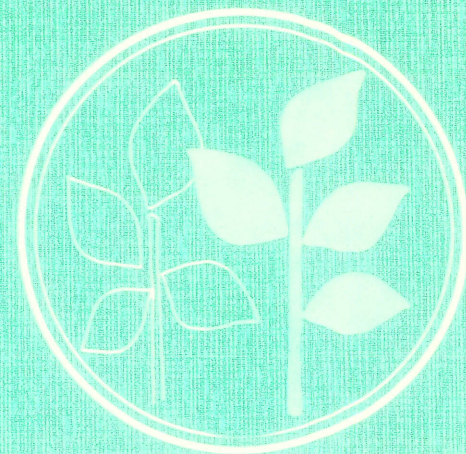
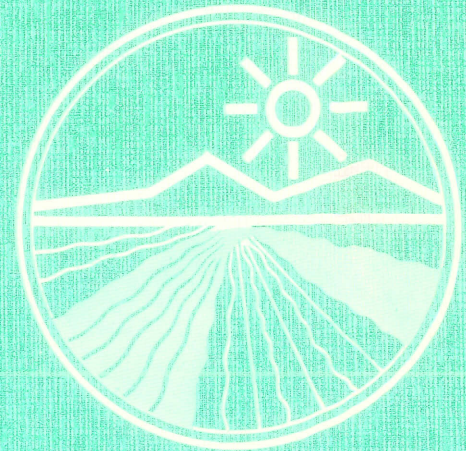
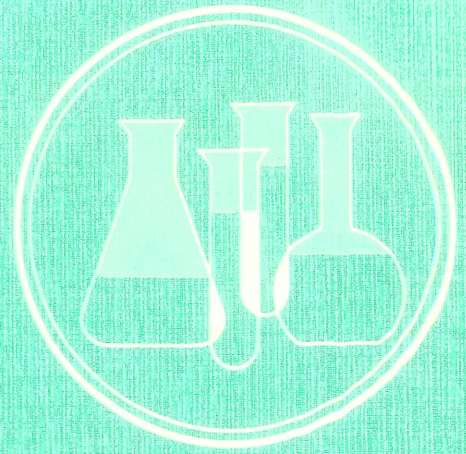


作物需肥 診斷技術



台灣省農業試驗所編印
台灣省政府農林廳主辦
行政院農業發展委員會補助

中華民國70年2月

目 錄

萬 序.....	I
蘇 序.....	II
編 言.....	IV

一 般

土壤速測與植物營養診斷服務之展望.....	胡 承 濤.....	1
-----------------------	------------	---

土壤肥力測定

土壤樣本之採集調製與貯存.....	李 子 純.....	5
本省現行土壤測定方法.....	張 愛 華.....	9
鮑氏土壤機械分析法.....	王 新 傳.....	27
土色酸鹼度與石灰性之簡易檢定法.....	黃 明 輝.....	30
土壤測定結果的解釋與施肥推薦.....	蘇 楠 榮.....	34

作物營養診斷

植物樣本之採集調製與貯存.....	張 淑 賢.....	47
本省現行植物分析法.....	張 淑 賢.....	53
作物營養障礙徵狀.....	連 深.....	60
作物分析結果的解釋與施肥推薦.....	連 深.....	66

土壤與植物速測設備與其運用

儀器分析與維護.....	李 蘭 帝.....	79
土壤與植物速測站之規劃配備與管理.....	林 家 菱.....	83

土壤與肥料之識別與檢定

臺灣耕地土壤之識別.....	陳 春 泉.....	97
土壤質地之識別.....	王 新 傳.....	105
肥料之認識與檢定.....	連 深.....	109

土壤肥料試驗之執行與資料整理

盆栽試驗技術.....	李 子 純.....	117
關於肥料試驗的若干意見.....	蘇 楠 榮.....	129
肥料試驗資料之整理.....	王 銀 波.....	136

相關分析在試驗上的應用.....	李 蘭 帝.....	172
------------------	------------	-----

附 錄

(一)土壤採樣須知.....	179
(二)土壤樣本資料與分析報告表.....	180
(三)本省土壤磷鉀速測值與各種作物施肥推薦量.....	181
(四)蔗作土壤磷鉀速測值與施肥推薦量.....	182
(五)美國各州常用之土壤磷測定法及其平準.....	183
(六)施用鉀肥有效土壤之交換性鉀臨界濃度.....	188
(七)土壤飽和液鹽分濃度與作物生長.....	189
(八)葉片採樣須知.....	190
(九)葉片樣本資料與分析報告表.....	191
(十)常用單位採樣技術.....	192
(十一)各種作物及其換算.....	195
(十二)常用換算因子.....	196
(十三)常用強酸鹼液濃度.....	197
(十四)國際原子量表.....	198

萬 序

土壤肥力與植物營養與作物生產有密切關係，爲本所農業化學系重要工作之一。這方面的研究發展復影響肥料之生產，分配及施用。因此，三十年來，本所對是項試驗研究工作，從未間斷，并承農發會與前農復會及台灣省糧食局肥料運銷處等機構鼎力資助，乃奠定今日之基礎。

