

**Keywords:** Systems Thinking, Teaching of Systems Thinking, Assessing Systems Thinking, The Analytical Framework for Systems Thinking

---

Ying-Chieh Lin   PhD Student, Graduate Institute of Science Education, National Changhua University of Education

\* Silvia Wen-Yu Lee   Professor, Graduate Institute of Information and Computer Education, National Taiwan Normal University (Corresponding author)

Chiu-Lan Chuang   Dean, Taichuang Municipal SinGuang Elementary School

E-mail: swylee@ntnu.edu.tw

Manuscript received: November 11,2020; Modified: July 6, 2021; Accepted: September 27,2021

## 壹、前言

系統思考 (systems thinking) 的發展始於 1960 年代，最早是由麻省理工學院 Jay W. Forrester 所提出的系統動力學 (systems dynamics) 而發展出來的一種問題解決策略 (Senge, 1990)，主要透過電腦模擬的方式，用來解決企業管理與社會問題。它強調問題的發生往往因為整體系統中的許多因素彼此交互作用而成，因此面對問題時，唯有採取整體性的思維，才能看清問題的全貌。韋氏大字典 (Merriam Webster Collegiate Dictionary) 對系統的解釋為：一群規律互動的物件所形成的整體。Kauffman (1980) 則認為，系統是一群部件的組合，它們之間會彼此互動，並以一個整體的方式來運作。從上述定義來看，系統應具有三個基本特徵：一、系統由若干物件組成。二、組成物件之間會相互作用。三、物件間的交互作用使系統具有整體性的功能。而隨著時代的演進，系統思考也越顯現出其重要性，目前系統思考已被廣泛運用於商業、管理學、教育、科學、醫療等領域中。

近幾十年來，科學教育界也逐漸重視對學生系統思考能力的培養。主要原因一方面是科學教育強調學生問題解決能力的養成，而問題解決能力往往來自於對問題能夠進行系統性的分析 (陳可恭, 2002)；另一方面則是因為科學學習內容與概念，往往隱含著複雜系統運作的本質，在教學中若能引進系統式的整合性觀點，將能讓學生對真實世界的運作，具有更清晰的視野 (湯偉君、邱美虹, 2007)。此外，系統思考能力和科學

概念學習之間的關係也被許多研究證實，如 Verhoeff, Waarlo & Boersma (2008) 指出，將系統思考作為生物學的基本原則之一，可能會提高學生的連貫理解；Vachliotis, Salta 與 Tzougraki (2014) 的研究則證實，學生在科學領域中的系統思考能力的水準，與其對科學概念的學習之間，具有顯著的關聯。值得注意的是，有學者建議應該從多個角度來審視系統思考，因為不同的系統思考架構都有其強調的面向，而這些面向可能都有其適用的學科概念，因此為了促進跨學科學習，我們需要一種可跨領域通用的系統思考架構 (Mambrey, Timm, Landskron, & Schmiemann, 2020)，而建立系統思考通用架構的第一步，便是對目前各學科領域所採用的系統思考能力架構有初步的了解，而這也是本研究的主要目的之一。

在晚近的教育改革中，系統思考已被納入各種課程標準或關鍵能力架構中，如：美國科學促進協會 (American Association for the Advancement of Science [AAAS]) 在 Project 2061 的綱領中明確指出，應將系統 (systems)、模型 (models)、守恆 (constancy)、改變模式 (patterns of change)、演化 (evolution) 與尺度 (scale) 訂定為科學教育的共同主題 (AAAS, 1989)。美國國家科學研究委員會 (National Research Council [NRC]) 將系統思考能力列為個人必備的五項 21 世紀技能之一，隨後在 2012 年所提出的 K-12 科學課程架構中，也將系統與系統模型 (systems and system models) 列為重要的跨領域概念，強調可透過對系統界線의 清楚定義及建立系統模型，來做為理解

科學與工程的工具 (NRC, 2012)；我國的十二年國民基本教育課程綱要總綱中，將系統思考與問題解決列為學生必備的九大核心素養項目之一，並於各領域綱要中進行詮釋 (教育部, 2014)。

系統思考已廣泛地被運用於各個領域，近年來在科學教育研究領域也受到許多關注 (Gilissen, Knippels, & van Joolingen, 2020)。但研究者在分析我國 108 課綱中有關系統思考的內涵時，發現不論在總綱或自然科學領域綱要中，都並未針對系統思考有進一步的定義與解釋。例如總綱中對於「系統思考與問題解決」核心素養項目的說明為：

具備問題理解、思辨分析、推理批判的系統思考與後設思考素養，並能行動與反思，以有效處理及解決生活、生命問題。(p.5)

而在論及此核心素養於各學習階段的具體內涵時，國中階段科學領綱中提及的內涵則為：

具備理解情境全貌，並做獨立思考與分析的知能，運用適當的策略處理解決生活及生命議題。(p.5)

研究者認為，108 課綱雖然將「系統思考與問題解決」列為核心素養之一，但其內涵卻偏重於科學探究與問題解決的歷程，並未能清楚指出系統思考的特色與獨特性，較難給予教師在教學現場明確的教學指引方向，亦難提供教師對於系統思考能力進行評量的方法與建議。

系統思考能力雖然近年來備受重視，但在國內相關研究卻不多見，甚至課程綱要中也未針對其內涵給予明確定義，多數教師對於此核心素養的教與學仍不甚了解。研究指出，在職教師對於系統思考能力的技巧可透過在職訓練加以提升，且師資培育者及教師都應投入系統思考的學習，以促進學生系統思考能力的發展 (Ateskan & Lane, 2018)，而教師於系統思考教學的專業發展則有助於弭平研究與教學實務間的落差 (Gilissen, Knippels, Verhoeff, & van Joolingen, 2019)。提升系統思考能力相關教學知能的第一步，便是對系統思考的定義、架構、教學和評量等面向有基本的認識，本研究便是以此為出發點，希望藉由分析國外科學教育領域近 20 年來的系統思考實徵性研究，將結果提供予在職教師及職前教師作為增進自身系統思考能力教學知能的參考。

近年來教育目標強調素養 (literacy) 和能力 (competence) 的養成 (The Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2016)。能力定義為針對特定情境的需求，可以處理該種情況的意向 (disposition) (Glaesser, 2018)。許多能力與 21 世紀職場的關鍵競爭能力和素養息息相關，因此對於能力的定義、精熟程度標準的訂定與評量方式的發展皆成為教育改革上重要的議題與目標。能力精熟程度的目標確立可能影響到教師教學的實踐 (NRC, 2012)。系統思考是一種能力，其內涵包括能了解系統如何運作、系統中某部分的改變如何影響其它部分、以及能採取大局觀 (big picture perspective) 等 (NRC, 2010)。這樣的定義仍需要有更進

一步的操作型定義與在實際評量與教學可以參考的細項架構，然而以系統思考為主體的相關資料卻很少見。因此，本研究選擇以 K-12 年級系統思考能力為文獻回顧主軸，針對國外科學教育期刊文獻中的實徵性研究，探討其所採用的系統思考能力分析架構、相關評量工具以及可能促進系統思考的教學方式等面向，以期找出一些可做為國內未來相關研究以及 K-12 年級系統思考教學評量的參考脈絡。

本研究聚焦在 K-12 年級的科學教育，因此文獻回顧不包含大學以上的研究以及其他領域的系統考研究。此外，研究者在搜尋科學教育文獻中系統思考相關研究後，發現國內目前相關研究僅以碩博士論文為主，本文獻回顧因此主要整理國外期刊文獻。

本研究的待答問題為：

- 一、科學教育領域中系統思考能力相關研究的研究概況為何？
- 二、科學教育領域中系統思考能力的分析架構為何？
- 三、科學教育領域中系統思考能力評量工具有哪些種類？
- 四、科學教育領域中促進系統思考之相關教學方式為何？

## 貳、研究方法

本研究採用文獻分析法 (document analysis)，針對國外系統思考在科學教育領

域的相關研究，進行有系統的文獻蒐集與分析，以期找出系統思考在科學教育領域的實施現況，讓職前及在職教師對系統思考的定義及教與學有基本的認識。主要研究步驟為資料蒐集、資料分析及資料編碼，茲將詳細過程敘述如下：

### 一、資料蒐集

因國內科學教育領域系統思考相關研究仍不多見，因此本文的分析對象將以國外系統思考文獻為主。研究者自 SCOPUS 與 Web of Science (WOS) 資料庫中，搜尋國外 2000 年至 2019 年間與系統思考有關的文獻，取系統思考 (systems thinking) 與各科學關鍵字 (science, biology, chemistry, physics, earth, environmental, ecology) 的交集進行文獻搜尋，並將文獻類型限制為文章 (article)，再設定過濾依據的學科類別為 Social Science；至於 Web of Science 則僅搜尋 Social Science Citation Index (SSCI) 期刊文章並將領域限定為教育研究 (education, educational research)，最後分別從 SCOPUS 與 Web of Science 兩資料庫中獲得系統思考相關文獻 71 篇與 42 篇，扣除重複的文獻後，共計 107 篇。

初步找出相關文獻後，再依以下條件進行文章篩選：(一) 研究對象為 1-12 年級學生。(二) 研究涉及的科目必須是與自然科學相關的學科，即：物理、化學、生物、地球科學、環境科學、生態學。(三) 必須為實徵性研究，且評量架構中必須包含系統思考相關者。依上述文獻篩選條件，三位

科學教育研究者依據上述篩選條件，針對 SCOPUS 與 WOS 兩個資料庫中初步篩選出的文獻，依據篇名及摘要進行初步篩選，若無法從篇名及摘要判斷時則予以保留。經上述篩選過程，共刪除不相關文獻 77 篇，選出系統思考文獻 22 篇，及 8 篇無法判斷是否相關的文獻。三位研究者針對此 30 篇文獻全文進行閱讀後，再刪除 10 篇不符合本研究篩選條件之文獻，最後獲得系統思考文獻共 20 篇。

