

第四章 研究結果與討論

本研究是運用雙重情境學習模式結合類比教學與科學推理，協助國中一年級學生建構「遺傳」的概念，並促使學生進行概念改變。本章共分為三小節，第一節主要是遺傳單元成就測驗、科學推理測驗與主題相依推理測驗的結果（前測、後測與追蹤測）之分析與比較；第二節為晤談部分的錄音內容，經由語意流程圖（flow map）的方式呈現，再轉成量化資料的分析結果；第三節則進行學習事件前後的概念改變與推理層級之分析。

第一節 結合推理之雙重情境學習模式概念改變教學成效分析

此節是為回答研究問題一：「不同學業成就與科學推理能力對學習者在遺傳單元的學習成就表現上有何差異？」，研究問題二：「不同學業成就與科學推理能力對學習者在科學推理測驗的表現上有何差異？」及研究問題三：「不同學業成就與科學推理能力對學習者在遺傳單元的主題相依推理測驗表現上有何差異？」

為探究結合科學推理之雙重情境學習模式對學生概念改變與推理學習的成效，研究者先將所有學生依照九十三學年度上學期三次段考的自然科平均成績，取全體學生平均數的前 1/3 為成就高分組、中間 1/3 為成就中分組及後 1/3 為成就低分組。再以科學推理測驗前測成績，依 Lawson (2000) 對分數的定義再加以細分成具體運思前期 (0~2 分)、具體運思後期 (3~4 分)、轉變期 (5 分以上) 三組，但因轉變期的人數過少，不具有有效性，故併入具體運思後期中進行討論。現將測驗結果的分析整理如下：

一、遺傳單元成就測驗結果的分析

(一)「學業成就分組」和「科學推理分組」在遺傳單元成就測驗的前測、後測與追蹤測之敘述性統計

將學生的遺傳單元成就測驗成績（前測、後測與追蹤測），依照自然科學業成就分組（高分組、中分組與低分組）與科學推理分組（具體運思前期、具體運思後期），整理如表 4.1.1：

表 4.1.1 學業成就分組與科學推理分組在遺傳單元成就測驗的敘述性統計

	人數 (N)	成就測驗前測		成就測驗後測		成就測驗追蹤測		t 值 (後-前)	t 值 (追-前)	
		mean	SD	mean	SD	mean	SD			
學業分組	低分組	24	10.54	3.23	12.13	3.58	11.17	3.82	1.58	.71
	中分組	38	12.68	3.24	18.32	6.16	15.65	6.29	4.88 ^{***}	2.51 [*]
	高分組	36	14.56	4.02	28.64	6.72	25.42	9.79	11.59 ^{***}	7.28 ^{***}
	全體	98	12.85	3.84	20.59	8.81	18.16	9.36	9.15 ^{***}	6.16 ^{***}
推理分組	具體前	70	12.36	3.43	17.86	7.35	15.71	7.94	6.47 ^{***}	3.79 ^{***}
	具體後	28	14.07	4.53	27.43	8.54	24.21	9.98	8.03 ^{***}	5.76 ^{***}
	全體	98	12.85	3.84	20.59	8.81	18.16	9.36	9.15 ^{***}	6.16 ^{***}

註：N=98, * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

以配對 T 檢定遺傳單元成就測驗成績，結果全體學生的後測成績高於前測 ($t=9.15, p=0.000$)，追蹤也高於前測 ($t=6.16, p=0.000$)，表示遺傳單元成就測驗的學習成效與維持效果均良好。就學業分組而言，中分組與高分組的後測 ($t=4.88, p=0.000$; $t=11.59, p=0.000$) 均大於前測，而追蹤 ($t=2.51, p=0.017$; $t=7.28, p=0.000$) 亦大於前測，顯示在中、高學業成就學生對遺傳單元成就測驗的學習與維持均具有良好效果。再就推理分組來看，不論是具體前期或具體後期的學生，在遺傳單元成就測驗的後測 ($t=6.47, p=0.000$; $t=8.03, p=0.000$) 均大於前測，追蹤也都大於前測 ($t=3.79, p=0.000$; $t=5.76, p=0.000$)。

(二)「學業成就分組」與「科學推理分組」在遺傳單元成就測驗前測、後測與追蹤測總分之重複量數分析 (Repeated measure)

資料分析時以「學業分組」和「科學推理分組」為固定因子，遺傳單元成就測驗前測、後測與追蹤成績當作變數，進行重複量數主要效果分析與事後檢定，結果整理如表 4.1.2：

表 4.1.2 遺傳單元成就前測、後測與追蹤重複量數分析之主要效果摘要表

	型 III 平方和	自由度	平均 平方和	F 值	p 值	淨相關 η^2
單元成就測驗成績	1262.543	2	631.272	27.378 ^{***}	.000	.231 ^{***}
學業分組	2824.787	2	1412.394	25.259 ^{***}	.000	.357 ^{***}
推理分組	63.746	1	63.746	1.140	.288	.012 [*]

單元成就測驗成績 ×學業分組	571.577	4	142.894	6.197***	.000	.120***
-------------------	---------	---	---------	----------	------	---------

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ 。

η^2 值：* 表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\eta^2 = \text{small}$ ；** 表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\eta^2 = \text{medium}$ ；
*** 表示 $d \geq 0.1379$, $\eta^2 = \text{large}$

由表 4.1.2 可得，單元成就測驗成績 ($F=27.378, p=0.000$) 與學業分組 ($F=25.259, p=0.000$) 的主要效果均達顯著差異，推理分組則未達顯著差異。

在交互作用的分析方面，因單元成就測驗成績和學業分組間的交互作用達到顯著差異，故進行「單元成就測驗成績」與「學業成就分組」對遺傳單元成就測驗之單純主要效果分析。因學業分組為單因子變數，無法進行重複量數分析，故僅將資料依學業成就分組（高分組、中分組和低分組），分別進行「單元成就測驗成績」因子之重複量數單純主要效果分析與事後比較，所得結果整理如表 4.1.3：

表 4.1.3 「單元成就測驗成績」與「學業分組」重複量數分析之單純主要效果摘要表

變異來源	Wilk's Λ	F 值	p 值	事後比較
單元成就測驗成績				
低分組	.901	1.214	.316	無顯著差異
中分組	.555***	14.038***	.000	後測>前測，追蹤>前測 後測>追蹤
高分組	.204***	66.412***	.000	後測>前測，追蹤>前測 後測>追蹤

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

由表 4.1.3 得知，中分組 ($Wilk's \Lambda=0.555, p=0.000$) 和高分組 ($Wilk's \Lambda=0.204, p=0.000$) 均達顯著差異，低分組則無顯著差異。且經事後比較，發現不論是中學業或高學業成就的學生，後測均大於前測 ($p=0.000$; $p=0.000$)，追蹤也大於前測 ($p=0.017$; $p=0.000$)，且後測大於追蹤 ($p=0.001$; $p=0.023$)。顯示學業中成就和高成就學生對遺傳單元成就測驗的學習成效良好，且具有一定的學習維持效果。

二、科學推理測驗結果的分析

(一)「學業成就分組」和「科學推理分組」在遺傳單元成就測驗的前測、後測與追蹤測之敘述性統計

將學生的科學推理測驗成績（前測、後測與追蹤測），依照自然科學業成就分組（高分組、中分組與低分組）與科學推理分組（具體運思前期、具體運思後期），整理如表 4.1.4：

表 4.1.4 學業成就分組與科學推理分組在科學推理測驗的敘述性統計

		人數 (N)	科學推理前測		科學推理後測		科學推理追蹤測		t 值 (後-前)	t 值 (追-前)
			mean	SD	mean	SD	mean	SD		
學業 分組	低分組	24	1.00	0.98	1.00	1.10	0.96	0.91	.00	-.14
	中分組	38	1.42	1.13	2.18	1.59	1.19	1.05	3.00**	-1.09
	高分組	36	3.19	2.18	3.64	2.53	3.53	2.72	1.40	.78
	全體	98	1.97	1.82	2.43	2.15	2.00	2.17	2.81**	.052
推理 分組	具體前	70	1.07	0.80	1.61	1.24	1.36	1.36	3.43**	1.45
	具體後	28	4.21	1.73	4.46	2.59	3.57	2.91	.060	-1.31
	全體	98	1.97	1.82	2.43	2.15	2.00	2.17	2.81**	.052

註：N=98, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

以配對 T 檢定科學推理測驗成績，結果全體學生的後測成績高於前測（ $t=2.81$, $p=0.006$ ），表示學生經過教學後在科學推理能力的進步成效良好。就學業分組而言，只有中分組的後測大於前測（ $t=3.00$, $p=0.005$ ），其餘皆無顯著差異。顯示在中學業成就學生經過教學之後科學推理能力的進步十分明顯。再就推理分組來看，僅具體前期的學生在後測大於前測（ $t=3.43$, $p=0.001$ ），顯示具體運思前期學生的科學推理能力在教學後能夠有所提升。

(二)「學業成就分組」與「科學推理分組」在科學推理測驗前測、後測與追蹤測總分之重複量數分析（Repeated measure）

資料分析時以「學業分組」和「科學推理分組」為固定因子，科學推理測驗前測、後測與追蹤成績當作變數，進行重複量數主要效果分析與事後檢定，結果整理如表 4.1.5：

表 4.1.5 科學推理前測、後測與追蹤重複量數分析之主要效果摘要表

	型 III 平方和	自由度	平均 平方和	F 值	p 值	淨相關 η^2
科學推理測驗成績	22.052	2	11.026	7.750***	.001	.078**
學業分組	60.606	2	30.303	6.793**	.002	.130***
推理分組	97.184	1	97.184	21.785***	.000	.193***
科學推理測驗成績 ×學業分組	26.661	4	6.665	4.685**	.001	.093**
科學推理測驗成績 ×推理分組	26.226	2	13.113	9.217***	.000	.092**

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ 。

η^2 值：* 表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\eta^2 = \text{small}$ ；** 表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\eta^2 = \text{medium}$ ；*** 表示 $d \geq 0.1379$, $\eta^2 = \text{large}$

由表 4.1.5 可得知，科學推理測驗成績 ($F=7.750, p=0.001$)、學業分組 ($F=6.793, p=0.002$) 與推理分組 ($F=21.785, p=0.000$) 均達到顯著差異。

在交互作用的分析部分，因為科學推理測驗成績與學業分組 ($F=4.685, p=0.001$) 及測驗成績與推理分組 ($F=9.217, p=0.000$) 之間的交互作用均達到顯著差異，故分別進行「科學推理測驗成績」與「學業成就分組」及「科學推理測驗成績」與「科學推理分組」對科學推理測驗影響的單純主要效果分析。

首先進行「科學推理測驗成績」與「學業成就分組」的單純主要效果分析，因學業分組為單因子變數，無法進行重複量數分析，故僅將資料依學業成就分組（高分組、中分組和低分組），分別進行「科學推理測驗成績」因子之重複量數單純主要效果分析與事後比較，所得結果整理如表 4.1.6：

表 4.1.6 「科學推理測驗成績」與「學業分組」重複量數分析之單純主要效果摘要表

變異來源	Wilk's Λ	F 值	p 值	事後比較
科學推理測驗成績				
低分組	.999	.011	.989	無顯著差異
中分組	.735**	6.306**	.005	後測>前測，後測>追蹤

高分組 .943 1.029 .368 無顯著差異

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

由表 4.1.6 可知，低分組與高分組均無顯著差異，僅在中分組達到顯著差異 (Wilk's $\Lambda = 0.735$, $p = 0.005$)。且經事後比較顯示，後測大於前測 ($p = 0.008$)，也大於追蹤 ($p = 0.001$)。表示中學業成就學生經過教學後，其科學推理能力具有明顯的增進，也有一定的維持效果。

以上述同方法進行「科學推理測驗成績」與「推理分組」的單純主要效果分析與事後比較，所得結果整理如表 4.1.7：

表 4.1.7 「科學推理測驗成績」與「推理分組」重複量數分析之單純主要效果摘要表

變異來源	Wilk's Λ	F 值	p 值	事後比較
科學推理測驗成績				
具體前期	.863**	5.323**	.007	後測>前測
具體後期	.854	2.222	.129	無顯著差異

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

由表 4.1.7 得知，具體前期達到顯著差異 (Wilk's $\Lambda = 0.863$, $p = 0.007$)，而具體後期則未達顯著差異。且經事後比較，發現後測大於前測 ($p = 0.002$)。表示對具體運思前期的學生而言，經教學後其推理能力有明顯的增進。

三、主題相依推理測驗結果的分析

(一)「學業成就分組」和「科學推理分組」在主題相依推理測驗的前測、後測與追蹤測之敘述性統計

將學生的主題相依推理測驗成績 (前測、後測與追蹤測)，依照自然科學業成就分組 (高分組、中分組與低分組) 與科學推理分組 (具體運思前期、具體運思後期)，整理如表 4.1.8：

表 4.1.8 學業成就分組與科學推理分組在主題相依推理測驗的敘述性統計

	人數 (N)	主題相依前測		主題相依後測		主題相依追蹤測		t 值 (後-前)	t 值 (追-前)	
		mean	SD	mean	SD	mean	SD			
學業分組	低分組	24	2.88	2.23	3.38	2.60	3.12	2.17	.91	.48
	中分組	38	5.50	3.24	8.87	4.59	4.51	3.27	4.74 ^{***}	-1.44
	高分組	36	8.64	5.36	17.97	7.22	9.14	9.03	7.81 ^{***}	.42
	全體	98	6.01	4.54	10.87	7.91	5.89	6.44	7.55 ^{***}	-.22
推理分組	具體前	70	4.94	3.49	8.70	6.36	4.80	4.35	5.43 ^{***}	-.226
	具體後	28	8.68	5.71	16.29	8.89	8.57	9.45	5.73 ^{***}	-.082
	全體	98	6.01	4.54	10.87	7.91	5.89	6.44	7.55 ^{***}	-.22

註：N=98, * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

以配對 T 檢定主題相依推理測驗成績，結果全體學生的後測成績高於前測 ($t=7.55$, $p=0.000$)，表示學生經過教學後在主題相依推理測驗的表現有明顯進步。就學業分組而言，中分組與高分組學生的後測成績 ($t=4.74$, $p=0.000$; $t=7.81$, $p=0.000$) 均大於前測，其餘皆無顯著差異。顯示在中、高學業成就學生對主題相依推理測驗具有明顯的學習成效。再就推理分組來看，不論是具體前期或是具體後期的學生，在後測成績均大於前測 ($t=5.43$, $p=0.000$; $t=5.73$, $p=0.000$)，顯示所有推理分組的學生在主題相依推理測驗的學習成效均有明顯提升。

(二)「學業成就分組」與「科學推理分組」在主題相依推理測驗前測、後測與追蹤測總分之重複量數分析 (Repeated measure)

資料分析時以「學業分組」和「科學推理分組」為固定因子，主題相依推理測驗前測、後測與追蹤成績當作變數，進行重複量數主要效果分析與事後檢定，結果整理如表 4.1.9：

表 4.1.9 主題相依推理測驗前測、後測與追蹤重複量數分析之主要效果摘要表

	型 III 平方和	自由度	平均 平方和	F 值	p 值	淨相關 η^2
主題相依測驗成績	552.694	2	552.694	15.152 ^{***}	.000	.143 ^{***}
學業分組	1904.773	2	952.386	21.561 ^{***}	.000	.322 ^{***}

推理分組	6.640	1	6.640	.150	.699	002
主題相依測驗成績 ×學業分組	402.497	4	100.624	5.517***	.000	.108***

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ 。

η^2 值：* 表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\eta^2 = \text{small}$ ；** 表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\eta^2 = \text{medium}$ ；
*** 表示 $d \geq 0.1379$, $\eta^2 = \text{large}$

由表 4.1.9 可得知，主題相依推理測驗成績 ($F=7.750, p=0.001$)、學業分組 ($F=6.793, p=0.002$) 均達到顯著差異，推理分組則未達顯著差異。

在交互作用的分析方面，因主題相依推理測驗成績和學業分組間的交互作用達到顯著差異，故進行「主題相依推理測驗成績」與「學業成就分組」對主題相依推理測驗之單純主要效果分析。因學業分組為單因子變數，無法進行重複量數分析，故僅將資料依學業成就分組（高分組、中分組和低分組），分別進行「主題相依推理測驗成績」因子之重複量數單純主要效果分析與事後比較，所得結果整理如表 4.1.10：

表 4.1.10 「主題相依推理測驗成績」與「學業分組」重複量數之單純主要效果摘要表

變異來源	Wilk's Λ	F 值	p 值	事後比較
主題相依推理測驗成績				
低分組	.964	.407	.671	無顯著差異
中分組	.523	15.963	.000***	後測>前測，後測>追蹤
高分組	.361	30.049	.000***	後測>前測，後測>追蹤

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

由表 4.1.10 得知，中分組 ($\text{Wilk's } \Lambda=0.523, p=0.000$) 和高分組 ($\text{Wilk's } \Lambda=0.361, p=0.000$) 均達顯著差異，低分組則無顯著差異。且經事後比較，發現不論是中學業或高學業成就的學生，後測均大於前測 ($p=0.000$; $p=0.000$)，且後測均大於追蹤 ($p=0.000$; $p=0.000$)。表示學業中成就和高成就學生對主題相依推理測驗的學習成效十分良好。

