科學教育學刊
2006, 第十四卷第二期, 149-162

Chinese Journal of Science Education
2006, 14(2), 149-162

用變量判別量數分析二階段測驗

何偉雲[1]　**高慧蓮**[2]

[1]國立屏東師範學院 物理暨地球科學學系

[2]國立屏東教育大學 自然科學教育學系

（投稿日期：民國 92 年 10 月 4 日，修訂日期：94 年 1 月 24 日，接受日期：94 年 4 月 25 日）

摘要：二階段測驗作為科學迷思概念診斷的主要工具，由於其二階段數據形式通常為名義變量，使得測驗工具的數據分析或是效度建構無法用一般的多變量統計方法，對迷思概念研究社群造成不少困擾。本研究利用變量判別量數分析方法，對一份經過專家審查通過的二階段測驗工具進行分析，研究結果顯示，該方法能有效地分析二階段測驗數據，提供構念代表性不足和構念非相關變異量等構念效度資訊。

關鍵詞：迷思概念、二階段測驗、判別量數分析

壹、研究問題

科學迷思概念的研究，最早可溯及 Hancock 在 1940 年出版的一篇論文：『An Evaluation of Certain Popular Science Misconceptions』。在該文中，Hancock 對迷思概念作出定義，開啟迷思概念研究的先河。1970 年代中開始的研究指出，學童的科學概念與課程知識結構有基本上的差異，科學教育研究學者稱之為「迷思概念」（misconception）、「另有概念」（alternative conception）、或「另有架構」（alternative frame）等（郭重吉和吳武雄, 1989; 邱美虹, 1998）。在 1983 年，迷思概念研究學者首次在美國 Cornell 大學舉行國際研討會，會中對於迷思概念的定義、迷思概念成因、概念改變教學、研究方法等議題進行探討。自此以後，科學迷思概念的研究成為科學教育的主要研究課題之一（Wandersee, 1986; Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994）。

概念是人類學習的基本單元，也是組織知識網路的基本單元。依據 Ausubel（1963; 1968）的學習理論，新知識的學習依賴於先存知識。Ausubel 認為，概念學習要經過二個階段：概念形成與學習概念名稱。學生在概念形成或是學習過程中，先存經驗和新概念知識不斷互動，新概念與經驗的衝突或是對知識的重新解釋，常被視為學生學習的起點。可見，迷思概念對科學學習具有重要影響，學生迷思概念的發現對概念改變教學，課程內容的設計，乃至建構主義教學等均產生衝擊，促使科學教育必須考慮學生的迷思概念。

科學迷思概念的診斷屬於診斷性評量，是概念改變教學的重要部分。迷思概念診斷之目的在探討學生在學習過程中，先存知識如何解釋新資訊，新舊經驗之間如何統整。診斷教學的重要性在這幾年已被科學教育界普遍接受，國內外也有相當多的教學實驗是依據診斷教學的理念執行。Treagust（2000）指出，目前的教育改革除非評量能配合課程與教學法的改變，否則效果將極為微小。Bell（1989, 1992）所主張的診斷教學法，除了要找出迷思概念的原因，還要提供合適的補救教學來修正學生的概念。綜合 Treagust 與 Bell 的看法，迷思概念研究包含學生迷思概念的診斷，及尋找合適的個別化補救教學策略來修正學生的迷思概念。

紙筆測驗、概念圖、繪圖、晤談法等是最常用來診斷學生迷思概念的方法。由於紙筆測驗以選擇題的方式進行評量，故能進行大樣本施測，提供數據用於統計分析，但其缺點是無法得知學生的推理方式。在 1986 年，Treagust(1986, 1988; Tan, Treagust, Goh, & Chia, 2002 ）提出開放式兩階段紙筆評量（two-tier test)，此種診斷方式的第一階段是針對內容，第二階段是探索理由。學生在某道題的兩個階段都回答正確，才表示學生對該題有正確的認知，否則就具有迷思概念。Treagust（1996, 2000）指出此種評量方式適合教學且教師容易接受，可以增加教師察覺學生在概念上的狀態，這種方式也可以使用在集體討論。

為了簡化兩階段紙筆評量數據分析工作，通常第一階段的選答形式為是非題，第二階段則要求學生選出前階段回答的理由。即便如此簡化，二階段測驗的數據分析還是十分複雜。這裡，研究者以附件的二階段測驗為例，該測驗工具共有 14 道題目，每道題目的第一階段提供兩種選答，第二階段則有四種。因此理論上，每道題目可以產生八種類別，由於類別數量過多，使得即使如簡單的類別之間的比較都難以進行。

