科學教育學刊
2014, 第二十二卷第四期, 389-412
DOI: 10.6173/CJSE.2014.2204.03

Chinese Journal of Science Education
2014, 22(4), 389-412

探討內在動機與自我效能為中介預測科學想像力的學習模式

許育齡[1]　梁朝雲[2、*]　許盛貴[3]

[1]國立中央大學　學習與教學研究所
[2]國立臺灣大學　生物產業傳播暨發展學系
[3]桃園創新技術學院　資訊管理學系

摘要

本研究邀集臺灣地區修習科學領域(含理科與工科)大學生為研究對象，運用信度與效度穩定的問卷為研究工具，以結構方程模式探討心理與學習環境如何協同運作以預測學習者的科學想像力。結果顯示，心理與環境可整合為一透過內在動機與自我效能為中介的結構模式預測創始、構思與轉造等三種科學想像力。心理層面的生產認知與負向情緒，以及環境層面之文化特質對想像力有直接作用，且生產認知、正向情緒、學習資源、社會構成、文化特質還可透過程度不等的中介作用，間接預測科學想像力。本研究在探討內外在因素對想像力的直接與間接作用後，提出教師教學與學生自學之應用討論與後續研究建議。

關鍵詞：內在動機、自我效能、科學想像力、學習模式

壹、緒論

學習者在面對問題情境時，需有心智積極投入以形成問題意識，方能帶動思考動能達到新知的吸收或理解(曹亮吉，1996；Craft, Chappell, & Twining, 2008; Pezzulo & Castelfranchi, 2009)；學習科學的歷程，若僅憑教師運用創新的教學方法或依賴實驗食譜式的學習(laboratory manual detailing)，欠缺學習者本身的心智投入，則學習成效往往與預期有顯著落差(Rowlands, 2011; Schmidt, 2011)。教師若能結合教學方法與教學素材，並啟發學生面對問題情境，善用科學想像力(scientific imagination)，將能引導學習者面對議題產生有價值的問題意識，主動活化內在知覺與相關知識，形成探究的動能並帶動心智投入努力(Pezzulo & Castelfranchi)。此外，從學習成效來看，想像能帶出學習者意(圖)象(image)、心智意象(mental imagery)的心智資源、擴充學習者的思考範圍，其不僅帶動思維產生圖像連結，亦將促使學習者產生豐富而連續的心智推論(Hadzigeorgiou, Fokialis, &

*通訊作者：梁朝雲
(投稿日期：民國102年8月21日，修訂日期：民國103年2月13日，接受日期：民國103年3月6日)

airiti

Kabouropoulou, 2012; Hüppauf & Wulf, 2009; Pelaprat & Cole, 2011; Pylyshyn, 2007)。因此，若能有系統地探究科學想像力的學理，並整合探討影響科學想像力的相關因素與教學應用方法，對協助學習者面對現今多數教學場域中充斥的片段知識，對提升教學的效能將極富潛力。

自十八世紀啟蒙運動以來，諸多學者曾認為想像與科學強調的理性思維是相互衝突的(Egan, 2007; Holton, 1996)，並認為「想像」是幻想或不切實際的同義詞不值得深究(如Daston, 1998; Stevenson, 2003的評述)。若再對照人們對創造力研究關注的程度，也會發現有關學習者的「想像力」探討，仍被多數學者認為模糊難於定義，或僅在藝術教育領域中受到重視與討論(Eisner, 1993, 2002)。然而，科學家運用心智意象進行思考是相當普遍的方法(Leboutillier & Marks, 2003; Shepard & Cooper, 1982)。Holton 透過研究科學史與傑出科學家(如Einstein)的思維演變歷程後指出，面對科學領域難解的問題，除了堅持不懈之外，最重要是需懂得運用科學想像力。De Cruz與De Smedt (2010)亦指出，科學學習即是學習者的心智從事結構性的想像(science as structured imagination)。學習者抱持著探究的態度，透過觀察或操控外在的現象變化，內在則針對形成的心智意象持續進行比對修正，將逐漸習得運用科學本質的原則來從事思考(Schwartz, Lederman, & Crawford, 2004)。

當代教育領域日益重視學習者的科學素養及認識科學思維的本質。Holton (1996)以及Hadzigeorgiou等(2012)深入探究科學想像力後，指出科學想像力在科學與科學教育領域的重要性，並試圖探討以教學情境為基礎的因素影響結構。綜合近年有關想像力的研究顯示，個體若能在學習歷程中將想像力帶入，將能發展有效的行動、創意地解決問題(Taylor, 2006; Vygotsky, 2004)。從學習的觀點來說，想像，是個體與生所俱的能力，其至少有五個層面與學習密切相關：

首先，觀察兒童時期的個體對著玩偶談天，或運用手邊隨手取得的器物玩著辦家家酒的遊戲，均是兒童具體而微的想像力展現，然而隨著年齡增長，許多天賦能力並未獲得充分伸展(Currie, 2002; Vygotsky, 2004)；其次，想像蘊含個體大量語言以外層面的運思，目前學界對於個體非語言層面的運思能力仍處於持續釐清的階段(Pylyshyn, 2002; Thomas, 2010)，且此能力不獨為特定領域、特定個體所擁有，而是立基於現實知覺，並幫助個體跨越已知與未知落差、或聯結顯明(explicit)與內隱(implicit)知識的重要運思能力(Folkmann, 2011)。第三，探究學習者認知負荷的相關研究結果指出，配合學習者特性，善用想像力於學習歷程，可幫助個體活化既有的知識，並降低工作記憶負荷，提升成就表現(Leahy & Sweller, 2008; Tindall-Ford & Sweller, 2006)；第四，想像力被認為與個體的創造性表現關係密切，妥善引導的想像力將帶動個體投入有意義的學習(Egan, 2007)，換言之，想像力能帶動個體從事長時間的專注與探索，拓展個體的思維，進而聯結常人習而未察的線索，展露創造性的突破(Decety & Grèzes, 2006; Van Meer & Theunissen, 2009; Vygotsky)；第五，想像運思與個體的內在動機息息相關，想像力往往能夠促動個體對學習感到好奇、有趣，因此促使個體投入更多的努力，從而帶動良好的學習成效(Decety & Grèzes; Eisenberger & Shanock, 2003)。

同時，科學家運用想像進行思考實驗(thought experiment)進而有所突破的例證

airiti

相當豐富(Clement, 2009)。例如：Galileo Erwin Schrödinger (1887-1961)曾運用想像封閉空間中的一隻貓，以量子力學的機率觀點進行論證，進而推導出在宏觀條件下，這封閉空間中的貓竟出現亦生亦死的矛盾現象，用以指出量子力學在宏觀條件下的不完備性，而成為史上著名的「薛丁格的貓」(Erwin Schrödinger's cat)；James D. Watson (1928-)與Francis Crick (1916-2004)，便表示受Schrödinger視像思考的啟發，而提出DNA雙螺旋論；另外，著名的理論物理學家Albert Einstein (1879-1955)，更明確指出想像在其發展相對論過程中的重要角色，進而帶動了學界研究想像力的動能。科學教育領域探討科學想像力之運用深富價值，因此，本研究將探討學習階段的學習者，其內在心理與外在學習環境如何協同輔助運作以預測科學想像力，本研究之目的包括：

一、驗證心理與環境透過內在動機與自我效能的中介作用，預測科學想像力的學習模式；

二、探討心理與環境預測學習者創始、構思，與轉造等三種科學想像力的直接與間接效果。

貳、文獻探討

一、科學想像力

歷史上諸多重要的哲學家與心理學家，均曾對人類的想像活動產生高度的興趣並進行探討。例如：William James (1842-1910)曾論及：人類的心智活動會通過感官接收訊號而帶動知覺產生，一旦經驗成型後，雖然神經衝動已然消退，心智仍能在需要時喚起此經驗並進行運思，而此心智運作的機能，便是想像(引自Pelaprat & Cole, 2011, p. 1)；Vygotsky (2004)亦曾指出，想像做為一種心理活動，其事實上是人類一切思維與行動的核心。近代，Perdue (2003)便以「心智的力量」(a power of the mind)或是「心智的創造性機能」(a creative faculty of the mind)來描述個體的想像運思。Thomas (1999, 2010)針對想像(imagination)與心智意象兩概念進行深入分析後指出，心智意象的研究，通常分析個體的視像與空間運思內涵；想像則除了涉及心智意象之外，亦會涉及個體的體覺、動覺、前意識與潛意識等層面的運思，進而論及包括看似、猜想、假設、模擬、預視等高層心智運思的能力，甚至帶動創造。換言之，有效發展學習者的科學想像力，將能活化學習者創造性的心智機能，進而發展透析問題及事理，以及創造的能力。

科學教育除了需奠定學習者詳實的觀察力、形成假設的能力之外，另需透過實證探究程序，反覆驗證結果的穩定性後提出定理，以循序建構科學的相關理論(Pearson, 1936; Popper, 1968; Stinner, 2003)。然而，除了重視實證程序之外，引導學習者在探究的情境中逐漸領會並掌握科學本質的精神進行思考，亦日益受到重視(Clough, 2006)。Holton (1996)曾論及過往科學領域中，論述想像力的價值及其在學習中所扮演的角色相當稀少，幸而在過去十多年間，諸多研究已逐漸強調想像力在科學學習歷程中的重要性。例如：Stinner (2003)強調學習者應掌握科學思考方法、善用想像能力來學習物理科學；Mayer與Talanquer (2010)另強調科學的學習者，應發展推理分析能力，以辨析不同情境脈絡下直觀想法(intuitive heuristics)的正確性與有效性，才能使學習經驗獲得更新並帶來進步。