台灣土壤種類繁多，耕作制度複雜，本所有關土壤、肥料方面的研究，均以針對服務農民爲主，尤以全面接受土壤或植物樣本爲農民化驗并作施肥推薦之建議爲重要項目，但本所編制不大，人力有限，誠難負荷，農林廳有鑒及此，遂於民國58年，在各區農業改良場增設土壤肥料股，當時並由農復會資助本所籌辦各場土壤肥料所須設備及訓練事宜。并由農林廳召集各場土壤肥料工作人員在本所農化系作爲期4週之基本訓練，福建金門農業試驗所亦派二人參加。繼於民國62年復承上述機構之委託對各區農改場土壤肥料股股長及工作人員作4個月之加強訓練。民國67年辦理全省土壤肥力能限調查時，爲養成各區土壤調查分類人員，同時舉辦土壤分類之辨認及採樣技術訓練，參加人員，除各區農改場土壤肥料工作人員外，尚有農牧局三人，及福建金門農業試驗所二人，共計19人。該項訓練以實地觀察爲主，室內課程爲副，使各場土壤肥料工作人員對全省土壤之分佈情形獲有清澈的概念。民國69年9月間又舉辦土壤速測與植物營養診斷服務。其內容著重室內化驗操作及服務注意事項。參加者多屬各場實際化驗人員及股長，共計18人，其目的在使各場工作人員齊集一堂，相互研討，使土壤速測與植物營養診斷技術更趨一致，并切合當地農民需要，以爲今後全省土壤速測與植物營養診斷服務之準備。

上述本所對土壤速測與植物營養診斷之試驗研究以及推廣服務之發展過程中，歷次均由本所農化系同仁編印講義。茲爲求繼續推展此項訓練與服務工作，並提高效率，乃將前述資料彙編爲作物需肥診斷技術乙冊，以供全省工作人員之參考，本人除對本所同仁之辛勞表示感謝外並對農發會蘇技正楠榮，王技正新傳，國立中興大學王教授銀波，及農林廳農產科胡科長承濤等惠賜文稿，充實內容，致衷心的謝意。同時亦盼望國內專家，惠予指正。

台灣省農業試驗所所長

萬 雄 謹識

中華民國六十九年十二月

蘇 序

省農林廳在各區農業改良場設立土壤肥力速測站，已經11年了。當時是由農復會補助一部份經費成立計劃，由農試所土壤肥力研究室林技正家棻（現任農化系主任）領導執行，除了召集各區改良場工作人員進行為期四週的化學分析訓練外，並策劃添購各速測站所需基本設備，而所需設備雖然種類繁多，但因農林廳，農復會可用於土壤肥料計劃之經費不甚充裕，祇好請儀器分析專家李蘭帝先生精選最便宜又合用的儀器，先作最低限度的添置。

速測站的頭兩年工作，主要為分析各場自己的試驗與示範區土壤，以及協助水稻綜合栽培作土壤分析。到了第三年才正式訂定土壤分析服務簡則，接受農家及機關委託的分析工作，但由於人力經費有限，各場均不敢擴大宣傳鼓勵農家寄交土壤樣本，祇採取有農家委託就加以服務的消極方式，偶有集團委託（如示範村），樣本則多，否則甚少。

時隔多年，各區工作人員在此間已再接受農試所農化系的兩次加強訓練，其中一次甚至採取四個月連續在四個研究室作長期研習的方式，內容除土壤分析外也包括了植物分析，水耕，盆栽試驗等等，使我國地區性土壤肥料工作技能水準提高不少，而農試所林主任及系內各位同仁為此等訓練所費心血及時間，實在難於估量。在另方面，各區改良場的化學設備，亦已逐漸補充及換新，如微量元素測定必需使用的原子吸光儀，在過去數年內，亦均由各場自費或得農發會補助，陸續添購完畢。

去年某夜在林主任寓所談起土壤肥料試驗研究的實地應用問題，林主任指出本省土壤及植物診斷服務已到應該擴大推動之時，農林廳土壤肥料股黃武林股長亦表示贊同。於是大家決定在本年度提出計劃，並建議再度勞煩林主任及農化系同仁，先給各區速測站人員，包括土壤肥料股股長，再來一次短期的綜合實習機會，將各人工作方法予以標準化，並傳授若干新的分析方法，以加強速測站的服務能力後，才來擴大服務。幸好這項「土壤與作物營養診斷服務計劃」獲得農發會與農林廳決策當局的支持，於六十九年八月起付諸實施，第一年預定免費分析一萬件的土壤或植物樣本，為農家做施肥推薦。服務前的綜合實習已經於九月上旬在農業試驗所農化系召開。這本「作物需肥診斷技術」，主要彙集當時所用講義稿，絕大部份為農試所農化系同仁所撰，另外加入多年來農試所主辦的有關土壤肥料講習班講義多篇，以及許多國內外有關需肥診斷的參考表，全由林家棻主任刻意策畫安排及編輯而成，不僅是一本很實用的土壤肥力與植物營養診斷工作人員手冊，亦為一般農業試驗推廣教育人員的優良參考書。

土壤與作物營養的測定，在施肥不足的「發展中」農業，主要用於要素缺乏的診斷及糾正。台灣的作物生產水準很高，年年施用多量肥料，雖難免還有不同程度與種類的缺乏存在，但一般而言，三要素的缺乏已經較不普遍，反而施肥過多的情形到處可見，尤其氮肥的濫施最為嚴重。在能源日趨短缺及昂貴的情形下，我等推動土壤與作物診斷服務的目標，應放在幫助農

家矯正不平衡與浪費的施肥，以節省成本，維護能源及提高生產。當然對一般施用較少的微量要素及水稻的矽，旱作與果樹等的磷、鎂、鈣等要素的缺乏，仍然需要加以注意。

也許因為在土壤肥料工作圈內，我和農林廳各試驗改良場所的接觸機會多，比較瞭解其工作發展經過的關係，所以承編者的好意指定，為本書寫「序」，心裡覺得又感激又恐惶，最後祇好把事情的來龍去脈簡單報告於此，以代替序文，並向對本書出版有貢獻的各位先生女士，表示衷心的敬意。