除以上問題外，發展可靠的、有效的二階段測驗需要經過晤談、設計紙筆測驗題目、預試、修正等過程，整個過程既耗時又耗工。更關鍵的問題在於如何確保設計的每道題目，都能夠有效地測驗學生的迷思概念，並且設計的測驗題目具有足夠的判別力（discrimination power）？這些考量可能導致對測驗信度與效度的疑慮，將直接影響對測驗結果的解釋，這是二階段測驗設計過程中必須面對的問題。

基於以上原因可知，二階段迷思概念測驗收集的名義數據（nominal variable)，使得數據分析或是迷思概念的診斷工作變得十分困難，導致數據分析必需在個別題目上逐題進行，我們特稱為局部診斷。Ho 與 Koa（2003)首次提出用同質化分析(homogeneity analysis)，分析不同迷思概念類別之間的同質性，將學生迷思概念的型態表示在二維平面上，該方法的特點是從整域（global）診斷的觀點，同時分析二階段測驗中的題目。但是，使用該分析方法的前提是必需先確認測驗效度。同時，該研究並未觸及二階段測驗的效度建構及題目判別力問題。

一份具有高度信、效度的迷思概念二階段測驗，例如：The Force Concept Inventory（Hestenes, David, Wells, Malcolm, Swackhamer, & Gregg, 1992)，通常是以相關研究作為基礎，事先必須廣泛地與學生晤談和整理大量的晤談資料，一般需要幾千位不同地區的學生作為樣本以建立常模，其工作量遠超過個別研究者的負荷。很多迷思概念研究學者，在發展二階段測驗過程中，限於人力及物力，無法投入大量資源以建構測驗的效度，而且也缺乏有效的方法來分析測驗數據、驗

證測驗的效度，甚至對題目判別力的資訊也無法掌握，這對研究學者造成不少困擾。

以國內迷思概念研究社群來說，二階段測驗工具的效度建構以專家審查方式居多，專家審查無法提供施測數據統計分析的實證基礎，也存在許多因人類主觀看法差異或是行為所導致的問題，顯然，這不是解決二階段測驗效度建構的理想方法。其根本原因在於缺乏有效分析二階段測驗數據的方法。本文在 Ho 與 Koa（2003）研究的基礎上，提出利用同質化分析中的變量判別量數分析，用來分析二階段測驗工具之數據，進而檢驗工具效度，期望解決長久以來存在的施測數據分析及效度檢驗問題。

貳、同質性分析原理

同質性分析（homogeneity analysis, 或 HOMALS）（參考 SPSS HOMALS algorithm; Michailidis 的 pfd 檔; Greenacre, 1993）可以將兩個以上的名義變量彼此之間的關係表示在低維度空間中，而且在這個空間內，還可包含變量類別（variable category），和屬於該類別中的個體（objects）。廣義的說，變量之間的同質性是指不同的變量測量到相同的特質，個體之間的同質性是說個體之間具有相似的測量特質。因此，同質性是某一種形式的相似性（similarity）。例如，在二階段測驗中，不同題目之間若具有高度同質性，那麼它們應該測量到相同的迷思概念，學生具有相同迷思概念，則在測驗中應該顯示出同質性。

同質性分析可以得到兩種具有重要參考價值的低維空間圖：個體類別量數圖（category quantifications）及變量判別量數圖（discrimination measures）。個體類別量數圖將不同的類別表示在低維空間，觀察彼此之間距離的遠近來說明類別之間的同質性。變量判別量數圖則將變量表示在低維空間，依據變量在空間的遠近關係，說明它們同質的程度。因此，同質性分析不但提供分析名義數據的方法，而且由於將分析結果表示於低維空間，此亦利於視覺化觀察比較。

如同前節所述，在二階段測驗中，依據學生勾選的答案，可將學生分成不同的類別，同質性分析面對的數據型式就是各類別所屬的名義變量。為了讓說明更具體，考慮一個 n × m 的數據矩陣 **R**，這裡 n 表示樣本數，m 表示變量數目（或是題目數量），第 j 個變量（或稱變量 j）的類別數目用 k_j 表示。因為在本測驗中的每道題的可能答案數目有 8 個，於是每一題都產生 8 個類別，於是 k_j 均等於 8。在數學上，引入指示矩陣（indicator matrix）$\mathbf{G}_j$，下標 j 代表第 j 個變量，$\mathbf{G}_j$ 是一個 $n \times k_j$ 矩陣，其矩陣元 g_{ic} 的定義是

$$g_{ic} = \begin{cases} 1 & \text{if object i belongs to category c} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