有學者認為系統與模型為相關的概念，而系統思考能力可能與建模能力有部分相關，但因為建模能力的文獻回顧已相當完整 (Namdar & Shen, 2015; Nicolaou & Constantinou, 2014)，且兩者的分析與理論架構仍然有所不同，故不將建模的文獻列入此次的文獻回顧中，但 Verhoeff 等人 (2008) 的研究雖然談及了系統建模，但因其內容仍涉及系統思考能力的教學，並提出了系統思考能力的分析架構，因此在經過三位研究者討論後，決定將此篇納入為分析文獻之一。此外，部分文獻雖提及系統思考但未包含能力指標或是系統思考能力的分析架構，這類文獻也予以剔除。基於上述篩選條件，本研究透過資料庫所搜尋，且符合研究條件之實徵研究文獻數量不多，自 2000 年至 2019 年止，K-12 年級階段的系統思考能力相關研究共 20 篇（如附錄 1）。

## 二、資料分析

### （一）資料編碼與分析

研究者針對每一篇文獻進行紀錄與編

碼內容，包括研究目的、研究對象、研究學科、系統思考能力分析架構、系統思考量測方法與工具、教學方式以及研究結果。研究者將這些資料採用由下而上的質性歸納分析方法，將各研究中所採用的系統思考能力分析架構進行分析，歸納四種不同的分析架構類型。另外，針對研究工具分類則參考 Nicolaou 與 Constantinou (2014) 的編碼類別，將量測工具區分為晤談、試題、資料轉譯、概念圖、繪圖、電腦軟體、單字聯想以及凱利方格共八大類，其中試題部分再細分為：選擇題、量表（問卷）、是非題、開放式試題、填空題。另外，也針對研究對象、學科、評量工具、教學方法等資料，依據其類別特性進行分類整理，也以其數量進行加總。

### （二）評分者信度

本研究的編碼工作由三位共同作者合作進行，首先，三位研究者各自對一篇研究依據編碼架構進行編碼後，將編碼結果逐一進行討論，並對有疑義之處進行協商及微調編碼架構。之後，再由三位研究者各自依據微調後的編碼架構，針對相同的兩篇文獻進行編碼，並以評分者間同意百分比計算出評分者信度為 0.86。其中，三位研究者編碼不一致之處主要出現於評量工具的認定，例如：Hrin, Milenković, Segedinac & Horvat (2017) 採用的 SSynQs (systemic synthesis questions) 屬於概念圖填空，研究者進行系統思考檢測工具的編碼時，便出現「填空」與「概念圖」兩種不同的編碼。針對編碼不一致之處，由三位研究者逐一討論協商，並再

次確認編碼標準的一致性。

## 參、結果與討論

本節將先針對系統思考文獻所涉及的研究對象、學科主題等概況進行討論，再就研究者所歸納出的系統思考能力分析架構類型逐一進行介紹，最後分析系統思考能力的評量工具以及常見的教學策略。

### 一、系統思考能力的研究概況

#### (一) 研究對象

就研究對象而言，以國中與高中學生為研究對象者占了半數以上，而專以國小學生為研究對象者則有 4 篇，另有 3 篇的研究對象則不僅為單一學習階段的學生，故編碼分類為「混合」。這類研究中，Brandstädter, Harms 與 Großschedl (2012) 的研究以 154 位四年級學生及 93 位八年級學生為研究對象；Rodriguez, Kohen 與 Delval (2015) 以 9-16 歲的學生為其研究的訪談對象；Jin, Shin, Hokayem, Qureshi 與 Jenkins (2019) 則以國高、中生各 298 位為其研究對象。

Richmond (1993) 指出學習者需廣泛的認知能力才得以進行系統思考，而本研究分析的文獻中，有多數以國、高中生為研究對象，研究者猜測這與國、高中學生的認知發展已達形式運思階段，以其為系統思考研究對象屬合理的選擇。儘管有學者表示，系統思考屬於高階思考能力，通常超出小學生的認知能力 (Frank, 2000)。但在分析的文獻中，我們發現有 4 篇是專以小學生為系統

思考的研究對象，而其研究結果則顯示，透過適當的教學設計及教學引導，小學生的系統思考能力是可以有效提升的。這樣的結果和 Boersma, Waarlo 與 Klaassen (2011) 的主張相符，他們認為系統思考的教學應儘早於小學階段實施，為學生提供與系統概念相對應的基本認知結構，這將有助於他們未來發展系統思考能力。不過我們發現在這此次分析的研究中，小學生系統思考能力的提升主要集中在基礎的系統思考能力 (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010b; Danish, Saleh, Andrade, & Bryan, 2017; Evagorou, Korfiatis, Nicolaou, & Constantinou, 2009; Hipkins, Bull, & Joyce, 2008)，至於較高層次的系統思考能力，如辨識系統的循環 (cyclic) 本質、隱藏向度 (hidden dimensions) 等，教學介入的提升成效並不明顯 (Ben-Zvi Assaraf, & Orion, 2010b)。

#### (二) 系統思考應用之學科主題

本文獻分析將各篇研究所涉及的學科主題，依常見的自然科學科目，區分為：物理、化學、生物、地球科學、環境科學及生態學六類，其中環境科學是指環境汙染相關的主題，分類結果詳見表 1。從學科主題的分布來看，生物、地球科學及生態學為系統思考實徵性研究涉及的主要學科。其中，地球科學的主題集中於水循環及岩石循環；生物科主題則包括人體系統、食性關係 (feeding relationship)、細胞、與基因工程；生態學則聚焦於沼澤生態、河流生態、森林生態及國家公園與自然保留區的生態環境。本研究分析的文獻中，僅有 Vachliotis 等人 (2014) 以

表 1：系統思考研究領域科目與學習階段分布

學習階段	領域或科目						總計
	物理	化學	生物	地科	環境	生態	
國小	0	0	1	1	0	3	5
國中	0	0	1	4	0	2	7
高中	0	2	3	0	0	0	5
混合	0	0	0	0	1	2	3
總計	0	2	5	5	1	7	20

及 Hrin、Milenković、Segedinac 與 Horvat (2017) 以有機化學為研究主題，至於以物理科為學科內容者，在 K-12 的學習階段則尚未有相關研究發表，不過我們在文獻搜尋時也發現，有幾篇以大學生為對象的研究以物理科為研究主題。

針對這樣的情形，我們或許可以從學科內容特性的觀點來解讀。生物、地科、生態等科目的學習內容，通常包含了以某一主題為核心的系統性內容，例如：水循環、人體恆定系統、碳循環等，而學習這些內容主題，學習者往往需要了解其組成元件間的各種相互牽連的複雜關係，這樣的認知需求正好是我們所強調的系統思考能力，因此環境與生物科學是學生最能表現系統思考能力的領域 (Hrin et al., 2017; Kali, Orion, & Eylon, 2003)。而以物理、化學為主要學習內容的研究，在此次分析的文獻中較少看到，這或許與本研究將分析範圍縮限於 K-12 年級有關，並不能武斷地認為物理或化學領域就不適合進行系統思考的教學與研究。就有學者主張，當以微觀的觀點來看待化學時，粒子間複雜

的交互作用與連結，亦是一種複雜的系統，因此在化學的學習中採用系統思考觀點有其必要性 (Hrin et al., 2017; Ludlow & Otto, 2008)。

值得注意的是，此次所分析的文獻中，僅有 Yoon (2008) 的研究不僅關注於學科領域內容知識的學習，也將基因改造工程所牽涉的道德、經濟、政治等複雜面向納入學習內容中，讓學生在單純的學科內容外，也能學習真實世界複雜系統的運作方式。

## 二、系統思考能力的分析架構

Verhoeff, Knippels, Gilissen, 與 Boersma (2018) 曾分析應用於生物教育領域的系統思考理論，並指出依據應用主題的不同，共有三種系統理論被引用，即：一般系統理論 (general systems theory)、控制論 (cybernetics) 和系統動力理論 (dynamical systems theory)。這些理論各有其強調的重點，如一般系統理論強調系統界線 (system boundary)、系統組成 (components)、輸入輸出 (in- and output) 等；控制論則強調回

饋 (feedback)、自我導向 (self-regulation) 及系統平衡 (equilibrium)；而系統動力理論則更強調突現 (emergence) 及非線性 (nonlinearity) 等概念。但這樣的分析僅限於生物科的範疇，在科學教育領域的系統思考研究中，因著不同的研究主題，學者也往往會從三個理論中選擇合適的系統元素以組成其系統思考能力的研究架構 (Ateskan & Lane, 2018; Gilissen et al., 2019)。

本研究針對近 20 年來科學教育領域的系統思考相關實徵研究進行分析，主要涉及的學科領域包含物理、化學、生物、地球科學、環境科學、生態學，並不局限於生物學，希望能夠歸納出一個普遍適用於自然領域各學科，且更容易從認知與教學的角度，直觀理解其分類的架構，以提供職前、在職教師及師培機構作為系統思考能力教學與評量上的參考。以下針對科學教育領域，於 K-12 年級系統思考實徵研究所採用的系統思考能力分析架構進行分析。從文獻中研究者歸納出系統思考能力的分析架構，大致可分為 1. 強調概念之間的連結，由簡單或部分連結趨於完整的組件連結模式，如 Vachliotis 等人 (2014)；2. 強調學生認知能力階層發展的階層發展模式，如 Ben-Zvi Assaraf 與 Orion (2010a)；3. 強調複雜系統本質的複雜系統模式，如 Danish 等人 (2017) 與 Yoon (2008)；以及 4. 以學科內容為導向的內容導向模式，如 Verhoeff 等人 (2008) (表 2)。以下針對此四種類型的系統思考能力分析架構逐一進行介紹。