四、小結：

（一）成就測驗結果：

對遺傳單元成就前測、後測與追蹤測，在學業成就分組達到顯著差異，故支持研究假說 1-1。但在科學推理分組上未達到顯著差異，無法支持研究假說 1-2。

另發現遺傳單元成就測驗成績和學業分組間的交互作用達到顯著差異，進行單純主要效果分析與事後比較，發現不論是學業中成就或高成就的學生對遺傳單元成就測驗的學習成效十分良好，且具有一定的學習維持效果。

（二）科學推理測驗結果：

對科學推理前測、後測與追蹤測，在學業成就分組與科學推理分組上均達到顯著差異，可充分支持研究假說 2-1、2-2。

發現科學推理測驗成績與學業成就分組間的交互作用達到顯著差異，故進行單純主要效果分析與事後檢定，結果顯示學業中成就學生經過教學後，其科學推理能力能夠具有明顯的增進，也有一定的維持效果。

另發現科學推理測驗成績與科學推理分組間的交互作用亦達到顯著差異，故進行單純主要效果分析與事後檢定，顯示對具體運思前期的學生而言，經教學後其推理能力能夠有明顯的增進。

（三）主題相依推理測驗結果：

對遺傳單元主題相依推理前測、後測與追蹤測，僅學業成就分組達到顯著差異，可支持研究假說 3-1；但在科學推理分組上並未達到顯著差異，無法支持研究假說 3-2。

另發現主題相依推理測驗成績與學業成就分組間的交互作用達到顯著差異，故進行單純主要效果分析與事後檢定，發現不論是學業中成就或高成就的學生對主題相依推理測驗的學習成效十分良好。

第二節 遺傳單元晤談資料分析

針對接受科學推理結合雙重情境學習模式課程的學生進行晤談，來探討教學前、後、追蹤的概念改變歷程，目的在回答研究問題四：「透過晤談瞭解結合類比教學、科學推理與雙重情境學習模式而設計之課程，對學習者在教學前、後與追蹤時「概念數」、「正確概念分數」、「概念改變量」與推理層級有何影響？」。以語意流程圖的方式依序呈現每位學生的晤談資料，並進行兩部分的量化分析：

一、教學前、後、追蹤的概念轉變分析

將學生在教學前、後、追蹤的晤談內容，依據題目順序個別轉化為兩部分的數據資料：第一部分為概念數、正確概念分數與推理概念層級等項目，概念數為晤談內容中所呈現的概念數目；正確概念分數則依據每個概念的內容給予「全對」(2分)、「半對」(1分)及「錯誤」(0分)；推理概念層級的標準則修改 Hogan 等人 (2000) 對推理型態的層級分類，共分成下列四種層級類型：

1. 概述 (Generativity, G)：對自然現象作直觀的描述或以質樸概念來回答。概述 (G) 又可細分為 G_0 、 G_1 和 G_2 。 G_0 表示學生的回答中完全不包含任何和問題相關的論述，或無法分辨其含義， G_1 是學生僅運用一個簡單概述， G_2 是同時運用了二個以上概述。
例如：(1) 不知道、我忘記了。(G₀)
(2) 細胞由一個變成兩個。(G₁)
(3) 遺傳應該是把上一代的東西像外型、容貌保留給下一代。(G₂)
2. 精緻化 (Elaboration, EL)：學生能以正確科學術語、或科學方法如運用測量、估計、數字關係等，對問題相關的現象進行說明。精緻化 (EL) 可細分為 EL1 和 EL2。EL1 是學生僅運用一個精緻化的說明，EL2 是運用二個以上精緻化的說明。
例如：(1) 受傷的時候要進行細胞分裂，替補壞死的細胞。(EL1)

(2) 染色體會先複製，再分裂一次，數目和原本的一樣。(EL2)

3. 辯證 (Justification, J): 在「證據取向」方面，學生能利用實驗變因和結果之間的關係來說明現象；在「推論取向」方面，學生能利用簡單的線性因果關係演繹推論來解釋現象，分為 J1 和 J2。J1 是學生運用了一個判斷的說明，J2 是二個以上判斷的說明。

例如：(1) 細胞分裂時，染色體會先複製一次，然後分裂，產生的兩個新細胞中的會有數目相同的染色體。(J1)

(2) 因為染色體在複製的時候，上面帶的基因有些是顯性、有些是隱性，在分裂的時候隨機分配到細胞裡面，所以分裂出來的四個子細胞所帶的基因都不一樣。(J2)

4. 解釋 (Explanation, EX): 學生以類似科學模型或遺傳過程機制，做為推理的依據，來說明待解答的現象。分為 EX1 和 EX2，EX1 是學生運用了一個解釋來說明，EX2 是運用二個以上解釋來說明。但因學生程度所限，在本研究中最高只能達到 EX1。

例如：染色體複製一次，然後分裂兩次。第一次分裂的時候是同源染色體分離，第二次分裂是複製的染色體分離，最後分裂出來的是不成對的 23 條染色體。(EX1)

如果學生提出的論述中同時包含了不同層級的推理論述，則以提出論述中所達到最高的層級為準。

第二部分為概念改變量的分析，針對學生在教學前、後與追蹤的各晤談題目的概念改變連結情形，分為「教學前-教學後」、「教學後-追蹤」兩階段分別進行概念改變量的分析。依據回答概念的正確與否將概念改變量分成「維持全對：全對-全對」、「進步：半對-全對、錯誤-全對及錯誤-半對」、「維持：半對-半對及錯誤-錯誤」、「退步：全對-半對、全對-錯誤及半對-錯誤」等四種型態。目的是為了探討學生在教學前至後、教學後至追蹤時概念轉變的情形。

二、學生在教學前、後、追蹤晤談內容之重複量數分析：

針對學生晤談時在教學前、後與追蹤所呈現的「概念數」、「正確概念分數」與「推理層級」做為依變項，分別進行重複量數的單因子變異數分析，並將達到顯著差異水準的變項進行事後比較。

(一)主題一：共有四個問題，僅將達到顯著差異的變項數值整理成表 4.2.1：

表 4.2.1 主題一概念數、正確概念分數與推理層級重複量數分析之主要效果摘要表

	型 III 平方和	自由度	平均 平方和	F 值	p 值	淨相關 η^2	事後比較
問題 1-1							
正確分數	31.593	2	15.796	37.278***	.000	.687***	後>前，追>前
問題 1-2							
正確分數	28.704	2	14.352	17.877***	.000	.513***	後>前，追>前
推理層級 精緻化 (EL)	6.370	2	3.185	3.827*	.032	.184***	追>前
問題 1-3							
概念數	6.778	2	3.389	6.441**	.004	.275***	後>前，追>前
正確分數	35.704	2	17.852	5.933**	.006	.259***	後>前，追>前
推理層級 精緻化 (EL)	32.148	2	16.074	8.299***	.001	.328***	後>前，追>前
問題 1-4							
正確分數	8.926	2	4.463	8.887**	.001	.343***	後>前，追>前
推理層級 概述(G)	6.481	2	3.241	3.909*	.030	.187***	追>前
精緻化 (EL)	3.370	2	1.685	9.609***	.000	.361***	後>前，追>前

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ 。 前：教學前，後：教學後，追：教學後追蹤。

η^2 值：* 表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\eta^2 = \text{small}$ ；** 表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\eta^2 = \text{medium}$ ；
*** 表示 $d \geq 0.1379$, $\eta^2 = \text{large}$

表 4.2.1 中結果顯示，問題 1-1 在正確概念分數上達到顯著差異 ($F(2) = 37.278, p = 0.000$)，且教學後高於教學前 ($p = 0.000$)、追蹤晤談也明顯高於教

學前 ($p=0.000$)。問題 1-2 在正確概念分數上達到顯著差異 ($F(2)=28.704$, $p=0.000$)，且教學後高於教學前 ($p=0.000$)，在追蹤晤談也明顯高於教學前 ($p=0.000$)；另在推理層級精緻化 (EL) 上亦達顯著差異 ($F(2)=3.827$, $p=0.032$)，但到追蹤時才高於教學前 ($p=0.015$)。

問題 1-3 在概念數 ($F(2)=6.441$, $p=0.004$)、正確概念分數 ($F(2)=5.933$, $p=0.006$) 上均達顯著差異，且教學後高於教學前 ($p=0.019$; $p=0.010$)，追蹤晤談亦高於教學前 ($p=0.012$; $p=0.020$)；另在推理層級精緻化 (EL) 上亦達顯著差異 ($F(2)=8.299$, $p=0.001$)，且教學後高於教學前 ($p=0.019$)、追蹤亦高於教學前 ($p=0.003$)。問題 1-4 在正確分數上達到顯著差異 ($F(2)=8.887$, $p=0.001$)，且教學後高於教學前 ($p=0.005$)、追蹤也高於教學前 ($p=0.007$)；推理層級中的概述 (G) ($F(2)=3.909$, $p=0.030$) 與精緻化 (EL) ($F(2)=9.609$, $p=0.000$) 也達到顯著差異，但在概述 (G) 中僅有追蹤明顯高於教學前 ($p=0.005$)，而在精緻化 (EL) 中則為教學後高於教學前 ($p=0.010$)、追蹤高於教學前 ($p=0.002$)。

(二)主題二：共有二個問題，僅將達到顯著差異的變項數值整理成表 4.2.2：

表 4.2.2 主題二概念數、正確概念分數與推理層級重複量數分析之主要效果摘要表

	型 III 平方和	自由度	平均 平方和	F 值	p 值	淨相關 η^2	事後比較
問題 2-1							
概念數	10.778	2	5.389	12.036***	.000	.415***	後>前，追>前
正確分數	208.444	2	104.222	28.223***	.000	.624***	後>前，追>前
推理層級							
精緻化 (EL)	40.704	2	20.352	9.190***	.001	.351***	後>前，追>前
辯證(J)	2.704	2	1.352	6.299**	.005	.270	後>前，追>前
問題 2-2							
概念數	6.037	2	3.019	6.429**	.004	.274***	後>前，追>前
正確分數	248.148	2	124.074	25.851***	.000	.603***	後>前，追>前 追>後
推理層級							
精緻化	25.037	2	12.519	6.232**	.005	.268***	後>前，追>前

(EL)							
辯證(J)	5.815	2	2.907	8.582 ^{***}	.001	.335 ^{***}	後>前，追>前

註：* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$ 前：教學前，後：教學後，追：教學後追蹤。

η^2 值：* 表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\eta^2 = \text{small}$ ；** 表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\eta^2 = \text{medium}$ ；*** 表示 $d \geq 0.1379$, $\eta^2 = \text{large}$

問題 2-1 在概念數 ($F(2)=12.036, p=0.000$)、正確概念分數 ($F(2)=28.223, p=0.000$) 上均達非常顯著的差異，且教學後高於教學前 ($p=0.004; p=0.000$)、追蹤晤談亦高於教學前 ($p=0.001; p=0.000$)；另在推理層級精緻化 (EL) ($F(2)=9.190, p=0.001$) 與辯證 (J) ($F(2)=6.299, p=0.005$) 皆達顯著差異，且教學後均高於教學前 ($p=0.001; p=0.001$)，且追蹤均高於教學前 ($p=0.001; p=0.016$)。

問題 2-2 在概念數 ($F(2)=6.429, p=0.004$) 與正確概念分數 ($F(2)=25.851, p=0.000$) 均達很顯著的差異，且教學後均高於教學前 ($p=0.023; p=0.000$)、追蹤晤談均高於教學前 ($p=0.012; p=0.000$)，而在正確概念分數的事後比較顯示，追蹤高於教學後 ($p=0.004$)，表示在教學之後對減數分裂的正確概念仍持續增進；另在推理層級精緻化 (EL) ($F(2)=6.232, p=0.005$) 與辯證 (J) ($F(2)=8.582, p=0.001$) 皆達顯著差異，且教學後均高於教學前 ($p=0.014; p=0.014$)，且追蹤均高於教學前 ($p=0.007; p=0.001$)。

(三)主題三：共有二個問題，僅將達到顯著差異的變項數值整理成表 4.2.3：

表 4.2.3 主題三概念數、正確概念分數與推理層級重複量數分析之主要效果摘要表

	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 值	p 值	淨相關 η^2	事後比較
問題 3-1							
概念數	5.481	2	2.741	9.459 ^{***}	.001	.357 ^{***}	後>前，追>前
正確分數	45.444	2	22.722	19.049 ^{***}	.000	.528 ^{***}	後>前，追>前
推理層級							
精緻化 (EL)	12.926	2	6.463	6.513 ^{**}	.004	.277 ^{***}	後>前，追>前
辯證(J)	6.704	2	3.352	8.571 ^{***}	.001	.335 ^{***}	後>前，追>前

問題 3-2

正確分數	202.815	2	101.407	35.971 ^{***}	.000	.679 ^{***}	後>前，追>前
推理層級							
概述(G)	29.037	2	14.519	10.221 ^{***}	.000	.375 ^{***}	後>前，追>前
精緻化(EL)	81.148	2	40.574	20.635 ^{***}	.000	.548 ^{***}	後>前，追>前 後>追
辯證(J)	8.444	2	4.222	15.023 ^{***}	.000	.469 ^{***}	追>前，追>後

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ 前：教學前，後：教學後，追：教學後追蹤。
 η^2 值：* 表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\eta^2 = \text{small}$ ；** 表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\eta^2 = \text{medium}$ ；
 *** 表示 $d \geq 0.1379$, $\eta^2 = \text{large}$

問題 3-1 在概念數 ($F(2)=9.459, p=0.001$) 與正確概念分數 ($F(2)=19.049, p=0.000$) 均達非常顯著的差異，且教學後均高於教學前 ($p=0.016; p=0.000$)、追蹤晤談均高於教學前 ($p=0.002; p=0.000$)；另在推理層級精緻化 (EL) ($F(2)=6.513, p=0.004$) 與辯證 (J) ($F(2)=8.571, p=0.001$) 皆達顯著差異，且教學後均高於教學前 ($p=0.002; p=0.001$)，而追蹤亦高於教學前 ($p=0.009; p=0.005$)。

問題 3-2 在正確概念分數上達到非常顯著的差異 ($F(2)=35.971, p=0.000$)，且教學後高於教學前 ($p=0.000$)、追蹤晤談亦高於教學前 ($p=0.000$)。另在推理層級中，概述 (G) ($F(2)=10.221, p=0.000$) 與精緻化 (EL) ($F(2)=20.635, p=0.000$) 皆達顯著差異，且教學後均高於教學前 ($p=0.004; p=0.000$)，而追蹤均高於教學前 ($p=0.005; p=0.004$)。但在辯證 (J) ($F(2)=15.023, p=0.000$) 中不僅達到顯著差異，且追蹤晤談較教學前高 ($p=0.001$)，追蹤亦比教學後有明顯的差異 ($p=0.002$)，而在精緻化中則是教學後高於追蹤 ($p=0.022$)，顯示在棋盤方格法的運用上，即使再經過了一段時間，學習效果仍持續進步，由原本僅瞭解其原理 (EL)，至追蹤時更進一步能夠確實地掌握機率在棋盤方格法上的應用 (J)。

(四)主題四：共有二個問題，僅將達到顯著差異的變項數值整理成表 4.2.4：

表 4.2.4 主題四概念數、正確概念分數與推理層級重複量數分析之主要效果摘要表

型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 值	p 值	淨相關 η^2	事後比較
-----------	-----	-------	-----	-----	--------------	------

問題 4-1

概念數	4.000	2	2.000	5.100*	.012	.231***	追>前
正確分數	112.259	2	56.130	21.266***	.000	.556***	後>前，追>前
推理層級 精緻化 (EL)	26.778	2	13.389	7.774**	.002	.314***	後>前，追>前
問題 4-2							
正確分數	37.370	2	18.685	9.257**	.001	.353***	後>前，追>前
推理層級 概述(G)	22.259	2	11.130	19.169***	.000	.530***	後>前，追>前
精緻化 (EL)	9.148	2	4.574	4.832*	.014	.221***	後>前，追>前

註：* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$ 前：教學前，後：教學後，追：教學後追蹤。

η^2 值：*表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\eta^2 = \text{small}$ ；**表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\eta^2 = \text{medium}$ ；***表示 $d \geq 0.1379$, $\eta^2 = \text{large}$

問題 4-1 在概念數上達到顯著差異 ($F(2)=5.100, p=0.012$)，且追蹤晤談高於教學前 ($p=0.010$)，另在正確概念分數 ($F(2)=21.266, p=0.000$) 與推理層級精緻化 (EL) ($F(2)=7.774, p=0.002$) 皆達顯著差異，且教學後均高於教學前 ($p=0.000; p=0.036$)，且追蹤均高於教學前 ($p=0.000; p=0.002$)。

問題 4-2 在正確概念分數上達到顯著差異 ($F(2)=9.257, p=0.001$)，且教學後高於教學前 ($p=0.011$)、追蹤晤談也高於教學前 ($p=0.001$)；另在推理層級的概述(G) ($F(2)=19.619, p=0.000$) 與精緻化(EL) ($F(2)=4.832, p=0.014$) 皆達顯著差異，且教學後均高於教學前 ($p=0.000; p=0.015$)，且追蹤均高於教學前 ($p=0.000; p=0.010$)。