因此 g_{ic} 說明樣本 i 在第 j 題回答的類別，指示矩陣 $\mathbf{G}_j$ 紀錄全部樣本在第 j 題回答類別的資訊。

接著，我們引進另一個 $k_j \times p$ 矩陣 $\mathbf{Y}_j$，稱它為多名義量數矩陣（multiple nominal quantification matrix），是用來表示變量 j 在一個 p 維空間的量化情形，$\mathbf{Y}_j$ 必須透過計算得到。於是 $\mathbf{G}_j\mathbf{Y}_j$ 給出各樣本在 p 維空間的量數（quantification）。最後定義 Gifi 的σ損失函數（Gifi's σ loss function）

$$\sigma(\mathbf{X}; \mathbf{Y}_1, \cdots, \mathbf{Y}_m) = m^{-1} \sum_{j=1}^{m} SSQ(\mathbf{X} - \mathbf{G}_j\mathbf{Y}_j) \qquad (1)$$

$$SSQ(\mathbf{A}) = \sum_{i,j} |a_{ij}|^2$$

按定義，SSQ 就是所謂的 Frobenius 矩陣範數（Frobenius matrix norm），**X** 是一個 n ×

p 矩陣，表示樣本在 p 維空間的量數，**X** 的矩陣元稱為個體分數（object score）。為了防止得到 $\mathbf{X} = 0$ 及 $\mathbf{Y}_j = 0$ 的無意義解，還必須加上兩個限制條件

$$X^T X = n I_p \qquad (2)$$

$$\mathbf{X}^T \mathbf{u} = 0 \qquad (3)$$

這裡上標 T 表示轉置矩陣，$\mathbf{I_p}$ 表示 $p \times p$ 的單位矩陣，**u** 是 p 維空間的單位向量，向量元由數值 1 組成。限定條件（2）保證 **X** 為正交矩陣，限定條件（3）則為使 **X** 矩陣元的大小以行向量的平均值為參考值。如果變量具有完全的同質性，則

$$\mathbf{X} = \mathbf{G}_1\mathbf{Y}_1 = \ldots = \mathbf{G}_m\mathbf{Y}_m$$

此時損失函數值為零。相反地，如果變量間具有部分同質性，則必須求解方程式(1)，加上兩限定條件：(2)和(3)。求解是一個疊代過程，藉由改變最小平方（alternating least square）這個方式來進行 Gifi 損失函數之極小化。疊代過程是先任意產生一個 **X**，視 $\mathbf{Y}_j$ 為變數進行 Gifi 損失函數的極小化計算，可得到下列公式

$$\mathbf{Y}_j = (\mathbf{G}_j^T \mathbf{G}_j \mathbf{Y}_j)^{-1} \mathbf{G}_j^T \mathbf{X} \qquad (4)$$

依據此公式，帶入 **X** 可得到最優化的 $\mathbf{Y}_j$ 解。在得到 $\mathbf{Y}_j$ 後，然後對 **X** 進行 Gifi 損失函數的極小化計算，得到下列公式

$$\mathbf{X} = m^{-1}\sum_{j=1}^{m} \mathbf{G}_j \mathbf{Y}_j \qquad (5)$$

將 $\mathbf{Y}_j$ 代入公式(5)計算優化的 **X** 解。接著，利用 Gram-Schmidt 正交化方法將新得到的 **X** 正交化，又回到公式(4)重新疊代計算 $\mathbf{Y}_j$，重複此過程直到收斂為止。

此外，同質化分析還可以允許我們計算判別量數（discrimination measure）。例如，變量 j 在第 s 維的判別量數的計算是依據下列公式

$$\eta_{js} = n^{-1}[\mathbf{y}_{(j)s}^T (\mathbf{G}_j^T \mathbf{G}_j) \mathbf{y}_{(j)s}] \qquad (6)$$

此處 $\mathbf{y}_{(j)s}$ 是變量 j 在第 s 維的量數。從另一觀點，我們也可視 η_{js} 為變量 j 在 s 軸的座標，依據公式(6)計算，每一個變量在 p 維空間的座標便可確定。此外，觀察變量的相對位置，便可判斷變量之間的同質性及其判別力，η_{js} 值越大，該變量判別力越高。因此，可用判別量數來建構變量在低維空間的幾何表示。

如前述，運用同質性分析可以得到兩種數據圖形，一個是個體類別量數圖，另一個是變量判別量數圖。由於測驗題目共有 14 道題，每一題有 8 種答案可選擇，若將總數達 $14 \times 8 = 112$ 的類別表示在二維平面上，用視覺進行比較幾乎不可能。因此，在此論文中，研究者提出利用同質性分析的變量判別量數來分析二階段測驗中的題目設計，以解決二階段測驗中困擾相關研究學者的效度建構問題。

