



研究方法設計 - 實驗設計法

顧志遠 教授

中華民國112年12月12日

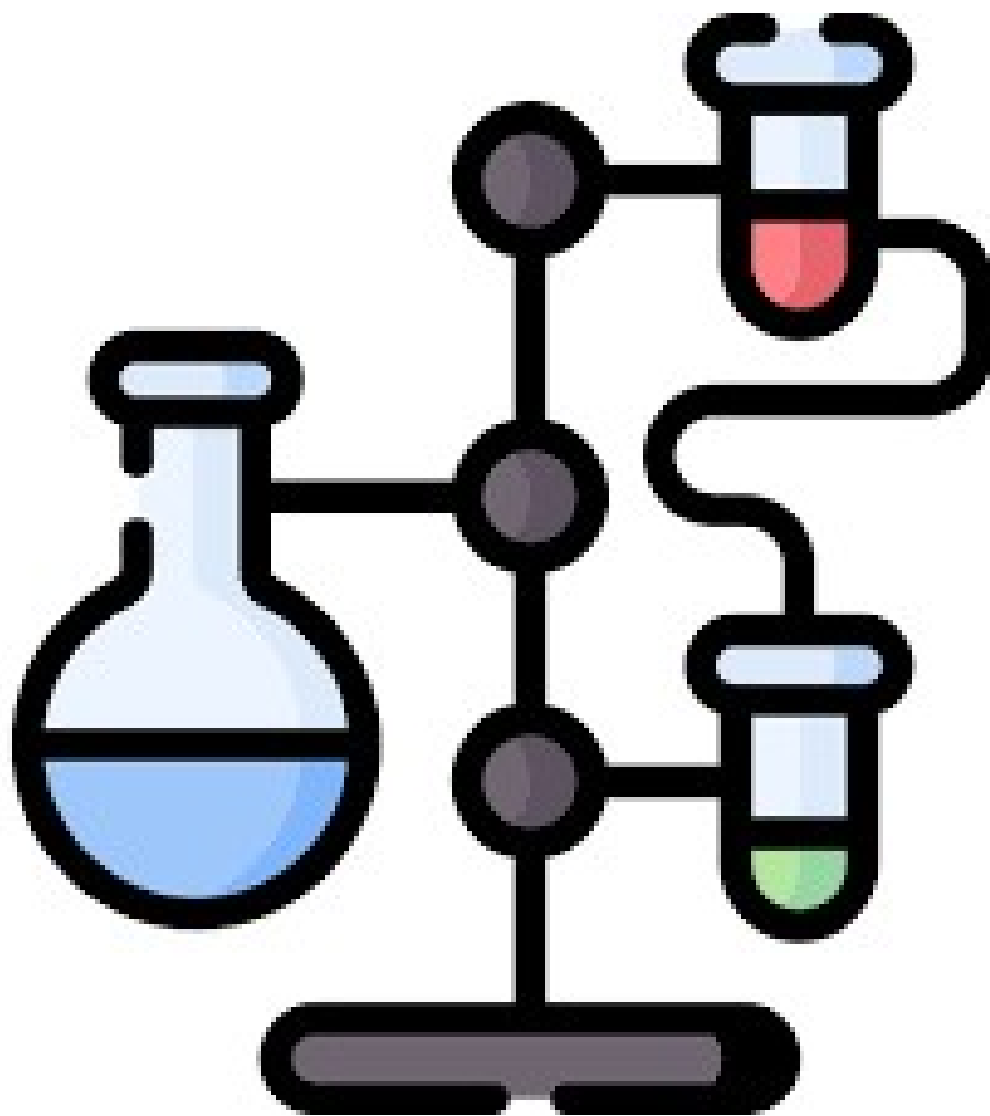


實驗設計為了解答因果關係，設計控制變異的一種扼要計畫、架構和策略，也是唯一能確定因果關係的研究。

課程綱要

第十講 實驗設計方法

- 實驗法的意義
- 實驗研究的基本原理
- 實驗設計基本特徵
 - ◎ 單因子實驗設計
 - ◎ 集區實驗設計
 - ◎ 2因子實驗設計
 - ◎ 2K/3K因子實驗設計
- 實驗設計法辨證
- 實驗設計類型
- 實驗設計的原則
 - ◎ 操控自變數產生最大變化
 - ◎ 控制外生變數的干擾
 - ◎ 最小化隨機誤差
- 影響實驗效度的因素