### (一) 組件連結模式

第一種架構是依照研究主題內容及學生表現，訂定系統思考能力分級，這些分級方式符合系統思考能力從個別到整體、從簡單到複雜的原則，而其最高層次的系統思考能力為系統或機制，亦即能以整體的觀點來看待系統的運作以及系統所具有的功能。例如 Vachliotis 等人 (2014) 將學生有機化學概念間的連結情形，區分為未連結、部分連結、完整連結、複雜連結與系統等不同層級；Jin 等人 (2019) 則將學生學習生態課程後的系統思考能力表現區分為：未作答或未提供想法的「未連結」(no idea)、能連結個別組件間直接關係的「個別連結」(individual organisms)、能識別組件間的非直接關係的「關係或模式」(relationships and patterns)，以及能解釋整體系統現象的「機制」(mechanisms)；Danish 等人 (2017) 採用組成、機制、現象 (components, mechanism, phenomena, CMP) 的 CMP 模式。上述研究採用的系統能力分析架構，均屬於最常見的組件連結模式，且這樣的分析架構並不受限於學科主題內容，是屬於可通用於各學科的架構。

### (二) 認知能力階層發展模式

第二種架構為認知能力階層發展模式，此種模式強調系統思考能力發展的順序性，當基礎的能力建立後，才能進一步發展較高階的系統思考能力，如 Evagorou 等人 (2009) 將系統思考能力分為七個項目，並指出前三項 (辨識系統內元件、系統範圍、系統時間與界限) 能力是另外四項能力 (辨

表 2：系統思考能力分析架構的類型

模式 類型	研究 數	說明	系統思考能力分析架構範例	範例來源
組件 連結 模式	7	強調組件間的連結性，從個別到整體、從簡單到複雜	未連結 (no idea) 個別連結 (individual organisms) 關係或模式 (relationships and patterns) 機制 (mechanisms)	Jin 等人 (2019)
階層 發展 模式	9	強調學生認知能力階層發展	階層 A-- 分析系統要素 (analysis of system components) 階層 B-- 綜合系統要素 (synthesis of system components) 階層 C-- 執行 (implementation)	Tripto, Ben-Zvi Assaraf, Amit (2018)
複雜 系統 模式	2	強調複雜系統的特性，關注各元件之間的關係如何引起系統的集體行為	理解現象 (understanding phenomena)、 控制 (control) 原因或目的 (cause/purposes) 行動效果 (action effects) 代理人效果 (agent effects) 複雜行動 (complex actions) 自然現象的最終原因或目的性 (final causes or purposefulness of natural phenomena) 本體論 (ontology)	Yoon (2008)
內容 導向 模式	3	以學科內容作為系統思考能力的分類依據	1. 能夠區分不同層次的組織 (即細胞、器官和生物)，並使生物學概念與特定層次的生物學組織相匹配 (match) 2. 能夠在組織的細胞級別上連結概念 (interrelate concepts) (水平連貫) (horizontal coherence) 3. 能夠將細胞生物學概念與更高組織層次的概念連結 (垂直連貫) (vertical coherence) 4. 能夠在抽象細胞模型 (abstract cell models) 和真實細胞的表徵之間來回思考 (think back and forth)	Verhoeff, Waarlo, Boersma (2008)

識系統內的子系統、辨識系統內特定元件對其他元件的影響、辨別影響系統改變的要素、指出系統內的回饋作用)發展的基礎;又如 Ben-Zvi Assaraf 與 Orion (2005) 所發展出的系統思考階層模型 (systems thinking hierarchical, STH)，此模型將系統思考能力進行了階層性的分級。此模型將系統思考能力

分為三個主要層次,即:分析系統要素 (analysis of system components)、綜合系統組成要素 (synthesis of system components) 及執行 (implementation)。最基礎的層次是分析系統要素,其下包含的系統思考能力為:能識別系統組成要素 (components) 及過程 (processes); 第二層次為綜合系統組成要素,此層次包含

的系統思考能力共有四種，分別是：能識別系統組成要素間的關係 (relationships)、能識別系統內的動態關係 (dynamic relationships)、了解系統具有循環 (cyclic) 的本質、能在關係架構中組織系統元素 (例如將「水」、「植物」、「蒸散作用」、「水蒸氣」、「凝結」、「降雨」等要素，以概念圖的方式組織與連結成某種關係架構)；STH 模型的最高階層則是執行層次，其下包含了 3 種系統思考能力，分別為：具有概括能力 (generalizations)、能識別系統中的隱藏向度 (hidden dimensions) 和時間性思考 (thinking temporally) - 回顧與預測。其中，識別隱藏向度指的是能留意到從表面上看不到的模式和相互關係，例如在水循環系統中，地下水就是一個很好的例子，因為它藏於地面之下，無法直接察覺的；而回顧與預測則是指，能理解系統內部呈現的某些交互作用發生在過去，而未來事件可能是當前交互作用的結果。例如能夠理解某區域當前飲用水的品質，與水流經地點的地質特徵及人類歷史有關、可預測興建工廠或高速公路對當地水質的影響。

上述的 STH 模式，相當詳細列出系統思考能力的各項指標與發展順序，但 Hipkins 等人 (2008) 卻依據其實徵研究的結果，對於 STH 模式將時間性思考列為最高階層的系統思考能力的作法提出質疑，他們認為生態系統中的任何改變，都蘊含了時間向度，當某些改變發生後，隨之而來的變化就會發生，而學生是可意識到這一點的，因此時間性思考能力或許不應被視為系統思考能力中的最高階層。

### (三) 複雜系統模式

系統思考能力分析的第三種架構是複雜系統模式，有兩篇研究使用了此種模式 (Danish et al., 2017; Yoon, 2008)。其中，Yoon 採用 Jacobson 於 2001 年提出的複雜系統心智模式 (complex systems mental models) 架構來評估學生對於複雜系統的了解，此架構提出八個評估學生是否具備複雜系統思考能力的面向，即理解現象 (understanding phenomena)、控制 (control)、原因或目的 (cause/purposes)、行動效果 (action effects)、代理人效果 (agent effects)、複雜行動 (complex actions)、自然現象的最終原因或目的性 (final causes or purposefulness of natural phenomena)、以及本體論 (ontology)。具備複雜系統心理模式的學習者，在每一個面向都有其信念特徵，研究者可依據此八個面向來評估學生的表現。另外，Danish 等人 (2017) 的研究則是關注複雜模式中的代理人為本 (agent-based) 面向，所謂的代理人為本可以理解為以個體為本，也就是關注系統中個別運作的個體，而個別個體的獨自運作將會導致系統整體的特性或功能的展現，研究者關注的重點包含正向回饋 (positive feedback)、迭代 (iteration) 以及路徑形成 (path formation) 三種系統思考能力，所謂正向回饋是指某一種行為導致另一種行為的增加；迭代則是指系統中會重複發生的行為或動作；而路徑形成是強調能觀察到系統中特定的運作模式。這種分析架構關注的是複雜系統 (complex system)，因此更為強調系統的隨機性 (stochastic)、非完全預測性

(not completely predictable) 以及動態平衡的過程 (equilibration processes)，以及系統中的個體行為與交互作用如何造成系統的整體現象。

Danish 等人 (2017) 的研究有一個特殊之處，即在研究中採用了兩種不同的系統思考分析模式，一種是複雜系統模式，另一種則是屬於第一種分析架構類型中提及的 CMP 模式。他們主張，當學生可能具備某些系統思考能力但卻無法以我們認可的方式有效表達時，研究者若能從不同的角度來檢視，或許更能了解學生真正的系統思考能力。例如：當學生陳述的內容是「蜜蜂到花朵那裡採集花蜜，回來，透過舞蹈告訴其它蜜蜂，其它蜜蜂便會成列的出去採蜜、採蜜、採蜜」時，以 CMP 模式來分析，我們看到學生知道花朵、花蜜等系統組件以及採蜜、舞蹈等機制；但以代理人導向模式來分析時，會發現學生具有此模式中的迭代 (iteration) 思考，即發現蜜蜂會有重複地去採花蜜的行為。

#### (四) 內容導向模式

系統思考能力分析的第四種架構是內容導向模式，亦即研究者依據研究的學科主題內容，訂定學生的表現規準，並依此來分析學生的系統思考能力，這樣的規準因為與學科內容結合，因此較不適合運用於其他主題內容的研究中。如 Verhoeff 等人 (2008) 的研究學科主題是生物細胞，他們將學生的系統思考能力分成四個類別，第一類是能夠區分不同層次的組織 (即細胞、器官和生物)，接著則是能將同層級的細胞概念進行

水平連貫 (horizontal coherence) 以及能將細胞概念和更高層次的概念連結的垂直連貫 (vertical coherence)，最後則是能夠在抽象細胞模型和真實細胞的表徵之間來回思考 (think back and forth)。這樣的分類是依據生物細胞的主題來訂定的，因此屬於內容導向的模式。另外，研究者也注意到，使用此模式研究之研究對象都是國中或高中學生而沒有國小學生，這可能是因為中學以上的學科內容較為複雜，因此研究者可以直接將其區分成系統思考能力的不同表現。

從學習階段與系統思考能力分析架構被使用的次數來看 (圖 1)，類型一 (組件連結模式) 和類型二 (階層發展模式) 的系統思考能力分析架構在國小、國中及高中學習階段均有被採用，類型三 (複雜系統模式) 未被使用於高中階段，類型四 (內容導向模式) 則未被使用於國小階段，以被採用的次數來看，組件連結模式和階層發展模式則是較常被使用的。研究者認為，組件連結模式的分析架構與其它類型相較下較為單純且明確，因此不論國小、國中或是高中學習階段，均有研究採用；而階層發展模式分析架構雖然有不少研究使用，但這些研究大多是 Ben-Zvi Assaraf 與其研究團隊所進行 (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010a, 2010b; Ben-Zvi Assaraf, Dodick, & Tripto, 2013)，採用的均是 STH 模式，因此不宜斷然宣稱階層發展模式是最被廣泛採用的分析架構，但它確實是四種分析架構中最為完整的。