叁、數據蒐集與處理

二階段測驗工具如附件所示，測驗內容為植物的呼吸作用和光合作用。首先用晤談方法收集學生的相關迷思概念，然後利用該資料來設計二階段測驗工具的初試版，分別經過預試、修正、及專家審查階段，最後發展而成。施測對象為對高屏地區小學六年級學生，樣本總數為 446 位。由於測驗工具中的每道題目在第一階段有兩種選答，第二階段有四種選答，因此每道題目共有 8 種選答。數據的紀錄方式用阿拉伯數字 1~8 來表示學生的選答。於是，我們可以用數字來表示學生選答的類別。全部 14 道題目所產生的類別將作為同質性分析的數據。

肆、數據分析與結果討論

研究者利用統計套裝軟體 SPSS8.0 中的最適尺度分析方法，對數據進行同質性分

析，目的是要得到變量判別量數。為了便於視覺觀察及比較，大多數研究者傾向將結果表示於二維平面上。但是，如此做法必然要付出損失部分訊息的代價，為了慎重起見，研究者首先比較三維空間與二維空間的結果。

表 1 列出各維度空間的特徵值（eigen-value），特徵值代表該維度提供的變異量。從該表可知，五維空間提供數據的全部的變異量，前三個維度則可提供約 67.5% 的總變異量，前二個維度則可提供約 45% 的總變異量。如果我們比較二維與三維空間的表示圖可以發現（如圖 1 與圖 2 所示），變量聚落的相對位置稍有不同，但是聚落之間的關係則無改變。這說明一個數學上的關係，在低維空間相距較遠的兩點，在高維空間不會變得比較近。換言之，為利於視覺比較而將結果投影在二維平面上，透過變量的空間遠近關係，即使損失部分訊息，還是可以提供變量同質性的訊息。因此，以下之討論將依據二維的結果。

表 2 是各變量（或是題目）在 x 與 y 軸方向的判別量數（η_{j1}，η_{j2}）。將座標（η_{j1}，η_{j2}）表示於平面上，結果如圖 2 所示。在以下分析中，研究者依據各變量的幾何位置和接近程度，透過變量內容比較，釐清橫軸與縱軸的涵意，與各變量判別量數所代表之意義。