概論

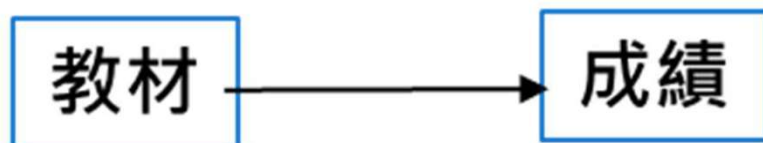
■ 實驗法的意義

- 實驗研究(experimental research)在科學研究裡面，號稱為最嚴密的方法，亦為科學研究法中最可能確定因果關係(cause-effect)的方法。
- 由實驗者操弄一個(含)以上變數，以衡量一個(含)以上的結果，被操弄的變數稱自變數，可以反應自變數結果的稱依變數。但同時控制外來變項(extraneous variable)和如何減少誤差。簡言之，實驗研究係藉著操弄自變項來觀察依變項是否因而發生有系統的相應變化，以確定自變項與依變項的因果關係。
- 為了解答因果關係疑問，設計控制變異的一種扼要計畫、架構和策略。
- 實驗法是各種研究中唯一能確定因果關係的研究，操弄的對象是實驗處理(Treatment)，控制的對象是混淆變項(confounding variable)，觀察及測量的對象是實驗結果(outcome)，因此所謂實驗就是在控制混淆變項下，操弄處理實驗，觀察或測量其結果的過程。

		10°C	20°C	100°C	溫度(treatment)
觀察	1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{k1}	
	2	Y_{12}	Y_{22}	Y_{k2}	
	n	Y_{1n}	Y_{2n}	Y_{kn}	

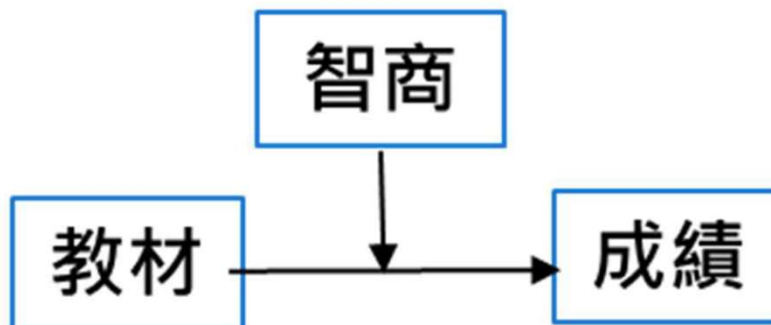
概論

一因子實驗



教材	A	B	C
1	87	85	83
2	80	82	92
3	85	88	90

一因子一集區實驗



教材/智商	A	B	C
高	87	85	83
中	80	82	92
低	85	88	90

概論

■ 實驗研究的基本原理

實驗研究必須在學理上或邏輯上，假設自變項與依變項之間有因果關係的存在。實驗研究依據的基本原理如下：

□ 可操弄原理

實驗研究中自變項必須是可操弄的。在教育研究上，如教學方法、輔導、評量方式、環境佈置、教材設計、媒體運用等，皆屬可操弄的變項。自變項的主要條件，應對依變項而言要是有意義的，且又是可操弄而並非是永久不變的變項。

□ 可分析原理

實驗情境裡面，各種變項均可以分析，且彼此獨立。在實驗過程中，所有有關的或可能存在的變項，均應區分清楚，且加以確定，更須加以分析。實驗情境裡有：

- 1.自變項：又稱實驗變項(experimental variable)。
- 2.依變項：又稱結果變項(outcome variable)或效標變項(criterion variable)。
- 3.干擾變項(extraneous variables)：包括情境變項(situational variables)與個體變項(individual variables)。

□ 標準化原理 - 可控制原理

對實驗情境中的干擾變項必須加以控制，或保持恆定，免得干擾變項對效果變項所發生的影響與實驗處理所發生的效應相互混淆(confounding)，以致低估或高估實驗效應。對干擾變項的情境變項加以控制，並對個體變項保持恆定是為標準化 (standardization) 的主要要領。

實驗設計法

	10°	20°
1	20	24
2	22	26

$\mu=23, \tau_1=-2, \tau_2=2$
 $20=23+(-2)+(-1)$
 $22=23+(-2)+(+1)$
 $24=23+(+2)+(-1)$
 $26=23+(+2)+(+1)$
 $H_0 : (-2)=(2)=0$

