

食品加工用書

食品化學實驗法

上 冊

(本書遵照六十三年教育部修訂公佈課程標準編輯)

吳文成 編著



旗 文 書 局

食品化學實驗法

版權所有



翻印必究

中華民國六十八年八月初版發行

平裝 40.元 精裝 元

著 作 者： 吳 文 成

發 行 者： 吳 主 和

發 行 所： 復 文 書 局

地址：臺南市東門路421巷28號

電 號：3 7 0 0 0 3 號

郵政劃撥帳戶32104號

No.28. LANE421 DONG-MEN
ROAD TAINA TAIWAN REPUB-
LIC OF CHINA
TEL: 3 7 0 0 0 3

行政院新聞局登記證局版台業字第0370號

食品化學分析法（實習）目錄

第一章	分析實驗的基本操作	195
第一節	總說	195
第二節	儀器	196
第三節	器皿之洗滌	196
第四節	試藥	197
第五節	沉澱物之生成、分離、洗滌及溶解	198
第六節	濾紙	200
第七節	沈澱之乾燥	202
第八節	實驗誤差	204
第二章	一般儀器測定說明	210
第一節	實驗用簡單儀器之介紹	210
第二節	比重測定法	216
第三節	融點測定法	219
第四節	折光計測定法	220
第五節	旋光計測定法	221
第六節	比色測定法	223
第七節	光度測定法	225
第八節	螢光測定法	227
第九節	色層分析法	228
第三章	試料的採取、調製及貯存	236
第一節	樣品採集的一般方法	236
第二節	各種試料採取調製的方法	237

第四章	中和滴定法	241
第一節	標準液、規定液、滴定法	241
第二節	指示劑	242
第三節	中和滴定法實驗	244
第五章	食品官能檢查	246
第一節	食品官能檢查之重要性	246
第二節	評味員 (panel) 之選擇	246
第三節	官能檢查室的設備及查檢條件的記載	247
第四節	品質之評定方法	248
第五節	統計方法	251
第六章	水分定量	253
第七章	灰分定量	262
第一節	粗灰分定量	262
第二節	灰分的酸鹼度	263
第三節	灰分中各成分之定量	264
第八章	粗纖維定量	271
第九章	全氮及蛋白質的定量	273
第一節	粗蛋白質定量	273
第二節	純蛋白質	276
第三節	非蛋白質含氮物 (胺類) 之定量法	278
第四節	胺基酸之定量法	278
第十章	脂肪分析	279

第一節	粗脂肪定量法	279
第二節	油脂的分析	280
第十一章	醣類定量	287
第一節	還原糖的定量	287
第二節	澱粉定量法	297
第三節	蔗糖定量法	298
第四節	糊精定量法	298
第五節	戊聚醣定量法	299
第六節	果膠質定量法	302
第十二章	維生素定量法	303
第一節	維生素B ₁	303
第二節	維生素C	304
第三節	維生素A定量法	306

第一章 分析實驗的基本操作

第一節 總 說

食品之分析實驗的基本操作法與有機或無機化學之定性定量分析並無不同之處。但食品之分析實着重於食品中有機成分之分析，另外對於食品之添加物，農藥、異物及微生物之附着等分析，亦為食品分析之範圍之內。故食品之衛生化學分析檢驗之目的有二：

① 為營養成分之測定：依據測定結果，可以推知飲食物之營養價值。例如測定白米中蛋白質，脂肪及醣類等之含量，由此而計算其發熱量，而決定足用膳食之供給。又如測定蔬菜中之維生素種類及含量，以決定缺乏某種維生素所應選擇之蔬菜食品。

② 為攙和物的檢驗：即檢查飲食品中有無攙和物存在，這些攙和物包括：食品添加物、農藥、異物及操作或調理過程中所污染之微生物種類及數目等。由攙和物之種類及攙和程度而決定食品之品位。

食品之檢驗前，應對食品之產地，加工過程、等作一概括之瞭解，再行形態觀察，物理化學檢驗，及微生物學檢驗等。

形態觀察，就是以感官察覺所檢物之大小、形狀、色澤、氣味、濃淡、軟硬等之狀況程度。

物理檢察是檢驗其比重、色澤、折光率、旋光度等。

化學檢察有定性分析及定量分析兩種。例如以菲林試液 (Fehling reagent) 來決定檢物中還原糖之有無，檢驗氨之發生，以決定肉類食品中蛋白質之腐敗程度，或以氮氣之量以檢定食品中蛋白質之含量等均須用精細之化學實驗為之。在食品化學分析上佔極重要之地位。另外食品添加物，異物之檢驗也須利用到化學檢驗法。