行政院農業發展委員會技正

蘇楠榮 謹識

中華民國六十九年十二月

編 言

土壤速測與植物分析仍為診斷作物需肥的利器，歐美國家多有此類書籍的發行。美國土壤學會曾于1967年刊印第一版“土壤速測與植物分析”一書，而于1973年刊印第二版修訂本，前後兩版，僅隔六年，本所曾于1969年刊印“台灣省土壤肥力速測工作人員訓練班講義”一冊，當時內容，着重土壤速測，時隔十二年，很多資料需要加以修訂與添加，因此引起編印本書的動機。

本書中彙集的文章係以民國69年9月間在臺中霧峰省農業試驗所舉辦“土壤速測與植物營養診斷服務訓練班”之講義為主，其次則為58年及67年兩次訓練班之部分講義，經原作者再行訂正，彙編而成，定名為“作物需肥診斷技術”又應參加訓練班人員的建議，增添資料載于附錄中，以供參考。

本書之編成承行政院農業發展委員會蘇技正楠榮、王技正新傳、國立中興大學王教授銀波、農林廳農產科胡科長承榮以及土壤肥料股黃股長武林，在百忙期中，抽暇撰稿，或予重編校正，或予鼓勵支持，深感殊榮，復承萬所長雄與農發會蘇技正楠榮賜序，增光匪鮮，此外，儀器化驗室李主任蘭帝、農化系同仁陳技正春泉、連技正深之寶貴建議，李技正子純設計封面、邱技正再發贈送植物營養障礙徵狀圖片、林技士登鴻繪製圖表，以及其他有關同仁極力支助，得以刊印，謹此一併致謝。

本書所搜集資料仍欠週全，編寫方式亦難一致，深以為憾，敬祈讀者，多加匡正，幸甚

農業化學系主任

林家茶 謹識

六十九年十二月

一 般

土壤速測與植物營養診斷服務之展望

胡 承 滯

台灣地區最近十年來對化學肥料之消費量，每年均在增加，此固然與農家自給肥料之減少施用，而增加對化學肥料之依賴，以及因單位面積產量之提高等因素而增加施用量有關，但政府為減輕農民負擔提高農民所得所採取之低價肥料政策下，農民未能珍惜肥料資源，施肥上亦頗多浪費。

鑒於目前省內肥料資源，氮肥生產雖可充分供應省內需要而有餘，但因製造氮肥之天然氣受限制而所生產者亦僅能供應國內需要；磷肥產銷雖可保持平衡，但磷礦粉則賴進口；鉀肥（氯化鉀）須全由國外輸入。尤其，國際能源危機日益嚴重，石油價格日昂，肥料生產成本日益提高，在此情況下，對肥料資源之利用，實應以國家利益為前題，指導農民合理適量施用肥料，減少不必要的浪費，國家始能獲得更多利益。因此，如何教育農民有效的控制和調節土壤肥力以期達到應用最低成本而獲得最高產量，以保障農民的利益，必須讓農民瞭解應當施用適量的肥料方能使作物生產達到應得的產量，而適當的肥料施用量則應根據土壤及作物測定的結果來決定，才不致於造成施用過量肥料而浪費。

本省農民的施肥方式，一向憑著多年的農事經驗以及根據農業試驗改良場所研究結果的推薦，但由於各地區土壤肥力不盡相同，尤其本省耕地複種指數高，耕作集約，管理各不相同，因此，個別農民農田土壤肥力差異很大，所推薦的施肥量，不盡全能符合各地區不同土壤肥力之需要，依據推薦施肥量施肥，雖能確保作物獲得相當之生產水準，但對肥料施用之浪費仍無法避免。理想的施肥量應當根據試驗結果，配合土壤肥力以及作物營養狀態（指長期作物）來作靈活的推薦。

以科學的方法測定土壤肥力或植物體營養狀況作為施肥推薦之依據是進一步的施肥改進措施。本省過去由於人力以及設備之限制，對土壤速測或植物體營養診斷雖亦接受農民之委託代為分析，但因農民尚須負擔部份經費，在目前農業收入偏低且肥料價廉之情況下，農民對此項工作缺乏熱衷，因此，只能做到點的服務而無法擴及線及面的推廣。今後，希望能藉免費為農民們辦理分析服務，並根據肥料試驗結果，配合土壤及植物體營養測定值來推薦施肥，不但能確保耕地應有的生產水準，更可有利的利用肥料資源。

七十年代各區農業改良場已訓練一批鄉鎮農事指導員，對於如何正確採取土壤及植物體樣本，如何根據土壤或植物體分析值來推薦施肥以及作物施肥要領等已有相當的認識與瞭解；同時，各區農業改良場土壤肥料工作人員對土壤或植物體樣本之處理，各項分析技術，分析結果之解釋與應用等已有相當的把握，希望各工作同仁今後仍能在工作之餘不斷吸收新知識，並在經驗中與實際應用上不斷求精求實，使本省農民能早日建立根據土壤與植物體化學測定值作為施肥推薦的施肥體系。

土壤肥力測定

土壤樣本之採集調製與貯存

李 子 純

一、引 言

土壤速測的第一步，也是最重要的一步，為如何取得確具代表性之土壤樣本，由此樣本之分析結果始能作正確之施肥推薦。通常每一土壤樣本約為 500 克，如其所代表之土壤面積為一公頃，而一公頃之耕地表土（深度以 17 公分，土壤密度以 $1.36g/cm^3$ 計）約為兩百三十萬公斤，則此土壤僅為其所代表土壤之四百六十萬分之一。由此可知採樣工作之重要，稍一不慎，即易導致錯誤之結論。