■ 實驗設計基本特徵

□ 單因子實驗設計

	10°C	20°C	100°C	溫度(treatment)
觀察 1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{k1}	
2	Y_{12}	Y_{22}	Y_{k2}	
...				
n	Y_{1n}	Y_{2n}	Y_{kn}	

● 資料模式： $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad E(\varepsilon_{ij}) = 0 \quad Var(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2$

● 統計檢定：
 $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k = 0,$
 $H_1 : \tau_i \neq 0, \quad \text{至少存在一 } i, \quad i = 1, 2, \dots, k_0$

● 變異分析： $SS_T(\text{總變異}) = SS_R(\text{組間變異}) + SS_E(\text{組內變異})$

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 + n \sum_{i=1}^k (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2$$

表2 單因子變異數分析表

變異原因	平方和	自由度	均方	F_0
組間	$SS_R = n \sum_{i=1}^k (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2$	$k - 1$	$MS_R = \frac{SS_R}{k-1}$	$\frac{MS_R}{MS_E}$
組內	$SS_E = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2$	$k(n-1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{k(n-1)}$	
總和	$SS_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$	$kn - 1$		

$$E(MS_E) = \sigma^2$$

$$E(MS_R) = \sigma^2 + \sum_{i=1}^k n_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 / (k-1)$$

$$\frac{E(MS_R)}{E(MS_E)} = 1 + \sum_{i=1}^k n_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 / (k-1) \sigma^2$$

$$\frac{E(MS_R)}{E(MS_E)} \sim 1 \rightarrow \sum_{i=1}^k n_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 \sim 0$$

即各Treatment沒有差異

IF $F_0 > F_{\alpha, k-1, N-a}$ 則 reject H_0 ，即Treatment有顯著影響。

實驗設計法

■ 實驗設計基本特徵

□ 2因子實驗設計

● 資料模式：
$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

● 統計檢定：

1. $\begin{cases} H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0 \\ H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0 \end{cases}$
2. $\begin{cases} H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0 \\ H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0 \end{cases}$
3. $\begin{cases} H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0, \text{ for all } i, j \\ H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0 \end{cases}$

● 變異分析： $SS_T(\text{總變異}) = SS_A + SS_B + SS_{Interaction} + SS_E$

source of valiance	sum of square	Regress of Freedom	Mean Square	F_0
A Treatment	SS_A	$a - 1$	$MS_A = SS_A / (a - 1)$	$F_0 = MS_A / MS_E$
B Treatment	SS_B	$b - 1$	$MS_B = SS_B / (b - 1)$	$F_0 = MS_B / MS_E$
Interaction	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = SS_{AB} / (a - 1)(b - 1)$	$F_0 = MS_{AB} / MS_E$
Error	SS_E	$ab(n - 1)$	$MS_E = SS_E / ab(n - 1)$	
Total	SS_T	$abn - 1$		

IF $F_0(A) > F_{\alpha, a-1, ab(n-1)}$ 則 reject H_0 ，即Treatment A 有顯著影響。

IF $F_0(B) > F_{\alpha, b-1, ab(n-1)}$ 則 reject H_0 ，即Treatment B 有顯著影響。

IF $F_0(Interaction) > F_{\alpha, (a-1)(b-1), ab(n-1)}$ 則 reject H_0 ，即Interaction有顯著影響。

實驗設計法

隨機集區的實驗設計

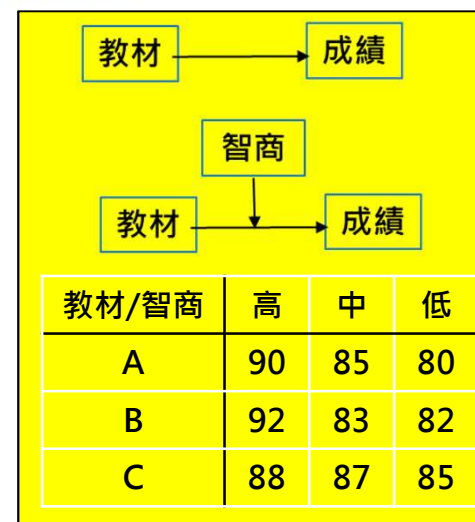
研究者將受試者分派到不同集區，使各集區內的受試者比集區間的受試者更接近同質。

	1	2	3	a	實驗處理
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	$\dots Y_{1a}$	
2	Y_{21}				
$\vdots$	$\vdots$				
b	Y_{b1}		Y_{b2}	$\dots Y_{ba}$	