Holton (1996)曾歸納科學領域中，運用

想像運思產生突破性見解的三種想像力，分別為視像想像(visual imagination)、類比想像(analogical imagination)與命題想像(thematic imagination)，此幫助我們瞭解科學領域學習者想像的可能樣貌，但若要運用於教學當中，我們須進一步理解其運作機制，方能將其轉換並結合教學，以使學習者獲益。許育齡與梁朝雲(2012)曾廣泛收集1900年以來，來自哲學、教育、心理等領域有關想像力概念的論述(如：Betts, 1916; Fettes, 2010; Gaut, 2003; Greene, 1995; Kaplan, 1972)，運用探索性與驗證性因素分析技術，進而得出創造性與再造性這兩種緊密相關，但確實有所差異的想像力特徵，其各包含六種與四種特徵。創造性想像所涵蓋的六項特徵為：探索(exploration)：指個體能對未知或新奇的事物持續地探究；新穎(novelty)：能以與眾不同或有別於傳統的角度產出想像內容；生產(productivity)：能產出豐富多元的想像內容；感受(sensibility)：能運用敏銳的情感產出想像內容；直覺(intuition)：能瞬間聯結不同的訊息以產出想像內容；專注(concentration)：能對想像內容持續聚焦以醞釀成型。至於再造性想像，則包括：有效(effectiveness)：能針對目標產生想像的內容；辯證(dialectics)：能對想像內容反覆修正以尋求改善；具象(crystallization)：能以具體的意象來表達抽象的想像內容；轉用(transformation)：能對想像的內容進行跨領域的轉型應用。

梁朝雲、許育齡與林威聖(2014)更進一步以能力的觀點探究科學領域學習者的想像力，運用現代測驗之Rasch模式及其延伸模式技術，繼而建立了可將受試者反應與題項難度建立同一量尺(即具客觀性)，亦可以進行加減運算(即具等距性)的想像能力量表(Imaginative Capability Scale, ICS)。其內含創始想像(initiating imagination)、構思想像(conceiving imagination)，與轉造想像(transforming imagination)。構思想像，指人們應用個人直覺與感受來掌握事態核心，並透過專注與辯證以形成達成目標想法的能力；創始想像，指人們探索未知並產生原創且新穎想法的能力；轉造想像，指人們將抽象概念具體化，並能將已知轉換應用於不同領域或多元情境的能力。

科學創始想像具有探索、新穎、生產等特徵，並與歷來對創造性想像的論點相呼應(Eckhoff & Urbach, 2008; O'Connor & Aardema, 2005; Thomas, 1999; Vygotsky, 2004)。其意味著個體面對問題情境時，若能進行各種想像的探索、以新穎的角度從事問題想像，除使成果展現豐富多產，亦帶動學習者開展創始想像。翻閱科學史，科學家以創始想像，進而展現創造成果的例證俯拾皆是。例如：Johannes Kepler (1571-1630)透過觀測行星軌道提出與時論相左的日心說(地球環繞太陽運行)；Charles Robert Darwin (1809-1882)透過記載同異地各種物種的樣態提出演化論顛覆了人們對上帝造物的看法；Michael Farady (1791-1867)在躺椅上想像力線的關係提出電與磁的理論等，他們均並非因真實地「看見」這些現象在眼前出現而提出理論，而是透過心智模擬與創始性的想像進而在理論建構層面有了重大突破。

科學構思想像具感受、有效、辯證、直覺、專注等特徵(Grøn, 2002; Loasby, 2001)。此即當個體面對問題情境時，可透過融入自身感受，聯結原本並不連貫的內容(Shin, 1994)，並弭平具象與抽象間的落差(Browne, 2008; Glenberg, 1997)。透過持續性的專注，學習者需同時考量想像能否有效達成目標，才不致於讓想像流於空泛(Glenberg; Pylyshyn,

airiti

2002)。辯證的特徵則帶動學習者反覆推敲不確定的想像內容並尋求改善(O'Connor & Aardema, 2005; Reid & Solomonides, 2007)。直覺的特徵帶動個體掌握對複雜現象中隱微的規則，並能瞬間洞悉整體狀態而有頓悟之感(Duch, 2007)。此五項特徵凝聚，反應出個體從事科學探究活動時，心智活動所顯現的醞釀特徵，此推動著學習者深入問題的本質，也引導其擴展運思的廣度；這些心智活動的樣貌，通常是從科學者的佚事記載或經驗訪談紀錄得來，換言之，此部分的內涵是科學想像力運思歷程中的精華，但卻是較不容易在成果展現階段看見或加以測量，但可由間接推導或模型探測來瞭解其運作的特徵與作用。

轉造想像則帶有具象與轉用等兩項特徵(梁朝雲等，2014)。具象特徵幫助學習者運用具體的意象或生活中的事例來進行想像，進而使問題得以呈現較清晰的圖像(Kosslyn, 1996; Thomas, 2010)。至於轉用則指學習者嘗試將來自不同經驗所得的想像，加以轉換運用至當前情境中(Barr & Steele, 2003; Runco & Jaeger, 2012; Taylor, 2006)。具象與轉用特徵聚斂，呼應諸多文獻對「再造性想像」(reproductive imagination)特徵的論述(Gaut, 2003; Taylor, 2006)。亦即，面對問題或作業任務妥用具象與轉用，將展現轉造想像力。在科學學習領域當中，轉造想像雖然較無法對問題有躍進性的見解與突破，然而，對學習者而言，能將已習得的解題策略類推到近似的問題情境，確是相當重要的運思能力。

二、帶動科學想像力的學習模式

科學教育領域的學者持續呼籲：求知的過程，除了知道知識是甚麼並得到定理的證明之外，更重要的是，要知道新知發現的過程及其是如何看出來的。前者是知悉「邏輯上的為什麼」(logically why)，後者則是心領神會「心理上的為什麼」(psychologically why)；兩者需要兼顧，不可偏廢(曹亮吉，1996)。亦即，學習的發生需要學習者的心智活動對所學習的新知產生理解的共鳴(Piaget, 1973)。然而，在目前的教育情境中，教師習於不斷灌輸給學習者各式各樣的知識，忘卻了應同步啟發學習者活潑的心智能力來吸收這些美妙的發現歷程，進而使學習者得以靈活運用這些知識，因此反而造成學習者心智吸收新知的阻礙。就教學實務來說，外在的學習環境與學習者的內在心理，均會影響學習者科學想像力的發揮，且不管是環境或心理層面，均係由多個面向所組成，若能釐清諸此因素之間的結構關係，將對有效引導學習者的科學想像力，發展出更具效能的預測模型與教學策略。

此外，學習者要能進入探究問題的氛圍，發揮科學想像力以達成「心理上理解為什麼」的過程，往往受到個體內在心理與外在學習環境中諸多因素的影響(如：Sternberg, 2006)，這些因素對科學想像力的影響及其彼此之間的關係，並非都是相同的作用路徑，並可能有程度不等的影響力(如：Hsu, Liang, & Chang, 2013; Sternberg)。本研究在建構預測科學想像力的理論模型上，主要探討學習者的心理面向與環境面向如何預測科學想像力。同時，參照真實學習情境的樣貌，心理面向涵蓋了學習者的認知、動機、情緒、效能感(Hsu, Chang, & Liang, 2014)；環境面向則涵蓋物理條件、組織措施、社會氣氛、文化特質等。學習者的心理與所處的學習環境，均是影響學習歷程與成效的重要條件，也是帶動學習者發展科學想像力的影響要件(Chen, Huang, & Liang, 2012)，進而建立假設5進行

airiti

考驗。但要整合探討這些變項通常會面臨測量工具開發、分析工具不足等問題。

隨著結構方程模式的發展，教育工作者已擁有更好的資料分析工具，得以探討能反映教育現場複雜情境的理論模式。本研究立意探討心理與環境條件預測科學想像力的學習模式，除假設各影響變項非循相同的影響路徑之外，亦假設特定變項(如：學習者的內在動機及自我效能)將具備部分中介作用，帶動其他變項(包括認知與情緒因素，以及學習環境的諸變項)發揮直接與間接預測科學想像力的效果，從而建立假設1到假設4以進行考驗。Zimmerman (2002)針對自我調整學習(self-regulated learning)所作的回顧性文獻中指出，當代學習理論對於學習者個別差異的解釋，已從強調學習者先備能力差異，邁向動態化理解學習歷程，並日益強調建立學習者的自我調整能力。其中，學習者之內在動機(intrinsic motivation)及其自我效能(self-efficacy)會扮演關鍵角色，影響學習者如何引入自身的心理資源，以及如何解讀環境訊息而帶動接續的學習意向。其更指出，能夠符應學習者內在動機與自我效能的學習歷程，能帶動學習的累進成效，使學習者表現更為出色(Zimmerman & Kitsantas, 2005)，而這樣的論點需要持續累積實證結果。