三、小結：

茲將敘述性統計的數據資料整理成表，並放至附錄六中做為參考之用。將各晤談問題的三個變項「概念數」、「正確概念分數」與「推理層級類型」在教學前、後、追蹤的描述性統計數值繪製成圖 4.2.1、圖 4.2.2 與圖 4.2.3。再將上述三變項所得重複量數分析之結果彙整如表 4.2.5。

「概念數」由表 4.2.5 顯示在問題 1-3、2-1、2-2、3-1、4-1 均達顯著差異，而在後測與追蹤的概念數多於前測，且達顯著性。並在主題二特別明

顯，顯示學生的學習在主題二有良好的成效。

「正確概念分數」於圖 4.2.2 與圖 4.2.1 可顯示學生在後測所有主題的正確概念分數均高於前測，且在表 4.2.5 中進一步顯示所有題目均達顯著差異，證明此課程對於所有的學生而言，具有良好的教學成效。另於問題 2-2，追蹤甚至大於教學後，顯示在減數分裂上具有非常良好的學習維持效果。

在推理層級的分析部分，精緻化 (EL) 由圖 4.2.2 與圖 4.2.3 顯示後測和追蹤從問題 1-3 開始均比前測 (圖 4.2.1) 進步，同時在表 4.2.5 中重複量數分析也顯示後測與前測從問題 1-3 後均達統計顯著差異。表示學生在學習課程之後能夠有效提升其運用遺傳上專有名詞的能力，並能以科學的方式來論述自己的想法。尤其在主題二、三時，有顯著增加的趨勢，表示在細胞分裂與減數分裂、孟德爾的遺傳法則上學生的推理能力明顯往精緻化增進。然而在主題四時精緻化的顯著性降低，概述 (G) 反而明顯增加，是因為在突變的問題中，多讓學生以自己的想法來表達意見，概述因而增加，但精緻化仍有達到顯著水準，顯示學生能夠運用所學的遺傳相關名詞，且確實瞭解其意義。

辯證 (J) 由圖 4.2.2 與圖 4.2.3 顯示後測和追蹤從主題二開始均比前測 (圖 4.2.1) 進步，同時在表 4.2.5 中重複量數分析也顯示後測與前測從問題 2-1 後均達統計顯著差異，顯示學生的推理層級經過教學後一段時間才開始有明顯達到辯證的階段。且只在主題二、三中具有顯著差異，而這兩個主題是遺傳學的重要核心概念：細胞分裂與減數分裂、孟德爾的遺傳法則與棋盤方格法，也是學生覺得最困難的地方之一。此結果顯示學生若想要理解遺傳的理論與概念，需配合提升其科學推理的能力，故協助學生提高其推理的層級，方能有效進行抽象概念的改變。此結果與 Baker 和 Lawson (2001) 所做的研究相符合。

解釋 (EX) 由圖 4.2.2 與圖 4.2.3 顯示後測和追蹤均未比前測 (圖 4.2.1) 進步，同時在表 4.2.5 中重複量數分析也都沒有達到統計上顯著的差異，原因是因為能夠具備此層級的學生很少，以問題的形式而言，大部分僅在說明細胞分裂與減數分裂的過程才會達到此一層級，故無法表現出其顯著性。

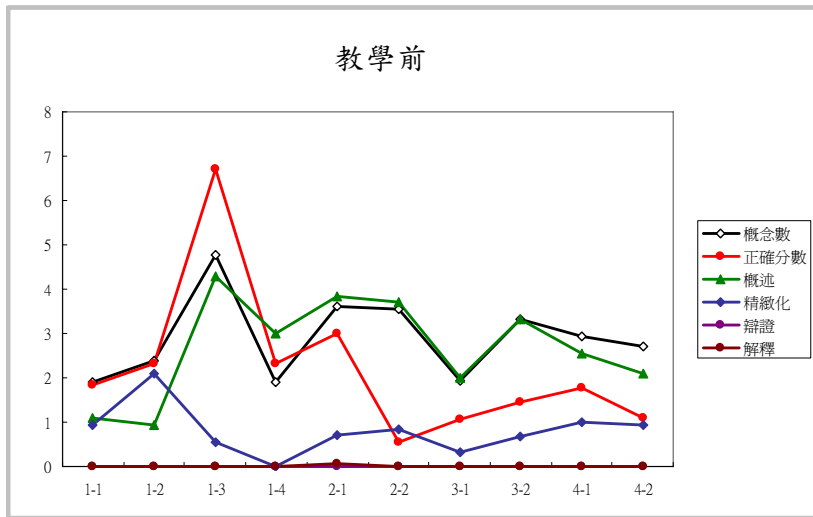


圖 4.2.1 教學前遺傳單元晤談資料平均值彙整

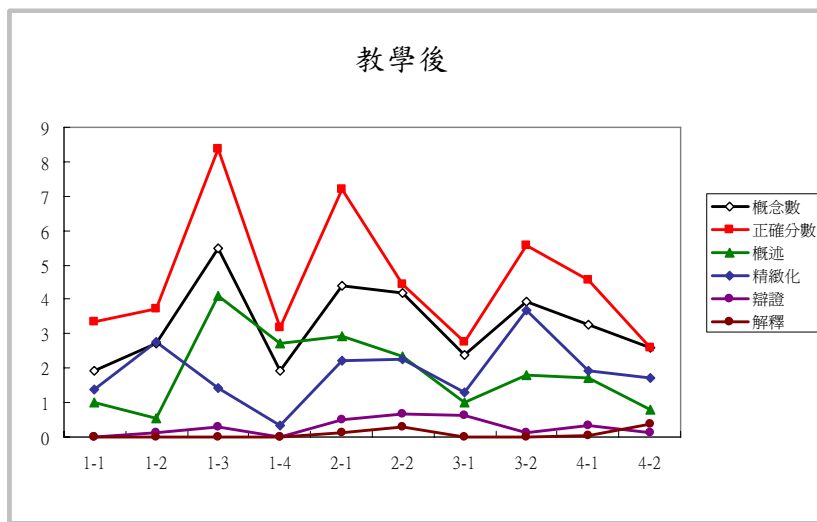


圖 4.2.2 教學後遺傳單元晤談資料平均值彙整

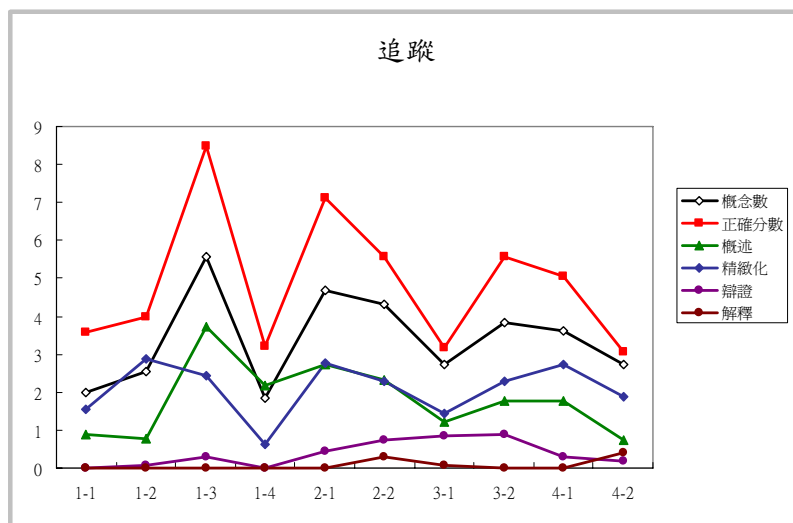


圖 4.2.3 教學追蹤遺傳單元晤談資料平均值彙整

表 4.2.5 教學前、後、追蹤的遺傳單元晤談資料之重複量數分析結果彙整表

		問題 1-1	問題 1-2	問題 1-3	問題 1-4	問題 2-1	問題 2-2	問題 3-1	問題 3-2	問題 4-1	問題 4-2
概念數	後>前			*		**	*	*			
	追>前			*		**	*	**		**	
正確概念 分數	後>前	***	***	*	**	***	***	***	***	***	*
	追>前	***	***	*	**	***	***	***	***	***	**
	追>後						**				
推理層級類型											
概述 (G)	後>前								**		***
	追>前				**				**		***
精緻化 (EL)	後>前			*	*	*	*	**	***	*	*
	追>前		*	**	**	**	**	**	**	**	*
	後>追								*		
辯證 (J)	後>前					**	*	**			
	追>前					*	**	**	**		
	追>後								**		
解釋 (EX)	後>前										
	追>前										
	追>後										

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$



另將教學前-教學後與教學後-追蹤之概念改變量整理繪製成圖 4.2.4 與圖 4.2.5。概念改變量在教學前-後的部分(圖 4.2.4)，可看見大部分的問題中都有明顯的進步情形，表示結合科學推理之雙重情境學習模式對學生而言，概念改變的成效十分良好。而問題 1-3 全對的比例很高，此題主要是說明遺傳物質間的關係，學生可能從生活經驗或預習中已瞭解部分概念，故先備知識較好。而在教學後-追蹤的部分(圖 4.2.5)有極高的比例維持全對，證明學習維持的效果頗為明顯。

綜合以上所述，結果均支持研究假說 4-1 與研究假說 4-2。



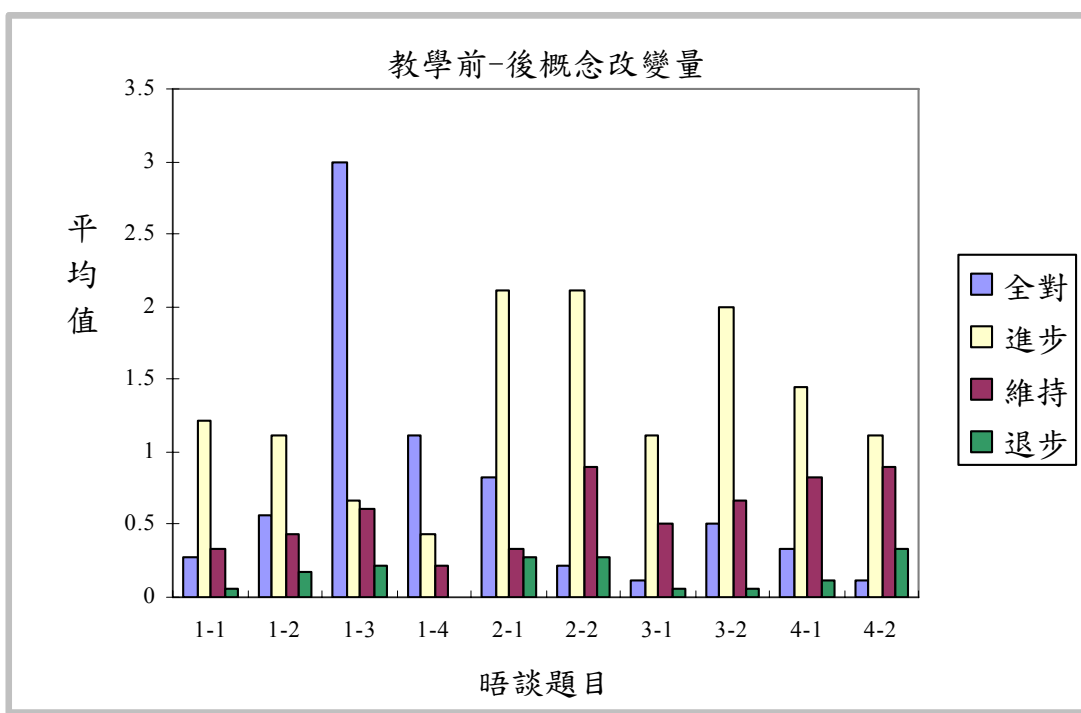


圖 4.2.4 晤談題目教學前至教學後概念改變量之平均值彙整

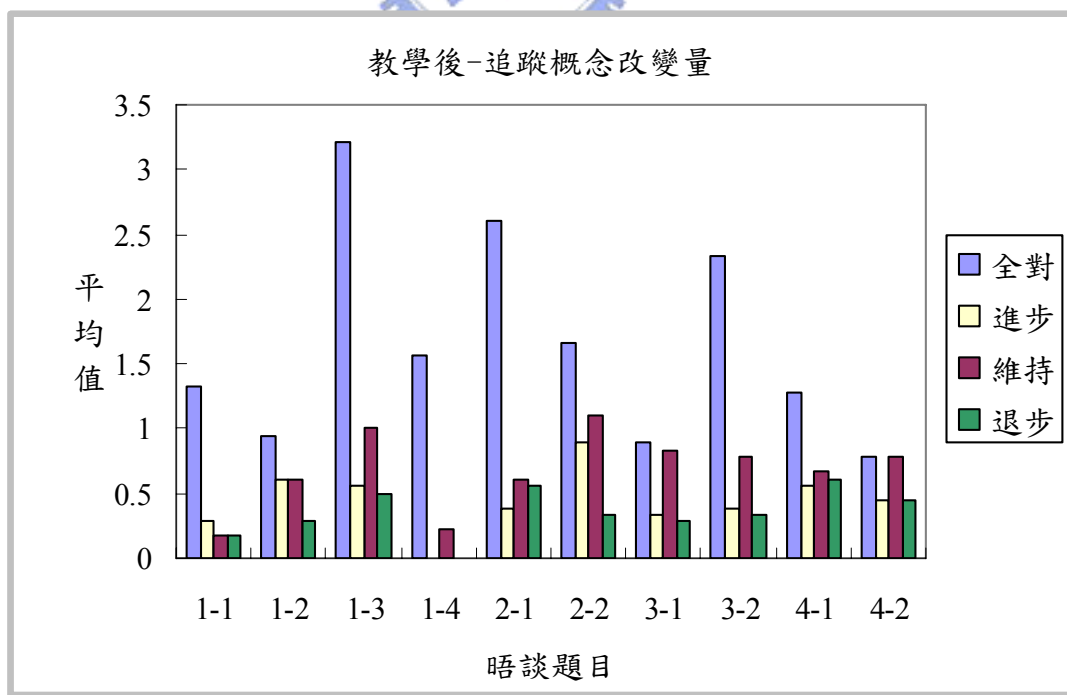


圖 4.2.5 晤談題目教學後至追蹤概念改變量之平均值彙整

第三節 結合推理之雙重情境學習模式課程學習歷程分析

此節的目的在於回答研究問題五：「結合類比教學、科學推理與雙重情境學習模式而設計之課程，對學習者的學習歷程表現有何影響？」。「遺傳」單元的雙重情境學習結合類比教學與科學推理之課程共分五個大主題，將依序由主題一到主題五，針對學生在互動式學習事件中的作答內容，進行兩項分析：

一、教學前後學習事件概念改變分析

本分析主要是探討學生從主題一到主題五的互動式學習事件前後之概念改變的歷程。以學生在教學前作答的內容作為「學習事件前」的概念狀態，經過學習事件之後再一次作答的內容作為「學習事件後」的概念狀態，由於作答均包含答案和理由兩部分選項，以答案及理由均答對才算學生具有正確的概念。

分析的方法是先將全部學生（共 98 人）依自然科學業成就（高分組 36 人、中分組 38 人、低分組 24 人）和科學推理（具體運思前期 70 人、具體運思後期 28 人）進行分組，再統計各組內作答的結果，以百分率（各分組內所佔百分比）的方式顯示。結果的呈現方式採事件前一事件後配對比較，共可分為「對一對」（維持正確概念）、「錯一對」（改變另有概念）、「對一錯」（產生另有概念）、「錯一錯」（維持另有概念）等四個類型。

二、教學前後理由運用的推理層級分析

本分析主要探討學生從主題一到主題五的互動式學習事件前後，運用推理層級的歷程。以學習事件的前後，學生對問題作答的開放式理由部分，作為分析的內容。推理層級分析的標準則修改 Hogan 等人（2000）對推理型態的層級分類，共分成下列四種層級類型：

1. 概述（Generativity, G）：對自然現象作直觀的描述或以質樸概念來回答。概述（G）又可細分為 N、G₀、G₁ 和 G₂。N 是學生在理由的部分漏答或拒答；G₀ 則表示學生的回答中完全不包含任何和問題相關的論述，或無

法分辨其含義； G_1 是學生僅運用一個簡單概述， G_2 是同時運用了二個以上概述。

2. 精緻化 (Elaboration, EL)：學生能以正確科學術語、或科學方法如運用測量、估計、數字關係等，對問題相關的現象進行說明。精緻化 (EL) 可細分為 EL1 和 EL2。EL1 是學生僅運用一個精緻化的說明，EL2 是運用二個以上精緻化的說明。
3. 判斷 (Justification, J)：在「證據取向」方面，學生能利用實驗變因和結果之間的關係來說明現象；在「推論取向」方面，學生能利用簡單的線性因果關係演繹推論來解釋現象，分為 J1 和 J2。J1 是學生運用了一個判斷的說明，J2 是二個以上判斷的說明。
4. 解釋 (Explanation, EX)：學生以類似科學模型或遺傳過程機制，做為推理的依據，來說明待解答的現象。分為 EX1 和 EX2，EX1 是學生運用了一個解釋來說明，EX2 是運用二個以上解釋來說明。但因學生程度有限，在本研究中最高只能達到 EX1。

如果學生提出的論述中同時包含了不同層級的推理論述，則以提出論述中所達到最高的層級為準。推理層級的分析以交叉表為工具，另外進行卡方獨立性考驗。本節僅呈現學習事件前、後推理層級變項達顯著差異水準的分析結果。