微生物學檢驗；是要檢驗食品衛生程度的重要方法之一。例如檢

驗食品中總菌數、生菌數、大腸菌群、球菌數及黴菌等等均是。

目前由於空氣中放射性元素之污染，原子彈試炸所產生之落塵等，均可污染食品，故食品中放射性物質試驗法，也漸漸重要。

第二節 儀器

定性分析所需之一般性儀器有玻璃杯、試管、玻璃瓶、漏斗、蒸發皿等，另外有坩鍋、濾紙、石蕊試紙、滴管、酒精燈、鐵絲網目、石棉瓦、錶玻璃、白金絲、離心機等亦均為必備之器物。

定量分析所需之一般性儀器可分為重量分析所必須者及容量分析所必需者。

重量分析需要天秤、稱量瓶 (weighing bottle)，瓷坩鍋、本生燈、過濾坩鍋 (Gooch crucible 為最常用)，吸引瓶等。

容量分析需要量瓶、量管、滴定管等。

其他分析法所需要之儀器更多，例如比重計、比色計、折光計、旋光計、pH 濃度測定計、光度計、螢光計、顯微鏡、色層分析儀、紅外線水分定量儀、Soxhlet 脂肪浸出器、Van Slyke 氏胺基氮定量儀等等，不一而足，這類儀器之操作法，將在第三章實驗儀器使用中詳論之，或於各種實習中談論之。

第三節 器皿之洗滌

器皿之整潔為分析求正確之第一要件，時時保持器皿之清潔比之冒險使用不潔之器皿，結果需重新試驗分析者，省時而安全。器皿使用完畢需即洗淨，如時間不許可亦需浸入水中，免致以後器皿洗淨困難。

〔實習一〕玻璃器清潔法

(A) 一般玻璃器皿之處理：如試管、燒瓶、三角瓶等。

新玻璃器具，通常以刷子沾浸肥皂水洗刷清淨之後，用自來水、蒸餾水數次沖洗，而供使用。

若所用之玻璃器具是實施微生物實驗者，則須置於高壓殺菌釜內

，殺菌之（15磅， 121°C ，20分鐘）。

用過之玻璃清洗後，再以重鉻酸鉀液經24小時浸漬後，取出以刷子拭擦並用自來水，蒸餾水再充分洗滌，則十分乾淨矣！

重鉻酸鉀洗滌液之調配成分如下：配合時須先將重鉻酸鉀溶於水中，然後將濃硫酸液緩緩滴入重鉻酸鉀溶液中，滴時使用玻棒攪勻。

	稀	濃
重鉻酸鉀	60g	60g
濃硫酸	60C.C.	460C.C.
水	1000.C.C.	3000C.C.

(B) 吸管之處理：

新吸管置於淺盤中，加入1%磷酸鈉溶液煮沸10分鐘，經自來水沖洗後，置於1% HCl液中，以溶解玻璃殘留之磷₃鹽膜，最後用自來水、蒸餾水沖洗乾燥。

用過之吸管宜先浸於3%石碳酸液或其他強力殺菌液中數小時，取出滴去藥液，繼以上述之方法處理。

吸管之沖洗為求完全，常設置三個廣口高玻璃筒，將吸管放入第一個筒內（裝有稀 KMnO_4 液），浸3小時或過夜取出，沖洗後放入第二筒內（裝有強鹽酸），浸1小時放入第三筒，取一橡皮管一端接水管，另一端接玻管，吸管放入筒內，使試筒中水流自下向上，繼續經過吸管，使流出水分不呈酸性時為止，取出吸管，置於架中風乾，必要時，以酒精助乾燥。

第四節 試藥

試藥之純淨度及取用份量皆需嚴加注意，取用試藥時，瓶塞不能放置實驗台上，須手心向上夾住右手之食指與中指之間，以姆指與其他手指持試藥瓶，傾倒所需份量之試藥，取出過量時亦不能放回，俾免污染整瓶藥劑。