二、採樣工具

為便利及準確，採樣工具應具下列條件：

- (一)能自每一採樣點採取少而等量的土壤，當其混合時恰足作為分析之用。
- (二)自上至下所採土塊大小，厚薄相同。
- (三)易於清潔。
- (四)同時適用於乾而砂及濕而粘的土壤。
- (五)不銹、耐用。
- (六)使用方便，採樣迅速。

具有上述條件者有土管、土鑽、土鏟、移植鋤等，如圖 1。

除此等採土工具外，尚需準備混合土壤用之塑膠盆或桶、及裝土用之塑膠袋、紙盒及資料表等。

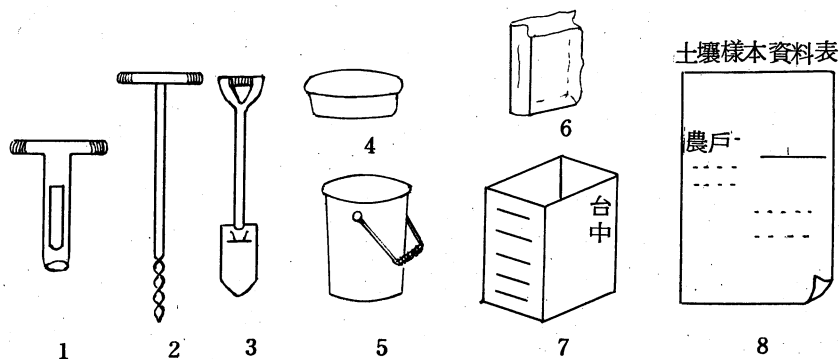


圖 1 土壤採樣所需要的工具

1. 土管 2. 土鑽 3. 土鏟 4. 塑膠盆 5. 塑膠桶 6. 塑膠袋 7. 紙盒 8. 資料表

三、採樣數目

每一樣本究應代表多大面積，應隨採樣目的及採樣地點之地勢、肥力是否均勻等情形決定。通常大面積的土壤速測均以少量樣本代表龐大的面積，田間試驗之採樣則完全不同，茲分述如下：

(一)土壤速測之土壤樣本採集：

1. 平地：採樣前，必須先瞭解採樣區域內土壤之變異情形，假定所採地區係屬平地，同類土壤，而過去栽培管理亦屬一致者，則將預定採樣的地點與數目繪成如圖 2，普通 20 公頃平地約採 10 個混合樣本，每個混合樣本係由 5 個小樣本組成，即至預定地點採取一個小樣本後，再向四週約距 15 至 20 步處各採取一個樣本，予以混合後，成爲一個混合樣本。10 公頃田地約採取 7 個混合樣本，5 公頃田地約採取 4 個混合樣本，餘類推之。
 2. 坡地：採樣區域若屬坡地，應依照土型、地勢、土層深度、土色、冲刷程度等因子繪成邊界圖，然後在各邊界範圍內註明採樣地點與號碼如圖 3，分別予以採樣，採樣數目參照前節所述。
- 採樣地點，注意勿靠近路邊或周界邊緣、畜舍邊、田埂邊以及新施肥地區。如遇特殊或問題土壤，應行分別採樣。

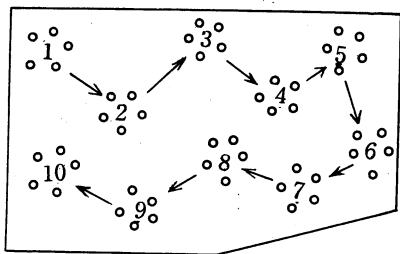


圖 2 平地採樣之地區與數目

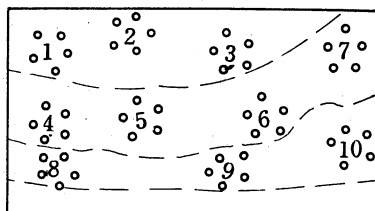


圖 3 坡地採樣之地區與數目

(二)田間試驗區之土壤樣本採集：

試驗區之土壤樣本採集，原則上與前述者相同。試驗地經選定後，在預定之各處理小區上，採取 1 至 2 個小樣本，若該試驗有 12 個處理小區，每處理小區採取 2 個小樣本，共須採取 24 個小樣本，但須注意者，當採各處理小區之樣本時，採取之土壤深度、厚薄、數量均須一致，採畢，悉數置於塑膠桶中，予以充分混合，組成一個混合樣本。若所設之小區面積甚大，同一小區內土壤有明顯的差異時，則應分別採樣，分別裝盒。

(三)一般稻田土壤樣本之採集：

先繪採樣稻田之地形，圖上註明採樣位置（如圖 2），如面積在 0.5 公頃以內，採樣點數十點即足，即以自圖上所示十點所採之十個小樣本混合成爲一樣本。

四 採樣深度

(一)短期性淺根作物：

採取深度以達到有效根群發育的表土層或耕犁層為準。在休閒地採樣時，先將土壤表面雜草鏟除，但不要除去太多表土，繼而將土管或土鑽插入表土層約 15 ~ 20 cm，經轉動後，即可將土壤樣本取出。若用土鏟則先將表土掘成 V 型空穴，然後沿着穴的邊緣，用土鏟取出約 1.5 cm 厚的土片如圖 4。