(一)心理與環境透過中介作用預測科學想像力

本研究針對學習者的心理層面對科學想像力的影響，採用了Hsu等(2013)曾在不同領域探討心理之認知、動機、情緒、效能感與行動操作等構面對想像力的影響。並採納其在藝術設計領域與傳播領域測試穩定的因素結構及其命名，包括：內在動機、自我效能、生產認知、做中悟、正向情緒、負向情緒等六個因素。然而，針對科學學習之領域特性，本研究另依據文獻分析，採納Zimmerman與Kitsantas (2005)指出內在動機與自我效能的關鍵角色，繼而提出以內在動機與自我效能為中介預測科學想像力的學習假設模型，並執行驗證。本研究在心理層面另亦探討學習者面對學習任務，經由多元的思考方法產出想法的生產認知(generative cognition)，及正負向情緒對科學想像力的預測情形。Egan (2007)指出，認知是想像運作的工具，學習者也因善用想像運思而邁向創造。學習歷程中，學習者善用觀察、聯想、猜測、假設等生產性認知與先備知識的靈活程度，可作為預測想像品質的要素(Dijksterhuis & Meurs, 2006; Ward, 2007)。此外，學習者的情緒諸如高興、快樂、興奮等正向情緒或如挫折、沮喪、憤怒等負向情緒，其影響學習者投入科學想像的樣貌，亦有學者進行探討(如：Fernández-Abascal & Martin, 2013)。

至於外在環境層面，學者歸納影響學習者從事學習的環境層面可由三種理論模式延伸設計研究工具，後透過探索性與驗證性因素分析，進而歸納出五個因素(Chen et al., 2012)。三種模式包括：物理模式(models of physical components)，此中涵蓋採光、通風、照明、工具、擺設等物理條件規劃(McAndrew, 1993; Strange, 2003)；組織模式(models of organizational environments)，意指環境中的人際與社會互動機制，如同儕之間或者師生之間的互動所形成的關係(Kangas, 2010; Odell, 2005)；群體文化模式(models of human aggregates)，意指身處其中的人所共同形成的特質，這些特質將回頭影響處於該環境中的個體(Huebner & Lawson, 1990; Treadaway, 2009)。根據Chen等(2012)在不同領域運用探索性與驗證性因素分析探討後，歸納學習環境對想像力影響的因素可

airiti

包括：1.環境中包括燈光、通風、材質、擺設、工具、設備或提供創作展演的公共空間等的物理條件(physical component)；2.指環境當中的靜態與動態刺激，以及包括圖書、資料、活動等的學習資源(learning resource)；3.指學習者對於來自組織或教師對學習的教學、引導、措施的組織措施(organizational measure)；4.指學習者知覺到班級同儕團體進行討論、溝通、競爭等活動，形成的社會氣氛(social climate)；5.指學習者評估其想像力受到校系所形成的組織文化或校園傳統影響的文化特質(human aggregate)。本研究以此五個變項探究環境層面對想像力的影響。

(二)內在動機發揮中介作用帶動科學想像力

動機的研究自Deci (1971)將其區分為內外在動機以來，學界已普遍瞭解個體的內在動機，對學習者的創作表現或創造力有顯著預測效果；而其扮演著中介角色，帶動其他變項(如人格特質、環境變項等)間接預測創作表現的理論模式，亦有一定共識(Choi, 2004, 2012; Prabhu, Sutton, & Sauser, 2008)，然而，同時考量多個心理與環境因素，並以內在動機為中介預測科學想像力的模型假定，仍待驗證。內在動機意指學習者對學習任務或議題的探究動力純然來自於興趣、好奇或有趣等動機，而非來自外在的競爭、酬賞、獎勵或讚美(Amabile, Hill, Hennessey, & Tighe, 1994; Guay, Vallerand, & Blanchard, 2000)。本研究於早先的研究中，亦發現動機對於想像力的預測，以內在動機為主(Liang, Chang, & Hsu, 2013)，Zimmerman (2002)探討自我調整學習模式亦發現，內在動機對於個體設定具挑戰性的學習目標相當重要。此外，Amabile等(1994)曾指出職場情境中，透過激發外在動機結合工作者的內在動機能有效帶動工作表現，並受到後續部分研究的支持(如Eisenberger & Rhoades, 2001)；然而，多數研究對外在動機能促進創作表現的確切效果，仍持保留的看法(Prabhu et al., 2008)。

(三)自我效能發揮中介作用帶動科學想像力

本研究的自我效能，意指著學習者面對問題情境或任務評估自身能力與意願達成的程度。內涵參照國際間自我效能(Self-Efficacy Scale, SES)與一般性自我效能(General Self-Efficacy, GSE; Chen, Gully, & Eden, 2001)的內涵，經收集在地樣本通過探索性與驗證性因素分析穩定後採用。題項包括了：對所屬專業知能的掌握度、熟稔設計的工具或設備、能依據自我的能力調整預設目標、克服困難達成預設標準的決心等。根據Appelbaum與Hare (1996)指出自我效能可作為個體目標設定與結果表現之間的中介變項，Zhao, Seibert與Hills (2005)指出自我效能可扮演中介角色，提升在學階段學習者的創造性意圖；Ghafoor, Qureshi, Azeemi與Hijazi (2011)亦指出創造性自我效能，可扮演組織中的轉型領導預測個體創造性表現間的中介角色，提升個體的創造性表現。

Pezzulo與Castelfranchi (2009)將想像運思與目標控制的心智活動整合探討，進而指向自我效能對想像力可能具預測力。換言之，當個體能夠將內在包括認知或情緒的訊息，導向自我效能感評估時，或將促使個體聚焦評估自己對專業知能的掌握度、設定合於個人能力的目標、投入適切的努力與堅持、適時依個人能力調整目標等效能感的活動，進而帶動醞釀科學想像力。意即，面對複雜度較高的問題情境或任務，要帶動學習者運用想像力，通常需慮及學習者的自我效能，且自我效能可扮演中介的角色帶動其他變項提高對想像的預測力。本研究有鑑於過去的研究，同時考量多個心理與環境因素，並以自

airiti

我效能為中介預測科學想像力的模型假定仍闕如，因此，乃聚力於此進行模式驗證。

本研究考量真實學習情況中，內外在條件均可能影響科學想像力，因此試圖探討與學習歷程密切相關的動機、效能感、認知、情緒、物理條件、組織措施、社會氣氛、文化特質等，如何協同運作帶動學習者科學想像力。本研究並假設這些心理與環境變項(共計11個變項)，應非每一種變項均透過直接路徑影響想像力；採用心理中介歷程的研究成果(如Choi, 2004; Prabhu et al., 2008)，以內在動機與自我效能為扮演自變項與想像力間的中介變項，帶動內外在條件預測想像力，後運用結構方程模式進行模型建構與驗證。亦即，本研究假定：學習者在面對科學問題時，若要開展構思、創始、轉造的科學想像力，除需考量其內在心理與外在學習環境條件的預測力之外，內在動機與自我效能，將扮演部分中介的角色，引導這些內外在變項循直接與間接的路徑預測想像力。本研究以內外在條件透過內在動機與自我效能為中介預測科學想像力之假設，並據此進行以下五項假設之考驗：

假設1：不同環境向度，可透過內在動機做為部分中介預測三種想像力；

假設2：不同心理向度，可透過內在動機做為部分中介預測三種想像力；

假設3：不同環境向度，可透過自我效能做為部分中介預測三種想像力；

假設4：不同心理向度，可透過自我效能做為部分中介預測三種想像力；

假設5：心理與環境透過內在動機與自我效能為中介預測科學想像力之整體模型達到適配。

參、研究方法

一、研究對象

為探究學習環境與學習者內在心理，對學習者發展科學想像力的預測模型，本研究邀集臺灣北中南地區，主修數理及工程領域的大學生參與本研究(含工科領域主要為修習化學材料工程、資訊工程、機械工程；理科領域則主要為物理、化學，與數學領域)。共得799份有效樣本資料進行分析。全體樣本依據地域分布比例，依照進行計量時之樣本取樣要求，採隨機方式邀請並依樣本收取時間先後區分為兩個樣本(樣本一於九月到十月期間收取；樣本二則於十二月到元月期間收集)。接著，樣本一用於探測想像力量表因素結構之向度數，確認其因素結構穩定度；樣本二則執行三種量表的驗證性因素分析與模型建構(Cudeck & Browne, 1983; MacCallum, Roznowski, Mar, & Reith, 1994)。研究對象之背景資料如表1。

二、研究工具

本研究整體結構模型包括科學想像力、學習環境、內在心理等三大層面，各分量表均採用國際間已發表的評測工具，為李克特式五點量表。為確認諸此評測工具適用於本研究所收集的樣本，針對想像力量表，先以平行分析探測其因素向度數，接著進行驗證性因素分析。至於內在心理與學習環境量表，則以驗證性因素分析來確認測量工具的適切性。並採用模型適配指數(Comparative Fit Indexes, CFI; Bentler, 1990)、標準化殘差均方根(Standardized Root Mean Square Residual, SRMR; Jöreskog & Sörbom, 2002)、近似誤差均方根(Root Mean Square Error of Approximation, RMSEA; Steiger, 1990)來檢驗本研究所提出模型的適配品質。

表1：樣本人口背景特性

	探索性因素分析組		因素驗證與模型探究組	
	樣本數	百分比(%)	樣本數	百分比(%)
領域				
理科	183	48.5	213	50.5
工程	194	51.5	209	49.5
性別				
男	259	68.7	301	71.3
女	118	31.3	121	28.7
年級				
一年級	117	31.0	124	29.4
二年級	104	27.6	117	27.7
三年級	75	19.9	89	21.1
四年級	41	10.9	32	7.6
碩士	40	10.6	60	14.2
樣本數	377	100.0	422	100.0