以下分別就五個主題的情境事件依序討論。但主題一的事件二、三與主題五皆為開放式回答，故僅就第二項開放式理由的部分討論；主題三的事件五之後為棋盤方格法的挑戰題，沒有回答開放式理由，故僅針對第一項概念改變的歷程來做分析。

4-3-1 主題一「遺傳概念」

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件一的問題為：「小鴨應該會長成什麼樣子？」。以下為事件一學生學習前後之回答如表 4.3.1：

表 4.3.1 主題一事件一教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
對-對	81.6	58.3	81.6	97.2	5.7	14.3
錯-對	8.2	16.7	7.9	2.8	81.4	82.1
對-錯	5.1	8.3	7.9	0.0	7.2	0.0
錯-錯	5.1	16.7	2.6	0.0	5.7	3.6

註：N=98

本學習事件教學前答對的比例很高，而在學習後有 89.8% 的學生都能建構正確概念，顯然從日常生活經驗中容易獲得此概念。在學業分組中，高成就全組、中成就（89.5%）均達到極高的概念改變率，而在推理分組中則幾乎都可以獲得正確概念。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.2 呈現主題一之事件一學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.2 主題一事件一開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後					總和	χ^2	ω
	G1	G2	EL1	EL2	J1			
G1	56		4	1		61		
G2		2				2		
EL1	7		21			28		
EL2			2	2		4		
J1					3	3		
總和	63	2	27	3	3	98	279.19***	1.69***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; ***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.2 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 279.19$, $p = 0.000$)，進步的有 5 人 (5.1%)，維持的有 86 人 (87.8%)，退步的則有 7 人 (7.1%)，

顯示學生大部分都能維持，甚至有所進步。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

事件二的問題為：「父母將遺傳物質傳給子代，使得親代和子代長得很類似，請說明你認為的遺傳物質有哪些？你的理由是？」。下表 4.3.3 呈現主題一之事件二學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.3 主題一事件二開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後						總和	χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	EL2	J2			
G0	1	4	5				10		
G1			20	5			25		
G2					1		1		
EL1	1		25	32			58		
EL2			2			1	3		
EX1				1			1		
總和	2	4	52	38	1	1	98	185.99***	1.38***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: * 表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; ** 表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; *** 表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.3 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 185.99$, $p = 0.000$)，進步的有 7 人 (7.3%)，維持的有 61 人 (63.5%)，退步的則有 28 人 (29.2%)，未答有 2 人。顯示大部分的學生都在維持的狀態。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

事件三的問題為：「遺傳物質藏在哪裡？他們彼此間的關係是如何？你的理由是？」。下表 4.3.4 呈現主題一之事件三學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.4 主題一事件三開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後						χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	EL2	總和		
N	2						2	
G0		6	1	2			9	
G1		2	30	3			35	
EL1	1	1	6	34	1		43	

EL2			2	1	5	8		
J1				1		1		
總和	3	9	39	41	6	98	201.45****	1.43***

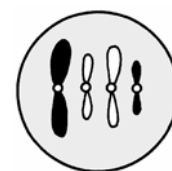
註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; ***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.4 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 201.45$, $p = 0.000$)，進步的有 5 人 (5.3%)，維持的有 80 人 (84.2%)，退步的則有 10 人 (10.5%)，未答有 3 人。顯示大部分的學生都在維持的狀態。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件四的問題為：「有一隻剛出生的小鴨被綁架了，兇手在現場留下血跡，經分析細胞構造圖如右圖，有四種動物具有嫌疑，你認為兇手是哪一種？」。



以下為事件四學生學習前後之回答如表 4.3.5：

表 4.3.5 主題一事件四教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
-挑戰						
對-對	12.2	4.2	15.8	13.9	8.6	21.4
錯-對	21.4	12.5	28.9	19.4	20.0	25.0
對-錯	17.4	8.3	15.8	25.0	15.7	21.4
錯-錯	49	75.0	39.5	41.7	55.7	32.2

註：N=98

本學習事件在教學後只有 33.6% 的學生能建構正確概念，仍有 49% 維持錯誤，顯然染色體的觀念較為抽象，且需同時具有「同種生物的染色體數目相同」的觀念很困難，此部分的設計需要修正，可以嘗試互動式的動畫。而就學業分組而言，中分組的表現較好 (44.7%)，而推理分組的具體後期之改變成功率 (46.4%) 亦較高。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.6 呈現主題一之事件四學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.6 主題一事件四開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後					χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	總和		
N	1				1		
G0		3	1	2	6		
G1			27	7	34		
EL1		2	7	47	56		
EL2				1	1		
總和	1	5	35	57	98	166.92***	1.31***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; ***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.6 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 1.692, p = 0.000$)，進步的有 9 人 (9.3%)，維持的有 79 人 (81.4%)，退步的則有 9 人 (9.3%)，未答有 1 人。顯示大部分的學生都在維持的狀態。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件五的問題為：「你認為圖中哪些染色體可以兩兩成對？」。以下為事件五學生學習前後之回答如表 4.3.7：

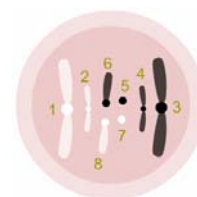


表 4.3.7 主題一事件五教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
-挑戰						
對-對	81.6	54.2	81.6	100	75.7	96.4
錯-對	4.1	8.3	5.3	0.0	5.7	0
對-錯	6.1	8.3	10.5	0.0	8.6	0.0
錯-錯	8.2	29.2	2.6	0.0	10.0	3.6

註：N=98

本學習事件學習前答對的比例很高，而在學習後有 85.7% 的學生都能建構正確概念，顯然學生容易瞭解「成對」的概念。在學業分組的中分組 (86.9%) 有極高的概念改變率，而高分組學生完全答對正確概念；而推理分組中則皆有明顯的成功率。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.8 呈現主題一之事件五學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.8 主題一事件五開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後				χ^2	ω
	G0	G1	EL1	總和		
G0	2	1		3		
G1		73	8	81		
EL1		2	12	14		
總和	2	76	20	98	107.24***	1.05***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; ***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.8 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 107.24$, $p = 0.000$)，進步的有 8 人 (7.3%)，維持的有 88 人 (63.5%)，退步的則有 2 人 (29.2%)。顯示大部分的學生都在維持的狀態。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件六的問題為：「你認為圖中的細胞具有幾套染色體？」。以下為事件六學生學習前後之回答如表 4.3.9：



表 4.3.9 主題一事件六教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組			科學推理分組	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
對-對	40.8	20.8	34.2	58.3	35.7	50.0
錯-對	4.1	4.2	2.6	5.6	2.9	14.3
對-錯	4.1	4.2	2.6	8.3	4.3	7.1
錯-錯	51.0	70.8	60.5	27.8	57.1	28.6

註：N=98

本學習事件學習前答對的比例較高，而在學習後仍維持錯誤的有 51%，顯然學生對於「套數」的正確概念還有待加強，可能需要再舉例說明，才能達成教學目標。在分組上僅有高分組 (63.9%) 和具體後期 (64.3%) 有較高的概念成功率。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.10 呈現主題一之事件六學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.10 主題一事件六開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後				總和	χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1			
N	1				1		
G0		3	4		7		
G1			45	20	65		
EL1			10	15	25		
總和	1	3	59	35	98	146.62***	1.22***

註 1. χ^2 值: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, ω =small; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, ω =medium; ***表示 $d \geq 0.5$, ω =large

由表 4.3.10 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=146.62, p=0.000$)，進步的有 20 人(20.6%)，維持的有 67 人(69.1%)，退步的則有 10 人(10.3%)，未答有 1 人。顯示大部分的學生都在維持或進步的狀態。

主題一小結

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

由圖 4.3.1 中可以發現，除事件四中概念成功改變率較低，其他事件均能達到明顯的學習成效。且大部分都是高分組與具體後期的學生能夠轉變成正確概念，僅在事件二時中分組有較為明顯的進步。

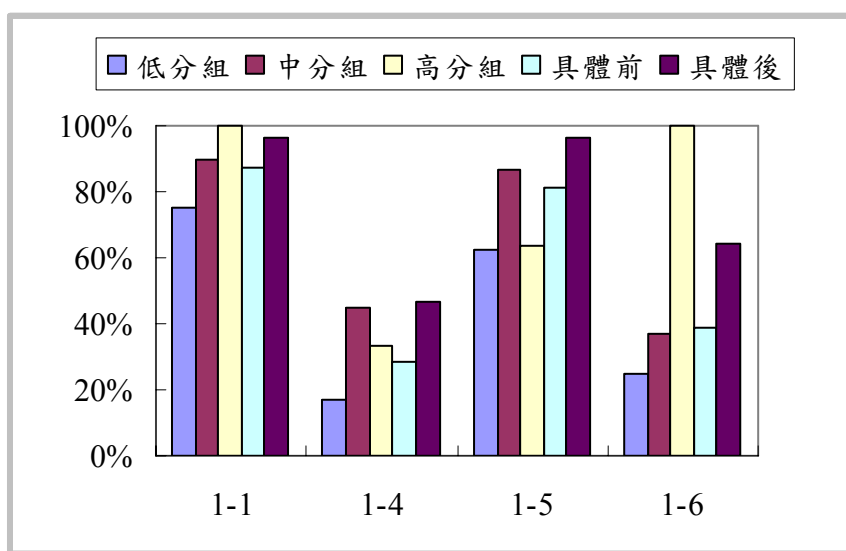


圖 4.3.1 主題一各分組學生的概念正確率

(二) 教學前後理由的推理層級分析

從下圖 4.3.2 中顯示大部分的學生在推理層級上都是維持的，甚至在事件二和事件五中有退步的現象，顯示學生的推理層級仍不太穩定。

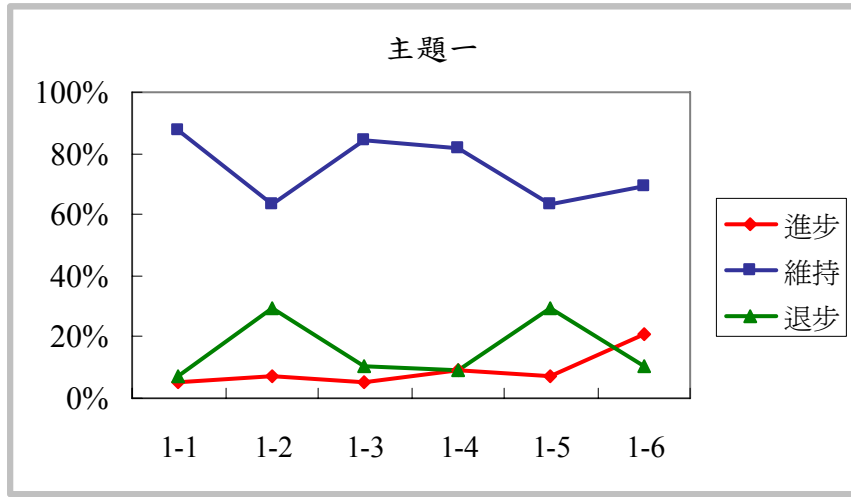


圖 4.3.2 主題一推理層級類型的彙整



4-3-2 主題二「細胞分裂與減數分裂」

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件一的問題為：「爸媽是如何生出小鴨的？請依序排列其過程。」。
以下為事件一學生學習前後之回答如表 4.3.11：

表 4.3.11 主題二事件一教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組			科學推理分組	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
對-對	69.4	41.7	68.4	88.9	60.0	92.8
錯-對	12.2	12.5	15.8	8.3	15.7	3.6
對-錯	1.0	4.2	0.0	0.0	0.0	3.6
錯-錯	17.3	41.7	15.8	2.8	24.3	0.0

註：N=98

本學習事件學習前答對的比例很高佔 70.4%，而在學習後有 81.6% 的學生都能建構正確概念，表示生殖的概念是從日常生活經驗中便容易獲得。以分組而言，高分組 (97.2%)、中分組 (84.2%) 均能有良好的概念改變率，而推理分組的具體後期成功率更高達 96.4%。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.12 呈現主題二之事件一學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.12 主題二事件一開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後					χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	總和		
N	1				1		
G0		2	4		6		
G1		1	33	2	36		
EL1			2	52	54		
EL2				1	1		
總和	1	3	39	55	98	196.79***	1.42***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: * 表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; ** 表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; *** 表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.12 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 196.79$, $p = 0.000$)，進步的有 2 人 (2.1%)，維持的有 93 人 (95.8%)，退步的則有 2 人 (2.1%)，

有 1 人未答。顯示絕大部分的學生都能維持。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件二的問題為：「發育成小丫的受精卵是怎麼來的？」。以下為事件二學生學習前後之回答如表 4.3.13：

表 4.3.13 主題二事件二教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組			科學推理分組	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
-挑戰						
對-對	35.7	20.8	34.2	47.2	27.1	57.1
錯-對	6.1	12.5	5.3	2.8	8.6	0
對-錯	51.0	45.8	55.3	50.0	54.3	42.9
錯-錯	7.2	20.8	5.3	0.0	10.0	0

註：N=98

本學習事件學習前答對的比例很高，而在挑戰情境時有 58.2% 的學生未能完成，顯然對受精卵如何形成的概念較不容易理解，需要再多一些動畫加以說明。另以分組來看，只有高分組（50%）和具體後期（57.1%）的學生能達到較高的概念成功率；

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.14 呈現主題二之事件二學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.14 主題二事件二開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後				總和	χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1			
N	1				1		
G0		1	1		2		
G1			14	4	18		
EL1			10	67	77		
總和	1	1	25	71	98	180.43***	1.36***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: * 表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; ** 表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; *** 表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.14 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 180.43$, $p = 0.000$)，進步的有 4 人 (4.1%)，維持的有 83 人 (85.6%)，退步的則有 10 人 (10.3%)，

有 1 人未答。顯示大部分的學生都能維持。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件三的問題為：「你的體細胞在什麼情況下會進行細胞分裂？」。以下為事件三學生學習前後之回答如表 4.3.15：

表 4.3.15 主題二事件三教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組			科學推理分組	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
-挑戰						
對-對	9.2	12.5	2.6	13.9	5.7	17.9
錯-對	1.0	0.0	2.6	0.0	1.4	0.0
對-錯	7.1	8.3	5.3	8.3	10.0	0.0
錯-錯	82.7	79.2	89.5	77.8	82.9	82.1

註：N=98

本學習事件教學前答對的比例僅 10.2%，而在學習後有 89.8% 的學生維持錯誤概念，對細胞分裂的目的仍不太清楚，應可以動畫再說明何種情境需要進行細胞分裂。在概念改變成功率上，各分組均沒有明顯較高，顯示此事件對大多數學生而言頗感困難。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.16 呈現主題二之事件三學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.16 主題二事件三開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後							總和	χ^2	ω
	N	G0	G1	G2	EL1	EL2	J1			
G0		5	3					8		
G1			65			2		67		
G2				1				1		
EL1	1		3		15	1		20		
EL2						1	1	2		
總和	1	5	71	1	17	2	1	98	296.51***	1.74***

註 1. χ^2 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值：* 表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; ** 表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; *** 表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.16 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=296.51, p=0.000$)，進步的有 3 人 (3.1%)，維持的有 91 人 (93.8%)，退步的則有 3 人 (3.1%)，有 1 人未答。顯示大部分的學生都能維持。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件四的問題為：「看完動畫後，請用圖片排列出細胞分裂的正確過程。」。以下為事件四學生學習前後之回答如表 4.3.17：

表 4.3.17 主題二事件四教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後		學業分組			科學推理分組	
-挑戰	總和	低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
對-對	26.5	8.3	21.1	44.4	21.4	39.3
錯-對	27.6	25.0	23.7	33.3	24.3	35.7
對-錯	15.3	12.5	23.7	8.3	18.6	7.1
錯-錯	30.6	54.2	31.6	13.9	35.7	17.9

註：N=98

本學習事件學習前答對的比例佔 41.8%，而在學習後有 54.1% 的學生都能建構正確概念，在經過動畫教學後，對細胞分裂的過程有比較清楚的瞭解。以分組來看，高學業成就 (77.7%) 和推理中具體後期 (75%) 的學生均能有效達到明顯的正確概念改變。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.18 呈現主題二之事件四學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.18 主題二事件四開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後						總和	χ^2	ω
	N	G0	G1	G2	EL1	J1			
G0		4	6				10		
G1			78		3		81		
G2				1			1		
EL1	1		1		3		5		

EL2						1	1		
總和	1	4	85	1	6	1	98	279.0***	1.69***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; ***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.18 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 279$, $p = 0.000$)，進步的有 4 人 (4.1%)，維持的有 92 人 (94.8%)，退步的則有 1 人 (1.1%)，有 1 人未答。顯示大部分的學生都能維持。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件五的問題為：「受精卵是由精卵結合而來，精卵分別具有爸媽多少遺傳物質（以染色體數表示）？」。以下為事件五學生學習前後之回答如表 4.3.19：

表 4.3.19 主題二事件五教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組			科學推理分組	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
-挑戰						
對-對	71.4	37.5	76.3	88.9	67.1	82.1
錯-對	5.1	8.3	7.9	0.0	5.7	3.6
對-錯	17.4	33.3	13.2	11.1	20.0	10.7
錯-錯	6.1	20.8	2.6	0.0	7.1	3.6