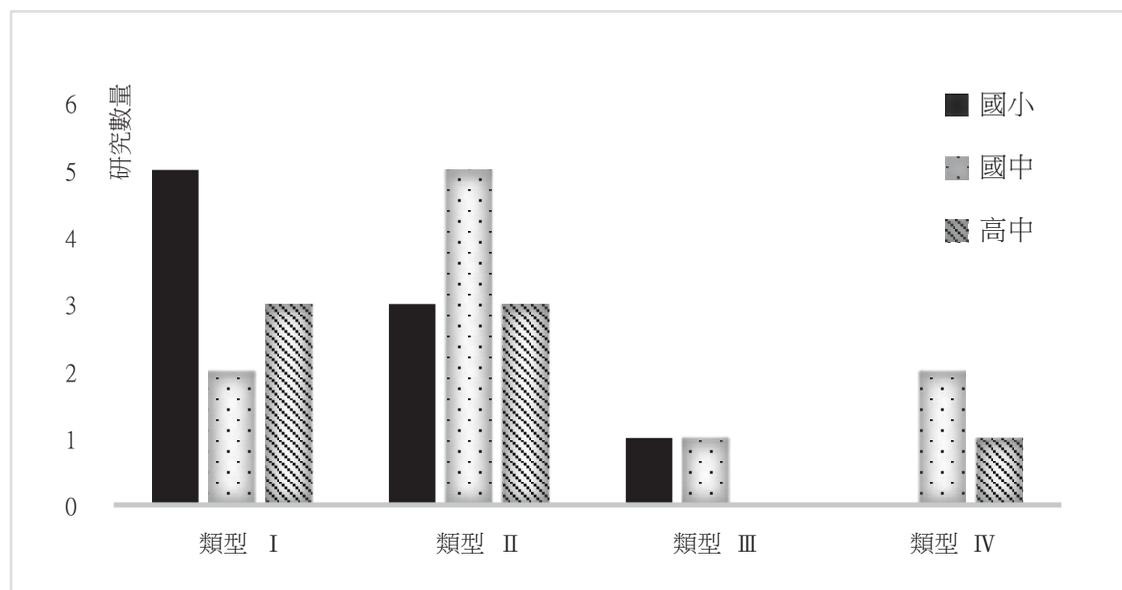


圖 1 系統思考能力分析架構類型與學習階段對照圖

若從教學實用性的觀點來看，組件連結模式的分析架構較為單純，且貼近一般人對於系統思考的概括理解，相較於其他三種模式，應該會是教師最容易上手使用的分析架構，而階層發展模式雖然結構嚴謹，但相對的在評量工具與資料分析的複雜度上，對於初接觸系統思考能力分析的教師而言，可能無法立即熟悉與使用。

### 三、系統思考能力的量測工具

#### (一) 常見的量測工具與使用數量

系統思考的測量工具分析，本研究參考 Nicolaou 與 Constantinou (2014) 對建模能力檢測工具的研究，將系統思考力量測工具分為晤談、試題、資料轉譯、概念圖、繪圖、電腦軟體、單字聯想及凱利方格法等八種，其中試題工具包括選擇題、問卷、是非

題、開放性試題以及填充題；資料轉譯則包含從課室觀察、錄音錄影、線上討論資料庫等處獲取的訊息。特別說明的是，Jin 等人 (2019) 採用的量測工具是為二階段 (two-tier) 試題，题目的第一階段為選擇題，第二階段則要求受試者針對第一階段所選的答案進行說明與解釋，分類時研究者將其歸在試題類中的選擇題與開放試題，未再單獨設置一類。而 Hrin 等人 (2017) 採用的 SSynQs (systemic synthesis questions) 與 Vachliotis 等人 (2014) 採用的 SAQs (systemic assessment questions)，兩者都是採用概念圖填空方式來檢測學生的系統思考能力，這樣的工具雖然具有概念圖的形式，但與概念圖不同的是它的概念間不具有階層性，且所涉及的概念數量是受到規範的，它的重點在要求學生寫出特定的系統組件名稱及之間的明確關係，因此在分類時研究者將之歸類於試題

類中的填空，而非概念圖。依據上述分類方式，研究者逐一分析每篇文獻中所使用的系統思考力量測工具後，將結果整理成表3。

從表3的資料來看，開放性試題是最常被使用的系統思考力量測工具，有超過半數以上的研究採用，有三篇研究僅使用了開放性試題作為系統思考力量測的唯一工具，這或許是因為一方面它施測方便可以收集較大樣本的資料，一方面又能讓受試者自由表達想法，是一種兼顧施測效率與內容豐富性的工具。例如：Eilam (2012) 分析學生對生態系中食性關係的了解時，使用了以下

的開放性試題：「請詳細描述什麼是食物鏈？舉例說明您的答案」、「請詳細描述如果一條食物鏈上的某個鏈接（鏈結）消失了，會發生什麼情況？請舉例詳細解釋並說明您的答案」；Evagorou 等人 (2009) 則是讓學生學習以沼澤生態為主題的單元後，以森林生態系為情境，透過開放式問題來鑑測學生的各種系統思考能力，提出的問題如：「請說出構成森林的各種元素」、「森林裡的猴子數量突然減少了，可能是什麼導致了這種變化？」。

晤談與概念圖也是被採用次數較高的工具，這兩種工具常被用來探查學生的想法

表 3：各研究使用的系統思考力量測工具

量測工具	文獻編號																				總計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
A 晤談			√		√			√			√	√				√	√		√		8
B 試題																					
選擇	√			√			√			√		√		√							6
問卷														√						√	2
是非								√													1
開放試題	√						√		√	√			√	√	√	√	√		√	√	11
填空		√		√			√														3
C 資料轉譯											√	√					√	√	√		5
D 概念圖								√		√	√		√							√	5
E 繪圖											√	√				√			√		4
F 電腦軟體																					0
G 單字聯想								√				√								√	3
H 凱利方格						√		√			√	√								√	5
總計	1	1	1	1	1	1	1	4	1	2	5	6	2	1	1	3	3	1	7	1	
採用 STH 分析架構					√	√		√			√	√	√			√			√		8

與概念，研究者可以從中獲得豐富的訊息。例如 Ben-Zvi Assaraf 與 Orion (2010b) 在其研究中探討學生的水循環系統概念，其晤談採半結構式，題目是開放式的，讓學生能夠描述他們對水循環系統的概念，例如：“水”這個詞讓你想起什麼？自然界中哪裡有水？雨水下到土壤中會發生什麼事？我們的自來水來自哪裡？雲是如何形成的？雨下到學校的地面會發生什麼？再將學生回答的內容，分成四個等級：第 1 級是僅能描述簡單交互作用而沒有解釋的句子；第 2 級是能夠很好地解釋兩個元素之間關係的句子；第 3 級是描述三個組成部分之間相互作用的句子；第 4 級是描述涉及時間維度關係的句子。這樣的作法雖然能深入了解學生的想法，但卻相當耗費時間，因此 Brandstädter 等人 (2012) 嘗試透過電腦繪製概念圖，並提供繪圖輔助的方式，來提升概念圖於系統思考力量測上的可用性，在概念圖的繪製中，有給予一個主題，請學生依其想法繪製概念圖 (Brandstädter et al., 2012)，而 Tripto, Ben-Zvi Assaraf 與 Amit (2018) 的研究中，則請學生先寫下至少 15 個和人體有關的概念，再寫出連結兩個概念的句子，最後再讓學生寫下以“人體作為系統”的相關概念，並畫出概念間的連結及方向。而 Danish 等人 (2017) 則注意到了晤談時的提問方式，可能會影響學生對系統思考想法的表述，因此特別針對晤談题目的敘述進行設計，以做為學生思考的鷹架，讓學生能更具體且明確的陳述自己對系統的想法。此外，有 5 個研究使用了凱利方格作為量測工具，其中 Keynan、Ben-

Zvi Assaraf 與 Goldman (2014) 的研究，測試並證實了以凱利方格為系統思考力量測工具的可行性。

若從每個研究使用的量測工具數量來看，有多篇研究均僅使用了一種系統思考力量測工具。例如透過晤談來找出兒童與青少年闡述複雜的汙染過程所需的認知能力 (Rodriguez et al., 2015)、用開放性試題來了解學生在真實模型學習環境下的系統思考成長情形 (Eilam, 2012)、以及使用開放性試題作為評估學生系統思考能力的方法 (Evagorou et al., 2009; Kali et al., 2003)。

一個值得注意的現象是，採用 STH 系統思考能力分析架構的研究中，大多採用了多元化的評量方法，如 Ben-Zvi Assaraf 與 Orion (2005) 的研究，就使用了多達七種類型的量測工具，包括：問卷、繪圖、情境晤談、單字聯想、概念圖、凱利方格、教室觀察，這可能與 STH 系統思考能力分析架構具有明確的能力與階層，研究者在工具的選用上能更有針對性，因此這類研究通常採用了多種系統思考力量測工具，以便能了解學生不同層級的系統思考能力。其中單字聯想是要求學生寫下他們所熟悉的有關水循環的所有概念，這可以直接探究學生對概念的感知聯想，單字聯想是一種旨在引出學生在形成概念之間關係的過程，可以深入了解學生對元素的理解 (White & Gunstone, 1992)。而 STH 相關的問卷分成兩個階段，第一階段是李克特氏三點量表 (同意、不確定、不同意)，第二階段是請學生寫下每一個描述的解釋，並根據學生的解釋判斷 (科

學上不正確 / 不知道 / 不相關、憑直覺的、科學上部分正確、科學上正確的解釋)。**Keynan** 等人(2014)亦是採用 **STH** 系統思考能力分析架構,但卻僅用凱利方格法就能量測學生的系統思考能力,屬於較為特殊的工具選擇。凱利方格是在描述如何在個人的認知結構中獲取和組織概念,透過學習者所創建的結構探索他們的思考方式,凱利方格的基本組成部分是元素(學習的主題)、結構(參與者對這些元素的想法)和評分(參與者認為的元素與結構之間的關係)。獲得元素的方法有兩個,一個是研究者提供元素給僅專注於創建結構的參與者,第二個是要求參與者自己提供,在 **Keynan** 等人的研究中,系統元素是科學家提供的與生態系統有關的 15 個項目(包含:地球圈、水圈、生物圈、人類影響)。結構代表參與者對元素及其之間關係的解釋,在 **Keynan** 等人的研究中,要求參與者比較三個元素並描述兩個元素之間的相似之處,以及與第三元素的區別,這樣的過程進行八次,從學生的解釋中得到結構。最後一個步驟是呈現結構給參與者,並請參與者對每個元素與結構間的關係強度進行評分(等級 1-5)。從學生所創建的結構分為主要類別和子類別,主要類別是系統思考的三個層級:分析(A),綜合(B)和執行(C),子類別指的是研究中的系統思考的八個特徵。第三階段是以軟體分析學生所建構的方格,目的是確定元素以及結構之間的顯著相關,具有 80% 以上的相關才被認為是重要的相關。