(一)科學想像力測量

本研究想像力指標以許育齡與梁朝雲(2012)所發展的想像力指標為基礎。評測量表採用作者等人(in press)運用現代測驗理論技術開發之具客觀等距特性，內含29個題項的想像力量表(imaginative capability scale)進行評測。此工具以科學領域學習者為樣本，以創始想像、構思想像、轉造想像詮釋具能力意涵的科學想像力，符合本研究探測預測想像力的結構模型所需。本研究另以樣本運用平行分析，重覆確認其向度數(Drasgow & Lissak, 1983)，在分析至第三因素時，真實資料初始特徵值為1.649900，隨機資料累積特徵值為1.475135；在第四因素時，真實資料累積特徵值為1.352078，隨機資料累積特徵值為1.412994，進而判定本研究之資料特性仍為三向度。

該量表在本研究之驗證性因素分析的適配指數為：$\chi^2(374) = 1{,}535.94$, $p < .050$, $df = 374$, CFI = .94, RMSEA = .078, SRMR = .065, NFI = .95, NNFI = .96。顯示此樣本模型與假設模型適配良好。此外，題項之標準化參數估計值均介於 .56 ~ .81之間(除構思想像之題項：「我能投入細膩的情感到作業中」，.49略低於標準)；合於Hair, Black, Babin, Anderson與Tatham (2006)建議應大於.50的門檻標準。三種想像力之組合信度分別為 .9157、.8889、.8931，均大於 .60 (合於Bagozzi與Yi [1988]的建議標準)；平均變異抽取量(AVE)分別為 .5477、.4039、.5128，構思想像之AVE值略低於標準(Fornell & Larcker, 1981)，即構思想像的聚斂效度可再精進。而三種想像力之間相關信賴區間均不包含1 (信賴區間介於 .7012 ~ .8188之間)，顯示此三者具備良好的區辨效度(Jöreskog, 1971)。

(二)心理影響測量

本研究內在心理係採Hsu等(2014)經跨領域探討心理影響想像力的測量工具。該量表包含六個心理分量表，共計31個題項，於不同領域施測結果，均能穩定表現其良好的

airiti

內部一致性信度、區辨效度與聚斂效度，顯示其各變項可視為相關但值得獨立探討其作用。其具體內容包括：1.內在動機(intrinsic motivation)，計6題，指個體帶著興趣、好奇、投入等動機面對問題情境；2.自我效能(self-efficacy)，計5題，指個體對自我專業素養、軟硬體工具的熟悉度、作業標準與目標評估，以及達成目標的意志等；3.生產認知(generative cognition)，計6題，指個體能運用多元方法(例如生活經驗、感官知覺延伸、聯想、假設、模擬等)產生想法；4.正向情緒(positive emotion)，計4題，指個體感到愉悅、興奮、受激勵等情緒；5.負向情緒(negative emotion)，計4題，指個體感到挫折、焦躁與憂慮等情緒；6.做中悟(inspiration through action)，計6題，指個體邊做邊想、帶出直覺靈感，運用後設思考等內涵。

為檢驗此量表運用於本研究的適合度，本研究以本次收集的因素驗證樣本，檢驗該量表的驗證性因素結果顯示，資料適配良好($\chi^2(260) = 584.88$, $p < .050$, $df = 260$, CFI = .99, RMSEA = .037, SRMR = .057, NFI = .97, NNFI = .99)。各心理變項之平均變異抽取量分別為.6006、.6581、.7627、.5509、.5642、.5004，均高於.50的決斷值；組合信度分別為 .8138、.8517、.9276、.8587、.8657、.8321均高於.60的決斷值，以上驗證顯示此量表適用於本研究，且其聚斂效度良好。至於各潛在變項間的區辨效度分析顯示，兩兩相關信賴區間均不包含1或負1，亦即代表各心理變項間具有良好的區辨效度。進而為本研究用於探討心理預測科學想像力的理論建構。

(三)學習環境測量

環境影響評測則採Chen等(2012)發表之五個學習環境影響想像力之量表，共計28題，內容包括：1.物理環境(physical component)，共計5題，指環境中的物理條件，如燈光、音量、通風、材質、擺設、工具、設備或提供創作展演的公共空間等；2.學習資源(learning resource)，計5題，指環境當中如海報、模型之靜態，與如短片、動態模擬刺激，以及包括圖書、資料等學習資源；3.組織措施(organizational measure)，計7題，指學習者知覺來自組織或教師對學習的教學、引導、措施等；4.社會氣氛(social climate)，計6題，指個體知覺到班級同儕團體進行討論、溝通、競爭等，所形成的同儕氣氛；5.文化特質(human aggregate)，計5題，指個體自評系所形成的組織文化或校園傳統，對自身發揮科學想像力的影響程度。本研究以此五個變項探究環境層面對學習者釋放科學想像力的影響。

此量表亦經由本研究所收集之因素驗證樣本，運用驗證性因素分析檢測其結構穩定度，結果顯示適配指數表現良好($\chi^2(289) = 990.45$, $p < .050$, $df = 289$, CFI = .98, RMSEA = .055, SRMR = .069, NFI = .96, NNFI = .98)。各環境變項之平均變異抽取量分別為 .6427、.4490、.5624、.6496、.5435，均大於 .50的決斷值；組合信度分別為.8822、.8279、.8850、.9174、.8544，均大於.60的決斷值，顯示此量表具可接受的聚斂效度。環境影響之各潛在變項區辨效度檢測，潛在變項各兩兩相關的信賴區間均不包含1，顯示各心理變項之間具有良好的區辨效度。

肆、研究結果與討論

一、描述統計分析

本研究針對模型建立組執行描述統計分析，各分量表的信度係數均在 .70以上，顯示具有良好的內部一致性。潛在變項間的相關分析顯示：三種想像力之間具高相關；學習

airiti

環境之五個向度及內在心理之六個向度，與想像力有低度到中度相關。此外，內在心理之生產認知、內在動機、自我效能與想像力的相關程度稍微高於學習環境中各向度之間的相關，合於理論預期，即心理間各構念雖具相關但因其對學習者的作用不同，因此可依理論假設進行探討；環境間各構念雖亦互有關連，但其彼此間的相關程度較低。描述統計結果詳見表2。

二、內在動機與自我效能中介預測科學想像力的假設模型考驗

本研究建立以內在動機與自我效能為部分中介，帶動心理與環境協同預測學習者科學想像力的模型。結果顯示：以全部分量表預測想像力的部分中介模型無法達成適配，其中內在心理之做中悟，以及物理環境與組織措施對中介變項與想像力的影響力均低於顯著水準或無影響力。據此，本研究之假設1、假設2、假設3、假設4、假設5均獲得部分支持。亦即：不同的心理變項，確可透過內在動機為部分中介，直接與間接預測三種科學想像力(假設1獲得部分支持)；不同的環境變項，確可透過內在動機為部分中介預測三種科學想像力(假設2獲得部分支持)；不同心理變項，可透過自我效能為部分中介，直接與間接預測三種科學想像力(假設3獲得部分支持)；不同環境變項，可透過自我效能為部分中介，直接與間接預測三種科學想像力(假設4獲得部分支持)；整體中介模型獲得支持，但部分因素之影響力未達顯著水準（假設5獲得部分支持）。

本研究刪除三個未能顯著預測科學想像力的變項，以內在動機與自我效能為部分中介預測三種想像力假設模型達到良好適配：($\chi^2(3020) = 6{,}651.27$, $p < .050$, $df = 3020$, CFI = .97, RMSEA = .055, SRMR = .070, NFI = .94, NNFI = .97)。針對部分路徑未達顯著者，為求圖示精簡未達顯著的路徑無顯示於圖1中，詳細的預測係數另呈現於表3當中。修正後的結構模型如圖1，該模型之潛在變項的相關分析如表4。針對做中悟、物理環境與組織措施等三個變項，未達顯著之預測力，於討論乙節中探討。

根據圖1與表3顯示，要預測三種科學想像力，尤應重視扮演中介作用之自我效能與內在動機，及直接與間接作用兼具之生產認知，以及環境層面長期塑成的文化特質。細部來看：1.內在動機與自我效能可直接預測三種想像力。此外，內在動機與自我效能可扮演部分中介角色，使個體心理之正負向情緒、生產認知，以及學習環境之學習資源、社會構成與文化特質透過中介作用，間接預測想像力。據此，本研究預測三種想像力的假設模型獲得支持(即支持研究假設1、假設2、假設3、假設4)。整體模型可解釋構思想像之變異量達55.00%；解釋創始想像之變異量達49.00%；解釋轉造想像的變異量達59.00%(支持研究假設5)。2.在直接預測的形態上，內在心理之負向情緒能直接預測構思想像與創始想像；生產認知則能直接預測創始想像與轉造想像；學習環境之文化特質更對三種想像力均具直接預測力。3.內在心理之做中悟，以及物理環境與組織措施等三個變項，無論對中介的兩個變項，或者直接預測三種想像力，均未達顯著預測水準。綜合此三項結果顯示本研究所提出的整體模型獲得部分支持(研究假設5)。

觀察中介變項的預測結構，則可發現內在心理與學習環境透過兩個中介變項，預測科學想像力的型態略有差異。其中，內在動機主由心理因素之正負向情緒及生產認知所預測；

表2：模型建立組之各子量表的描述統計、信度和相關係數 ($N = 422$)