註：N=98

本學習事件學習前答對的比例很高，而在教學後有 17.4% 的學生在挑戰題中轉為錯誤，顯示對配子的概念仍不熟悉。學業分組而言，高成就 (88.9%) 與中成就組 (84.2%) 的學生均能達到有效的概念改變；而推理分組中仍以具體後期 (85.7%) 達到較高的正確概念。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.20 呈現主題二之事件五學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.20 主題二事件五開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後					χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	總和		
N	1				1		

G0		4	4		8		
G1			77	8	85		
EL1			1	3	4		
總和	1	4	82	11	98	161.81***	1.28***

註 1. χ^2 值: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, ω =small; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, ω =medium; ***表示 $d \geq 0.5$, ω =large

由表 4.3.20 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=161.81, p=0.000$)，進步的有 8 人 (8.3%)，維持的有 88 人 (90.7%)，退步的則有 1 人 (1.0%)，有 1 人未答。顯示學生大部分都能維持。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件六的問題為：「看完動畫後，請用圖片排列出減數分裂的正確過程」。以下為事件六學生學習前後之回答如表 4.3.21：

表 4.3.21 主題二事件六教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後		學業分組			科學推理分組		
		總和	低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
-挑戰	總和						
對-對	49.0	16.7	47.4	72.2	42.9	64.3	
錯-對	13.3	4.2	23.7	8.3	14.3	10.7	
對-錯	17.3	29.2	13.2	13.9	18.6	14.3	
錯-錯	20.4	50.0	15.8	5.6	24.3	10.7	

註：N=98

本學習事件學習前答對的比例頗高，而在學習後仍有 37.7% 的學生具有錯誤概念，減數分裂的過程較複雜、抽象，且對學生來說動態的變化較為陌生，不易從單一動畫教學中立即獲得有效的理解。以分組而言，學業高成就 (80.5%) 與中成就組 (71.1%) 的學生可獲得一定的正確概念；而推理中的具體後期 (75%) 則有較明顯的概念成功率。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.22 呈現主題二之事件六學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.22 主題二事件六開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學後

教學前	N	G0	G1	EL1	J1	總和	χ^2	ω
N	3					3		
G0		3	2			5		
G1	3	1	71	8		83		
EL1			1	5		6		
J1					1	1		
總和	6	4	74	13	1	98	214.10***	1.48***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; ***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.22 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=214.1$, $p=0.000$)，進步的有 8 人 (8.7%)，維持的有 83 人 (90.2%)，退步的則有 1 人 (1.1%)，有 6 人未答。顯示學生大部分都能維持。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件七的問題為：『「減數分裂就是兩次細胞分裂的過程」，以上說法正確嗎？』。以下為事件七學生學習前後之回答如表 4.3.23：

表 4.3.23 主題二事件七教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組			科學推理分組	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
-挑戰						
對-對	20.4	12.5	10.5	36.1	20.0	21.4
錯-對	10.2	0.0	10.5	16.7	5.7	21.4
對-錯	3.1	0.0	5.3	2.8	4.3	0.0
錯-錯	66.3	87.5	73.7	44.4	70.0	57.2

註：N=98

本學習事件教學後仍有 66.3% 的學生維持錯誤概念，顯然學生容易於細胞分裂與減數分裂的比較中存在著另有概念，因為兩者同為動態的抽象概念，在進行比較時，便很難立即獲得成效。

在學業分組中僅有高成就組 (52.8%) 能獲得有效的概念改變，而推理中具體後期 (42.8%) 的學生也較能達到正確的概念。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.24 呈現主題二之事件七學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.24 主題二事件七開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後					總和	χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	J1			
N	2					2		
G0		3	7	2		12		
G1			63	4	1	68		
EL1			5	9		14		
J1					2	2		
總和	2	3	75	15	3	98	215.77***	1.48***

註 1. χ^2 值: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, ω =small; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, ω =medium; ***表示 $d \geq 0.5$, ω =large

由表 4.3.24 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=215.77, p=0.000$)，進步的有 7 人 (5.1%)，維持的有 84 人 (87.8%)，退步的則有 5 人 (7.1%)，另有 2 人未回答。顯示學生大部分都能維持。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件八的問題為：「由減數分裂所形成的每一個配子都具有相同的遺傳物質嗎」。以下為事件八學生學習前後之回答如表 4.3.25：

表 4.3.25 主題二事件八教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組			科學推理分組	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
-挑戰						
對-對	18.3	0.0	18.4	30.6	12.9	32.1
錯-對	18.4	25.0	7.9	25.0	20.0	14.3
對-錯	27.6	12.5	44.7	19.4	28.6	25.0
錯-錯	35.7	62.5	28.9	25.0	38.6	28.6

註：N=98

本學習事件在教學後仍有 63.3% 的學生都能維持錯誤概念，顯然配子間的遺傳物質會有不同，對學生而言不僅是較過程抽象，且因結合許多概念故階層也較高，即使經過教學仍無法立即瞭解。可能需要多設計幾個相關事件，以便有效進行概念改變。在分組中只有高學業成就 (55.6%) 及推理的具體後期 (46.4%) 學生，能夠達到較高的正確概念比率。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.26 呈現主題二之事件八學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.26 主題二事件八開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後					χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	總和		
N	2				2		
G0		2	6		8		
G1		1	77	2	80		
EL1			3	4	7		
J1				1	1		
總和	2	3	86	7	98	154.49***	1.26***

註 1. χ^2 值: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, ω =small; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, ω =medium; ***表示 $d \geq 0.5$, ω =large

由表 4.3.26 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=154.49, p=0.000$)，進步的有 2 人 (2.1%)，維持的有 90 人 (93.8%)，退步的則有 4 人 (4.1%)，有 2 人未答。顯示學生大部分都能維持。

主題二小結：

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

由圖 4.3.3 中可得知，幾乎在所有的事件中，高學業成就組均能明顯學會正確概念，中分組則在多數的事件中能夠達到有效的概念改變。而推理分組中的具體後期的學生均能有效轉變成正確概念，尤其在事件三中特別明顯，表示在多個情境下判斷何時需要細胞分裂，需要較強的推理能力。

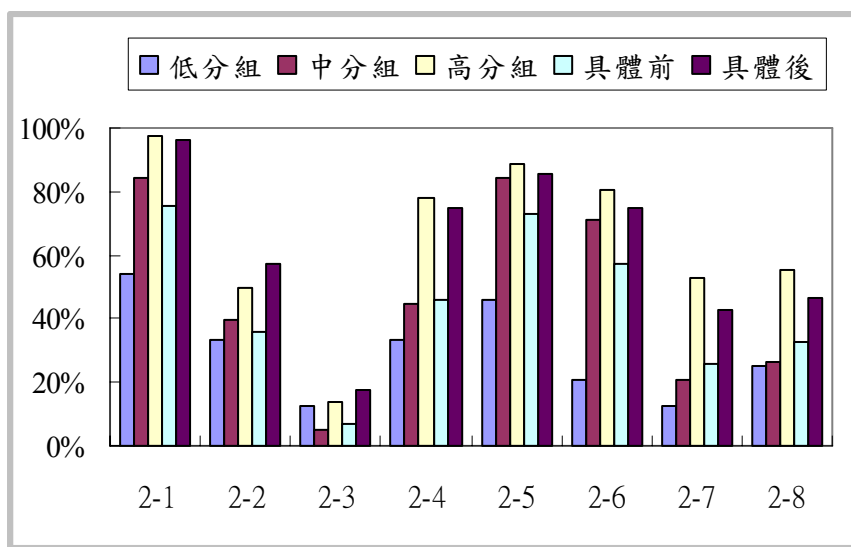


圖 4.3.3 主題二各分組間概念正確率之比較

(二) 教學前後理由的推理層級分析

在圖 4.3.4 中可發現大多數的事件中，維持的推理層級仍佔多數，但也可以從中發現，進步的比例有逐漸增加的趨勢。顯示經過主題一、二的教學後，學生逐漸能應用較高的推理層級，以解釋自己的想法與意見。

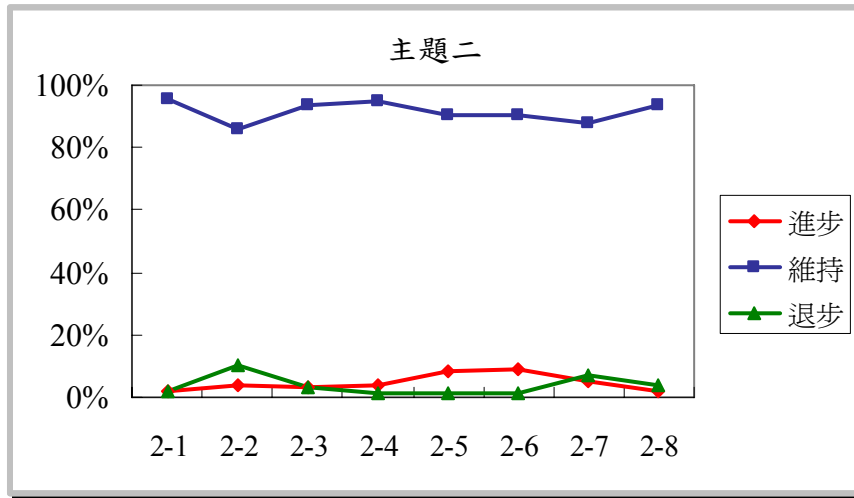


圖 4.3.4 主題二中推理層級的改變情形



4-3-3 主題三「孟德爾遺傳法則與棋盤方格法」

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件一的問題為：「請問耳垂緊貼的父母能生出哪一種耳垂形式的小孩？」。以下為事件一學生學習前後之回答如表 4.3.27：

表 4.3.27 主題三事件一教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
對-對	0	0	0	0	0	0
錯-對	16.3	4.2	23.7	16.7	4.2	23.7
對-錯	1.0	0.0	2.6	0.0	1.4	0.0
錯-錯	82.7	95.8	73.7	83.3	82.9	82.1

註：N=98

本學習事件教學後仍有 82.7% 的學生具有錯誤概念，以分組而言均無明顯的概念改變成功率，表示本事件較為困難，學生無法從單一學習事件便瞭解顯隱性的基因所代表的意義。



(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.28 呈現主題三之事件一學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.28 主題三事件一開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後						總和	χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	EL2	J1			
N	1						1		
G0		2	1				3		
G1		2	61	6			69		
EL1			4	16	1		21		
EL2			1		2	1	4		
總和	1	4	67	22	3	1	98	230.28***	1.53***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; ***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.28 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 230.28, p = 0.000$)，進步的有 7 人 (7.2%)，維持的有 85 人 (87.6%)，退步的則有 5 人 (5.2%)，

有 1 人未答。顯示大部分的學生都能維持。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件二的問題為：「純品系的紫花 (PP) 和白花 (pp) 交配，所生的第一子代紫花的基因組合可能為何？」。以下為事件二學生學習前後之回答如表 4.3.29：

表 4.3.29 主題三事件二教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
-挑戰						
對-對	31.6	4.2	28.9	52.8	25.7	46.4
錯-對	14.3	16.7	18.4	8.3	15.7	10.7
對-錯	29.6	20.8	34.2	30.6	28.6	32.2
錯-錯	24.5	58.3	18.4	8.3	30.0	10.7

註：N=98

本學習事件教學後約有 54.1% 的學生仍有錯誤概念，但已較事件一來得好，顯示學生經過事件一、二後，開始可以瞭解顯隱性的基因所代表的遺傳意義。而在高學業成就組 (61.1%) 中有較高比例達到正確的概念改變，而中分組 (47.3%) 與推理中具體後期 (57.1%) 的學生亦能有一定的比例完成概念成功的轉變。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.30 呈現主題三之事件二學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.30 主題三事件二開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後					總和	χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	J1			
N	1					1		
G0		1	3			4		
G1	2		77	2		81		
EL1			8	3	1	12		
總和	3	1	88	5	1	98	74.58***	0.87***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: * 表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; ** 表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; *** 表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.30 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=74.58, p=0.000$)，進步的有 3 人 (3.2%)，維持的有 84 人 (88.4%)，退步的則有 8 人 (8.4%)，有 3 人未答。顯示大部分的學生都能維持。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件三的問題為：「子代身上的成對基因如何組成？」。以下為事件三學生學習前後之回答如表 4.3.31：

表 4.3.31 主題三事件三教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
對-對	56.1	20.8	63.2	72.2	51.4	67.9
錯-對	13.3	12.5	10.5	16.7	14.3	10.7
對-錯	5.1	0.0	5.3	8.3	4.3	7.1
錯-錯	25.5	66.7	21.1	2.8	30.0	14.3

註：N=98

本學習事件教學後有 69.4% 的學生具有正確概念，學生開始學會將遺傳與基因間的關係作連結。而就分組中結果來看，中成就組 (73.7%) 與高成就組 (88.9%) 仍維持很高的概念改變成功率，但以推理分組而言，具體後期仍有較高的正確概念比率，但具體前期 (65.7%) 開始有明顯的進步，表示經過前面的教學事件後，大多數具體前期的學生已經可以學會正確的概念。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.32 呈現主題三之事件三學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.32 主題三事件三開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	N	教學後				總和	χ^2	ω
		G0	G1	EL1	EL2			
N	4					4		
G0		3	5			8		
G1			70	4	1	75		
EL1			1	8		9		
EL2				1	1	2		

總和 4 3 76 13 2 98 209.31*** 1.46***

註 1. χ^2 值: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, ω =small; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, ω =medium; ***表示 $d \geq 0.5$, ω =large

由表 4.3.32 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=209.31, p=0.000$)，進步的有 5 人 (5.3%)，維持的有 88 人 (93.6%)，退步的則有 1 人 (1.1%)，有 4 人未答。顯示大部分的學生都能維持。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件四的問題為：「你覺得有哪些生物適合作為遺傳學的材料？」。以下為事件四學生學習前後之回答如表 4.3.33：

表 4.3.33 主題三事件四教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
-挑戰						
對-對	30.6	25.0	31.6	33.3	27.1	39.3
錯-對	16.3	4.2	18.4	22.2	12.9	25.0
對-錯	5.1	0.0	7.9	5.6	5.7	3.6
錯-錯	48.0	70.8	42.1	38.9	54.3	32.1

註：N=98

本學習事件教學後仍有 48% 的學生具有錯誤概念，學生無法從單一學習事件便瞭解遺傳學實驗材料的條件，可能因遺傳實驗對學生而言較為陌生所致。但在分組中僅有低學業成就組 (29.2%) 仍維持較低的學習成效，其他各組有 40% 以上的人數均能獲得正確概念

(二) 教學前後理由的推理層級分析

下表 4.3.34 呈現主題三之事件四學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.34 主題三事件四開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	N	教學後			總和	χ^2	ω
		G1	EL1	J1			
N	3				3		
G0		2			2		
G1		87	1		88		

EL1		2	2		4		
J1				1	1		
總和	3	91	3	1	98	226.90 ^{***}	1.52 ^{***}

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; ***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.34 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 226.9$, $p = 0.000$)，進步的有 1 人 (1.0%)，維持的有 92 人 (96.9%)，退步的則有 2 人 (2.1%)，有 3 人未答。顯示絕大部分的學生都能維持。

從事件五之後為棋盤方格法之練習，故僅針對第一項進行分析。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件五的問題為：「請問空格中應填入什麼？」。

以下為事件五學生學習前後之回答如表 4.3.35：

	裁	斷
判	?	判斷
剪	剪裁	?

表 4.3.35 主題三事件五教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
對-對	83.7	62.5	89.5	91.7	81.4	89.3
錯-對	11.2	20.8	7.9	8.3	12.9	7.1
對-錯	0	0	0	0	0	0
錯-錯	5.1	16.7	2.6	0.0	5.7	3.6

註：N=98

本學習事件教學前答對的比例很高，在小學時便有教過。在教學後有 94.9% 的學生具有正確概念，學生能更確認棋盤方格的用法。且在各分組中均能有極高比例的人數在教學後獲得正確的概念，表示成效良好。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件六的問題為：「請問空格應填入什麼？」。

以下為事件六學生學習前後之回答如表 4.3.36：

	A	a
A	?	Aa
a	Aa	?