## (二) 系統思考力量測工具與系統思考能力分析架構的關連

研究者亦注意到,雖然 20 篇文獻中有兩個研究使用電腦模擬進行系統思考教學 (**Kali et al., 2003; Riess & Mischo, 2010**),但我們尚未發現有使用電腦軟體作為系統思考力量測工具的研究,這顯示以電腦軟體來量測系統思考能力目前是有待開發領域。若進一步將系統思考力量測工具與系統思考能力分析架構類型加以對照(表 4),我們發現採用第一類型分析架構的研究,主要是透過試題來量測學生的系統思考能力,而採用第二類型分析架構的研究因多數使用 **STH** 模式,所以使用的量測工具如前所述相當多元,至於使用第三類型和第四類型分析架構的研究,因數量較少,無法看出特定傾向。

## 四、系統思考教學

本研究分析的 20 篇文獻中,計有 13 篇涉及系統思考能力的教學活動,茲將各研究所採用的系統思考架構類型、涉及的科目與主題,以及主要的教學活動整理如下表(表 5)。透過系統思考實徵研究的分析,我們可以發現系統思考的教學設計具有以下幾個特徵。首先,許多研究都規劃了多元的學習活動,這些活動除了課室內活動(實驗、討論、閱讀、討論、資料蒐集...等)及戶外實地踏查外,通常也包含知識統整活動(knowledge integration activities) (**Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010a, 2010b; Ben-Zvi Assaraf & Orpaz, 2010; Kali et al., 2003; Keynan et**

al., 2014)。知識統整活動的主要目的，在於幫助學生將所學習到的知識，在系統性的架構下進行整合，避免這些知識淪為片段的記憶。最常被採用的知識統整活動為繪製概念圖，

**表 4：系統思考能力量測工具與系統思考能力分析架構類型對照表**

量測工具	類型 I (7 篇) 組件連結模式	類型 II (9 篇) 階層發展模式	類型 III (2 篇) 複雜系統模式	類型 IV (3 篇) 內容導向模式
A 晤談	2	5	1	1
B 試題	5	5		
C 資料轉譯		3	1	1
D 概念圖	1	4		
E 繪圖	1	3		
F 電腦軟體				
G 單字聯想		3		
H 凱利方格		5		

**表 5：提升系統思考能力的主要教學活動**

系統思考 架構類型	文獻 編號	科目 / 主題	教學時間	提升系統思考能力的主要教學活動
類型 I 組件連結 模式	4	化學 / 有機化學	9 堂課	運用 SSynQs 教學
	7	化學 / 有機化學	15 堂課	運用 SAQ 教學
	14	生態 / 森林	11 堂課	講述、詰問、魚骨圖、影片、電腦模擬
類型 II 階層發展 模式	6	生態 / 自然保留區	40 小時	知識整合活動 (未詳述)
	11	地科 / 水循環	45 小時	實地考察、知識整合活動 (繪圖、概念圖)
	12	地科 / 水循環	30 小時	實地考察、知識整合活動 (繪圖、概念圖)
	13	地科 / 極圈	30 小時	閱讀、實驗、戶外學習、資料蒐集、影片
	15	生態 / 沼澤	450 分鐘	電腦模擬
19	地科 / 水循環	45 小時	實驗、戶外活動	
類型 III 複雜系統 模式	18	生物 / 基因	40 小時	小組討論、線上討論、辯論、概念圖
類型 IV 內容導向 模式	9	生態 / 食性關係	一學年 (3 小時 / 週)	生息模型
	17	生物 / 細胞	500 分鐘	細胞模型製作
	20	地科 / 岩石循環	40 小時	實地考察、知識整合活動 (概念圖)

主要因為概念圖因實施容易，且具有整合概念的功能，因此被視為是知識整合的絕佳工具 (Ben-Zvi Assaraf & Orpaz, 2010)。除了概念圖外，概念繪圖、建構循環圖、實地考察等能讓學生將片段知識加以統整起來的活動，亦是會被採用的方式。例如：Kali 等人 (2003) 透過實地考察活動，讓學生在真實情境中統整性的運用自己的知識概念，來解釋岩石循環的過程；Ben-Zvi Assaraf 與 Orion (2010b) 則採用讓學生排列照片順序，並在照片之間加上箭頭及標註水循環驅動力的活動，來作為水循環單元的概念統整活動，此外，他們同時也採運用概念繪圖策略，讓學生以畫圖加上說明的方式，來呈現自己對於水循環的理解。

其次，在所回顧的文獻中，共有 13 篇涉及系統思考教學，其中僅有兩篇研究使用了電腦模擬的方式來促進學生的系統思考能力。雖然使用的頻率不高，但依據其研究結果顯示，電腦模擬 (simulations) 可協助學生聚焦於系統的動態本質，因此也是系統思考教學可採用的工具之一 (Evagorou et al., 2009; Riess & Mischo, 2010)。例如 Evagorou 等人 (2009) 讓學生透過電腦模擬來進行森林生態系統的培育與管理，學生可以在電腦模擬中種樹、砍樹、設置保護圍籬免於樹苗被動物破壞，模擬系統也提供學生木材供應、財政預算、地下水質、生物多樣性及暴風雨等訊息的反饋，讓他們像在現實生活中管理森林一樣。而 Eilam (2012) 則指出，雖然在真實的生態環境中能夠透過體驗而學習，但真實環境太過複雜，學生若未具備足夠的先備知識，反而無法發展其

系統思考的能力，因此也主張透過模擬，讓學生可以聚焦於所欲研究的變項。較特別的是，Eilam (2012) 並未如 Riess 與 Mischo (2010) 或 Evagorou 等人 (2009) 的研究，採用電腦模擬的方式來進行教學，而是以生息模型 (live model) 來促進學生對系統的理解。所謂生息模型是一種將真實生態系統簡化的具體模型，如水族箱、飼養箱、溫室等，Eilam (2012) 認為生息模型的系統組成、交互關係、變動過程等都較真實的生態系統簡單，但卻又保有一定的複雜性，因此可以提供學生一個簡化的真實生態系統擬真環境，讓他們模擬與驗證自己所建構的模型的正確性，而其研究結果也證實了生息模型能有效提升學生的系統思考能力。

再者，Danish 等人 (2017) 的研究也提醒我們教師提問的重要性，透過適當設計的提問，確實能有效的引導學生表達出自己的想法，例如：當研究者的訪談問題從「有一隻蜜蜂飛到那朵花，但那裏沒有花蜜，所以牠回來了，這隻蜜蜂會怎做呢？」變成「這朵花沒有花蜜，所以這隻蜜蜂回到蜂巢。其它的蜜蜂也會到那朵花兒那邊嗎？這些蜜蜂怎麼知道不要過去那裏呢？」時，學生的回答內容會更為豐富，且更偏向於系統思考中的機制、代理人模式等面向。因此教學時如何針對學習內容來設計合適的引導問題，提供學生思考的鷹架，亦是值得教學者關注的重點之一。

最後，研究者發現多數研究的教學時間均相當長，大約都在 30-45 小時之間，這可能與其採取的多元教學活動有關，尤其是

戶外實地踏查，通常會耗費較多時間。不過，值得注意的是，Riess 與 Mischo (2010) 以及 Evagorou 等人 (2009) 的研究採用了電腦模擬進行教學，其花費的教學時間分別為 11 堂課及 5 堂 90 分鐘的課，且學生均在系統思考的學習上有所進展，與前述數十小時的課程相較，時間上較其他研究的教案節省了許多。

## 肆、討論與建議

### 一、文獻分析結果討論

從本研究相關文獻分析中可知，系統思考屬一種高階認知能力，對認知能力已進入形式運思階段的國、高中學生而言，透過教學來提升其系統思考能力的成效已獲證明。至於小學生，教學活動的主要成效在於提升其基礎的系統思考能力，而這些能力正是發展更高階系統思考能力的基礎，因此在小學階段進行系統思考教學有其必要性。另外，有學者認為不同研究採用的系統思考能力分析架構並不相同，這可能導致對教學成效的解讀未能有一致的標準 (Boersma et al., 2011)，這是後續值得進一步探討的議題。

我國的十二年國民基本教育課程綱要總綱中明列系統思考與問題解決為學生必備的核心素養之一，在自然科學領域綱要中，期望學生須具備理解情境全貌，並做獨立思考與分析的知能。然而在科學教育領域中，因自然科學領域各學科的特性不同，也許系統思考無法全面適用於各個自然科學的單元。根據本研究的發現，當學科內容

牽涉較廣泛或學科內容本身即為一個系統的介紹時，例如生物、生態、地科等領域，因其學科內容特性與系統思考能力的面向與特性更為契合，故教學時採用系統思考的教學策略，一方面可以幫助學生對學習內容的理解，一方面也透過學習內容來訓練學生的系統思考能力，因此建議教師可以先從這些方面嘗試進行系統思考教學。

關於系統思考能力的分析架構，各研究依據學科學習內容與研究目的而訂定的評估標準不盡相同，研究者將其歸納為四種類型，四種類型各有其特色。第一類型組件連結模式，其內涵包括識別系統組成物件、物件間的關係、物件間的相互影響等面向，屬於較為簡單易用的模式，對於初次將系統思考融入教學的教師，這可能是較容易掌握的教學方式。而第二類型的階層發展模式，以 Ben-Zvi Assaraf 與 Orion (2005) 所提出的 STH 模式為代表，STH 模式指出系統思考能力的發展是具有順序性的，當基本的能力具備後才可能發展較高階的能力。建議後續研究可運用此模式，分析學生系統思考能力學習進程 (learning progression)，或進行較長期的縱貫式研究，釐清學生系統思考能力的發展脈絡。第三類型為複雜系統模式，聚焦的重點是系統的隨機性 (stochastic)、非完全預測性 (not completely predictable) 以及動態平衡的過程 (equilibration processes)，對於初次接觸系統思考者而言，是一種較難立即掌握的模式。至於第四類型，則是以所涉及的學科內容來建立系統思考能力架構的內容導向模式，要採用此模式來分析學生的系統思考