圖(1-1) 試藥之添加

試藥之添加若爲粉末狀時，可用試藥匙添加之，但試藥匙不可接觸瓶杯之玻璃或其他藥品，若有污染立即改換試藥匙。若爲液體試藥時，其添加法應如圖(1-1)所示。

化學藥品依其純度及使用對象分爲如下幾級：

① 工業用藥品 (technical reagent) 級；

由於藥品純度較差，不適用於食品分析上。

② 醫藥用藥品 (U. S. P. reagent) 級；

都爲醫學上用之，亦不適合。

③ 化學純級藥品 (C. P. reagent) 級；

純度較高，可適用於一般普通化學實驗，但仍不適用於精細之分析。

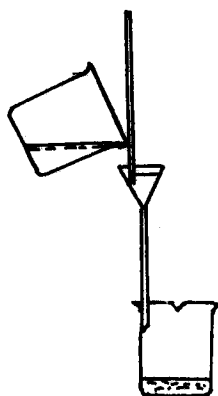
④ 分析用藥品級 (analyzed reagent) ；

藥瓶上已有純度之籤標。適用於一般分析化學上之試驗。

第五節 沉澱之生成、分離、洗滌及溶解

在食品分析中，沉澱之生成極爲重要，例如糖類定量之重量法，即以沉澱之氧化亞銅來決定還原糖之量。操作中沉澱試藥之添加量，可由化學計算法預計之，而加入適當份量。

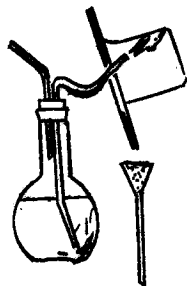
沉澱過濾之前，須讓沉澱有充分下沉之機會，過濾時除非因溶解度關係不允許外，熱狀態下過濾比冷狀態下過濾迅速，因濾液通過孔隙所受之阻力溫度愈高愈小之故。漏斗之頸管須與接收容器壁接觸，否則濾液可能濺出，引起邇後分析之誤差。傾倒溶液時須沿玻璃棒而下，溶液液面不可超過濾紙之上端。如圖(1-2)。



圖(1-2)

沉澱物盡量留於沉澱發生之燒杯中，先使大部澄清液濾過，最後再使沉澱懸液沿玻璃棒倒入濾紙中，用蒸餾水或洗液把附在玻

璃棒及燒杯器壁之殘餘沉澱，沖入燒杯底部，然後把玻璃橫於燒杯上端，玻璃棒一端伸出燒杯留出口 1 in，用左手持此燒杯，食指則壓住燒杯上部之玻璃棒如圖(1-3)，由洗瓶中噴出蒸餾水或洗滌液，用右手指向水流沖洗尚附著燒杯之沉澱，注意勿使液面超出濾紙上部，如此時尚無法把全部沉澱沖洗入濾紙上，則重新把棒上沉澱洗入燒杯中，換用前端有橡皮管之掃除棒 (pol-iceman)，擦趕附於燒杯器壁之沉澱於燒杯底部，再用上述沖洗方法使看得見之沉澱洗入濾紙上，然後充分洗淨沉澱。



圖(1-3)

沉澱全部移入濾紙上須再洗滌，把雜質去除，一般由漏斗上端部沖洗熱蒸餾水或洗滌液於濾紙上之沉澱，每次需等洗滌液全部通過濾紙後，再同上步驟用蒸餾水或洗滌液沖洗，如此重覆幾次迄取出最後洗液少量檢驗不含雜質為止。

有時沉澱之洗滌，可盡量保持沉澱於燒杯底部，加入蒸餾水或洗滌液震搖，使其靜置後，小心倒出洗液於濾紙上，然後再加入蒸餾水或洗液震搖，使其靜置，小心倒洗液於濾紙上，如此反覆數次，最後再把沉澱及洗液傾入濾紙上過濾，此方法對於膠狀沉澱之過濾洗滌最為理想，因膠狀沉澱如先移入濾紙過濾，會把濾紙孔隙堵塞起來，然後過濾及洗滌均將發生困難。