● 資料模式： $Y_{ij} = \mu + J_i + P_j + \varepsilon_{ij}$ $E(\varepsilon_{ij}) = 0$ $Var(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2$

● 統計檢定： $H_0: J_1 = J_2 \dots = J_a = 0$ $H_0: P_1 = P_2 \dots = P_b = 0$
 $H_1: J_i \neq 0, i=1,2,\dots,a$ $H_1: P \neq 0, i=1,2,\dots,b$

● 變異分析： $SS_T(\text{總變異}) = SS_{\text{Treatment}} + SS_{\text{Block}} + SS_E$



source of valiance	sum of square	Regress of Freedom	Mean Square	Fo
Treatment	$SS_{\text{Treatment}}$	$a - 1$	$MS_T = SS_{\text{Treatment}} / (a - 1)$	$F_0 = MS_{\text{Treatment}} / MS_E$
Block	SS_B	$b - 1$	$MS_B = SS_B / (b - 1)$	
Error	SS_E	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_E = SS_E / ((a - 1)(b - 1))$	
Total	SS_T	$Ab - 1$		

IF $F_0(\text{Treatment}) > F_{\alpha, a-1, (a-1)(b-1)}$ 則 reject H_0 ，即 Treatment 有顯著影響。

IF $F_0(\text{Block}) > F_{\alpha, b-1, (a-1)(b-1)}$ 則 reject H_0 ，即 Block 有顯著影響。

實驗設計法

- 使集區內受試單位儘量同質方法：

- ✓ 同一受試者，重複接受a種實驗處理。
- ✓ 用配對法，將具有同質的受試者安排到同一集區。
- ✓ 集區的單位不是個人，而是一個團體或子集團。

- Latin square設計：

3 × 3	4 × 4	5 × 5	6 × 6
A B C	A B C D	A B C D E	A B C D E F
B C A	B C D A	B A E C D	B C F A D E
C A B	C D B A	C D A E B	C F B E A D
	D A B C	D E B A C	D E A B F C
		E C D B A	F D E C B A

□ 因子實驗設計

研究者在同一個實驗裡，同時觀察兩個或兩個以上變數對一個依變項的影響，以及自變項間交互作用效果的實驗設計。

- ✓ 多因子設計
- ✓ 3^k 因子設計
- ✓ 2^k 因子設計
- ✓ 巢式(nested)因子設計

實驗設計法辨證

■ 以下兩例有何異同？

	10°C	20°C	30°C	40°C		民主型	啟發型	權威型	無為型
1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Y_{41}	1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Y_{41}
2	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	Y_{42}	2	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	Y_{42}
3	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	Y_{43}	3	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	Y_{43}
4	Y_{14}	Y_{24}	Y_{34}	Y_{44}	4	Y_{14}	Y_{24}	Y_{34}	Y_{44}
5	Y_{15}	Y_{25}	Y_{35}	Y_{45}	5	Y_{15}	Y_{25}	Y_{35}	Y_{45}

□ 相同之處 - 用變異數分析探討Treatment有無顯著影響。

□ 相異之處 - 數據的取得 / 情境的控制 / 變數的操控。

→ 前者為實驗設計法、後者事後回溯研究法。

→ 雖然都是用變異數分析，但不一定都是實驗設計。

→ 雖然都是用變異數分析，但因果論證強度大不同。

實驗設計法辨證

■ 實驗法的優點

- 研究過程最嚴謹與科學。研究者可操控自變數，藉由比較與控制組的結果，使操控有比較的基礎點。
- 比其他研究法更可操控外生變數所造成的干擾，產生較佳的內部效度。
- 最適用於因果關係的探討。**個案研究法、調查研究法等適合回答變數間的相關性，實驗研究法對外在環境及變數做嚴謹控制，適用於有因果關係之研究問題。**
- 實驗結果可複製，後來研究者可對不同的受試者、在不同的情境下，重複進行實驗及複驗，以提昇因果關係的外部效度。
- 採用實地實驗法，比實驗室更能降低研究者干擾、降低日常生活的脫節。