因為在此研究中，判別量數被表示在二

表 1：各變量在每一維度的判別量數表

維度	特徵值
1	0.2496
2	0.2234
3	0.2015
4	0.1809
5	0.1735

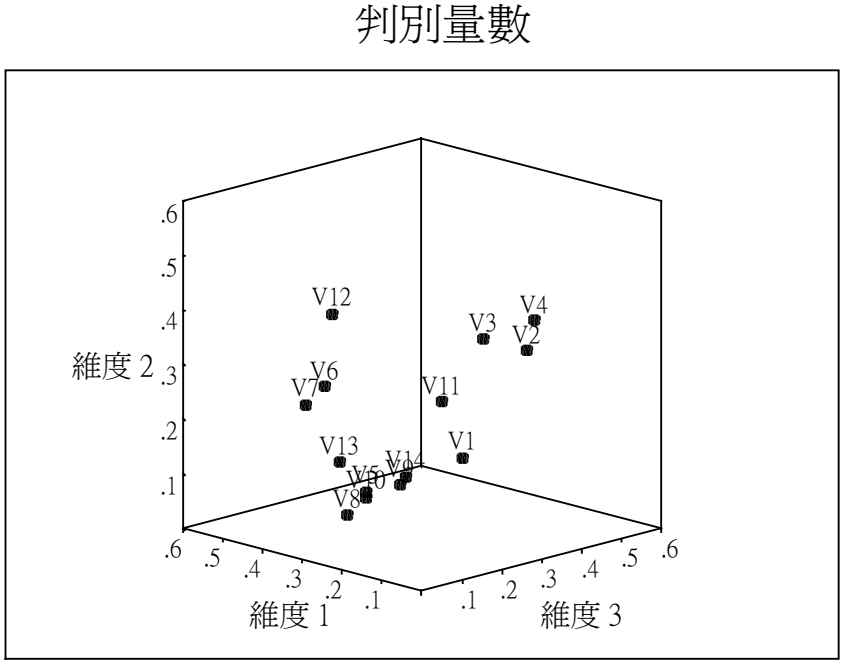

圖 1：14 個變量的判別量數三維圖，依據變量之間距離遠近，可以判斷變量同質性程度，判別量數質在各方向的大小，說明其判別力

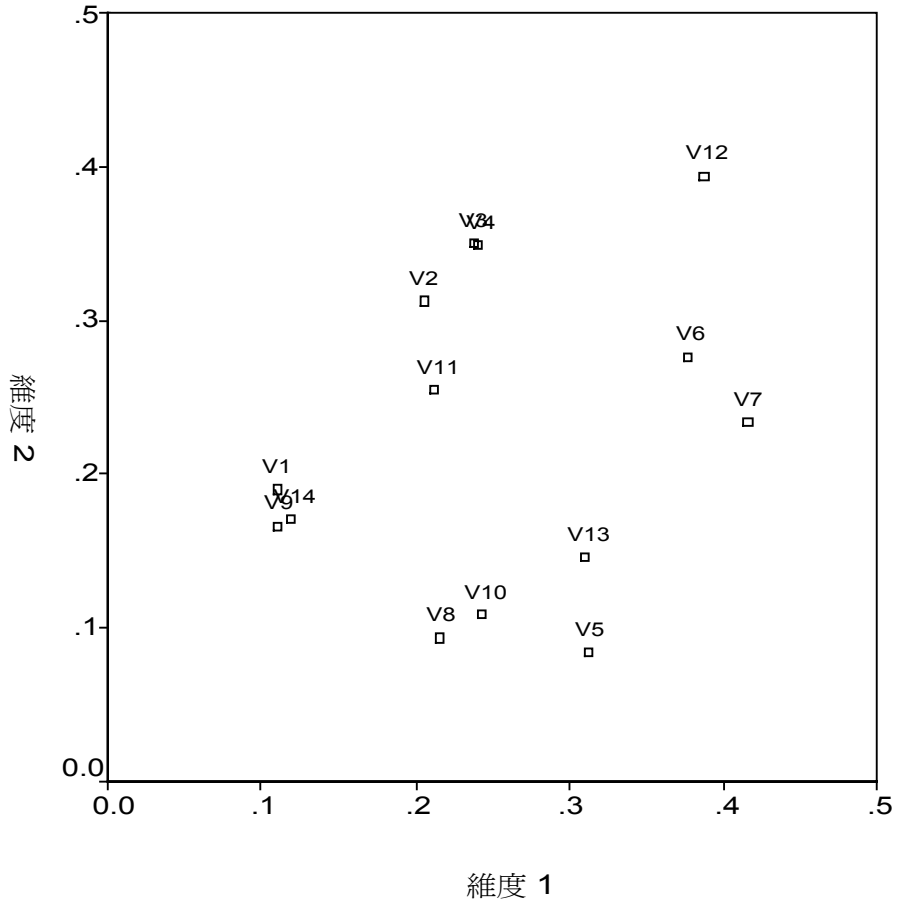

圖 2：14 個變量的判別量數二維平面圖，依據變量之間距離遠近，可以判斷變量同質性程度，判別量數質在各方向的大小，說明其判別力

表 2：各變量在每一維度的判別量數表
(Discrimination measures per variable per dimension)

變量	維度 1	維度 2	變量	維度 1	維度 2
V1	.109	.190	V8	.216	.093
V2	.205	.312	V9	.110	.166
V3	.237	.350	V10	.243	.109
V4	.241	.348	V11	.212	.254
V5	.312	.084	V12	.388	.395
V6	.377	.277	V13	.309	.146
V7	.416	.233	V14	.118	.170

維平面上，為方便說明，研究者就以此為例。在同質化分析中，不同軸方向之判別量數代表不同的涵義，一個變量在某一軸的判別量數表示類別量數在該軸的變異。如果類別量數的變異比較大，則表示該變量有比較高的判別力（discrimination power）。變量判別量數的值介於 0~1 之間，變量判別量數的值越大，該變量判別力越高。因此，假設測驗工具中某一題目的判別量數的值為 1，則位於相同類別中的個體，他們將具有相同之個體分數，因此，該變量具有絕對的判別力。

觀察圖 2，14 個變量在兩個方向之判別量數大約均低於 0.4，但是爲了說明變量判別量數分析的結果，研究者將挑出判別力相

對較差的變量做說明。首先注意到變量 V12 的位置，在所有題目中其距離原點最遠，說明其在兩個軸方向之判別力都最好。變量 V6 與 V7 在 x 軸方向之判別力好於 y 軸。判別力較差的題目有 V1、V9、V14、V8、V10 等，其餘題目在不同軸方向具有不同優勢。例如，變量 V5 在 x 軸（維度一）方向的判別力好於 y 軸方向，變量 V3 與 V4 在 y 軸方向的判別力好於在 x 軸方向的判別力。單從判別力來說，變量 V8 可以說是題目設計不良的範例（相對於其它題目）。研究者將變量 V8 題目轉錄於下，以供參考：