表 4.3.36 主題三事件六教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
對-對	79.6	50.0	92.1	86.1	75.7	89.3
錯-對	15.3	33.3	7.9	11.1	20.0	3.6
對-錯	0	0	0	0	0	0
錯-錯	5.1	16.7	0.0	2.8	4.3	7.1

註：N=98

本學習事件教學前答對的比例很高，在小學時便有教過。在教學後有 94.9% 的學生具有正確概念，學生能更確認棋盤方格的用法。且在各分組中均能有極高比例的人數在教學後獲得正確的概念，特別是中分組的學生完全理解正確的概念，表示教學成效良好。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件七的問題為：「減數分裂的過程中，細胞所帶基因為何？」。以下為事件七學生學習前後之回答如表 4.3.37：

表 4.3.37 主題三事件七教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	總和	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
對-對	77.6	50.0	81.6	91.7	72.9	89.3
錯-對	15.3	29.2	15.8	5.6	18.6	7.1
對-錯	1.0	4.2	0.0	0.0	1.4	0
錯-錯	6.1	16.7	2.6	2.8	7.1	3.6

註：N=98

本學習事件教學前答對的比例很高，顯示主題二中的減數分裂概念有學習保留效果。在教學後有 92.9% 的學生具有正確概念，學生能夠明瞭棋盤方格的分配率和減數分裂之間的關係。且在各分組中均能有極高比例的人數在教學後獲得正確的概念，表示成效良好。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件八的問題為：「填入適當英文字母以完成表格」。以下為事件八學生學習前後之回答如表 4.3.38：

表 4.3.38 主題三事件八教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)		
	總和	低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
對-對	80.6	62.5	81.6	91.7	78.6	85.7
錯-對	13.3	29.2	10.5	5.6	14.3	10.7
對-錯	0	0	0	0	0	0
錯-錯	6.1	8.3	7.9	2.8	7.1	3.6

註：N=98

本學習事件教學前答對的比例很高，在小學時便有教過，現在只是延伸其觀念。在教學後有 94.9% 的學生具有正確概念，表示學生更熟悉棋盤方格的填法。且在各分組中均能有極高比例的人數在教學後獲得正確的概念，表示成效良好。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

事件九的問題為棋盤方格法練習。以下為事件九學生學習前後之回答如表 4.3.39：

表 4.3.39 主題三事件九教學前後學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

事件前-後	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)		
	總和	低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
-挑戰						
對-對	81.6	54.2	86.8	94.4	77.1	92.8
錯-對	4.1	4.2	7.9	0	5.7	0
對-錯	10.2	33.3	2.6	2.8	12.9	3.6
錯-錯	4.1	8.3	2.6	2.8	4.3	3.6

註：N=98

本學習事件教學前答對的比例很高，表示學生之前已具備此概念。在教學後有 85.7% 的學生具有正確概念，表示學生理解數學比例在棋盤方格上的應用。且在各分組中僅學業成就低分組表現較不好，其他各組中均能有頗高比例的人數在教學後獲得正確的概念。顯示比例的觀念對於低分組學生而言較無法理解與應用。

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

挑戰問題的題目為：

1. 將黃皮種子的豌豆和綠皮種子的豌豆雜交，第一子代的種子全都是黃皮，

- 請問黃皮和綠皮基因何者為顯性？
- 2.把第一子代互相交配，產生的第二子代基因型有幾種，表現型有幾種？
 - 3.耳垂分離是顯性(A)，耳垂緊貼是隱性(a)，父親耳垂分離(Aa)，媽媽耳垂緊貼(aa)，請問生出子女耳垂分離(Aa)和緊貼(aa)的機會比例是多少？
 - 4.已知豌豆黃色種皮是顯性(B)，綠色種皮是隱性(b)，已知雄花和雌花的基因型均為 Bb，試問子代基因型有哪些?比例為何? 將來收成的豌豆如果有 1000 顆，請問大約有幾顆是黃色種皮?有幾顆是綠色種皮？
 - 5.雙眼皮是顯性(D)，單眼皮是隱性(d)，某個家庭中媽媽單眼皮(dd)，她的子女中有單眼皮也有雙眼皮，請問爸爸是單眼皮或雙眼皮?爸爸眼皮的基因型應該是(DD、Dd、dd)？

以下為彙整挑戰問題學生學習前後之回答如表 4.3.40：

表 4.3.40 主題三挑戰問題彙整學業分組與科學推理分組學生概念改變統計摘要表

挑戰	總和	學業分組 (%)			科學推理分組 (%)	
		低分組	中分組	高分組	具體前期	具體後期
1-2-3-4-5						
對-對	44.9	12.5	42.1	69.4	40.0	57.2
錯-對	43.9	62.5	52.6	22.2	48.6	32.1
對-錯	4.1	4.2	2.6	5.6	2.9	7.1
錯-錯	7.1	20.8	2.6	2.8	8.6	3.6

註：N=98

挑戰情境中第一題在教學前答對的比例很高，表示學生之前所學習的已能夠應用在新的學習事件中。最後有 89.8%的學生都通過所有的挑戰，表示學生對此主題中的「棋盤方格法」確實有所理解，並能加以應用。且在各分組中均能維持頗高比例的人數在教學後獲得正確的概念，表示在棋盤方格法的教學成效良好。

主題三小結：

(一) 教學前後學習事件概念改變分析

由圖 4.3.5 中可看到，在前面四個事件中，主要講解孟德爾的遺傳法則，僅在事件一中概念改變的成功率較低，可能因為在設計事件時，未考慮學生對顯隱性基因這麼不容易理解，可能需要多幾個事件來加以引導，才能

讓學生充分理解。而從事件五後不論是學業成就或是科學推理分組中，絕大多數的學生都能夠將棋盤方格法應用於新的挑戰情境上，顯示教學成效良好。

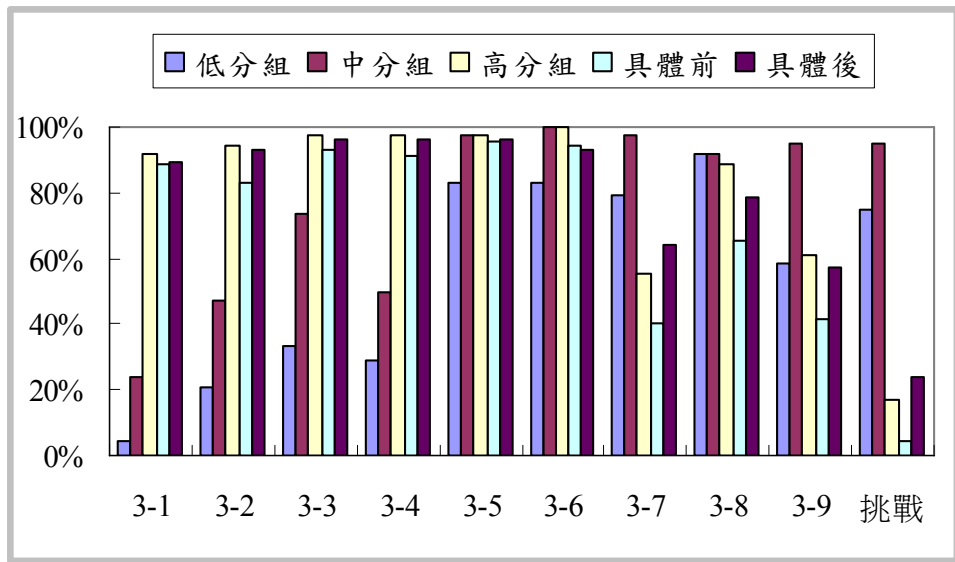


圖 4.3.5 主題三各分組學生之概念正確率

(二) 教學前後理由的推理層級分析

因事件五後無開放式理由，故只在推理層級中僅分析前面四個事件。顯示學生在各事件中仍以維持的比例明顯較高。

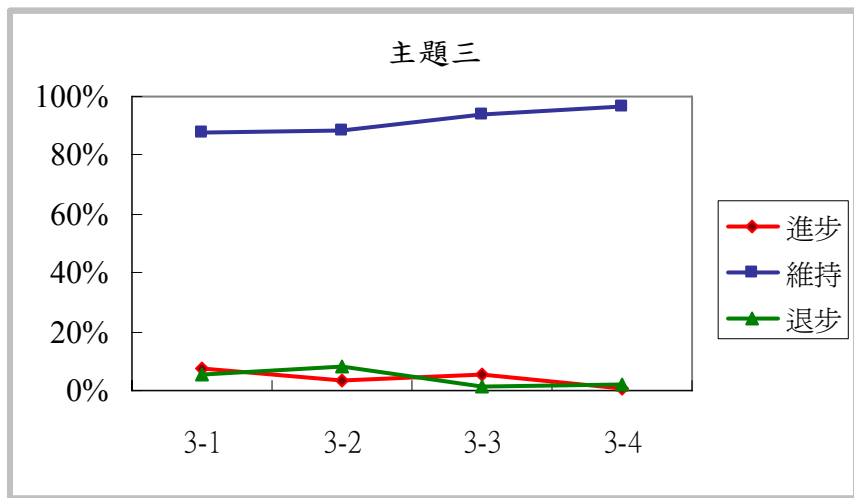


圖 4.3.6 主題三中推理層級的比較

4-3-4 主題四「突變」

本主題只有開放式理由，故僅針對第二項的推理層級進行分析。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

事件一的問題為：「兩株矮莖豌豆(tt)雜交，所生出的第一子代中發現一株高莖豌豆，可能原因是什麼？」。下表 4.3.41 呈現主題四之事件一學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.41 主題四事件一開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後				總和	χ^2	ω
	G0	G1	EL1	J1			
G0	3	2			5		
G1		73	1		74		
EL1		10	6		16		
EL2		1			1		
J1		1		1	2		
總和	3	87	7	1	98	132.24***	1.16***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; ***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.41 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 279$, $p = 0.000$)，進步的有 1 人 (1.0%)，維持的有 85 人 (86.7%)，退步的則有 12 人 (12.3%)。顯示大部分的學生都能維持。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

事件二的問題為：「為什麼使用同牌子的殺蟲劑一段時間後，效果會變差？」。下表 4.3.42 呈現主題四之事件二學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.42 主題四事件二開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後				總和	χ^2	ω
	G0	G1	EL1	EL2			
G0	1	1			2		
G1	3	80	11	1	95		
EL1				1	1		
總和	4	81	11	2	98	59.55***	0.78***

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; ***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.42 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=59.55, p=0.000$)，進步的有 12 人 (12.2%)，維持的有 86 人 (87.8%)，沒有退步者。8 顯示大部分的學生都能維持。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

事件三的問題為：「(看核爆後人類突變後的樣子)想想看，為什麼會這樣？」。下表 4.3.43 呈現主題四之事件三學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.43 主題四事件三開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後						χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	EL2	總和		
N	2					2		
G0		1	1			2		
G1			43	9		52		
EL1			6	35	1	42		
總和	2	1	50	44	1	98	192.12***	1.40***

註 1. χ^2 值: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, ω =small; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, ω =medium; ***表示 $d \geq 0.5$, ω =large

由表 4.3.43 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=192.12, p=0.000$)，進步的有 9 人 (9.4%)，維持的有 81 人 (84.4%)，退步的則有 6 人 (6.2%)，有 2 人未答。顯示大部分的學生都能維持。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

事件四的問題為：「(看吸菸影片)為什麼肺部組織會突起？」。下表 4.3.44 呈現主題四之事件四學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.44 主題四事件四開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後						χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	EL2	總和		
N	1					1		
G0		1				1		
G1			82	10		92		
EL1				3		3		
EL2					1	1		
總和	1	1	82	13	1	98	314.16***	1.79***

註 1. χ^2 值: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, ω =small; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, ω =medium; ***表示 $d \geq 0.5$, ω =large

由表 4.3.44 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=314.16, p=0.000$)，進步的有 10 人 (10.3%)，維持的有 87 人 (89.7%)，有 1 人未答但沒有退步者。顯示大部分的學生都能維持。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

事件五的問題為：「(看白化症的圖片) 請問白化症是什麼原因造成的？」。下表 4.3.45 呈現主題四之事件五學習前後的理由推理層級的差異。

表 4.3.45 主題四事件五開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後						總和	χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	EL2	J1			
N	1						1		
G0		3	3	1			7		
G1			33	19			52		
EL1			9	25	1	1	36		
EL2					1		1		
J1						1	1		
總和	1	3	45	45	2	2	98	249.27***	1.59***

註 1. χ^2 值: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, ω =small; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, ω =medium; ***表示 $d \geq 0.5$, ω =large

由表 4.3.45 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2=249.27, p=0.000$)，進步的有 21 人 (21.6%)，維持的有 67 人 (69.1%)，退步的則有 9 人 (9.3%)，有 1 人未答。顯示大部分的學生都能維持，且有 21.6% 的人能夠進步。

(二) 教學前後理由的推理層級分析

事件六的問題為：「(看唐氏症的圖片) 請問唐氏症是什麼原因造成的？」。下表 4.3.46 呈現主題四之事件六學習前後的理由推理層級之差異。

表 4.3.46 主題四事件六開放式理由推理量化資料卡方考驗結果及效果值

教學前	教學後					總和	χ^2	ω
	N	G0	G1	EL1	EL2			
N	1			1		2		
G0			4	1		5		

G1	1	22	23	1	47		
EL1		9	30	3	42		
EL2		1			1		
J1				1	1		
總和	1	1	36	55	5	98	81.50 ^{***} 0.91 ^{***}

註 1. χ^2 值: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω 值: *表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$; **表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$; ***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$

由表 4.3.46 得知教學後的推理層級明顯增進 ($\chi^2 = 81.5, p = 0.000$)，進步的有 25 人 (26.0%)，維持的有 60 人 (62.5%)，退步的則有 11 人 (11.5%)，有 2 人未答。顯示大部分的學生都能維持，且有 26% 的人能夠進步。

主題四小結：

(二) 教學前後理由的推理層級分析

由圖 4.3.7 中可看到，推理層級維持的比例仍較高，但從事件五之後，可明顯看到推理層級有進步的趨勢，顯示在經過一段時間的教學之後，學生的推理層級開始有逐漸明顯增加的情形。

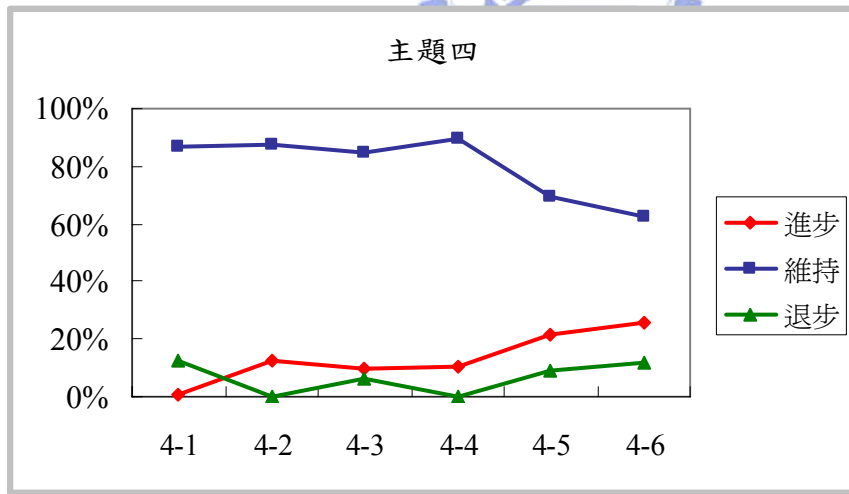


圖 4.3.7 主題四的各事件推理層級彙整

三、小結：

由各主題中概念正確率的結果得知，大部分學習事件的平均概念正確率為 80%。由圖 4.3.8 中可看出在大部分的事件在教學後學生都能夠獲得正確概念，僅在事件 1-4、2-3、2-7、2-8 及 3-1 仍維持錯誤概念的比例較高，表示在主題一的「同種生物需具有相同染色體數目」，主題二的「細胞分裂目的」、「減數分裂和細胞分裂的比較」、「減數分裂產生的配子會有不同的基因組合」，主題三的「顯隱性基因的觀念」等概念上較不容易成功進行概念的改變，此結果呼應 She (2002) 所提出的雙重情境學習模式理論，越抽象、階層越高的概念需要較多的學習事件才能有效進行概念的改變，故建議可舉例說明或增加互動式動畫，以便協助學生進行概念改變。且在主題三事件五「棋盤方格法練習」後，可明顯看到教學後獲得正確概念的比率明顯增進，表示成效良好。

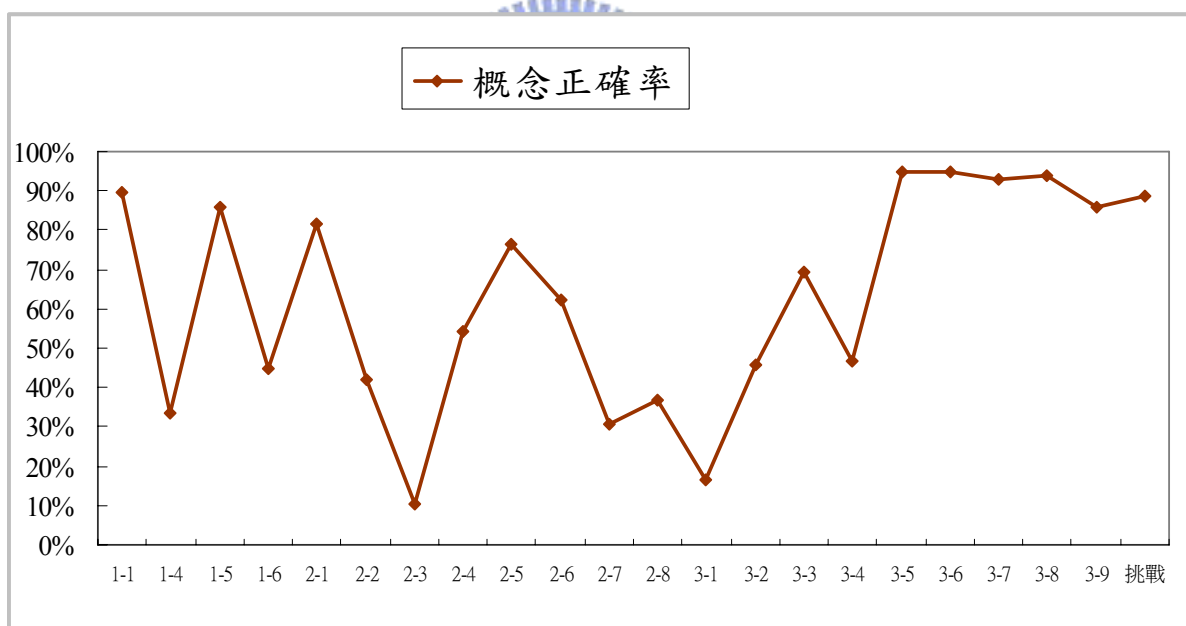


圖 4.3.8 各主題中所有學習事件後概念正確率彙整

將學業分組及推理分組中各組學生教學後獲得正確概念的比率繪製成圖 4.3.9 與圖 4.3.10。由圖 4.3.9 可得知，高學業成就的學生在所有主題中均能有效獲得正確的概念，中學業成就的學生則在大多數的事件中成功進行概念的改變；而由圖 4.3.10 可知，在推理分組中仍以具體後期能夠有效進