膠狀沉澱洗滌過程中，不要使其在濾紙上有乾燥機會，否則沉澱收縮凝析，再無法把雜質除去。

濾紙上清淨之沉澱，如需重新溶解，且溶劑很容易溶解該沉澱時，則可直接加注溶劑於漏斗上，此時尤須注意濾紙折疊處沉澱是否溶解完全，一般操作與沉澱之洗滌注意事項相似。

若沉澱不易溶於所用之溶劑時，則可用玻璃棒戳破濾紙錐底，把大部沉澱物，由漏斗頸管移入底下盛用之燒杯，然後加溶劑沖洗濾紙上尚餘之沉澱，洗入燒杯中，次加熱把燒杯中沉澱物溶解，有時亦可把

濾紙及其過濾沉澱物全部移入燒杯中，先把大部份沉澱物掃除，然後用溶劑沖洗濾紙上殘餘之沉澱物於燒杯中，移開濾紙，加熱把燒杯中沉澱物溶解。

第六節 濾 紙

§1 濾紙之種類

沉澱完成後須再過濾使沉澱與澄清液分離，一般最常用的是用濾紙來過濾。

定量分析時用之濾紙已經鹽酸及氫氟酸處理，故除纖維外，幾無其他雜質，直徑 9 cm 及 11 cm 經灼燒後灰分極少(通常少於 0.1 mg)，常可不計之。

濾紙有大小孔隙之不同，較大孔隙濾紙常用來過濾叢毛狀之沉澱〔如 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 〕，及較大之沉澱結晶，如 $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，孔隙小且比較緻密的濾紙用來過濾微細結晶之沉澱(如新沉澱之 BaSO_4)，但所需過濾時間較長。

目前一般實驗室用之濾紙有日製及美製兩種，今將其使用規格說明如下：

(A) 日製 Toyo 濾紙：

No 4 為硬質濾紙，可用抽吸濾過。

No 5 A 孔隙較大，用於粗粒子結晶迅速過濾。

No 5 B 一般大小粒子之沉澱常用之。

No 5 C 用於過濾微細粒子之用。

No 6 及 No 7 則使用於很精細之實驗。

(B) 美製濾紙：

美製濾紙種類很多，如美製 Schleicher & Schuell (S & S) 濾紙，Whatman 濾紙及 Baker & Adamson 濾紙都有相似規格之製品；

S & S # 589 White ribbon 濾紙。Whatman # 40 濾紙或 B

& A grade "A" 濾紙，可爲一般大小粒子使用，速度中等。

S & S # 589 black ribbon 濾紙，Whatman # 41 濾紙或 B & A grade "O" 濾紙，可用於叢毛狀較大粒子結晶之用，速度快。

S & S # 589 blue ribbon 或 red ribbon，Whatman # 42 濾紙，遍用於微細粒子沉澱。

§2 濾紙之折摺法

濾紙經折摺後，使成錐狀，其錐角須比漏斗之錐角（一般在 58° 或 60° ）稍大，故得使濾紙之上邊與漏斗密切接合，但其餘部份則與漏斗有少許空隙，此時因這些空隙及漏斗之頸部充滿濾液產生水壓，可促使溶液過濾。爲此目的濾紙之折疊法有如下二種：

法一：

沿濾紙直徑折疊成半圓，再沿與原折疊成直角之半徑折疊之，線可形成一錐形，錐角 60° ，置放於漏斗上（漏斗之錐角 58° ），使與漏斗密切接合，加少許水濕潤後，用手壓之，則濾紙上邊與漏斗之上部可密切接合不使空氣通過，如圖（1-4）。爲了使更密切接合起見，濾紙成錐狀後，外端之上角可以去掉一部份。如漏斗之錐角爲 60° 則折疊濾紙時，第二折痕可稍不與原折疊線成直角，則展開成錐狀時利用較大之錐角之部分即可。



圖（1-4）

法二：

① 沿直徑折疊濾紙，展開後，再沿與原折痕成直角之直徑折疊之。

② 把濾紙翻轉過來，並於成直角二折痕之中間做記號，假設此時濾紙爲一羅盤，讓此記號指向東北，並把南向之折痕對在指東北向之記號上面折疊之，展開後再沿此折線成直角之直徑折疊。

③ 把濾紙置於漏斗上，間隔折疊如圖（1-5）加水濕潤後與

漏斗密切接合，此時濾紙有四小段三層重合，與四小段僅為一層者相隔平均分佈，是以能與漏斗更密接。上端不使空氣通過。

濾紙與漏斗接合後，漏斗之上端需高於濾紙上端 $1/4$ in，否則濾紙過濾沉澱後，無法完全洗滌。



圖 (1-5)