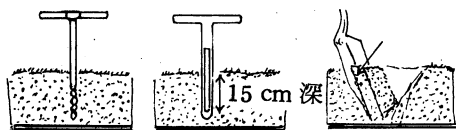


圖 4 休閒地淺根性作物土壤樣本之採取

在種植有作物的田地採樣時，勿靠近根部，應在兩畦中間採取如圖 5。因為在根群附近，作物吸收養分的關係，一時所含有效性營養分往往偏低，不能作為代表。

(二)多年生深根作物：

採取土壤樣本的深度，應視其有效根群分佈的深度而定。本省對於深根作物的土壤速測工作很少，如依美國加州柑桔園土壤採取的深度，則分為 0 - 15 cm，15 - 30 cm，30 - 60 cm，60 - 90 cm 及 90 - 120 cm，計五層次如圖 6。也有主張依土壤剖面層次分別採取者，林家棻氏在進行茶園土壤測定時，採取深度分為 0 - 20 cm、20 - 40 cm、40 - 60 cm、及 60 - 80 cm 等四層次。當採取一個混合樣本時，同層次者可予混合，不同層次者則不得混合，採取工具則以土鑽較適合。



圖 5 淺根性作物土壤樣本之採取

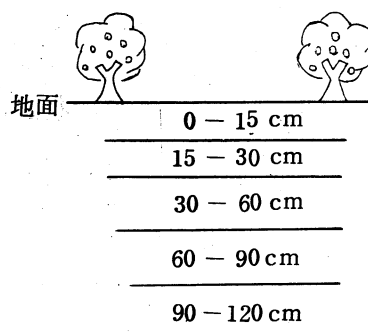


圖 6 深根性作物土壤樣本之採取

五 採樣時間

土壤速測工作無法也無需經常進行，因為在普通情況下，土壤中的石灰、磷、鉀等變化不致太快，而土壤的酸鹼度，有機物及質地更是不易改變的，通常土壤速測如能3—5年進行一次即足，但質地較粗土壤則距離應較短。

普通採取土壤樣本均在前作物收穫後，後作物種植前。本省稻田土壤樣本在第二期作收穫後採取最為適宜，因為此時稻田多已排水，土壤乾燥，所採樣本容易混合，而獲得可代表的樣本，若在浸水或土壤濕潤時採取，則不易達到目的。

六 樣本之調製與貯存

- (一)調製：由預定地點所採得之小樣本（各小樣本之採取深度、厚薄、重量均須一致），悉數置於塑膠盆或桶中，予以充分混合、揉細、組成一混合樣本。自其中取出約500克，裝於塑膠樣本袋中，如所採之土壤重量過多，可用四等分法取出所需之量，將塑膠袋綁妥後再置於樣本盒中。樣本盒上應寫明樣本號碼、農戶姓名、住址、及填寫土壤資料表，並在紙盒與資料表上空白處，標明試驗名稱，然後將資料表與已裝土壤的樣本盒包裝穩妥，並註明內裝樣本數目，寄送有關機構化驗。
- (二)乾燥與貯存：化驗機構於收到土壤樣本後，應先核對樣本數目，再將其分別倒置於小塑膠盤內，置於通風良好但無直接日照處，予以風乾。風乾後，檢取小石片，磨碎使通過2 mm之篩別，再將此通過2 mm篩之土樣裝入樣本紙盒（或其他土盒），放置土壤樣本架上，按試驗地區、及採樣年別順序排列，以便隨時化驗取用。

參考資料

1. 林家棻 1966 怎樣採取土壤樣本 台灣省農業試驗所土壤肥力室刊印
2. 李子純 1979 稻田土壤之採樣 臺灣土壤肥料通訊 320 期
3. 曾浴沂 1969 土壤植物樣本之採集調製與保存
臺灣省土壤肥力速測工作人員訓練班講義
4. Cline, M.G. 1944. Principles of soil sampling. Soil Sci. 58:275-288.
5. Petersen, R.G., and Calvin, L.D. 1965. Sampling. Chapter 5 in "Methods of soil analysis", No. 9 in the series of Agronomy. American Soc. of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A. pp.54-72.
6. Tisdale, S.L., W.L. Nelson, 1967. Soil fertility and fertilizers. 2nd Ed. The Macmillan Company, N.Y.. Collier- Macmillan, Canada, Ltd, Toronto, Ontario. pp.473-6.
7. Walsh, L.M., J.D. Beaton, 1973. Soil testing and plant analysis. Revised Ed. Soil Sci. Soc. of America, Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A. pp.15-16, 67-75.

本省現行土壤測定方法[△]

張 愛 華

一、土壤 pH 之測定—玻璃電極法 (Glass electrode method)

(一)原理：將玻璃電極 (Glass electrode) 與基準電極 (Calomel half-cell) 插入供試液中時，即形成一種化學電池，其電動勢即兩電極間的電壓 (E) 與供試液中的 pH 有如下之關係：

$$\text{pH} = \frac{E - \text{常數}}{\text{常數} \times (273 + \text{供試液溫度 } ^\circ\text{C})}$$

因此校正溫度，量得電壓後，即可得知供試液的 pH 值。

(二)設備：1. 玻璃電極 pH 計 (Glass electrode pH meter)。

2. 50 ml 玻璃燒杯或塑膠杯、玻璃棒。

(三)試藥：pH 4, 7 或 10 之緩衝標準液。

(四)方法：1. 稱經 2 mm 篩篩過的風乾土壤 20 gm 於 50 ml 的塑膠杯中，加入 20 ml 的蒸餾水，並以玻璃棒充分攪拌之。

2. 放置一小時，並間斷予以攪拌 2 次，即可用 pH 計測定其 pH 值，在插入電極前再予充分攪拌。

3. 在測定土壤 pH 前，先以 pH 4 及 7 之緩衝液校正 pH 計，若屬鹼性供試液，則以 pH 7 及 10 緩衝液校正之。

4. 測定多量樣本時，每 10 個未知 pH 之土壤樣本，應加一個對照樣本 (Check sample)，即已知其 pH 值者，若對照樣本之 pH 有改變時，應再以標準緩衝液校正之。