能力，老師須對系統思考及學科內容均有一定程度的了解和掌握。

另外，在系統思考教學上，部分研究使用了電腦模擬輔助教學，電腦模擬的優點包括可以讓學生藉由電腦模擬立即看到模擬的動態結果、藉由將真實環境簡化後讓學生能夠更聚焦於欲學習的變項；亦或是相較於一些戶外活動，使用電腦模擬可以縮短教學時間。基於這些特點，或許未來透過更多元科技的輔助學習，如：電腦模擬、擴增實境、電腦建模等，進一步研究數位科技融入系統思考的可行性。

最後，系統思考的評估方式與工具中，雖然針對學習內容設計的選擇題很常見，但是開放式試題、晤談與概念圖仍是經常被使用的工具。這類評量工具的評分方式對於教學現場的老師可能是相對較為陌生的，也許未來需要相關的研習讓老師們能夠熟悉系統思考的評量標準。此外，由文獻中可見，透過不同工具與不同評量面向的多元評量方式，是系統思考評量的一個重要趨勢，這與教育領域整體的趨勢是不謀而合的。然而目前所回顧的文獻中尚未有透過電腦科技進行評量，亦尚未有針對系統思考的自動評分系統，因此建議未來可以發展相關電腦輔助評量系統並進行相關研究。

## 二、教學與評量及未來研究的具體建議

系統思考能力已被列為 108 課綱的關鍵核心素養之一，其相對應於各學習領域亦有其具體內涵，顯示我國教育對於系統思考

能力的重視。但在詳讀總綱及各領域綱要後卻發現，雖然系統思考能力被視為關鍵核心素養之一，但卻未能對其內涵給予詳細的說明，具體的教學策略與評量方式亦未提及，對於第一線教學的教師而言，系統思考能力恐無法於具體教學中實現。本研究希望透過分析自然科學領域的相關實徵研究，將系統思考能力的架構、教學與評量等面向進行分析歸納，以作為第一線教師培養學生系統思考能力的參考依據。以下就系統思考能力的分析架構、教學、評量以及未來值得研究的方向提出具體的建議，希望能對第一線教師的系統思考教學知能提升有所助益。

### （一）系統思考分析架構

研究者從文獻中歸納出四種系統思考能力分析架構，即組件連結模式、認知能力階層發展模式、複雜系統模式與內容導向模式。四種模式中，以組件連結模式最為簡單，也接近一般人對於系統思考能力的想法；認知能力階層發展模式是最完整且具有階層性的，但相對而言較為複雜；複雜系統模式是以分析複雜系統為出發點，所關注的則是突現(emergency)、代理人為本(agent-based)等面向的系統思考能力，至於內容導向模式雖然是依照學科內容來訂定系統思考能力的分析架構，但其本質上則接近組件連結模式，關注的重點是系統內的元件、相互關係，以及其所組成系統的整體運作。

Ateskan 與 Lane (2018) 針對在職教師的系統思考能力專業成長培訓的研究結果指出，在教師培訓活動後雖然教師的系統思考能力有所提升，但不論在基礎系統思考能力

或高階系統思考能力上，都仍有許多進步的空間。針對這樣的結果，研究者認為系統思考能力的建立應採循序漸進的策略，先熟悉基礎的系統思考能力後，再進階至高階的系統思考能力。研究者認為，組件連結模式所涉及的系統思考能力相對容易理解，對於初次接觸系統思考概念的教師而言，會是一個較容易掌握的架構，而對於學生而言，因為架構簡單，也有助建立學生對系統思考的初步了解。而當師生對於系統思考能力有初步的基礎後，教師便可考慮引入認知能力階層發展模式，因為此模式將系統思考能力區分得相當清楚，很適合用來協助學生將系統思考能力精緻化。至於複雜系統模式，研究者認為這是四種模式中最難理解，也未必適用於所有的情境中，因此建議教師可以在學生具備一定程度的系統思考能力後，視需求加以引進使用。

## （二）系統思考教學

本研究分析各篇文獻所涉及的系統思考教學，都是透過各種精心設計的學習活動後，使用各種評量工具來量測學生的系統思考能力，也就是讓學生透過各種學習活動來逐步建立自身的系統思考模式。

本文分析的文獻並無使用明示教學法（explicit teaching method）的研究，研究者認為很可能是因為各研究的設計取向所造成，他們關注的研究焦點多是分析在實施特定教學策略後，學生的系統思考能力提升的情形，因此自然不會採用直接教導學生系統思考架構的教學方式。根據 Gilissen 等人（2020）的研究，將系統思考帶進課堂中的

有效策略，便是透過明示教學法（explicit teaching method）進行教學，它們提出有效增進系統思考能力的教學策略包括：1. 介紹系統思考的個個特徵；2. 讓學生廣泛的運用於各種情境（包含生活情境）；3. 針對較進階的系統思考能力特別指導，例如：階層、回饋、動態等；4. 鼓勵學生經常使用系統語言。因此，研究者建議，對於初次接觸系統思考的學生而言，採用如上述明示教學法的方式應是較可行的教學策略，這樣的教學方法一方面可以先協助學生建立概念鷹架，以作為後續進階學習的基礎，另一方面，也可避免學生因缺乏明確的指導，而自行歸納出不正確的系統思考概念。

此外，從文獻分析中可以發現，多元的教學活動設計亦是決定教學成效的關鍵之一，教師應儘量採用多元的學習活動規劃，來促進學生的學習。特別值得一提的是，概念圖的繪製在系統思考教學中扮演著重要的概念統整角色，而隨著科技的發達，目前已有許多概念圖 APP 可取代費時費力的手繪概念圖，節省寶貴的學習時間，十分值得教師嘗試。另外，系統思考能力作為一種跨領域的核心素養，我們除了配合領域知識來教導外，也應引導學生將其應用於各種實際的生活情境中，讓學生在潛移默化中養成系統思考的習慣。

綜上所述，研究者提出的系統思考教學建議如下：1. 以明示教學法協助學生建立系統思考概念鷹架；2. 採用多元的活動設計，並引進科技輔助；3. 引導學生廣泛地將系統思考應用於各種生活情境中。

### (三) 系統思考評量

從文獻分析的結果可以看出，評量學生系統思考能力並不限於單一的方法，甚至多種方式混合使用亦相當常見。教師所採用的系統思考評量策略需與教學時所聚焦的系統思考能力架構相配合，在考量第一線教師使用的方便性及技術門檻下，研究者建議概念圖、概念繪圖及概念填空題是最容易進行且能獲得較多訊息的評量方式。以概念圖來說，請學生將系統中的物件寫出，並描述物件間的關係，再搭配物件間的連結方向等，便可從中判讀學生基本的系統思考能力。概念圖的使用還有一項優點，它既可作為系統思考能力的教學活動，亦可將學生於學習後所繪製的概念圖作為評估其系統思考能力的依據，是十分適合第一線教師使用的工具。當教師熟悉系統思考架構及如何用來評估學生的系統思考能力的技巧後，亦可考慮編制紙筆測驗試題為評量工具，依據所欲量測的系統思考能力，編制合適的題型，例如：若要評估學生對系統中各組件的連結關係是否了解，教師可以將系統中幾個組件串聯成不同的關係，將此作為答題選項。這樣的試題編制所面臨的挑戰，一方面是試題編制需耗費較多時間，另一方面則是教師必須對於系統思考能力架構能清楚掌握，才能依據各系統思考能力的特性，選用合適的測驗題型，如：選擇題、圈選題或簡答題等。

### (四) 未來研究方向

國內對於系統思考教學的研究尚在起步階段，不論在課程設計、教學策略、評量方式等方面都尚未有太多研究的進行，以

至於我們對於學生系統思考能力的培養有許多努力空間。研究者僅提出以下幾個研究方向供作參考：1. 系統思考能力的教學與評量；2. 系統思考能力的遷移與保留；3. 系統思考能力的發展進程；4. 科技輔助的引進，如電腦模擬、VR等，是否有助系統思考教學的成效。

## 參考文獻

教育部(2014)。十二年國民基本教育課程綱要總綱。臺北市：作者。

[Ministry of Education (2014). *Curriculum guidelines of 12-year basic education general guidelines*. Taipei, Taiwan: Ministry of Education.]

陳可恭(2002)。系統思維在科學探究與學習上的意涵及應用。*科學教育月刊*，252，2-13。

[Chen, K. K. (2002). The implication and application of systems thinking on science inquiry and learning. *Science Education Monthly*, 252, 2-13.]

湯偉君、邱美虹(2007)。複雜系統、突現及其對科學教育的啟示。*科學教育月刊*，301，17-25。

[Tang, W. C. & Chiu, M. H. (2007). Complex system, emergence and its implication for science education. *Science Education Monthly*, 301, 17-25.]

American Association for the Advancement of Science (AAAS)(1989). *Science for All Americans: A project 2061 report on*

- literacy goals in science, mathematics, and technology.* Washington, DC : AAAS.
- Ateskan, A., & Lane, J. F. (2018). Assessing teachers' systems thinking skills during a professional development program in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4348-4356.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth systems education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2010a). Four case studies, six years later: Developing system thinking skills in junior high school and sustaining them over time. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10), 1253-1280.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2010b). System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 540-563.
- 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.
- Boersma, K., Waarlo, A. J., & Klaassen, K. (2011). The feasibility of systems thinking in biology education. *Journal of Biological Education*, 45(4), 190-197.
- Brandstädter, K., Harms, U., & Großschedl, J. (2012). Assessing System Thinking through Different Concept Mapping Practices. *International Journal of Science Education*, 34(14), 2147-2170.
- Danish, J., Saleh, A., Andrade, A., & Bryan, B. (2017). Observing complex systems thinking in the zone of proximal development. *Instructional Science*, 45(1), 5-24.
- Eilam, B. (2012) System thinking and feeding relations: Learning with a live ecosystem model. *Instructional Science*, 40(2), 213-239.
- Evagorou, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C., & Constantinou, C. (2009). An investigation of the potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary school: A case study with fifth-graders and sixth-graders. *International Journal of Science Education*, 31(5), 655-674.
- Frank, M. (2000). Engineering systems thinking and systems thinking. *Systems Engineering*, 3, 63-168.
- Gilissen, M. G., Knippels, M. C. P., & van Joolingen, W. R. (2020). Bringing systems thinking into the classroom. *International Journal of Science Education*, 42(8), 1253-1280.