■ 實驗法的缺點

- 實驗結果較無法一般化。
- 實驗情境過度單純、樣本少，降低外部效度。
- 實際應用的成本高。
- 實驗對過去變數或預測較難處理。
- 實驗處理通常針對現象或目前問題。
- 實驗過程可能違反人道。

社會科學適用實驗設計法的研究稀少，因為無法操控外在因素。採用實驗設計法的研究型式，不一定是實驗設計法。

實驗設計法類型

■ 實驗設計類型

□ 有限度控制的實驗設計 - 使用單一實驗 (無控制組)，又稱前實驗設計。

✓ 單組後測設計 X O 主觀判斷是否有顯著差異

✓ 單組前後測設計 O_1 X O_2 用T檢定 O_1, O_2 是否有顯著差異

□ 適當控制的實驗設計 - 除實驗組外，加一控制組比較，又稱真正實驗設計(true experiment)。

✓ 等組前後測設定 R O_1 X O_2
 R O_3 O_4

(1) 用T檢定 O_1 、 O_2 及 O_3 、 O_4 其各別間是否有顯著差異，若前者有，而後者沒有，則可說實驗處理有顯著效果。

(2) 用T檢定 O_1 - O_2 及 O_3 - O_4 是否有顯著差異，若前者顯著大於後者，則表實驗處理有效果。

(3) 若實驗處理只有兩種，則用T檢定 O_1 、 O_2 是否有顯著差異，若大於兩種，則用變異數分析法。

實驗設計法類型

✓ 等組後測設計

R	X	O ₁
R		O ₂

若實驗處理只有兩種，則用T檢定O₁、O₂是否有顯著差異，若大於兩種，則用變異數分析法。

✓ 四個等組設計

R	O ₁	X	O ₂
R	O ₃		O ₄
R		X	O ₅
R			O ₆

(1) 用T檢定O₁ - O₂，O₂ - O₄，O₅ - O₆，O₅ - O₁ or O₅ - O₃，若均有顯著差異，則可確定實驗處理有顯著效果。

(2) 轉換為有無實驗處理X有無前測之二因子實驗，再用變異數分析。

✓ 安慰劑實驗設計

R	O ₁	X _A	O ₂
R	O ₃	X _安	O ₄
R			O ₅

用集區實驗設計，並用變異數檢定O₂，O₄，O₅，若均有顯著差異，則可確定實驗處理有顯著效果。

實驗設計的原則

■ 實驗設計的原則

□ 操控自變數產生最大變化

- ✓ 進行實驗設計時，設法使實驗處理距離拉大或條件之間儘可能的彼此有所不同。

□ 控制外生變數的干擾

- ✓ **排除法** - 把無關變數去除或保持恆定，例如選擇相同的外生變數之樣本。此種控制方法最有效，但其通則化能力有限。
- ✓ **隨機法** - 樣本分派隨機化是唯一可以控制「所有」外生之無關變數的方法，它是配對法所不及的。
- ✓ **納入法** - 將無關(外生)變數一齊納入實驗設計中，即將外生變數視為一個自變數來「控制」，使實驗設計變成多因子實驗設計。
- ✓ **配對法** - 將各組受測者加以配對、或以受測者自身作為控制(重複實驗)。