5. 在測定土壤 pH 時，讀數記至小數第一位即可。

6. pH 計之使用法，請詳讀各廠商說明書。

(五)注意事項：

1. 土壤 pH 之測定受土壤之風乾，土壤中可溶性鹽分含量及 CO₂ 含量之影響，後兩者與採樣季節有關，同時，測定時所採用之土壤與水的比率亦會影響 pH 值，一般來說，土壤懸液 (Soil suspension) 愈稀，所得 pH 值愈高，所以測定土壤 pH 值時，必須註明土壤與水的比率。

2. 玻璃電極之尖端為很薄的玻璃膜，很容易破損，使用時應特別小心。

3. 不必要時，電極浸入供試液中的時間愈短愈好，尤其供試液的 pH 值在 9 以上者為然。

[△]本篇所述各節中以一、二、三、五、七、八、九及十等節為本省現行土壤測定法，其他提供參攷。

4. 電極使用後，應立即用蒸餾水沖洗乾淨後，浸于蒸餾水中，並防止蒸發乾涸。

三 土壤中有機物之測定—比色法

(一)原理：利用重鉻酸鉀與濃硫酸來氧化土壤中有機物，其主要化學反應為： $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2} + 14\text{H}^+ + 6\text{e} = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ ，反應後生成的 Cr^{3+} 濃度與土壤中被氧化之有機物含量成正比，測定反應後溶液中 Cr^{3+} 之濃度，即可得知土壤樣本中有機物的含量。

(二)設備：1. 比色計（光電或分光）。

2. 125 ml 三角瓶、吸管、試管。

(三)試藥：1. 重鉻酸鉀溶液（ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ）1 N：溶解 49.04 gm 的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 於蒸餾水中，並稀釋成 1 升。

2. 濃硫酸 36 N。

3. 蔗糖（Sucrose）標準原液 0.292 M：稱取 9.9864 gm 的蔗糖于 100 ml 量液瓶中，以蒸餾水溶解並稀釋至 100 ml。

(四)方法：1. 標準曲線之製備：

分別吸取 0，0.1，0.2，0.3，0.4，0.5 及 0.6 ml 的 0.292 M 蔗糖溶液，分別置于 7 個 125 ml 三角瓶中（其濃度相當于 1 gm 土壤樣本中含有有機物 0，1，2，3，4，5 及 6%），加 1N $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 10 ml，搖勻，再加濃硫酸 10 ml，再搖勻，待冷（20—60 分鐘），加 80 ml 的蒸餾水，搖勻，靜置，待溶液澄清後，取澄清液于試管中，即可以 600 mμ 波長進行比色，並讀取其讀數，將此讀數與各相對應濃度在半對數紙上劃一標準曲線。

2. 土壤樣本的測定：

稱取經過 1 mm 篩過之風乾土壤 1 gm，置于 125 ml 三角瓶中，加 10 ml 的 1 N $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ，搖勻，次加 10 ml 的濃硫酸，搖勻，待冷，加 80 ml 蒸餾水，搖勻，靜置，待溶液澄清後，即可照上法進行比色，由標準曲線讀取其濃度。

3. 計算：

$$\text{土壤中 O.M. \%} = \frac{\text{由標準曲線讀取之 O.M. \%}}{\text{土壤樣本重量 (gm)}}$$

(五)注意事項：1. 當土壤中有機物含量低於 0.5 % 時，可提高土壤樣本之用量為 2 gm，當有機物含量高於 7 % 時，將土壤樣本減半為 0.5 gm。

2. 混濁之供試液在進行比色時，易產生不準確的結果，故必須使供試液保持澄清。

3. 標準液之吸取務必精確，以減少誤差。

三 土壤中磷有效指數—白雷氏第一法 (Bray P₁ method)

(一)原理：利用鹽酸 (HCl) 及氟化銨 (NH₄F) 的混合液抽取易溶于酸中的磷、鈣結合磷，以及一部分的鋁與鐵結合磷，因為氟化銨在酸性溶液裏能與鋁及鐵離子結合而形成錯離子而釋出磷。

(二)設備：1. 分光比色計或光電比色計。

2. 搖動機及定時計。

3. 50 ml 三角瓶、漏斗試管，5 ml 刻度試管及吸管。

(三)試藥：1. 氟化銨溶液 (Ammonium fluoride) 1 N：

稱取 37 gm 的 NH₄F 溶於蒸餾水中，稀釋成 1 升，貯存於塑膠瓶中。

2. 鹽酸 (Hydrochloric acid) 0.5 N：

吸取 20.2 ml 的濃鹽酸 (38%，sp.1.1885)，稀釋成 500 ml。

3. 抽出液 (Extracting solution)：

吸取 15 ml 的 1 N NH₄F 及 25 ml 的 0.5 N HCl，置于 500 ml 量液瓶中，以蒸餾水稀釋成 500 ml。此液即為 (0.025 N HCl-0.03 N NH₄F)。

4. 鉬酸銨液 (Ammonium molybdate)：

溶解 7.525 gm 的鉬酸銨 { (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O } 於 49 ml 的 60 °C 溫水中，待冷，將此液徐徐加入 150 ml 的濃鹽酸 (37.5%) 中，同時予以攪拌，最後稀釋至 200 ml，存於棕色玻璃瓶中。