變項	平均數	標準差	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
想像力	1.創始	4.14	0.70	(.92)												
	2.構思	4.11	0.60	0.68**	(.89)											
	3.轉造	4.33	0.69	0.69**	0.66**	(.89)										
中介	4.內在動機	4.48	0.76	0.38**	0.34**	0.41**	(.79)									
	5.自我效能	4.38	0.70	0.46**	0.55**	0.50**	0.48**	(.83)								
內在心理	6.正向情緒	4.58	0.83	0.30**	0.28**	0.30**	0.38**	0.35**	(.85)							
	7.負向情緒	2.79	1.03	0.09	-0.00	0.00	-0.15**	-0.15*	-0.13*	(.93)						
	8.生產認知	4.43	0.74	0.47**	0.42**	0.53**	0.35**	0.51**	0.44**	-0.07	(.85)					
	9.做中悟	4.52	0.75	0.45**	0.41**	0.52**	0.42**	0.57**	0.40**	-0.06	0.65**	(.86)				
學習環境	10.物理環境	4.35	0.85	0.20**	0.24**	0.22**	0.16**	0.31**	0.27**	-0.06	0.23**	0.19**	(.83)			
	11.學習資源	4.43	0.71	0.26**	0.29**	0.28**	0.23**	0.40**	0.24**	-0.16**	0.32**	0.25**	0.59**	(.82)		
	12.組織措施	4.48	0.77	0.24**	0.28**	0.34**	0.32**	0.42**	0.18**	-0.10	0.33**	0.31**	0.47**	0.558**	(.88)	
	13.社會氣氛	4.89	0.74	0.27**	0.22**	0.32**	0.36**	0.48**	0.41**	-0.24**	0.47**	0.43**	0.41**	0.513**	0.50**	(.92)
	14.文化特質	4.10	0.83	0.19**	0.29**	0.16**	0.10*	0.27**	0.13*	0.09	0.19**	0.14**	0.24**	0.309**	0.35**	0.29*

註：( )為信度係數。

$^{*}p < .050$, $^{**}p < .010$

表3：內在心理與學習環境透過內在動機與自我效能為中介預測科學想像力之預測力

自變項	中介變項		想像力(依變項)					
環境／心理	內在動機	自我效能	直接效果／間接效果			總效果		
			構思	創始	轉造	構思	創始	轉造
內在動機	／	／	0.27** ／ —	0.20***／ —	0.21***／ —	0.27**	0.20***	0.21***
自我效能	／	／	0.49***／ —	0.21** ／ —	0.20** ／ —	0.49***	0.21**	0.20**
正向情緒	0.27***	—	— ／0.07**	— ／0.05*	— ／0.05**	0.07**	0.05*	0.05**
負向情緒	0.05*	—	0.15***／ —	0.11* ／ —	— ／ —	0.15**	0.11*	—
生產認知	0.30***	0.46***	— ／0.30***	0.46***／0.15***	0.41***／0.15***	0.30***	0.61***	0.56***
學習資源	0.20***	0.27***	— ／0.18***	— ／0.09***	-0.15* ／0.09**	0.18***	0.09***	0.05
社會構成	—	0.18*	— ／0.09**	— ／0.04*	— ／0.04*	0.09*	0.04*	0.04*
文化特質	—	0.19*	0.15* ／0.09***	0.11* ／0.04*	0.19* ／0.04*	0.24***	0.15***	0.22***
殘差	0.59	0.40	—	—	—	0.45	0.51	0.41

$^{*}p < .050$, $^{**}p < .010$, $^{***}p < .001$

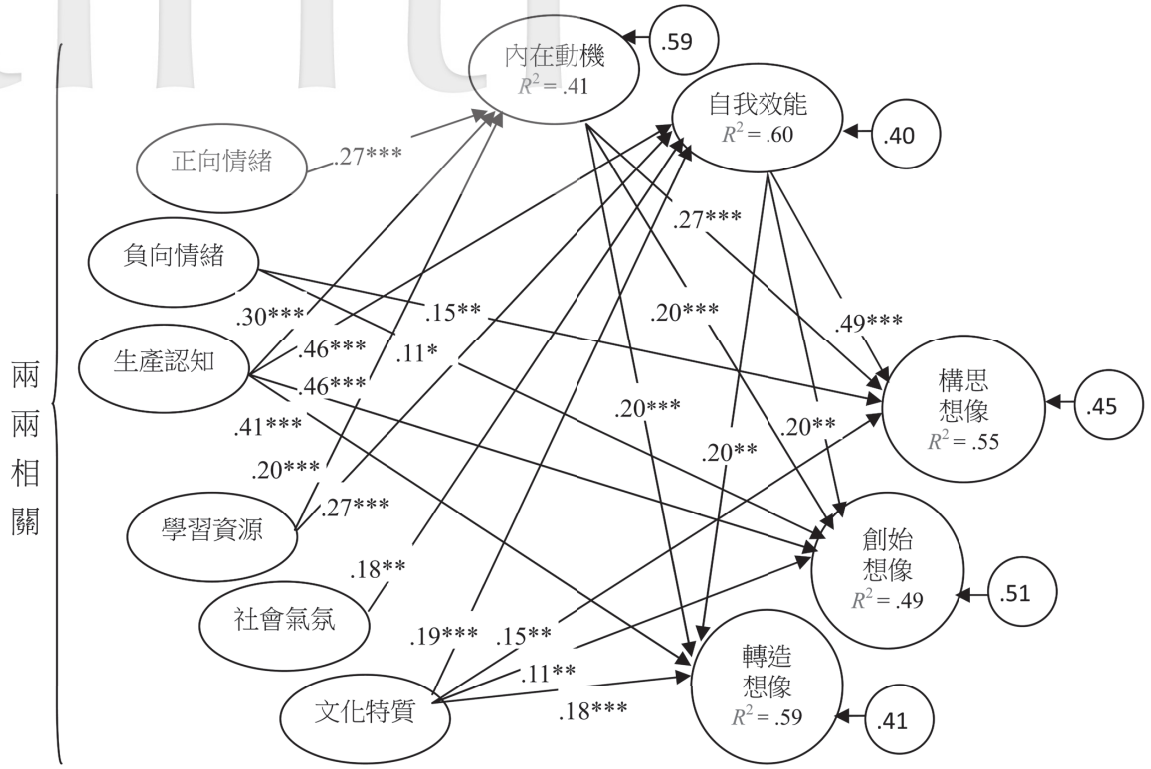

圖1：心理與環境透過內在動機與自我效能為中介預測三種科學想像力的結構模型

表4：預測科學想像力之潛在變項間的相關係數

	1	2	3	4	5	6
1. 正向情緒	1					
2. 負向情緒	-0.06	1				
3. 生產認知	0.60***	0.05	1			
4. 學習資源	0.51***	-0.02	0.47***	1		
5. 社會氣氛	0.51***	-0.08	0.43***	0.61***	1	
6. 文化特質	0.05	0.21***	0.20***	0.30***	0.26***	1

***p < .001

airiti

自我效能則由學習環境之資源、社會構成與文化特質所預測。且透過直接與間接效果作用，內在心理之正負向情緒與生產認知，以及學習環境之資源、社會構成與文化特質，均能對構思想像與創始想像產生預測力；而轉造想像則除了負向情緒與學習資源不具預測力之外，其餘變項亦均具預測力。其中，較值得注意的是，生產認知不僅可直接預測想像力，亦可透過兩種中介變項增加間接預測力；文化特質能低度直接預測三種想像力外；透過自我效能與內在動機為中介，亦間接增強其對三種想像的間接預測力。

分析內在心理與外在環境預測科學想像力的中介型態，及直接或間接透過中介變項的預測強度，可發現內在動機多扮演心理與想像力間的中介作用；自我效能則多顯現學習環境與想像力間的中介效果，同時，原對三種想像力預測力不高的心理與環境變項(如：正向情緒與三個環境變項，詳見表3)，均能透過兩個中介變項有效提高其預測力。換言之，能夠將學習者心理資源導向內在動機；將學習環境資源導向強化自我效能，將能有效帶動學習者在創始、構思、轉造之科學想像力。此外，值得深入討論的是，生產認知除對創始與轉造想像的直接預測力相當顯著之外，亦對學習者的內在動機與自我效能有顯著的預測力，並間接提升對三種想像的預測力。此結果呼應歷來在科學學習領域，重視累積學習者的知識質與量(Hadzigeorgiou et al., 2012; Sternberg, 2006)，並能產出多種想法的重要性。同時，另可留意負向情緒與文化特質，對三種想像力所帶動的直接預測力。

三、討論

整體來說，自我效能及內在動機為中介帶動學習的內外在條件，預測三種科學想像力的結構模型獲得支持。亦即，欲帶動學習者開展科學想像力，學習者的認知、動機、情緒等各層面須能扮演不同角色有效地協同運作，此整體結果呼應Sternberg (2006)指出整合探討學習環境與內在心理的協同運作提升創造力的重要性。另有幾個方向值得深入討論，以深化後續研究。