V8：空氣進出綠色植物的情形如何？

1. 空氣可同時由葉子進入和被排出來。

2. 空氣先進入一段時間後再被排出來。

我這樣回答的理由是：

A.空氣可由葉子上的小孔，自由的進出。

B.葉子有很多的孔，讓空氣先進入後再排出。

C.植物和人類一樣，要先吸氣後再吐氣。

D.植物白天吸氣後，等到晚上才會再吐氣。

首先是第一階段的題意設計不清楚，容易讓學生產生混淆，而且第一階段的選答與第二階段的選答無法緊密的結合，以測驗學生的迷思概念。可見，變量判別量數分析中的判別力，可以提供篩選或是修正題目的依據。

接著研究者也注意到，依據變量在圖 2 上的位置，變量形成各自的群集（cluster）。如群集【V6、V7】,【V3、V4、V2、V11】，群集【V8、V10、V13、V15】、群集【V1、V9、V14】。這些集群可以幫助我們釐清 x 軸與 y 軸的涵義。先分析 y 軸。考慮變量 V1、V9、V14 緊密聚集在一起，形成變量群集。明顯地，這些變量在 y 軸的判別力好於 x 軸，依據變量的內容（參考附件），我們可以解釋 y 軸的涵義。為了方便說明，特將此三個變量的題意轉錄於下

V1：冬天時有些樹木的葉子會掉光，等到春天時，葉子才又長出來。樹木在冬天掉光葉子的這一段時間，會不會呼吸空氣呢？

V9：空氣會由葉子上的葉脈進出嗎？

V14：水生植物布袋蓮，有膨大的葉柄，裡面有空氣而浮起來，有利於什麼事情？

因此我們可以說，y 軸表示植物莖、幹、脈的呼吸作用。至於 x 軸的解釋就不是那麼直接，首先注意到變量 V5 最靠近 x 軸，V5 的題意為：發芽中的綠豆，除了需要水分之外，最需要的什麼氣體？該題第二階段的測驗內容包括呼吸作用及光合作用。如果檢查與 V5 比較接近的 V8 與 V13，其測驗內容也是包含呼吸作用及光合作用。因此，x 軸是檢驗學生對植物呼吸作用及光合作用在概念上是否有混淆。

最後分析各群集的涵意。從題意得知，集群【V6，V7】分別測驗學生對植物根、莖呼吸作用的可能迷思概念。集群【V2，V3、V4、V11】則測驗學生對於植物在日間與夜晚之光合作用和呼吸作用的迷思概念，或是否具有概念混淆。尤其是 V3 與 V4 非常緊密地聚在一起，依據題目內容可看出，V3 與 V4 的測驗內容非常相近。因此，從題目的群集關係，變量判別量數分析可以告訴我們，在二階段測驗中所設計的題目是否測驗同一個迷思概念。

伍、結論

二階段測驗被眾多學者作為診斷迷思概念的工具，但是測驗效度的檢驗卻缺乏有效的統計分析方法，因此二階段測驗的效度建

構也就欠缺實證基礎，此一問題對於迷思概念研究學者造成相當的困擾。本研究提出利用同質性分析中的判別量數分析來解決此問題，經過以實際範例作分析，觀察變量位置之親疏關係，可以得到變量是否測量相似迷思概念的訊息，距離原點之遠近可以告訴我們變量之類別判別力的高低，除了專家審查之外，本研究提供另一種方式。但是我們必須指出，判別量數分析並不是萬能的分析方法。若要更精確分析各個變量之間的同質性，需要將變量表示於更高維度的空間，但是其缺點是視覺化比較變得更困難。比較可行的方式是，如果在分析之前，先篩選初一些主觀上認為同質性高的題目，將有助於降低判別量數分析的複雜程度，然後利用分析的結果再修正測驗題目。我們的結論是，判別量數分析搭配題目內容分析，提供二階段測驗效度建構的統計分析方法，不同於在個別題目上進行分析的一般做法，本方法是在整份測驗題目上進行，不但提供各題目判別力的數據，也同時告訴我們各題目之間的同質性。