行正確概念的轉變，但在主題三中發現具體前期的學生有明顯增加概念正確率的趨勢，顯示具體前期的學生需經過一段時間的教學後，才開始展現其學習的成效。此部分結果亦印證研究假設 5-1。

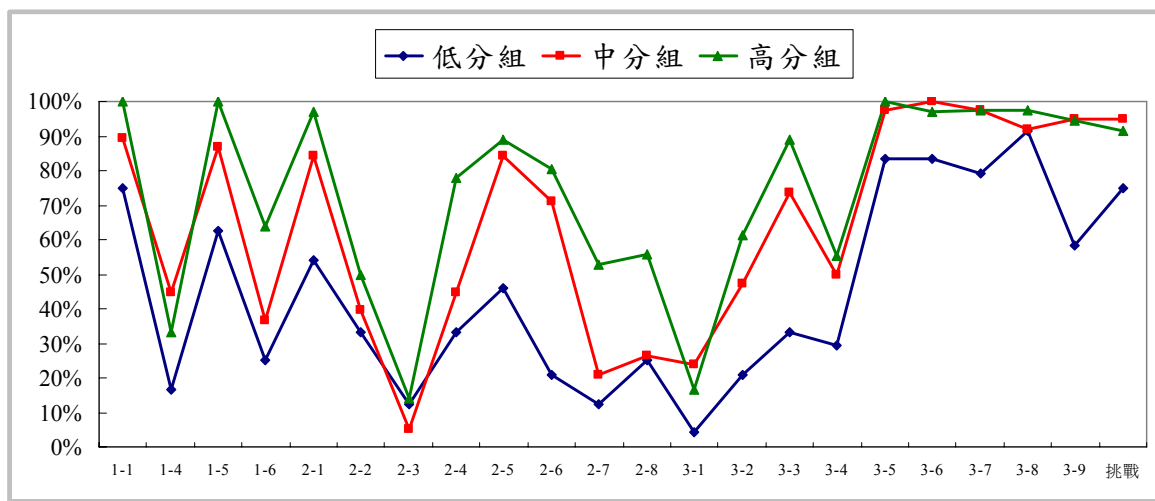


圖 4.3.9 各學業分組中所有學習事件後概念正確率彙整

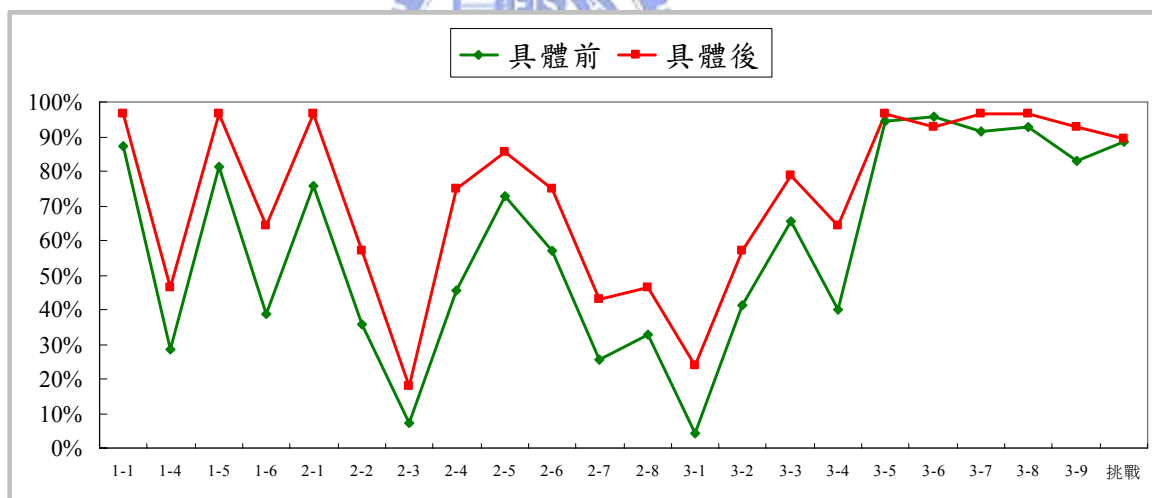


圖 4.3.10 各推理分組中所有學習事件後概念正確率彙整

將每一主題中各學習事件教學前後理由推理層級改變量（進步、維持、退步）的敘述性摘要，整理成表 4.3.47，並繪製成圖 4.3.11。

從表 4.3.47 與圖 4.3.11 中可看出所有的主題都是維持不變的類型佔大部分，顯示學生在所有主題的學習事件中其推理層級均能維持，且可從主題一、二、四中看到有進步的趨勢，尤其在主題四中呈現表現出顯

著的進步程度，表示經過前三主題的結合推理能力之雙重情境學習模式課程，的確能有效增進學生的推理層級，亦即推理能力需要時間才能增進。此部分回答了研究假設 5-2，顯示學生在經過結合科學推理的雙重情境學習模式教學後，能夠有效維持並進而提升其推理層級。

表 4.3.47 各主題所有學習事件前後理由之推理層級改變量敘述性統計表

學習事件	進步		維持		退步		回答總 人數 (N)	
	N	%	N	%	N	%		
主題一	1	5	5.1	86	87.8	7	7.1	98
	2	7	7.3	61	63.5	28	29.2	96
	3	5	5.3	80	84.2	10	10.5	95
	4	9	9.3	79	81.4	9	9.3	97
	5	8	7.3	88	63.5	2	29.2	98
	6	20	20.6	67	69.1	10	10.3	97
主題二	1	2	2.1	93	95.8	2	2.1	97
	2	4	4.1	83	85.6	10	10.3	97
	3	3	3.1	91	93.8	3	3.1	97
	4	4	4.1	92	94.8	1	1.1	97
	5	8	8.3	88	90.7	1	1.0	97
	6	8	8.7	83	90.2	1	1.1	92
	7	7	5.1	84	87.8	5	7.1	96
	8	2	2.1	90	93.8	4	4.1	96
主題三	1	7	7.2	85	87.6	5	5.2	97
	2	3	3.2	84	88.4	8	8.4	95
	3	5	5.3	88	93.6	1	1.1	94
	4	1	1.0	92	96.9	2	2.1	95
主題四	1	1	1.0	85	86.7	12	12.3	98
	2	12	12.2	86	87.8	0	0	98
	3	9	9.4	81	84.4	6	6.2	96
	4	10	10.3	87	89.7	0	0	97
	5	21	21.6	67	69.1	9	9.3	97
	6	25	26.0	60	62.5	11	11.5	96

註：主題三第 5 個事件後為棋盤方格法練習，無開放式理由。

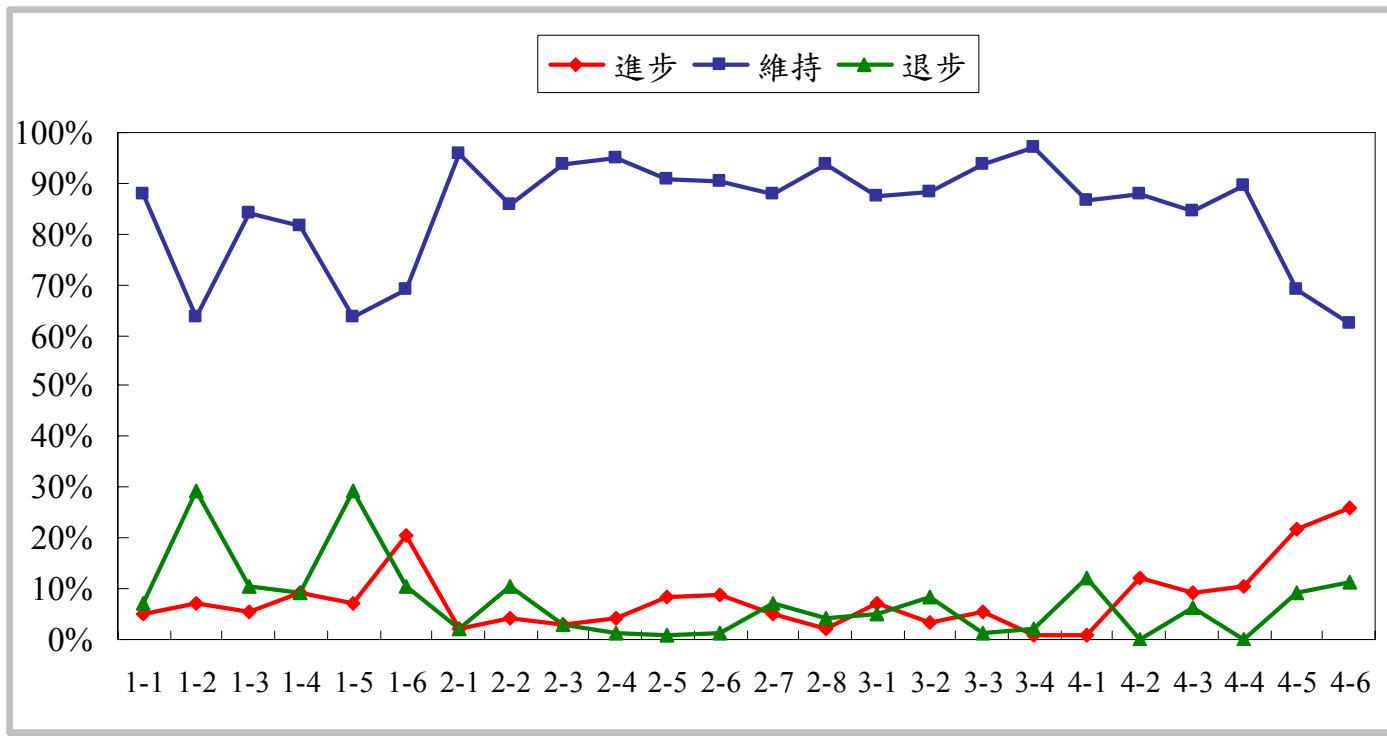


圖 4.3.11 各主題中所有事件的開放式理由之推理層級改變量

第五章 結論與建議

本章共分為兩節，第一節主要就本研究之結果進行彙整以做出結論，第二節就本研究結論做出對教學上的建議。

第一節 結論與討論

本節以第四章的研究結果與討論為基礎，依據各研究工具依序說明本研究的主要發現，並分別探討結合推理之雙重情境學習模式對於教學前後概念改變歷程與運用推理層級的影響做成結論。

一、結合推理之雙重情境學習模式課程之教學成效分析

(一) 遺傳單元學習成就分析

以配對 T 檢定遺傳單元成就測驗成績，結果顯示全體學生在遺傳單元成就測驗的學習成效與維持效果均良好。就學業分組而言，中、高學業成就學生對遺傳單元成就測驗的學習與維持均具有良好效果。再就推理分組來看，不論是具體前期或具體後期的學生，在遺傳單元成就測驗的學習成效與維持效果均有不錯的表現。

以重複量數進行主要效果分析發現，學業成就分組均達顯著差異。另發現遺傳單元成就測驗成績和學業分組間的交互作用達到顯著差異，再進行單純主要效果分析與事後比較，結果顯示不論是中學業或高學業成就的學生在遺傳單元成就測驗的學習成效均十分良好，且具有一定的學習維持效果。

綜合以上結果，學業成就分組對遺傳單元學習成就的影響達到顯著差異，故支持研究假說 1-1。但在科學推理分組上未達到顯著差異，無法支持研究假說 1-2。

(二) 科學推理測驗結果分析：

以配對 T 檢定科學推理測驗成績，結果顯示全體學生經過教學後在科

學推理能力的進步成效良好。就學業分組而言，中學業成就學生經過教學之後科學推理能力的進步十分明顯。再就推理分組來看，僅具體前期學生的科學推理能力有明顯的提升。

以重複量數進行主要效果分析，在學業成就分組與科學推理分組上均達到顯著差異。另發現科學推理測驗成績與學業成就分組間的交互作用達到顯著差異，故進行單純主要效果分析與事後檢定，結果顯示中學業成就學生經過教學後，其科學推理能力能夠具有明顯的增進，也有一定的維持效果。

同時發現科學推理測驗成績與科學推理分組間的交互作用亦達到顯著差異，故進行單純主要效果分析與事後檢定，顯示對具體運思前期的學生而言，經過教學之後其推理能力能夠有明顯的增進。

綜合以上結果，學業成就分組與科學推理分組對科學推理測驗成績的影響均達到顯著差異，可充分支持研究假說 2-1、2-2。

(三) 主題相依推理測驗結果分析：

以配對 T 檢定主題相依推理測驗成績，結果全體學生經過教學後在主題相依推理測驗的表現明顯進步。就學業分組而言，中、高學業成就學生對主題相依推理測驗具有明顯的學習成效。再就推理分組來看，不論是具體前期或是具體後期的學生，在主題相依推理測驗的學習成效上均能有明顯的提升。

主題相依推理測驗成績代表「單元主題相關概念」以及「科學推理能力」兩個向度的學習，經重複量數進行主要效果分析結果顯示，學業分組上達到顯著差異，表示學業成就表現的因素在遺傳單元主題相依推理測驗的學習效果上具有相當重大的影響。

另發現主題相依推理測驗成績與學業成就分組間的交互作用達到顯著差異，故進行單純主要效果分析與事後檢定，發現不論是中學業或高學業成就的學生對主題相依推理測驗的學習成效均十分良好。

綜合以上結果，僅學業成就分組對遺傳單元主題相依推理測驗達到顯

著差異，可支持研究假說 3-1；但在科學推理分組上並未達到顯著差異，無法支持研究假說 3-2。

綜合以上結論，學業成就分組對遺傳單元成就測驗、科學推理測驗和主題相依推理測驗均具有高度的正向影響。而科學推理分組僅對科學推理測驗有顯著的影響。

以學業分組而言，中學業成就或高學業成就的學生均在遺傳單元成就測驗與主題相依推理測驗上具有良好的學習成效，且具有一定的學習維持效果。但中學業成就學生經過教學後，其科學推理能力特別具有明顯的增進，也有一定的維持效果。

就科學推理分組而言，具體運思前期的學生在經過教學之後，其科學推理的能力能夠有明顯的增進。

二、晤談對於教學前後及追蹤概念改變歷程與推理層級運用之影響

學生在後測時所有主題的正確概念分數均高於前測，且均達顯著差異，證明此課程對於所有的學生而言，具有良好的教學成效，能夠有效協助學生建構正確的概念。另於問題 2-2，追蹤甚至大於教學後，顯示在減數分裂上具有非常良好的學習保留效果。概念數的變化則以主題二的後測和追蹤上皆達顯著差異，表示學生在主題二的概念有明顯的增進。

在推理層級的分析部分，精緻化（EL）後測與追蹤從問題 1-3 開始均比前測進步，同時在教學後測均達顯著性差異；辯證（J）後測和追蹤從主題二開始均比前測進步，顯示學生的推理層級需要時間才開始有明顯的增進。同時精緻化和辯證均在細胞分裂與減數分裂、孟德爾遺傳法則與棋盤方格法等主題上具有顯著增加，表示學生較高階的推理能力可在這些主題中充分展現，且有明顯提升推理層級的趨勢。此結果亦顯示協助學生提高其推理的層級，便能有效進行遺傳單元抽象概念的改變。

在主題四時，概述（G）有明顯的增加，是因為在突變的問題中，多讓學生以自己的想法來表達意見，概述因而增加，但精緻化仍有達到顯著水

準，顯示學生能夠運用所學的遺傳相關名詞來解釋其論述。解釋（EX）都沒有達到統計上顯著的差異，推測原因是因為具備此層級的學生本來就少，且需在較高階層的問題，如說明細胞分裂與減數分裂的過程才會明顯運用到此一層級，故無法表現出其顯著性。

在大部分的問題中，教學前至教學後的概念改變量都有明顯的進步情形，表示結合科學推理之雙重情境學習模式對學生而言，概念改變的成效十分良好。而問題 1-3 全對的比例很高，此題主要是說明遺傳物質間的關係，推測學生可能從事前預習或生活經驗中已瞭解了部分的概念，故先備知識較好，但在教學後至追蹤時，仍有極高的比例維持全對，證明教學後學習維持的效果頗為明顯。