□ 最小化隨機誤差

- ✓ 將實驗情境控制妥善。
- ✓ 增加測量工具的信度。因為測量工具信度愈低，實驗所測得分數愈不穩定，所以其誤差變異量也就愈大。

實驗設計的效度

■ 影響實驗效度的因素

- 內在效度 - 指實驗者所操縱的實驗變項對依變項所造成的影響的真正程度。研究者對無關變項控制的愈好，實驗的差異愈能解釋為由實驗處理所造成。
- 1. **同時存在的事件(history)**：在實驗設計中，與實驗介入效果同時存在的外在因素，而且此因素亦可能影響所獲得的實驗結果，我們稱此因素為同時存在的事件。
- 2. **選擇性偏差(selection biases)**：在實驗設計中，當受試者未經由隨機的方式（如隨機抽樣或分配）而指定到實驗組或對照組時，極可能發生實驗介入前組別已存在著差異，所獲得的實驗結果可能是由於此差異所造成，就是所謂的選擇性偏差。
- 3. **成熟的效果(maturation)**：係指在實驗過程中受試者個人因時間的因素而發生了改變，如熟悉了或疲倦了，而且此改變可能影響所獲得的實驗結果。
- 4. **測驗的效果(testing)**：在實驗設計中，研究者進行前測，以便隨後與後測做比較，然而往往受試者會因做過了前測而有了經驗或熟悉，進而影響了所獲得後測的實驗結果，稱為測驗的效果。
- 5. **受試者的減少(attrition)或死亡(mortality)**：所謂的減少，係指在實驗過程中，由於受試者的流失（如過世、搬家、拒絕再合作或缺席等）而導致了組別間的實驗結果存在著差異。
- 6. **測量工具(instrumentation)上的偏差**：在進行實驗介入的評量過程中，研究者因測量工具種類、計分或使用方式等不同導致所獲得的實驗結果有差異，此種現象即所謂測量工具上的偏差。
- 7. **統計迴歸(statistical regression)現象**：在實驗設計中選擇受試者時，假如選取的受試者具有極端的特質，如特別好或特別差，那麼在評量實驗結果（即後測）時，就可能因受試者是太好了已不能再好、太差了已不能再差而發生實驗介入效果不顯著，此種現象就是所謂的統計迴歸。
- 8. **外在因素的交互作用(interaction)**：在實驗設計中所存在的內在效度威脅因素（以上七個因素），均可能互相混合或交錯的影響所獲得的實驗結果，這種現象就是因素之間發生交互作用。

實驗設計的效度

■ 外在效度 - 指研究結果的概括性及代表性。實驗結果愈能外推到研究對象以外的其他受試者，表外在效度愈好：

1. **立意抽樣(purposive sampling)**：在實驗設計中，研究者可能為了方便而沒採取隨機的方式來選擇受試者，尤其在準實驗設計中更常見，然而根據這種方式所獲得的實驗結果是不可以推論到目標或實際母群(target or accessible population)的，有時又稱為選擇性偏差。
2. **霍桑效應(Hawthorne effect)**：在實驗過程中，假如受試者發現或知覺到自己被觀察或自己正參與實驗，那麼他們的行為或表現會明顯的不同（如有時可能表現得較好或者更差），這種現象就是所謂的霍桑效應。
3. **新奇效果(novelty effects)**：假如所選擇的方法對於研究者或受試者是新奇的，他們極可能以各種不同的方式來改變他們的行為或表現，如受試者對於新介入方法很積極或很投入，因而所獲得的實驗結果可以說是由於他們對新奇效果的反應，這種現象就是新奇效果。
4. **同時存在的事件與實驗介入效果發生交互作用**：假如所獲得的實驗結果是由於同時存在的事件與實驗介入效果發生交互作用所引起的，那麼實驗結果只能應用於有相同事件同時存在的情境，而不可以推論到沒有相同事件同時存在的情境。
5. **實驗者效果(experimenter effects)**：係指受試者的行為或表現可能會受到研究者的人格特質所影響，尤其研究者經常為了滿足他們自己所提出的假設，極可能為內在對結果的預期所左右，而向受試者表露了他們潛在的預期與希望，或在他們的觀察中夾帶著觀察性的偏差。
6. **測量效果(measurement effects)**：不論採取那一種實驗設計，蒐集了很多的資料，如前測資料、個人基本背景資料等，然而根據那一種實驗設計，所獲得的實驗結果也只可能應用於此種特定的設計，而不可以任意推論到其他不同資料蒐集程序的受試者，這種現象就是測量效果。
7. **測驗效果(testing effects)**：對於有前後測的實驗設計來說，前測的經驗或熟悉也往往可能影響所獲得實驗結果的一般性，即是否能將此結果推論到沒前測的情境，這種現象就是測驗效果。
8. 還有由重複進行實驗介入所造成的「練習效果」(exercise effects)或「疲勞效果」(fatigue effects)，均可能影響實驗結果的一般性或代表性。



研究方法設計 - 實驗設計法

感謝聆聽、敬請指教!

顧志遠 教授

中華民國112年5月23日



實驗設計為了解答因果關係，設計控制變異的一種扼要計畫、架構和策略，也是唯一能確定因果關係的研究。

	10°	20°
1	20	24
2	22	26
$\mu=23, \tau_1=-2, \tau=2$ $20=23+(-2)+(-1)$ $22=23+(-2)+(1)$ $24=23+(2)+(-1)$ $26=23+(2)+(1)$ $H_0 : (-2)=(2)=0$		