參考文獻

1. 郭重吉和吳武雄（1989）。**利用晤談方式探查國中學生對重要物理概念的另有架構之研究（I）**。國科會專題研究計畫成果報告。彰化市：彰化師大。
2. 邱美虹（1998）。**概念改變研究的省思**。第十四屆科學教育學術研討會暨第十一屆科學教育學會年會論文彙編。頁 620-627。
3. Ausubel, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune and Stratton.
4. Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
5. Bell, A. W. (1989). *Teaching for the test*. The Times Educational Supplement. Outlines the Shell Centre's research into diagnostic teaching methods.
6. Bell, A. W. (1992). *Diagnostic teaching*. Selected Lectures from the 7th International Congress on Mathematical Education.
7. Greenacre, M. J. (1993). *Correspondence analysis in practice*. London: Academic Press.
8. Hancock, C. H. (1940). An evaluation of certain popular science misconceptions. *Science Education*, *24*, 208-213.
9. Hestenes, David, Wells, Malcolm, & Swackhamer, Gregg (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, *30*(3), 141-151.
10. Ho, Woei-Yun & Koa, Huey-Lien (2003). *Global Diagnosis of Scientific Misconceptions*. NARST, Philadelphis, Pa, USA.
11. Michailidis, George. Multilevel Homogeneity Analysis. http://theses.stat.ucla.edu/2/george.pdf.
12. Tan, D. K.-W., Treagust, D. F., Goh, N.-K., & Chia, L.-S. (2002). Development and application of a two-tier multiple choice diagnostic instrument to assess high school students' understanding of inorganic qualitative analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, *39*(4), 283-301.
13. Treagust, D. F. (1986). Evaluating students's misconception by means of diagnostic multiple choice items. *Research in Science Edication*, *16*, 199-207.
14. Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International journal of Science Education*, *10*(2), 159-169.

15. Treagust, D. F., Duit, R., & Fraser, B. J. (Eds.). (1996). *Improving teaching and learning in science and mathematics*. New York: Teachers College Press.
16. Treagust, D. F. (2000). Diagnostic assessment of secondary students' science knowledge. 論文發表於「科學概念工具發展與晤談」研討會。高雄市：國立高雄師範大學科學教育中心。
17. Wandersee, J. H. (1986). Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, *23*, 581-597.
18. Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). *Research on alternative conceptions in science.* In D. L. Gabel, Handbook of Research of Science Teaching and Learning (pp. 177-210). New York: Macmillan Publishing.

附　　錄

1. 冬天時有些樹木的葉子會掉光，等到春天時，葉子才又長出來。樹木在冬天掉光葉子的這一段時間，會不會呼吸空氣呢？
   1. 會。
   2. 不會。

我這樣回答的理由是：

A. 樹木用枝幹的最末端呼吸空氣。
B. 樹木的根部和莖都會呼吸空氣。
C. 樹木沒有葉子就不會呼吸空氣。
D. 樹木在冬天休眠不會呼吸空氣。

2. 綠色的植物，在晚上無光線照射的情況下，需要什麼氣體？
   1. 氧氣。
   2. 二氧化碳。

我這樣回答的理由是：

A. 綠色植物不論白天或晚上，都需要這種氣體。
B. 綠色植物在晚上和人類一樣，只需要這種氣體。
C. 綠色植物不能行光合作用時，會儲存這種氣體。
D. 綠色植物在晚上才需要這種氣體，在白天就不需要。

3. 綠色的植物，在晚上無光線照射的情況下，會排出什麼氣體？
   1. 氧氣。
   2. 二氧化碳。

我這樣回答的理由是：

A. 綠色植物不論白天或晚上，都會排出這種氣體。
B. 綠色植物在晚上沒有光照，就會排出這種氣體。
C. 綠色植物沒有太陽的熱能，就會排出這種氣體。
D. 綠色植物在晚上要休息了，就會排出這種氣體。

4. 綠色植物需不需要氧氣？
   1. 需要。
   2. 不需要。

我這樣回答的理由是：

A. 綠色植物不論白天或晚上，都需要氧氣。
B. 綠色植物只有在晚上，才需要氧氣。

C. 綠色植物不論白天或晚上，都不需要氧氣。
D. 綠色植物和人類不一樣，不需要氧氣。

5. 發芽中的綠豆，除了需要水分之外，最需要的什麼氣體？
1. 氧氣。
2. 二氧化碳。
我這樣回答的理由是：
A. 發芽中的綠豆必須行光合作用，所以需要二氧化碳。
B. 發芽中的綠豆必須行光合作用，所以需要氧氣。
C. 發芽中的綠豆必須行呼吸作用，所以需要二氧化碳。
D. 發芽中的綠豆必須行呼吸作用，所以需要氧氣。