5. 還原劑粉末之配製：

稱 5 gm 的 1-amino-2-naphthol-4-sulfonic acid，10 gm 的亞硫酸鈉 (Sodium sulfite, Na₂SO₃) 及 292.5 gm 的偏亞硫酸鈉 (Sodium pyrosulfite, Na₂S₂O₅) 于研鉢中，經研細，混勻後，存於密閉的棕色瓶中。

6. 還原劑溶液之配製：

取上述還原混合劑細粉 1.6 gm 溶于 10 ml 溫水中 (60 °C) 經全部溶解，冷卻後，存于棕色滴瓶中，此藥須 2—3 星期重配一次。

7. 磷酸標準原液 (100 ppm P)：

稱 0.4393 gm 的磷酸二氫鉀 (KH₂PO₄) (經 105 °C 烘乾者) 於 1000 ml 量液瓶中，以少許抽出液溶解之，並稀釋至 1000 ml，此液含 P 100 ppm。

8. 磷酸標準工作液：

精確地吸取 100 ppm 的磷酸標準原液 0，2，4，6，8，10 ml 分別置于 6 個 100 ml 量液瓶內，並以抽出液各稀釋成 100 ml，其含 P 量各為 0，2，4，6，8，及 10 ppm 的磷酸標準工作液。

(四)方法：1. 磷標準曲線之製備：

精確地吸取上述 0，2，4，6，8 及 10 ppm 的磷酸標準工作液各 5 ml，分別

置于 6 個 5 ml 的試管中，其次各加 5 滴的鉬酸鉍液於每一個試管中，搖勻後，再各加 5 滴的還原劑溶液，搖勻，靜置 20 - 30 分鐘，生成深淺不同的藍色溶液後，即可進行測定，測定時，若用光電比色計，則應選擇紅色濾光片，如用分光比色計，則可以 650 m μ 之波長測定，並讀取每個濃度的讀數（透光度）並將此讀數與濃度在半對數紙上繪製一標準曲線，此標準曲線應為一條直線，如讀數不在同一直線上，表示分析有偏差，應重複測定。

2. 土壤樣本的測定：

稱取經過 1 mm 篩篩過的風乾土壤 1 gm，置于 50 ml 的三角瓶中，用吸管加入 10 ml 的抽出液，加塞，置于搖動機中，並連結定時計，搖動 40 秒，隨即過濾，取 5 ml 的濾液于 5 ml 試管中，加入 5 滴鉬酸鉍液，搖勻，次加 5 滴的還原劑溶液，搖勻，靜置 20 - 30 分鐘後，照上法進行比色，並由標準曲線讀取其濃度。

3. 計算：

土壤中 P₂O₅ kg/ha = 土壤供試液 P ppm $\times 10 \times 2.29 \times 2.5$ 。

(五) 注意事項：1. 分析時必須按照步驟進行。

2. 加入還原劑溶液後，應在一定時間內比色，否則顏色強度會變。

3. 比色管插入比色計前要擦拭乾淨，放入的方向也要一致，因為比色管的四周透光度並不一致。

4. 濃鹽酸的吸取，請使用安全吸球。

四 土壤中磷有效指數—奧爾遜氏法 (Olsen's sodium bicarbonate method)

(一) 原理：利用碳酸氫鈉溶液 (0.5 M NaHCO₃, pH 8.5) 抽取土壤中磷。在鈣質、鹼性或中性土壤中常含有磷酸鈣，而該抽出液含有碳酸根，可使鈣沉澱為碳酸鈣而增加土壤溶液中磷的濃度。在含有 Al-P 與 Fe-P 之酸性土壤中，由於抽出液之 pH 高而增加了土壤溶液中磷之濃度，同時由於土壤溶液中之 Ca、Al 及 Fe 之濃度低，使酸性或鈣質土壤中磷之再沉澱作用減少至最低限度。

(二) 設備：1. 分光比色計或光電比色計。

2. 搖動機。

3. 250 ml 三角瓶、漏斗，25 ml 量液瓶、吸管等。

(三) 試藥：1. 抽出液—碳酸氫鈉溶液 (0.5 M NaHCO₃, pH 8.5)：

稱取 84 gm 的碳酸氫鈉 (Sodium bicarbonate, NaHCO₃) 溶於 1,800 ml 的蒸餾水中，以 1 N NaOH 調整 pH 為 8.5，最後稀釋至 2 公升，存於塑膠瓶中，加些礦物油以避免溶液與空氣接觸，使用時，每月應校正一次 pH。

2. 硫酸溶液 (H₂SO₄) 10 N：

吸取 141 ml 的濃硫酸 (95%，Sp. 1.8337)，徐徐注入 300 ml 的蒸餾水中

，並稀釋成 500 ml。

3. 酒石酸銻氧基鉀 (Antimony potassium tartrate) 溶液 0.5 % :

溶解 0.5 gm 的酒石酸銻氧基鉀於蒸餾水中，並稀釋成 100 ml。

4. 鉬酸鉍溶液：

溶解 20 gm 的鉬酸鉍 { Ammonium molybdate, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ } 於 300 ml 的蒸餾水中，徐徐加入 450 ml 的 10 N H_2SO_4 ，同時予以攪拌，次加入 100 ml 的 0.5 % 酒石酸銻氧基鉀溶液，最後稀釋成 1 公升，存於棕色玻璃瓶中。

5. 混合還原劑 (Mixed reagent) :

溶解 1.5 gm 的維他命 C (L - ascorbic acid) 於 100 ml 的鉬酸鉍溶液中，此液須當日配製。

6. 磷酸標準原液 (100 ppm P) :