- Gilissen, M. G., Knippels, M. C. P., Verhoeff, R. P., & van Joolingen, W. R. (2019). Teachers' and educators' perspectives on systems thinking and its implementation in Dutch biology education. *Journal of Biological Education*, 54(5), 485-496.
- Glaesser, J. (2018). Competence in educational theory and practice: A critical discussion. *Oxford Review of Education*, 45(1), 70-85.
- Hipkins, R., Bull, A., & Joyce, C. (2008). The interplay of context and concepts in primary school children's systems thinking. *Journal of Biological Education*, 42(2), 73-77.
- Hrin, T. N., Milenkovi, D. D., Segedinac, M. D., & Horvat, S. (2017). Systems thinking in chemistry classroom: The influence of systemic synthesis questions on its development and assessment. *Thinking Skills and Creativity*, 23, 175-187.
- Jacobson, M. (2001). Problem solving, cognition, and complex systems: Differences between experts and novices. *Complexity*, 6(3), 41-49.
- Jin, H., Shin, H. J., Hokayem, H., Qureshi, F., & Jenkins, T. (2019). Secondary students' understanding of ecosystems: A learning progression approach. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(2), 217-235.
- Kali, Y., Orion, N., & Eylon, B.S. (2003). Effect of knowledge integration activities on students' perception of the earth's crust as a cyclic system. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(6), 545-565.
- Kauffman, D. L. (1980). *Systems one: An introduction to systems thinking*. Minneapolis, MN: Future Systems.
- Keynan, A., Ben-Zvi Assaraf, O., & Goldman, D. (2014). The repertory grid as a tool for evaluating the development of students' ecological system thinking abilities. *Studies in Educational Evaluation*, 41, 90-105.
- Ludlow, F. R., & Otto, S. (2008). Systems chemistry. *Chemical Society Reviews*, 37(1), 101-108.
- Mambrey, S., Timm, J., Landskron, J. J., & Schmiemann, P. (2020). The impact of system specifics on systems thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(10), 1632-1651.
- Namdar, B., & Shen, J. (2015). Modeling-oriented assessment in K-12 science education: A synthesis of research from 1980 to 2013 and new directions. *International Journal of Science Education*, 37(7), 993-1023.
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2010). *Exploring the intersection of science education and 21st century skills: A workshop summary*. Washington, DC: The National Academies

- Press.
- Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review, 13*, 52-73.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2016). PISA 2015 assessment and analytical framework: Science, reading, mathematics and financial literacy, and collaborative problem solving, Paris: OECD Publishing. OI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264255425-en>
- Richmond, B. (1993). Systems thinking: Critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review, 9*(2), 113-133.
- Riess, W., & Mischo, C. (2010). Promoting systems thinking through biology lessons. *International Journal of Science Education, 32*(6), 705-725.
- Rodríguez, M., Kohen, R. & Delval, J.(2015). Children's and adolescents' thoughts on pollution: cognitive abilities required to understand environmental systems. *Environmental Education Research, 21*(1), 76-91.
- Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline, the art and practice of the learning organization*. New York, NY: Doubleday/Currency.
- Tripto, J., Ben-Zvi Assaraf, O., & Amit, M. (2018). Recurring patterns in the development of high school biology students' system thinking over time. *Instructional Science, 46*(5), 639-680.
- Vachliotis, T., Salta, K., & Tzougraki, C. (2014). Meaningful understanding and systems thinking in organic chemistry: Validating measurement and exploring relationships. *Research in Science Education, 44*, 239-266.
- Verhoeff, R. P., Knippels, M. C. P. J., Gilissen, M. G. R., & Boersma, K. T. (2018). The theoretical nature of systems thinking. Perspectives on systems thinking in biology education. *Frontiers in Education, 3*, 1-11.
- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J., & Boersma, K.Th.(2008). Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology. *International Journal of Science Education, 30*(4), 543-568.
- White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. London, England: The Falmer Press.
- Yoon, S. A. (2008) An evolutionary approach to harnessing complex systems thinking in the science and technology classroom. *International Journal of Science Education, 30*(1), 1-32.

## 附錄一

## 2000~2019 系統思考實徵性研究文獻

編號	作者 (年)	研究對象	科目 / 主題	研究目的	架構類型	採用的系統思考能力分析架構	系統思考量測工具與方法	主要研究結果
01	Jin, Shin, Hokayem, Qureshi, Jenkins (2019)	6 ~ 8 年級 298 人 ; 9 ~ 12 年級 298 人	生態 / 黃石公園	發展系統思考的學習進程 (learning progression)	I	1. 無想法 (No idea) 2. 個別物件 (Individual organisms) 3. 關係與模式 (Relationships and patterns) 4. 機制 (Mechanisms)	選擇題 開放試題 (二階段試題)	1. 系統思考的學習進程包含四個等級。 2. 低社經地位與都市學校的學生，系統思考能力較低。
02	Tripto, Ben-Zvi Assaraf, Amit (2018)	高中生 67 位	生物 / 人體系統	探討系統思考能力發展的模式	II	STH (System thinking hierarchy) model	概念圖	發現四種系統思考的典型學習模式： 1. 從結構到過程 2. 從巨觀到微觀 3. 從細胞層級到生物體層級 4. 恆定機制複雜度的發展
03	Danish, Saleh, Andrade, Bryan (2017)	小一小二學生 共 15 人	生物 / 蜜蜂採蜜	探討提問的形式如何支持學生的推理，以及不同系統思考能力分析架構，展示學生知識的不同面向	I	CMP 模式： 概念 (Components)、 機制 (Mechanism)、 現象 (Phenomena) 代理人導向模式 (Agent-based modeling)：正向回饋 (positive feedback)、 迭代 (iteration)、 路徑形成 (path formation)	晤談	透過提問鷹架及不同系統觀點，可更清楚瞭解學生對系統的理解

(續下頁)

## 2000~2019 系統思考實徵性研究文獻 (續)

編號	作者 (年)	研究 對象	科目 / 主題	研究 目的	架構 類型	採用的系統 思考能力 分析架構	系統 思考 量測 工具 與 方法	主要 研究 結果
04	Hrin, Milenkovic, Segedinac, Horvat (2017)	高中 生 119 人	化學 / 有機 化學	探討 SSynQs 用於有機化學 教學的成效	III	依 SSynQs 評量的得分區分 為 4 個等級 0 未回答、答 案錯誤  I 具有個別的、未連結的 概念 (individual and conceptually unrelated concepts) II 兩個以特別的關係連結 的概念 (two concepts are connected with a particular relation) III 三個或更多以特別的關係 連結的概念，形成 概念子系統 ( a larger conceptual sub-system) IV 所有各概念和子系統相 互連結，形成一個有意 義的整體 (a meaningful whole)	填空 ( SSynQs )	1. 使用 SSynQs 學習 的學生，系統思 考能力可有效提 升。 2. 實驗組中，女生 的動態與循環系 統思考優於男生。
05	Rodriguez, Kohen, Delval (2015)	9 ~ 16 歲 / 國 小 ~ 高 中	環境 / 汙 染	找出兒童 與青少年 闡述複雜 的汙染過程 所需的 認知能力	II	依 STH 的 Level C 所涉及 的認知能力，將學生的反應 概分為 8 類，再統整成三 大類： 直接感官 (perceived by the senses) 中介物引入 (hidden mediator agents) 時空 (spatial-temporal) 長期考量	晤談	歸類出三種 漸進式的知識架 構，這三者在因果 關係及解釋機制上 是不同的。

(續下頁)

2000~2019 系統思考實徵性研究文獻 (續)

編號	作者 (年)	研究對象	科目 / 主題	研究目的	架構類型	採用的系統 思考能力 分析架構	系統 思考 量測 工具 與 方法	主要 研究 結果
06	Keynan, Ben-Zvi Assaraf, Goldman (2014)	國中 20 位	生態 / 自然 保留區	利用 PBE 課程來提升 學生的系統 思考能力	II	STH	RG 方格法	1. 大部分學生在 PBE 教學後，都 往 STH 中的較高 階層移動。 2. 研究發現顯示， 在系統思考中， 方格法是探查學 生概念的有效工 具；擴展了 RG 在複雜生態內容 中的使用。
07	Vachliotis, Salta, Tzougraki (2014)	高中 / 11 年級 91 人	化學 / 有機 化學	1. 發展兩種評量 工具： (1) 「有意義 的學習」 客觀評量 工具 (2) 「系統 思考」評 量工具 SAQs 2. 兩種評量結 果的關聯性	I	依據 SAQs 得分，將系統思 考能力區分為 5 個等級 1. 未連結 (No-connection) 2. 部分連結 (Partial connection) 3. 完整連結 (Full connection) 4. 複雜連結 (Complex connection) 5. 系統 (System)	填空 ( SAQs )	1. 設計良好的客觀試 題能評量學生的有 意義的學習。 2. SAQs 能評估學生 的系統思考技能 3. 學生在某科學範疇 內的系統思考能力 等級與他們對此範 疇內科學概念的有 意義理解具有顯著 的關係。
08	Ben-Zvi Assaraf, Dodick, Tripto (2013)	高中 / 10 年級 180 人	生物 / 人體 系統	探討學生 學習「人類 身體系統」 單元後，其系 統思考能力 的等級	II	STH	單字 聯想、 RG 方格法、 晤談、 概念圖	1. 大部分學生的系統 思考能力停留在最 低層級。 2. 學生反映顯示出其 偏愛結構大於過 程、巨觀的元素大 於微觀元素。

(續下頁)