首先，依三種科學想像力之預測總效果顯示(詳見表3)，對科學之「構思想像」最具預測力者首為學習者的自我效能，其餘依次為生產認知、內在動機、文化特質、學習資源、負向情緒、正向情緒、社會構成等。科學的構思想像反映著學習者從事科學思考時，帶有感受、評估目標有效性、反覆辯證想像內容、忽有靈光一現或直覺反應出現，以及一段時間的沉浸專注等經驗(Grøn, 2002; Loasby, 2001)。研究結果顯示自我效能最具預測力，且生產認知、學習資源、社會構成與文化特質等可有效預測自我效能，而自我效能感主要得自學習者經驗到的生理激發、主要經驗、替代經驗、口語說服等(Bandura, 2012)；顯見學習者對自我能力的評估水準，是影響學習者投入科學構思想像最重要的因素，此結果除了呼應歷來有關科學創造或科學教育，強調學習者的自我效能會明顯影響其冒險與探索問題的意願(Beghetto, 2008)，亦呼應自我效能會發揮中介作用，引導其他內外在條件增益想像力或創造力發展的觀點(Choi, 2004)。本研究透過結構方程模式驗證，另顯示生產認知、內在動機、文化特質、學習資源、負向情緒、正向情緒、社會構成諸此因素間互異的預測力及預測路徑。這些在文獻中被分置指出影響學習者構思想像的重要面向(Kind & Kind, 2007; Ward, 2007; Ward, Smith, & Finke, 1999)，未來值得持續從結構性互動的觀點深究與驗證。

airiti

其次，對「創始想像」預測力最高者為生產認知，其餘依序為自我效能、內在動機、文化特質、負向情緒、正向情緒、社會構成。此結果與學術界對創造力長期探究的結果相呼應(Finke, 1996; Khatena, 1984)。亦即，學生要能夠產出探索、新穎，且富生產力的想像內容，必須累積相當多奠基於理解之上的科學知識，才能從源源不斷產生的各種想法中進一步尋求突破性進展，此亦與Kind與Kind (2007)強調科學想像力重要性的同時亦呼籲知識基礎、理性思維與實證探討需同步重視的觀點不謀而合。本研究運用結構方程模式進行探討，進而指出，推動學習者持續不斷努力的自我效能及內在動機，亦有顯著預測力，此外，支持創新的外在文化特質、接納正負向情緒刺激，以及善用同儕與師生間的關係營造等條件相輔，將更能支持學習者大膽嘗試創始性的想像，諸此強調短期與長期文化對科學想像力發展的觀點，與Robinson (2011)的觀點呼應，本研究以調查與計量分析方法印證此觀點，亦提供諸此因素的影響結構。

第三，對「轉造想像」之預測力首為生產認知，其餘依次為文化特質、內在動機、自我效能、正向情緒、社會構成。對照預測構思想像與創始想像的因素排序後可發現，要產出轉造想像內容，仍首重生產認知，有趣的是其次要影響的因素是文化特質，接續才是內在動機、自我效能等。亦即，轉造想像力帶有具象與轉用的特徵，實用性相當明顯，也因此學習者一方面儘量產出各種想法，另一方面想出來的方法，亦強烈地需要來自長期型塑的文化氛圍支持。轉造想像促使學習者善用具體的意象或生活事例來表達科學概念，並能轉換運用所習得的知識與技能於不同的問題當中，此向度的能力在教育階段，可透過問題情境的轉變，間接評估學習者對科學知識理解的程度(Feynman, 1995, p. 2)。

第四，觀察預測三種科學想像力的自變項，顯示環境變項對想像力的直接預測力，相較於心理因素並不明顯，但是，透過內在動機與自我效能發揮部分中介作用，仍對想像力展現有一定程度的影響(特別是透過自我效能為中介的路徑)。其中，以「文化特質」對三種想像最具預測力。文化特質係指領域內長期累積的領域氛圍與校系文化，因此，長期塑成的領域文化，對於帶動學習者的科學想像力將具明顯影響。「學習資源」則明顯需要透過內在動機與自我效能為中介來預測想像力，其甚至對轉造想像有負向的預測力，此意味著豐沛的學習資源刺激，需要導向強化學習者的內在動機與自我效能，方能對科學想像力有預測力。至於「社會構成」若非透過自我效能中介，亦無法預測三種想像力，此顯示由師生關係與同儕互動所主導的社會構成因素，須能導向提升自我效能，方能預測三種科學想像力。

第五，觀察「生產認知」預測三種想像力的型態，可以發現生產認知不僅對內在動機與自我效能等兩個中介變項有預測力，其對創始及轉造想像亦有直接預測力，進而對三種想像的整體預測力相當顯著。生產認知係指個體透過多種方法(包括：聯想、假設、模擬等)來產生多元想法，由於產生想法與個體的知識經驗背景緊密相關，因此，本研究結果除了呼應科學領域一直以來，強調重視學習者擁有豐厚紮實的知識基礎，進而帶動發揮科學想像力的觀點不謀而合之外，更帶入生產認知透過內在動機與自我效能的中介作用，將更提升其對三種科學想像的預測力。

第六，「正負向情緒」預測三種想像力的型態，可發現負向情緒對構思與創始想像

airiti

有直接預測力，因此，未來帶動學習者發揮創始與構思想像時，負向情緒是值得重視的因素之一。至於正向情緒的預測型態略有不同，正向情緒對想像力並無直接預測力，但透過內在動機為中介亦可顯著預測三種想像力；有趣的是，正向情緒對學習者的自我效能並無預測力，這顯示包括愉快、興奮與受到激勵等正向情緒，可預測內在動機進而微量影響科學想像力。

最後，本研究亦於模型驗證過程中發現，做中悟、物理環境與組織措施等三個變項，在內在動機與自我效能為中介的模型當中，對三種科學想像力均無顯現直接與間接的預測效果。由於探討以內在動機與自我效能為部分中介，帶動心理與環境因素預測科學想像力，運用結構方程模式加以驗證的努力為國際間首見，此是否意味著此三個因素是循其他型態(例如：調節路徑或其他模式)影響想像力？本研究未敢以目前結果逕下定論，未來值得針對諸此因素的影響型態細加探究。

伍、結論與建議

面對21世紀學習環境因學習科技與環境議題之挑戰劇烈，科學想像力發展之研究需持續深化，並能夠進一步結合相關教學方法與學習素材，方能展現應用效益。科學學習除了促使學習者累進科學知識，亦須強調高階思考如想像能力之培養，以帶動學習者活用所學轉換應用於實際生活環境中從事問題解決。本研究奠基於前人探索科學想像力內涵及其影響條件的努力(如Holton, 1996; Sternberg, 2006; Stinner, 2003)，繼從培養能力的觀點，以創始想像力、構思想像力、轉造想像力等三種想像力來詮釋科學想像力(梁朝雲等，2014)。進而探討內在心理與外在環境如何協同運作，以引導學習者厚植此三種想像力，協助學習者帶著豐富的科學想像力探究各種問題。此外，對教育實務工作而言，亦可將科學想像力帶入教學方法與並與相關學習素材結合，以厚植學習者的科學探究技能與科學思維，本研究提出四項結論及後續教學推動之建議：

一、結論

首先，能力取向的科學想像力，可由創始想像、構思想像、轉造想像之概念來詮釋。本研究引用能力取向的觀點詮釋科學想像力，此三種科學想像能力，可進一步結合教師的課程設計，或學習者自我調整的學習目標來開發教學或學習方案，進而使科學想像力豐富教師的課程設計內涵與學習者的學習經驗。

其次，預測創始性的科學想像力，最具預測力者為生產認知，後依序為自我效能、內在動機、文化特質、負向情緒、正向情緒、社會構成；預測構思性的科學想像力，最具預測力者為自我效能，後依次為生產認知、內在動機、文化特質、學習資源、負向情緒、正向情緒、社會構成等；預測轉造性的科學想像力，最具預測力者為生產認知，後依次為文化特質、內在動機、自我效能、正向情緒、社會構成。此結果除顯示三種科學想像力互有區別之外，亦顯示科學知識、靈活產生想法、內在動機、文化特質等因素，是攸關科學想像導出高品質想像的關鍵變項。

第三，預測三種科學想像力兼具直接與間接效果者，為心理面向的生產認知與環境面向的文化特質。足見學習者累積正確足量的科學知識並理解原理原則，後能以多元豐富的方法產生想法，對預測科學想像力是最重要的條件之一。同時，外在長期塑成的文

airiti

化特質(相較於短期影響的組織措施及社會構成)，對增長或抑制科學想像力的關鍵影響，亦值得持續深入探討。

第四，整合內外在條件，循內在動機與自我效能為中介，預測科學想像力的假設學習模式獲得支持。且內在動機主由學習者其他內在心理資源預測(包括生產認知與正負向情緒)；自我效能則主由學習環境預測(包括學習資源、社會構成與文化特質)；此整合模型充分反應出要培養學習者能力導向的科學想像力，內外在條件需整合且協同運作可達較佳學習成效。

二、建議

本研究以趨近教育實務現場多重變項相互影響的實情，運用結構方程模式考驗假設模型，初步獲得以內在動機與自我效能為中介對三種想像能力的預測樣貌，其結果除與過去以單一或少數變項所探究的結果相互呼應外，更進一步探究多重變項之間的結構關係。然而，畢竟良好的學習模式仍須進一步為教師與學習者善用，方能實際發揮效益。基於此，本研究提出後續研究與教學推動之建議。

在研究層面：後續針對本研究結果仍值得另收集不同樣本，從事模型競爭或模型比較的系列研究，對於建構具穩定預測力的科學想像力學習模式應有助益；此外，本研究結果係運用心理計量方法所得，未來相關預測路徑，值得運用實驗設計的方法進行變項控制與驗證，以便對預測科學想像力，帶來更為直接的研究證據。且本研究以廣義的自然科學領域為基礎(涵蓋了以理論深究與創發為主的理科，以及以技術深究與改良精進為主的工科)，進而建立科學想像力的預測模型。然則，有可能此兩個領域之間雖具備共同的數理基礎背景，但因培育方針差異，而使預測模型有領域之間的差異存在，未來值得分別結合人才培育場域教學情境差異，執行進階研究。