濾紙與漏斗接合後，可注入蒸餾水檢驗其過濾效率，如水迅速即充滿漏斗之頸管，成一連續水柱，表示效率良好，此時產生之水壓可促進過濾速度，如不然應即調整使其密合，否則過濾時將發生困難。

一般過濾時濾過澄清液須再添加幾滴沉澱劑，檢驗沉澱是否完全，如沉澱發生，則酌量再添加沉澱劑，使沉澱完全後，重新過濾於同一濾紙上。

第七節 沉澱之乾燥

沉澱洗滌清淨後，應加以乾燥，甚或灼熱，使成為安定具有一定組成之單體化合物，以除水分，以便稱量或做其他實習。

食品試料所含之水分可大別分為三類；第一類為吸收之水分，即因試料與大氣接觸，吸收大氣中之水分；此等吸收水分之多少，視大氣中濕度之高低及試料粒子表面積之大小而定。第二類為試料中之膠體固着水，一般食品均有膠體組織之性質，此為一種機械性之固着水，要除去之較易。但若與食品成分成電價或共價固着者，則除去較難。後者即為食品試料中第三類之水分，稱為結晶水，此類水分與蛋白質，糖類和脂肪之分子固着，分離困難。

前二者之固着水分可於在 $105^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{C}$ 之定溫箱中加熱除去之，後者之水分除去較難，須較高之溫度方可行之。

所謂乾燥器就是一種密閉之盛器，內含乾燥劑，可以保持試料在乾燥之狀態，又稱之為除濕器 (desiccator)。一般所用之乾燥劑 (除濕劑) 有氯化鈣 (CaCl_2)，無水過氯酸鉍 $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$ ，氧化鈣 CaO ，濃硫酸 ($\text{Con}\cdot\text{H}_2\text{SO}_4$) 無水硫酸鈣 (CaSO_4 anhydrous)，過氯酸鎂

$[\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ ，及五氧化二磷 (P_2O_5)，乾燥劑一般放置在乾燥器之底部如圖 (1-6)，上部則有一瓷製有孔平板用來置放試料，相當時間後 (約半小時以上)，因乾燥劑吸收水分，故能保持密閉器中水分一定，各種乾燥劑及與其平衡密閉器中空氣水分如下：

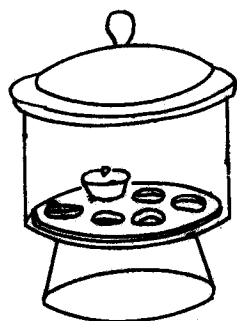


圖 (1-6)

乾燥劑	一升空氣中殘餘之水分 (%)
粒狀 CaCl_2	1.5
工業用 CaCl_2	1.25
無水 $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$	0.82
NaOH 條狀	0.80
CaCl_2 無水	0.36
$\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	0.03
Silica gel (矽膠)	0.03
Al_2O_3	0.005
CaSO_4 anhydrous	0.005
CaO	0.003
$\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ anhydrous	0.002
BaO	0.0007

定量分析時，試料或沉澱灼熱後，在秤量之前皆須放置在乾燥器中，一方面避免灰塵污染，同時可避免吸收不定量之水分。

沉澱物之灼熱，普通盛於陶製坩鍋中進行。亦有可耐急冷之石英製坩鍋，而氟化氫及高溫鹼類之白金坩鍋，又有一種羅氏坩鍋者，蓋上具有氣體導管，在灼熱時通過空氣、氧氣、氫氣， CO_2 等以氧化或還原沉澱物，或防止沉澱物之氧化。

濾紙與沉澱物同時灼熱時，濾紙之碳原子易使沉澱物發生還原作

用而析出金屬原子來。如 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 之灰化時， Al_2O_3 易受 C 原子之還原而析出鋁來。

此時應避免沉澱物與濾紙同時灰化，可先在錶玻璃上預為乾燥後，細心將沉澱物移入坩鍋中，然後將濾紙用白金絲捲起，直接用火燃燒，使灰分落入坩鍋。

第八節 實驗誤差

各種數據之實驗測定中，因人為、環境及儀器等之變化，或多或少引起實驗誤差。

§3 可定誤差及不可定誤差

誤差有兩類：一為可定誤差 (determinate error) 及不可定誤差 (indeterminate error)。

① 可定誤差；乃是可以避免或估計其數值之實驗誤差，例如實驗儀器本身之不準確（如法碼之誤差，天秤之兩臂不等，滴定管之刻度不準），個人對於量度或顏色之判別趨勢，熟練細心之程度及實驗方法之選擇皆能引起實驗數據之差別。但此種差異是可以修正或避免的，實驗儀器之不準確可以修正之，或估計其偏差量，個人之傾向可以適當控制或多人實習之，以減至最少。