## 2000~2019 系統思考實徵性研究文獻 (續)

編號	作者 (年)	研究對象	科目 / 主題	研究目的	架構類型	採用的系統思考能力分析架構	系統思考量測工具與方法	主要研究結果
09	Eilam (2012)	國中 / 9 年級 50 人	生態 / 食性關係	了解學生在真實模型學習環境下的系統思考成長情形	IV	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 物質和能量循環的多層級現象 (matter and energy cycles as multilevel phenomena)</li> <li>2. 具方向性及動態的平衡 (directionality and dynamic equilibrium)</li> <li>3. 因果關係 (causality)</li> <li>4. 時空面向及演變 (temporal and spatial facets and evolution)</li> </ol>	開放試題	<p>學生的系統思考能力在以下方面有所成長：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 系統組成、過程、層級以及關係。</li> <li>2. 生態模式與控制機制</li> <li>3. 平衡的轉變</li> <li>4. 食性關係的時空面向</li> </ol>
10	Brandstädter, Harms, Grobschedl (2012)	4 年級、8 年級 / 國小、國中	生態 / 藍貽貝	研究目的在探討不同的概念圖繪製方式，用於評量學生系統思考的有效性	I	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 程序性系統思考 (Procedural system thinking)：理解系統運作過程與系統行為</li> <li>2. 結構性系統思考 (Structural system thinking)：識別系統元素、元素間的關係以及系統與周邊其他系統的區別。</li> </ol>	開放試題、選擇題、概念圖	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 與紙筆繪圖相較，電腦繪圖方式對學生概念圖的表現有正向影響。</li> <li>2. 高引導性與非引導性繪圖方式對學生的概念圖繪製表現無差異。</li> <li>3. 高引導性繪圖方式對概念圖呈現系統思考能力的有效性具正向影響。</li> <li>4. 大規模評量學生系統思考時，建議採用高引導性以及電腦化的繪圖方式。</li> </ol>

(續下頁)

2000~2019 系統思考實徵性研究文獻 (續)

編號	作者 (年)	研究對象	科目 / 主題	研究目的	架構類型	採用的系統思考能力分析架構	系統思考量測工具與方法	主要研究結果
11	Ben-Zvi Assaraf, Orion (2010)	國中 / 4 人	地科 / 水循環	了解個案學生 STH 能力的變化	II	STH (將其中兩級合併後變成 6 級)	觀察、晤談、問卷、概念圖、繪圖、RG 方格法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 系統思考讓知識維持在記憶裡的時間更長。</li> <li>2. 後設認知模式的學習者，能達到較高階的系統思考階層。</li> </ol>
12	Ben-Zvi Assaraf, Orion (2010)	國小 / 40 人	地科 / 水循環	探討國小學生在教學後的系統思考模式及影響性系統思考能力發展的因素	II	STH	晤談、量表、資料轉譯、繪圖、單字聯想、RG 方格法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 教學後，學生的系統思考能力顯著提升。</li> <li>2. 小學生也可培養其系統思考能力。</li> <li>3. 將戶外探究式學習、實驗室探究活動和知識整合任務結合起來，有助於提高四年級學生在年輕時發展基本系統思維能力。</li> </ol>
13	Ben-Zvi Assaraf, Orpaz (2010)	國中 / 8 年級 25 人	地科 / 極圈	探討教學後國中學生對地球系統的理解	II	STH	量表、開放性試題、概念圖	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 學生們對地球系統的理解有顯著的提升</li> <li>2. 學生意識到人類對環境的影響，包括極地等偏遠環境。</li> </ol>

(續下頁)

## 2000~2019 系統思考實徵性研究文獻 (續)

編號	作者 (年)	研究對象	科目 / 主題	研究目的	架構類型	採用的系統思考能力分析架構	系統思考量測工具與方法	主要研究結果
14	Riess, Mischo (2010)	國小 / 424 人	生態 / 森林	探討不同教學方法促進系統思考能力的效果	I	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 識別系統元素 (recognize)</li> <li>2. 描述元素間的關係 (describe)</li> <li>3. 建立系統模型 (model)</li> </ol>	選擇題、開放性試題、概念圖 (畫方向圖)	接受系統思考教學並配合使用電腦模擬軟體的學生，學習成效顯著。
15	Evagorou, Korfiatis, Nicolaou, Constantinou (2009)	國小 / 11 ~ 12 歲共 13 人	生態 / 沼澤	以互動模擬學習環境來發展國小生的系統思考技能	II	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 辨別系統內之元件 (elements)</li> <li>2. 辨別系統範圍 (the spatial boundaries of a system)</li> <li>3. 辨別系統的時間界限 (the temporal boundaries of a system)</li> <li>4. 辨別系統內的子系統 (subsystems within a single system)</li> <li>5. 辨別系統內特定元件對其它元件或系統的影響</li> <li>6. 辨別影響系統改變的要素</li> <li>7. 指出系統內的回饋作用 (feedback effects in a system)</li> </ol>	開放性試題	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 小學生有發展系統思維能力的潛力</li> <li>2. 互動模擬的學習環境在相對簡短的學習過程中，能讓一些系統思考技能有顯著改善，但在促進反饋思維方面並不成功。</li> </ol>

(續下頁)

2000~2019 系統思考實徵性研究文獻 (續)

編號	作者 (年)	研究對象	科目 / 主題	研究目的	架構類型	採用的系統思考能力分析架構	系統思考測量工具與方法	主要研究結果
16	Hipkins, Bull, Joyce (2008)	國小 / 10 ~ 12 歲 3 人	生態 / 河流	發展能協助教師評估學生對生態系統組成成分間互動關係理解的例子	I	<ol style="list-style-type: none"> <li>能命名部分系統元素 (contextual elements) , 無法準確指出系統元素間的關係 (relationships)</li> <li>能命名更多系統元素, 能簡單描述系統元素間直接關係 (simple direct relationships)</li> <li>能描述一個系統元素間的動態關係 (dynamic relationship)</li> </ol>	繪圖	<ol style="list-style-type: none"> <li>了解名稱與程序是系統思考發展的基礎。</li> <li>兒童的概念發展並不一定因缺少準確與豐富情境知識 (contextual knowledge) 而受阻礙。</li> <li>研究發現戰了時間維度 (temporal dimensions) 是系統思考能力發展最後階段的觀點。</li> </ol>
17	Verhoeff, Waarlo, Boersma (2008)	高中 / 10 年級 28 人	生物 / 細胞	設計一個四階段建模教學活動, 來幫助學生學習細胞生物	IV	<ol style="list-style-type: none"> <li>能夠區分不同層次的組織 (即細胞, 器官和生物), 並使生物學概念與特定層次的生物學組織相匹配 (match)</li> <li>能夠在組織的細胞級別上連結概念 (interrelate concepts) (水平連貫) (horizontal coherence)</li> <li>能夠將細胞生物學概念與更高組織層次的概念連結 (垂直連貫) (vertical coherence)</li> <li>能夠在抽象細胞模型 (abstract cell models) 和真實細胞的表徵之間來回思考 (think back and forth)</li> </ol>	晤談、問卷、資料轉譯、試題	<ol style="list-style-type: none"> <li>建模課程可以促進系統思考能力。</li> <li>建模是培養系統思考能力的一種關鍵活動。</li> <li>系統思考是一種學習細胞生物學後設認知工具。</li> </ol>

(續下頁)

## 2000~2019 系統思考實徵性研究文獻 (續)

編號	作者 (年)	研究對象	科目 / 主題	研究目的	架構類型	採用的系統思考能力分析架構	系統思考量測工具與方法	主要研究結果
18	Yoon (2008)	國中 / 9 年級 11 人	生物 / 基因工程	探討系統思考教學方案 (EVE 架構) 的可行性以及學生對複雜科學議題在道德面向的知識	III	採用 Jacobson (2001) 提出的 8 個面向，複雜系統的心理模式架構： 1. 理解現象 (Understanding phenomena) 2. 控制 (Control) 3. 原因 / 目的 (Causes/ purposes) 4 行動效果 (Action effects) 5. 代理人效果 (Agent effects) 6. 複雜行動 (Complex actions) 7. 自然現象的最終原因或目的 (Final causes or purposefulness of natural phenomena) 8. 本體論 (Ontology)	資料轉譯 (課堂討論、同儕互評、線上討論)	1. 學生對複雜系統的理解隨時間增加。 2. 整體學生的決策模式類如複雜系統般運作。
19	Ben-Zvi Assaraf, Orion (2005)	國中 / 8 年級 70 人	地科 / 水循環	以地球系統情境來發展學生系統思考技能	II	STH	問卷、繪圖、單字聯想、概念圖、晤談、RG 方格法、課室觀察	1. 系統思考呈現階段性結構，每一階段所發展的認知技巧是下一階段的基礎。 2. 學生系統思考能力顯著提升，進步狀況差異的來源：(a) 學生的個人認知能力 (b) 對學習活動的參與程度。

(續下頁)

2000~2019 系統思考實徵性研究文獻 (續)

編號	作者 (年)	研究對象	科目 / 主題	研究目的	架構類型	採用的系統 思考能力 分析架構	系統 思考 量測 工具 與 方法	主要 研究 結果
20	Kali, Orion, Eylon (2003)	國中 / 7 年級 40 人	地科 / 岩石 循環	探討知識 整合活動 對學生 學習 地殼系統 的效果	IV	正向答案 1. 完整 (Complete) 2. 額外過程 (Extra processes) 3. 不完整 (Incomplete) 4. 取代 (Replaced) 5. 不合邏輯順序 (Illogical sequences) 負向答案 1. 產物單獨模式 (Product isolation model) 2. 過程 - 產物單獨模式 (Process-product isolation model) 3. 內外部未連結模式 (Disconnected internal- external model) 4. 缺少埋藏和融化過程 (Model lacking burial and melting processes)	開放式 試題	知識整合活動 能顯著提升學生 了解岩石循環的 動態與循環的 本質，學生以更系 統性的觀點看待岩 石循環

註：組件連結模式 ( I )、階層發展模式 ( II )、複雜系統模式 ( III )、內容導向模式 ( IV )