綜合以上所述，結果均支持研究假說 4-1 與研究假說 4-2。

三、結合推理之雙重情境學習模式對教學事件前後概念改變歷程與推理層級之影響

由各主題中概念正確率的結果得知，大多數事件的概念正確率約為 54%~95%。而易國榮和余曉清(2004)在網路化雙重情境概念改變教學後，亦約有 58%~96%的黴菌概念可成功建構，表示本研究的學習事件能有效促使學生進行概念的改變。


在主題三事件五之後，可明顯看到教學後獲得正確概念率的比例增加，表示在棋盤方格法的學習與應用上均有良好的成效。而在事件 1-4、2-3、2-7、2-8 及 3-1 仍維持錯誤概念的比例較高，表示在主題一的「同種生物需具有相同的染色體數目」，主題二的「細胞分裂的目的」、「減數分裂和細胞分裂的比較」、「減數分裂所產生的配子會有不同的基因組合」，主題三的「顯隱性基因的觀念」等概念上較不容易進行正確概念的轉變，此結果呼應 She (2002) 所提出的雙重情境學習模式理論，越抽象、階層越高的概念需要較多的學習事件才能有效進行概念的改變，故在未來的教學方式上，建議可增加互動式動畫或舉例說明，以便協助學生進行概念改變。

進一步探討學業分組中各組的表現情形，結果顯示高成就與中成就的學生經過教學事件後，多能成功進行正確概念的建構；而在推理分組上，

仍以具體運思後期的學生能夠有效進行正確概念的轉變，但在主題三中發現具體運思前期的學生有明顯增加概念正確概念率的趨勢，顯示推理能力較弱的學生需經過較長時間的教學後，才開始展現其學習的成效。上述的結果可支持研究假設 5-1。

就推理層級而言，可看出所有的主題都是維持的類型佔大部分，顯示學生在所有主題的學習事件回答所運用的推理層級均能維持，且可從主題一、二、四中看到有進步的趨勢，尤其在主題四中呈現顯著的進步程度，表示推理能力需要時間才能增進，並顯示學生在經過結合科學推理的雙重情境學習模式教學後，能夠有效維持並進而提升其推理層級。此部分回答了研究假設 5-2。

綜合以上研究結果顯示，本研究所採用結合推理之雙重情境學習模式能有效減少學生的另有概念，促使學生建構正確的遺傳概念，且對於多數遺傳的概念改變具顯著的效果。



第二節 對教學的建議

以下將針對結合推理之雙重情境學習模式教學的設計，根據本研究於過程中的發現，提出幾點建議作為日後的參考。

一、對「遺傳」單元教學的建議：

由於遺傳的體積小到肉眼無法辨識，因此學生在建構此科學概念是非常不容易的，因此本課程設計的教材針對學生較易發生的另有概念結合類比教學，運用生活中常見的事物，例如以毛線類比 DNA，並藉由動畫呈現遺傳物質彼此間的關係，藉由類比過程以發現兩者間的相似與相異之相關程度。學生在追蹤晤談時對於遺傳物質彼此的關係仍有效維持正確概念，顯示類比結合動畫教學確實有成效。而 She 和 Fisher (2003) 利用 Flash 動畫軟體和網路呈現理化科的學習，強調運用電腦科技輔助教學可提昇學生更深層的心智能力，並增進互動的學習過程。若未來能夠結合網路與動畫等科技進行教學，應能有效協助學生建構遺傳的概念。

本研究根據 She (2004a, 2004b) 所提出的 DSLM 的概念改變策略於遺傳單元教學上，試圖突破概念本身是微觀的、抽象的、動態的過程等限制，並結合推理能力的訓練，結果顯示學生不但在遺傳單元學習成就上有顯著的成效與學習維持效果，科學推理能力也有所增進。符合 Baker 和 Lawson (2001) 發現運用類比結合推理的教學策略能協助理論概念的建構，並成功應用於遺傳教學的結果。所以像遺傳這類理論性的概念，需配合推理能力的提升，方能有效進行概念之建構與改變。

二、對教師教學的建議：

根據進行本研究的過程中所發生的現象或問題，研究者提出幾點於教學中的建議，以作為教師往後進行教學活動時的參考。

- (一) 了解學生的先備經驗：在教學前除了要知道學生有哪些另有概念外，尚需對學生的生活經驗與背景有所瞭解。本研究對象是屬於鄉村型學校的學生，學生的學習刺激較為不足，在教學歷程中常因為看不懂問題或動畫的說明，因而影響教學的成效。建議在動畫說明或問題設計上，可能需要再淺顯一些或是增加互動式動畫設計，以便讓學生更願意主動進行學習活動，並參與學習事件。
- (二) 引發並維持學生動機：由於學習事件都是由學生主動學習，老師的角色只是在教學時給予適時的解釋與引導，所以除了突變與遺傳疾病等的靜態圖片外，另外加上了大量的動畫教學及部分的影片。研究者在晤談中常發現學生回答的內容多半是這些多媒體教材所顯示的，可見動畫不僅讓學生印象深刻，也能協助學生在遺傳單元上進行更深入的學習。因此未來在教材的設計上，可以結合更多的電腦科技，如網路或動畫，以引發學生的學習興趣與動機，進而達到學習的成效。
- (三) 協助學生推理能力的增進：Lawson (1988) 指出概念改變的成功與否，有部分歸因於學生的推理模式，而 Lawson 等人 (2000) 以學習

環方法對 663 名大學生進行一學期的教學後，學生的推理階層明顯有所提升。本研究於雙重情境學習模式中結合推理能力的培養，要求學生解釋其答案所依據的理由，促使學生運用推理的能力，結果學生不論是晤談或學習歷程的推理層級均能有效維持甚至進步，顯示若經過適當的教學與引導，學生的確能夠有效增進其科學推理之能力，有助於學生概念的建構與對自然科學的學習。

- (四) 教師的協同教學：本研究的教材內容設計是由三位國中生物科教師與一位科學教育專家共同設計檢驗完成的，其他如情境事件的設計與動畫的製作等仍需專業人才的輔助，因此需比傳統式的教學模式耗費更多的人力和時間。所以教師若能在教學領域中自組團隊相互合作學習，彼此分工且能共享資源，教學將更能省時省力，同時也能因相互切磋而共同成長。



參考文獻

一、中文部分：

- 易國榮、余曉清 (2004)。網路化雙重情境學習模式對國小學生的真菌概念改變之研究。發表於中華民國第二十屆科學教育學術研討會。
- 郭重吉 (1992)。從建構主義的觀點探討中、小學數理教學的改進。科學發展月刊, 20 (5), 548-570。
- 張惠博 (1999)。迷思概念的研究方法。發表於科學概念學習研究研習會。
- 張賴妙理、涂志銘、鄭湧涇 (2001)。符合建構論者理念的教學策略對生殖與遺傳概念學習成效的影響。發表於中華民國第十七屆科學教育學術研討會。
- 張賴妙理、涂志銘、鄭湧涇 (2003)。國一生遺傳概念改變之研究。發表於中華民國第十九屆科學教育學術研討會。
- 湯清二 (1997)。交互式多媒體教學系統在國中生學習細胞分裂的成效研究。科學教育學刊, 5 (3), 267-294。
- 湯清二 (2000)。我國非主修生物大學生對 DNA 認知的瞭解與改善學習的策略探討。科學教育學刊, 8 (1), 101-121。
- 楊坤原、張賴妙理 (2001)。二階段式遺傳學迷思概念診斷工具的發展與效化。發表於中華民國第十七屆科學教育學術研討會。

二、英文部分：

- Anderson, O. R., & Demetrius, O. J. (1993). A flow- map method of representing cognitive structure based on respondents' narrative using science content. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 953-969.
- Baker, W. P., & Lawson, A. E. (2001). Complex instructional analogies and theoretical concept acquisition in college genetics. *Science Education*, 85, 665-683.
- Brewer, W., & Samarapungavan, A. (1991). Children's theories versus scientific theories: Differences in reasoning or differences in knowledge? In R. Hoffman & D. Palermo (Eds.), *Cognition and the symbolic process: Applied and ecological perspectives* (pp. 209-232). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Brook, A., Briggs, H. & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter*. Leeds: Children's learning in science project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, England.
- Brown, D. E., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18, 237-261.
- Brown, D.E. (1993). Refocus core intuitions: a concretizing role for analogy in conceptual change, *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1273-1290.
- Browning, M. E., & Lehman, J. D. (1988). Identification of student misconceptions in genetics Problem solving via computer program. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 747-761.
- Burbules, N. C., & Lin, M. C. (1988). Response to contradiction: scientific reasoning during adolescence. *Journal of educational psychology*, 80, 67-75.
- Butzow, J. W., & Gebal, D. (1986). We Should all be researchers. *Science Teacher*, 53(1), 34-37.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 1, 1123-1130.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological

categories: Implications for learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp.129-186). Minneapolis: University of Minnesota Press.

Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & deLeeuw, N. (1994). From things to process: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction, 4*, 27-43.

Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of educational research, 63(1)*, 1-49.

Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism: Protocol evidence on sources of creativity. In J. A. Glover, R. R. Ronning & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity* (pp. 341-381). New York: Plenum Press.

Clement, J. (1991). Nonformal reasoning in science: The use of analogies, extreme cases, and physical intuition. In J. Voss, D. Perkins & J. Segal (Eds.), *Informal reasoning and education*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Clement, J. (1993). Using bridge analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching, 30*, 1241-1257.

Dagher, Z. R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education, 78(6)*, 601-614.

Dagher, Z. R. (1995a). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *science education, 79(3)*, 295-312.

Dagher, Z. R. (1995b). Analysis of analogies used by science teachers. *Journal of Research in Science Teaching, 32(3)*, 259-270.

Driver, R. (1981). Pupils' alternative frameworks in science. *European Journal of Science Education, 3 (1)*, 93-101.

Driver, R. (1985). Beyond appearance: the conservation of matter under physical and chemical transformations. In Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien(Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 145-169). Philadelphia: Open University Press.

Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science, *International Journal of Science Education, 11*, 481-490.

- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1995). *Young peoples' images of science*. Open University Press: U.K. Milton Keynes.
- Driver, R., & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Duit, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Sciences. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R. (1995). *Conceptual Change Approaches in Science Education*. Paper presented at the Symposium on conceptual change, Friedrich-Schiller University, Jena, Germany.
- Faulkner, D., Joiner, R., Littleton, K., Miell, D., & Thompson, L. (2000). The mediating effect of task presentation on collaboration and children's acquisition of scientific reasoning. *European Journal of Psychology of Education*, 15, 4, 418-431.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony, Eds., *Similarity and analogical reasoning* (pp. 199-241). New York: Cambridge University Press.
- Gentner, D., Berm, S., Ferguson, R.W., Markman, A.B., Wolff, P., & Forbus, K. D. (1997). Analogical reasoning and conceptual change: A case study of Johannes Kepler. *The Journal of the Learning sciences*, 6(1), 3-40.
- Glynn, S. M., Yeany, R.H., & Britton, B. K. (1991). A constructive view of learning science. In S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton (Eds.), *The Psychology of Learning Science* (pp. 3-19). Hilldale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hernandez, V., & Caraballo, J. N. (1993). Development of a diagnostic test to detect misconceptions in mendelian genetics and meiosis. *Third misconceptions seminar proceeding*.
- Hewson, P. W., & Hewson, M. G. (1983). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 731-743.
- Hogan, K. (2000). Exploring a process view of students' knowledge about the nature of science. *Science Education*, 84, 51-70.
- Hogan, K., & Fisherkeller, J. (2000). Dialogue as data: Assessing students' scientific reasoning with interactive protocols. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee & J. D. Novak (Eds.), *Assessing Science understanding: A*

Human Constructivist View. San Diego, CA: Academic.

- Hogan, K., Nastasi, B. K., & Pressley, M. (2000). Discourse patterns and collaborative scientific reasoning in peer and teacher-guided discussions. *Cognition and instruction, 17*, 379-432.
- Indurkha, B. (1992). *Metaphor and cognition*. Dordrecht: Kluwer.
- Keys, C.W. (1995). An interpretive study of student' use of scientific reasoning during a collaborative report writing intervention in ninth grade general science. *Science Education, 79(4)*, 415-435.
- Kolodner, J. L. (1997). Educational implications of analogy: A view from Case-Based Reasoning, *American Psychologist, 52*, 35-44.
- Kuhn, D. (1993). Science argument: implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education, 77(3)*, 319-337.
- Lawson, A. E. (1978). The Development and Validation of a Classroom Test of Formal Reasoning. *Journal of Research in Science Teaching, 15(1)*, 11-24.
- Lawson, A. E. (1987). Hofstein and Mandler's use and interpretations of the Lawson test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching, 24(7)*, 683-686.
- Lawson, A. E. (1988). Research on advanced reasoning, concept acquisition and a theory of science instruction. In P. Adey, J. Head & M. Shanger (Eds), *Adolescent development and school science (pp. 1-37)*. London: Falmer Press.
- Lawson, A. E. (1992). What do tests of "formal " reasoning actually measure? *Journal of Research in Science Teaching, 29*, 965-983.
- Lawson, A. E. (2002). The learning cycle. In R. G. Fuller (Ed.). *A Love of Discovery: Science Education - The Second Career of Robert Karplus*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Lawson, A. E., Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1989). A theory of instruction: Using the learning cycle to teach science concepts and thinking skills. *NARST Monograph, no.1*.
- Lawson, A. E., Alkhoury S., Benford, R., Clark, B.R., & Falconer, K. A. (2000). What kinds of Scientific Concepts exist? Concept Construction and Intellectual Development in College Biology. *Journal of Research in Science Teaching, 37(9)*, 996-1018

- Limon, M. (2001). On the cognitive conflict as a instructional strategy for concept change: a critical appraisal. *Learning and instruction*, 11, 357-380.
- Michalski, R. S. (1989). Concept meaning, matching and cohesiveness. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 122-145). Cambridge: Cambridge University Press.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). Concept mapping for meaningful learning. In *Learning how to learn*, (pp. 15-54). NY: Cambridge University Press.
- Pallant, A., & Tinker, R. F. (2004). Reasoning With Atomic-Scale Molecular Dynamic Models. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 51-63.
- Pfundt, F., & Duit, R. (1991). *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. (3rd ed.). Keil, West Germany:IPN.
- Posner, G. L., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Prieto, T., Watson, J. D., & Dillon, J. S. (1992). Pupils' understanding of combustion. *Research in science education*, 22, 331-340.
- Saayman, R. (1991). A diagnosis of the mathematical and scientific reasoning ability of first-year physics undergraduates. *Physical Education*, 26, 359-366.
- She, H. C. (2002). Concepts of a higher hierarchical level require more dual situated learning events for conceptual change: a study of air pressure and buoyancy. *International journal of science education*, 24(9), 981-996.
- She, H. C. (2003). DSLM Instructional Approach to Conceptual Change Involving Thermal Expansion. *Research in Science and Technological Education*, 21(1), 43-54.
- She, H. C. (2004a). Fostering Radical Conceptual Change through Dual-Situated Learning Model. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(2), 142-164.
- She, H.C. (2004b). Facilitating changes in ninth grade students' understanding of dissolution and diffusion through DSLM instruction. *Research in science education*, 34, 503-525.
- She, H. C., & Fisher, D. (2003). Web-base E-learning Environment in Taiwan: The impact of the online science flash program on students' learning. In M. S. Khine & D. Fisher (Eds.), *Technology-rich learning environment: A*

future perspective. Singapore: World Scientific.

- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Coulson, R. L., & Anderson, D. K. (1989). Multiple analogies for complex concepts: Antidotes for analogy-induced misconception in advance knowledge acquisition. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning*. London: Cambridge University Press.
- Stepans, J. I., Beiswenger, R. E., & Dyche, S. (1986). Misconceptions die hard. *Science Teacher*, 63-69.
- Tang, H. Y., She, H. C., & Lee, Y. M. (2005a). *Investigating Middle School Students' Alternative Conceptions and the Corresponding Sources Involving Animal Reproduction*. Paper presented for the National Association for Research in Science Teaching 2005 World Conference, Dallas, Texas.
- Tang, H. Y., She, H. C., & Lee, Y. M. (2005b). *Promoting middle school students' conceptual change involving mitosis and meiosis with a DSLM instructional approach*. Paper presented for the National Association for Research in Science Teaching 2005 World Conference, Dallas, Texas.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolution*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic test to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10(2), 159-169.
- Treagust, D. F. (1995). Diagnostic assessment of students science knowledge. In S. M. Glynn, & R. Duit(Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice*.(pp327-346). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Tytler, R. (1998). The nature of students' informal science conceptions. *International Journal of Science Education*, 20, 901-927.
- Tytler, R., & Peterson, S. (2004). Tracing Young Children's Scientific Reasoning. *Research in Science Education*, 33, 433-465.
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring Conceptual Change in Genetics Using a Multidimensional Interpretive Framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055.
- Vosniadou, S. (1989). Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: a developmental perspective. In S. Vosniadou & A. Ortony

(Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning* (pp413-437). New York: Cambridge University Press.

Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of educational research*, 57, 51-67.

Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.

Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*, pp. 177-210. New York: Macmillan Publishing Company.

Wong, E. D. (1993). Self-generated analogies as a tool for construction and evaluating explanations of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1259-1272.

Zeitoun, H. H. (1984). Teaching scientific analogies: A proposed model. *Research in Science and Technological Education*, 2, 107-125.