② 不可定誤差 (indeterminate error)

此為突發之變動，而不能加以控制者，利如儀器性能之變異，人為情緒之變動，或其他偶發事件之影響。

但此不可定誤差亦可以用多次實驗的算數平均數來平均之，則所得之值，較接近於正確值。

③ 精度 (precision)：

多次測定某一物理性質，可得一系列數據，此一系列數據間相互之差異程度是精度。

④ 準確度 (accuracy)：

精度良好之系列數值並不表示該系列數值與真數據一致，為了表

示某一實驗數據與真數據之差異，則稱準確度。

§2 表示誤差的方法

表示誤差之方法有二種(1)爲平均偏差；(2)爲標準偏差，茲分述如下：

例如在相近之情況下，獨立仔細分析同一試料之某成分，得如下之數據：

- | | |
|-------------|-------------|
| (A) 80.36 % | (C) 80.29 % |
| (B) 80.60 % | (D) 80.49 % |

由此可得平均

$$m = \frac{80.36 + 80.60 + 80.29 + 80.47}{4} = 80.43 \%$$

是故各數據與算術平均之偏差（不計其偏差之正負）如下：

- | | |
|----------|----------|
| (A) 0.07 | (C) 0.14 |
| (B) 0.17 | (D) 0.04 |

其平均偏差（average deviation）

$$(a \cdot d) = \frac{0.07 + 0.17 + 0.14 + 0.04}{4} = 0.10$$

平均偏差（ $a \cdot d$ ）0.10 能表示平均獨立一次測定之數據與（算術）平均數值之偏差，是以可認爲就是測定一次數據時之精度。但在一系列數據時求其（算術）平均數值之精度更爲實用，算術平均數值之平均偏差（ $A \cdot D$ ）等於測定一次數據時之精度被該測定次數之平方根除：

$$A \cdot D = \frac{a \cdot d}{\sqrt{n}}$$

故上例中

$$A \cdot D = \frac{0.10}{\sqrt{4}} = 0.05$$

其分析結果可示爲

$$80.43 \% \pm 0.05 \%$$

另一種偏差表示法，更能顯出精度之關係，其方法為把所得每一數值與算術平均之偏差之平方和被測定次數除之商值（如測定次數較少時，則用測定次數減少一次來除）開平方來表示，稱為標準偏差（standard deviation）。上例中

$$s.d = \sqrt{\frac{(0.07)^2 + (0.17)^2 + (0.14)^2 + (0.04)^2}{4 - 1}}$$

$$= 0.14$$

其平均數之標準偏差為

$$S.D = \frac{0.14}{\sqrt{n}} = \frac{0.14}{\sqrt{4}} = 0.07$$

∴ 所得分析結果亦可示為

$$80.43 \% \pm 0.07 \%$$

須注意者，所得數值並不能表示該分析結果準確性是否良好。

§3 重複次數

由統計上之觀念，可知同一試料作多次實驗，可得較小之平均偏差（或標準偏差），但如分析次數多於某限度後，則平均偏差可趨達一定值，是以其所化費之功夫，材料與效果不配合，失其多次分析之意義。一般言之，比較單純之分析僅需作二次實驗，標定或精細之分析則可作三次或較多次之實驗。

在多次之分析數據中，可能有一數據比較特殊，此時計算算術平均均應考慮其是否需加以剔除，因其影響其他多個數值平均之結果。

通常由統計上之析論，此時如該一特殊數據與算術平均之偏差（不包含此特殊數據時之算術平均）大於平均偏差4倍時，則可加以剔除不要。例如某試液經多次滴定分析，結果得如下規定濃度（Normality）：

$$(a) \quad 0.5050 \quad (d) \quad 0.5063 \quad (c) \quad 0.5042$$

$$(b) \quad 0.5051 \quad (e) \quad 0.5086 \quad (f) \quad 0.5064$$