整體而言，在教學應用層面：教師須意識到食譜式教學方法的限制，並轉以能夠啟發學習者主動思考與探索意願的方法來從事教學，而科學想像力正可以結合學習素材，並融入個人的教學歷程，來啟發學習者靈活接收新知的心智能力。當代美國的科學教育政策(如Bergin, 2009)，已同時強調學習目標內容，及能將知識在情境中活用的能力；本研究所發展之學習模式除可用於學習者自我引導從事學習之外，教學者亦可將科學想像力的帶動模式，即：運用學習者的內在動機與自我效能為中介，於教學歷程中將學習者的內在資源導向強化內在動機；將外在學習環境的資源導向強化自我效能，透過有效累積學習者對科學知識的質量，從而協助學習者展現其豐沛的生產認知，重視長期塑成的文化影響，以及管理學習者的負向情緒，並將同儕所形成的社會氣氛導向提升效能感，以帶動學習者開展科學想像力促進學習成效。此外，配合研究領域在模式建構上的精進發展，亦可深究理科與工科教學領域的實境差異，導入不同的教學或自學模式。展望21世紀日益複雜的學習環境，帶動學習者運用有效的學習模式從事自學，並結合教師的教學經營，均是值得投入的努力。

誌謝

本研究受科技部100年度「設計、跨界、想像力——設計教育中促發想像力的影響因子、學習過程與學習成效—從學習心理探討設計教育中促發想像之因素作用暨想像力評測」專題計畫補助執行(NSC 100-2511-s-155-

006-MY2)，感謝研究夥伴林威聖先生，在資料分析過程中提供專業協助，謹致謝忱。此外，非常感謝《科學教育學刊》匿名評審提供深入具建設性的建議，及本論文在完稿階段服務於中央大學劉子鍵教授主持之認知與數位學習研究室，由虛擬教室計畫(NSC 101-2511-S-008-004-MY3)提供部分論文編修與經費協助，筆者一併敬致無上的謝忱。

參考文獻

1. 曹亮吉(1996)。**阿草的葫蘆——文化活動中的數學**。臺北市：遠哲科學。
2. 梁朝雲、許育齡、林威聖(2014)。探究想像力內涵暨評測量表研發。**測驗學刊**，**61**(1)，27-49。
3. 許育齡、梁朝雲(2012)。探究想像力的意涵與特徵——探索性與驗證性因素分析之發現。**教育心理學報**，**44**(2)，349-374。
4. Amabile, T. M., Hill, K. G., Hennessey, B. A., & Tighe, E. M. (1994). The work preference inventory: Assessing intrinsic and extrinsic motivational orientations. *Journal of Personality and Social Psychology*, *66*(5), 950-967.
5. Appelbaum, S. H., & Hare, A. (1996). Self-efficacy as a mediator of goal setting and performance. *Journal of Managerial Psychology*, *11*(3), 33-47.
6. Bagozzi, R., & Yi, Y. (1988). On the evaluation of structural equation models. *Journal of the Academy of Marketing Science*, *16*(1), 74-94.
7. Bandura, A. (2012). On the functional properties of perceived self-efficacy revisited. *Journal of Management*, *38*(1), 9-44.
8. Barr, J., & Steele, T. (2003). Revaluing the enlightenment: Reason and imagination. *Teaching in Higher Education*, *8*(4), 505-515.
9. Beghetto, R. A. (2008). Correlates of intellectual risk taking in elementary school science. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(2), 210-223.
10. Bentler, P. M. (1990). Comparative fit indexes in structural models. *Psychological Bulletin*, *107*(2), 238-246.
11. Bergin, K. (2009). *NAEP 2009 science framework development: Issues and recommendations*. Retrieved February 10, 2013, from: http://www.nagb.org
12. Betts, G. H. (1916). Imagination. In G. H. Betts (Ed.), *The mind and its education* (pp. 112-127). New York: D. Appleton and Company.
13. Browne, B. W. (2008). *Cultivating hope and imagination*. Retrieved October 16, 2013, from http://www.swaraj.org/shikshantar/blissls3.htm
14. Chen, G., Gully, S. M., & Eden, D. (2001).Validation of a new general self-efficacy scale. *Organizational Research Methods*, *4*(1), 62-83.
15. Chen, S. C., Huang, Y., & Liang, C. (2012). The combined effects of learning environment and personality traits on student imagination. *Instructional Technology and Media*, *102*, 62-78.

16. Choi, J. N. (2004). Individual and contextual predictors of creative performance: The mediating role of psychological processes. *Creativity Research Journal*, *16*(2-3), 187-199.
17. Choi, J. N. (2012). Context and creativity: The theory of planned behavior as an alternative mechanism. *Social Behavior and Personality*, *40*(4), 681-692.
18. Clement, J. J. (2009). The role of imagistic simulation in scientific thought experiments. *Topics in Cognitive Science*, *1*(4), 686-710.
19. Clough, M. P. (2006). Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. *Science & Education*, *15*(5), 463-494.
20. Craft, A., Chappell, K., & Twining, P. (2008). Learners reconceptualising education: Widening participation through creative engagement? *Innovations in Education and Teaching International*, *45*(3), 235-245.
21. Cudeck, R., & Browne, M. W. (1983). Cross-validation of covariance structures. *Multivariate Behavioral Research*, *18*(2), 147-167.
22. Currie, G. (2002). Imagination as motivation. *Proceedings of the Aristotelian Society*, *102*(1), 201-216.
23. Daston, L. (1998). Fear and loathing of the imagination in science. *Daedalus*, *127*(1), 73-95.
24. De Cruz, H., & De Smedt, J. (2010). Science as structured imagination. *Journal of Creative Behavior*, *44*(1), 29-44.
25. Decety, J., & Grèzes, J. (2006). The power of simulation: Imagining one's own and other's behavior. *Brain Research*, *1079*(1), 4-14.
26. Deci, E. L. (1971). Effects of externally mediated rewards on intrinsic motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, *18*(1), 105-115.
27. Dijksterhuis, A., & Meurs, T. (2006). Where creativity resides: The generative power of unconscious thought. *Consciousness and Cognition*, *15*(1), 135-146.
28. Drasgow, F., & Lissak, R. I. (1983). Modified parallel analysis: A procedure for examining the latent dimensionality of dichotomously scored item responses. *Journal of Applied Psychology*, *68*(3), 363-373.
29. Duch, W. (2007). Intuition, insight, imagination and creativity. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, *2*(3), 40-52.
30. Eckhoff, A., & Urbach, J. (2008). Understanding imaginative thinking during childhood: Socio-cultural conceptions of creativity and imaginative thought. *Early Childhood Education Journal*, *36*(2), 179-185.
31. Egan, K. (2007) Imagination, past and present. In K. Egan, M. Stout, & K. Takaya (Eds.), *Teaching and learning outside the box*: *Inspiring imagination across the curriculum*. New York: Teachers College Press.

airiti

32. Eisenberger, R., & Rhoades, L. (2001). Incremental effects of reward on creativity. *Journal of Personality and Social Psychology*, *81*(4), 728-741.
33. Eisenberger, R., & Shanock, L. (2003). Rewards, intrinsic motivation, and creativity: A case study of conceptual and methodological isolation. *Creativity Research Journal*, *15*(2-3), 121-130.
34. Eisner, E. W. (1993). Forms of understanding and the future of educational research. *Educational Researcher*, *22*(7), 5-11.
35. Eisner, E. W. (2002). *The arts and creation of mind*. New Haven, CT: Yale University Press.
36. Fernández-Abascal, E. G., & Martin, D. M. D. (2013). Affective induction and creative thinking. *Creativity Research Journal*, *25*(2), 213-221.
37. Fettes, M. (2010). The TIEs that bind: How imagination grasps the world. In K. Egan & K. Madej (Eds.), *Engaging imagination and developing creativity in education* (pp. 2-16). Newcastle upon Tyne, UK: Cambridge Scholars Publishing.
38. Feynman, R. (1995). *Six easy pieces*. Reading, MA: Helix Books.
39. Finke, R. A. (1996). Imagery, creativity, and emergent structure. *Consciousness and Cognition*, *5*(3), 381-393.
40. Folkmann, M. N. (2011). Spaces of possibility: The imaginary in design. *The Design Journal*, *14*(3), 263-282.
41. Fornell, C., & Larcker, D. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, *18*(1), 39-50.
42. Gaut, B. (2003). Creativity and imagination. In B. Gaut & P. Livingston (Eds.), *The creation of art* (pp. 148-173). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
43. Ghafoor, A., Qureshi, T. M., Azeemi, H. R., & Hijazi, S. T. (2011). Mediating role of self-efficacy. *African Journal of Business Management*, *5*(27), 11093-11130.
44. Glenberg, A. M. (1997). What memory is for: Creating meaning in the service of action. *Behavioral and Brain Sciences*, *20*(1), 1-55.
45. Greene, M. (1995). *Releasing the imagination*: *Essays on education*, *the arts*, *and social change*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
46. Grøn, A. (2002). Imagination and subjectivity. *Ars Disputandi*, 2, 27-36.
47. Guay, F., Vallerand, R. J., & Blanchard, C. (2000). On the assessment of situational intrinsic and extrinsic motivation: The situational motivation scale. *Motivation and Emotion*, *24*(3), 175-213.
48. Hadzigeorgiou, Y., Fokialis, P., & Kabouropoulou, M. (2012). Thinking about creativity in science education. *Creative Education*, *3*(5), 603-611.
49. Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2006). *Multivariate data analysis* (6th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
50. Holton, G. (1996). On the art of scientific imagination. *Managing Innovation*, *125*(2), 183-208.
51. Hsu, Y., Chang, C.-C., & Liang, C. (2013). The effects of creative personality and psychologi-

cal influences on imagination. *Innovations in Education and Teaching International*. Retrieved June 15, 2014, from http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14703297.2013.808404#tabModule