6. 空氣會由植物的根部進出嗎？
1. 會。
2. 不會。
我這樣回答的理由是：
A. 植物的根部只吸收水分和養分，所以不會有空氣進出。
B. 溶於土壤水中或空隙中的空氣可由植物的根部進出。
C. 植物的根是用來支持植物體。
D. 其它。

7. 空氣會由植物的莖部進出嗎？
1. 會。
2. 不會。
我這樣回答的理由是：
A. 植物的莖有小孔，所以可以讓空氣進出。
B. 植物的莖沒有小孔，所以不會有空氣進出。
C. 植物的莖有水分或養分經過，所以不會有空氣進出。
D. 植物的莖是用來支持植物體。

8. 空氣進出綠色植物的情形如何？
1. 空氣可同時由葉子進入和被排出來。
2. 空氣先進入一段時間後再被排出來。
我這樣回答的理由是：
E. 空氣可由葉子上的小孔，自由的進出。
F. 葉子有很多的孔，讓空氣先進入後再排出。
G. 植物和人類一樣，要先吸氣後再吐氣。

H. 植物白天吸氣後，等到晚上才會再吐氣。

9. 空氣會由葉子上的葉脈進出嗎？
   1. 會。
   2. 不會。

我這樣回答的理由是：
   A. 葉脈是輸送空氣的管子。
   B. 葉脈是讓空氣進入的小孔。
   C. 空氣是經由葉子上的細孔進出。
   D. 空氣是經由葉子上的纖毛進出。

10. 一般長有針刺的仙人掌，會利用身上的刺針，讓空氣進出嗎？
   1. 會。
   2. 不會。

我這樣回答的理由是：
   A. 仙人掌的針刺就像打針的針一樣有孔，可讓空氣進出。
   B. 仙人掌的針刺本來就是葉子，所以可以讓空氣進出。
   C. 仙人掌利用根或莖，來讓空氣進出。
   D. 仙人掌可以不用呼吸。

11. 植物需不需要「呼吸作用」？
   1. 需要。
   2. 不需要。

我這樣回答的理由是：
   A. 植物只需要光合作用就可以吸到氧氣，所以不需要呼吸作用。
   B. 植物隨時都需要進行呼吸作用。
   C. 植物晚上或沒有光的時候才進行呼吸作用。
   D. 植物白天的呼吸作用，其實就是光合作用。

12. 綠色植物在白天需要氧氣嗎？
   1. 需要。
   2. 不需要。

我這樣回答的理由是：
   A. 綠色植物白天不會進行呼吸作用。
   B. 綠色植物白天只需要二氧化碳，進行光合作用。
   C. 綠色植物白天只需要氧氣，進行呼吸作用，並不需要二氧化碳。
   D. 綠色植物白天需要二氧化碳進行光合作用，同時也需要氧氣進行呼吸作用。

13. 綠色植物有充足的陽光和水分時，你認為植物會同時需要氧氣和二氧化碳嗎？

1. 會。
2. 不會。

我這樣回答的理由是：

A. 綠色植物需要二氧化碳行光合作用，也需要氧氣行呼吸作用。
B. 綠色植物的葉子只需要二氧化碳，但是根需要氧。
C. 綠色植物白天只需要二氧化碳，以進行光合作用。
D. 綠色植物白天只需要氧氣，以進行呼吸作用。

14. 水生植物布袋蓮，有膨大的葉柄，裡面有空氣而浮起來，有利於什麼事情？

1. 光合作用。
2. 呼吸作用。

我這樣回答的理由是：

A. 布袋蓮把氧氣儲存在葉柄內，有利於光合作用。
B. 布袋蓮把氧氣儲存在葉柄內，有利於呼吸作用。
C. 布袋蓮把二氧化碳儲存在葉柄內，有利於光合作用。
D. 布袋蓮把二氧化碳儲存在葉柄內，有利於呼吸作用。

Analyzing Two-Tier Test with Variable Discrimination Measures

Woei-Yun Ho[1] and Huey-Lien Koa[2]

[1]Department of Physics and Geoscience, National Pingtung Teachers College

[2]Department of Science Education, National Pingtung Teachers College

Abstract

It is not an easy task to construct or verify the validit of an inherently complicated a two-tier misconception test by conventional methods. The aim of this research is to employ homogeneity analysis (Homals) to analyze a two-tier misconception test. Specifically, variable quantification and discrimination measures of the Homals were used to study the homogeneity between variables and the discrimination power of variables in our two-tier misconception test. Our study results showed that the proposed method provided an effective way to provide information about construct under-representation and construct-irrelevant variance of a two-tier misconception test in science.

Key words: Misconception, Two-tier Test, Discrimination Measures