52. Hsu, Y., Liang, C., & Chang, C.-C. (2014). The mediating effects of generative cognition on imagination stimulation. *Innovations in Education and Teaching International*, *51*(5), 544-555.
53. Huebner, L. A., & Lawson, J. M. (1990). Understanding and assessing college environment. In D. G. Creamer (Ed.), *College student development*: *Theory and practice for the 1990s* (pp. 127-151). Alexandria, VA: ACPA.
54. Hüppauf, B., & Wulf, C. (2009). *Dynamics and performativity of imagination*: *The image between the visible and the invisible*. New York: Routledge.
55. Jöreskog, K. G. (1971). Statistical analysis of sets of congeneric tests. *Psychometrika*, *36*(2), 109-133.
56. Jöreskog, K. G., & Sörbom, D. (2002). *LISREL 8.80* [Computer software]. Chicago, IL: Scientific Software International.
57. Kangas, M. (2010). Creative and playful learning: Learning through game co-creation and games in a playful learning environment. *Thinking Skills and Creativity*, *5*(1), 1-15.
58. Kaplan, E. K. (1972). Gaston Bachelard's philosophy of imagination: An introduction. *International Phenomenological Society*, *33*(1), 1-24.
59. Khatena, J. (1984). *Imagery and creative imagination*. Buffalo, NY: Bearly in association with Creative Education Foundation.
60. Kind, P., & Kind, V. (2007). Creativity in science education: Perspectives and challenges for developing school science. *Studies in Science Education*, *43*(1), 1-37.
61. Kosslyn, S. M. (1996). *Image and brain: The resolution of the imagery debate*. Cambridge, MA: MIT Press.
62. Leahy, W., & Sweller, J. (2008). The imagination effect increases with an increased intrinsic cognitive load. *Applied Cognitive Psychology*, *22*(2), 273-283.
63. Leboutillier, N., & Marks, D. F. (2003). Mental imagery and creativity: A meta-analytic review study. *British Journal of Psychology*, *94*(1), 29-44.
64. Liang, C., Chang, C.-C., & Hsu, Y. (2013). Personality and psychological factors predict imagination: Evidence from Taiwan. *Learning and Individual Differences*, *27*, 67-74.
65. Loasby, B. J. (2001). Cognition, imagination and institutions in demand creation. *Journal of Evolutionary Economics*, *11*(1), 7-21.
66. MacCallum, R. C., Roznowski, M., Mar, C. M., & Reith, J. V. (1994). Alternative strategies for cross-validation of covariance structure modeling. *Psychological Methods*, *1*, 130-149.
67. Mayer, J., & Talanquer, V. (2010). The role of intuitive heuristics in students' thinking: Ranking chemical substances. *Science Education*, *94*(6), 963-984.

68. McAndrew, F. T. (1993). *Environmental psychology*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
69. O'Connor, K. P., & Aardema, F. (2005). The imagination: Cognitive, pre-cognitive, and meta-cognitive aspects. *Consciousness and Cognition*, *14*(2), 233-256.
70. Odell, B. (2005). Science matters. *American School & University*, *78*(3), 296-298.
71. Pearson, K. (1936). *The grammar of science*. London: J. M. Dent & Sons.
72. Pelaprat, E., & Cole, M. (2011). Minding the gap: Imagination, creativity and human cognition. *Integrative Psychological and Behavioral Science*, *45*(4), 397-418.
73. Perdue, K. (2003). *Imagination*. *The Chicago school of media theory*. Retrieved October 27, 2012, from http://lucian.uchicago.edu/blogs/mediatheory/keywords/imagination/
74. Pezzulo, G., & Castelfranchi, C. (2009). Intentional action: From anticipation to goal-directed behavior. *Psychological Research*, *73*(4), 437-440.
75. Piaget, J. (1973). *To understand is to invent*. New York: Grossman.
76. Popper, K. (1968). *The logic of scientific discovery*. New York: Harper and Row.
77. Prabhu, V., Sutton, C., & Sauser, W. (2008). Creativity and certain personality traits: Understanding the mediating effect of intrinsic motivation. *Creativity Research Journal*, *20*(1), 53-66.
78. Pylyshyn, Z. W. (2002). Mental imagery: In search of a theory. *Behavioral and Brain Sciences*, *25*(2), 157-238.
79. Pylyshyn, Z. W. (2007). *Things and places*: *How the mind connects with the world*. Cambridge, MA: MIT Press.
80. Reid, A., & Solomonides, I. (2007). Design students experience of engagement and creativity. *Art*, *Design & Communication in Higher Education*, *6*(1), 27-39.
81. Robinson, K. (2011). *Out of our minds*: *Learning to be creative*. Chichester, UK: Capstone.
82. Rowlands, S. (2011). Discussion article: Disciplinary boundaries for creativity. *Creative Education*, *2*(1), 47-55.
83. Runco, M. A., & Jaeger, G. J. (2012). The standard definition of creativity. *Creativity Research Journal*, *24*(1), 92-96.
84. Schmidt, A. (2011). Creativity in science: Tensions between perceptions and practice. *Creative Education*, *2*(5), 435-445.
85. Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Teacher Education*, *88*(4), 610-645.
86. Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge, MA: MIT Press.
87. Shin, U. (1994). The role of imagination in integrative knowledge: A Polanyian view. *Tradition & Discovery*, *21*(2), 16-28.

airiti

88. Steiger, J. H. (1990). Structural model evaluation and modification: An interval estimation approach. *Multivariate Behavioral Research*, *25*(2), 173-180.

89. Sternberg, R. J. (2006). Creating a vision of creativity: The first 25 years. *Psychology of Aesthetics*, *Creativity*, *and the Arts*, *S*(1), 2-12.

90. Stevenson, L. (2003). Twelve Conceptions of Imagination. *British Journal of Aesthetics*, *43*(3), 238-259.

91. Stinner, A. (2003). Scientific method, imagination, and the teaching of physics. *Physics in Canada*, *59*(6), 335-346.

92. Strange, C. C. (2003). Dynamics of campus environments. In S. R. Komives & D. B. Woodard, Jr. (Eds.), *Student services*: *A handbook for the profession* (4th ed., pp. 297-316). San Francisco, CA: Jossey-Bass.

93. Taylor, T. L. (2006). *Play between worlds*: *Exploring online game culture*. Cambridge, MA: MIT Press.

94. Thomas, N. J. T. (1999). Are theories of imagery theories of imagination? An active perception approach to conscious mental content. *Cognitive Science*, *23*(2), 207-245.

95. Thomas, N. J. T. (2010). *The Multidimensional spectrum of imagination*: *Images, dreams*, *hallucinations*, *and active*, *imaginative perception*. Retrieved July 28, 2013, from http://www.imagery-imagination.com/spectrum0.htm

96. Tindall-Ford, S., & Sweller, J. (2006). Altering the modality of instructions to facilitate imagination: Interactions between the modality and imagination effects. *Instructional Science*, *34*(4), 343-365.

97. Treadaway, C. (2009). Translating experience. *Interacting with Computers*, *21*(1-2), 88-94.

98. Van Meer, J. P., & Theunissen, N. C. M. (2009). Prospective educational applications of mental simulation: A meta-review. *Educational Psychology Review*, *21*(2), 93-112.

99. Vygotsky, L. S. (2004). Imagination and creativity in childhood. *Journal of Russian and East European Psychology*, *42*(1), 7-97.

100. Ward, T. B. (2007). Creative cognition as a window on creativity. *Methods*, *42*(1), 28-37.

101. Ward, T., Smith, S., & Finke, R. (1999). Creative cognition. In R. Sternberg (Ed.), *Handbook of creativity* (pp. 189-212). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

102. Zhao, H., Seibert, S. E., & Hills, G. E. (2005). The mediating role of self-efficacy in the development of entrepreneurial intentions. *Journal of Applied Psychology*, *90*(6), 1265-1272.

103. Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into Practice*, *41*(2), 64-70.

104. Zimmerman, B. J., & Kitsantas, A. (2005). Homework practices and academic achievement: The mediating role of self-efficacy and perceived responsibility beliefs. *Contemporary Educational Psychology*, *30*(4), 397-417.

科學教育學刊
2014, 第二十二卷第四期, 389-412
DOI: 10.6173/CJSE.2014.2204.03

Chinese Journal of Science Education
2014, 22(4), 389-412

airiti

Learning Model of Intrinsic Motivation and Self-Efficacy as a Mediator to Predict the Scientific Imagination

Yuling Hsu[1], Chaoyun Liang[2,*] and Sheng-Kuei Hsu[3]

[1]Graduate Institute of Learning and Instruction, National Central University
[2]Department of Bio-Industry Communication and Development, National Taiwan University
[3]Department of Information Management, Taoyuan Innovation Institute of Technology

Abstract

The current study was aimed to analyze the factors of psychology and environment that could predict the students' scientific imagination. The participants in this study were Taiwanese university students of science and technology. The results indicated that psychological and environmental factors integrated as the intrinsic motivation and self-efficacy mediating models could effectively predict the scientific imagination. It was found that the psychological factors of generative cognition and negative emotion, as well as the environmental factors of the human aggregate, had direct effects on scientific imagination. In addition, generative cognition, positive emotion, learning resources, social climate, and the human aggregate were shown to have different indirect effects on different kinds of scientific imagination. After the psychological and environmental predictive effects were explored, teaching and learning applications were also discussed, and further research suggestions were offered.

Key words: Intrinsic Motivation, Self-Efficacy, Scientific Imagination, Learning Model

* Corresponding author: Chaoyun Liang