稱 0.4393 gm 的磷酸二氫鉀 (KH_2PO_4 ，經 105 °C 烘乾者)，溶於蒸餾水中，並稀釋成 1 公升，此液含 P 100 ppm。

7. 磷酸標準稀液 (2 ppm P) :

吸取 10 ml 的 100 ppm 磷酸標準原液，置於 500 ml 量液瓶中，以蒸餾水稀釋成 500 ml，此液含 P 2 ppm。

(四) 方法：1. 磷標準曲線之製備：

精確地吸取磷酸標準稀液 (2 ppm P) 0, 2.5, 5, 7.5, 10 及 12.5 ml 分別置於 6 個 25 ml 量液瓶內，加蒸餾水至 12.5 ml 左右，徐徐加入 5 ml 混合還原劑，慢慢搖勻，稀釋成 25 ml，其含 P 量各為 0, 5, 10, 15, 20 及 25 μg (相當於 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 及 1 ppm)，30 分鐘後即可以 882 m μ 之波長進行比色，並讀取讀數與已知 P 濃度在半對數紙上畫一標準曲線。

2. 土壤樣本的測定：

稱取 5 gm 之風乾土壤，置於 250 ml 三角瓶中，加入 100 ml 的抽出液，加塞，置於搖動機上，予以搖動 30 分鐘，隨即過濾。取 5 ml 的濾液置於 25 ml 量液瓶中，加蒸餾水至 12.5 ml 左右，徐徐加入 5 ml 的混合還原劑，待 CO_2 氣泡停止後，再徐徐予以搖勻，稀釋至 25 ml，30 分鐘後即可照上法進行比色，並由標準曲線讀取其濃度。

3. 計算：

土壤中 P_2O_5 kg / ha = $\mu\text{g P} / 5 \text{ ml 土壤供試液} \times 4 \times 2.29 \times 2.5$ 。

(五) 注意事項：1. 抽出液如存於玻璃瓶中，須每月重新配製。

2. 加入還原劑時，因會有 CO_2 發生，須注意勿使試液溢出量液瓶外。

3. 加入還原劑後 30 分鐘至 1 小時內進行比色。

五 土壤中鉀、鈣及鎂有效指數之測定—孟立克氏法 (Mehlich's method)

(一)原理：利用鹽酸與硫酸之混合液抽取土壤中的鉀、鈣及鎂，以焰光計及原子吸光儀測定溶液中鉀、鈣及鎂之含量。

(二)設備：1. 火焰分光計與原子吸光儀。

2. 搖動機。

3. 50 ml 三角瓶、漏斗試管、吸管、5 ml 試管。

(三)試藥：1. 鹽酸溶液 (HCl) 1 N：

吸取 40.4 ml 的濃鹽酸 (38 %)，稀釋成 500 ml。

2. 硫酸溶液 (H₂SO₄) 1 N：

吸取 14.1 ml 的濃硫酸 (95 %，sp.1.8337)，徐徐注入 400 ml 的蒸餾水中，並稀釋成 500 ml。

3. 抽出液 (Extracting solution)：

吸取 50 ml 的 1 N HCl 及 25 ml 的 1 N H₂SO₄，置于 1000 ml 量瓶內，以蒸餾水稀釋至 1 升，此液即為 (0.05 N HCl-0.025 N H₂SO₄)。

4. 醋酸鐳溶液 (Lanthanum acetate) 10 %。

5. 鉀標準原液 (100 ppm K)：

溶解 0.9533 gm 的純氯化鉀 (KCl) 於少許抽出液中，並以抽出液稀釋至 500 ml。

6. 鈣標準原液 (100 ppm Ca)：

溶解 0.2497 gm 的碳酸鈣 (CaCO₃，經 150 °C 烘乾) 於抽出液內並稀釋至 1000 ml，此液含 100 ppm Ca。

7. 鎂標準原液 (100 ppm Mg)：

將 MgSO₄·7H₂O 以 300 °C 的溫度加熱 7 小時，置于乾燥器內待冷，稱上述經加熱脫水後的無水硫酸鎂 0.495 gm 以抽出液溶解並稀釋成 1 升。

(四)方法：1. 土壤供試液的抽出：

稱經 1 mm 篩篩過的風乾土壤 5 gm 于 50 ml 三角瓶中，加 20 ml 的抽出液，加塞，置于搖動機中搖動 5 分鐘，隨即過濾 (濾液必須澄清，否則應重濾)。此濾液即可供鉀、鈣及鎂之測定。

2. 鉀之測定：

(1) 鉀標準曲線之製備：

精確地吸取鉀標準原液 (100 ppm K) 0，2.5，5，7.5 及 10 ml 分別置于 5 個 100 ml 量液瓶內，並以抽出液稀釋成 100 ml，其濃度相當于 0，2.5，5，7.5 及 10 ppm K 的標準工作液，用焰光計以 K 濾鏡進行測定，並記錄其讀數，將此讀數與溶液濃度在方格紙上繪一標準曲線，如讀數不在同一直線上，表示分析有偏差，須重測之。

(2) 土壤樣本之測定：

取上述土壤供試液照上法進行測定，並由標準曲線讀取其濃度。

(3) 計算：

土壤中 K_2O kg/ha = 土壤供試液 K ppm $\times 4 \times 1.205 \times 2.5$ 。

3. 鈣之測定：

(1) 鈣之標準曲線之備製：

吸取 0, 2 及 4 ml 的鈣標準原液于 100 ml 量液瓶中，以抽出液稀釋成 100 ml，此溶液含 Ca 量為 0, 2 及 4 ppm，分別吸取上述三個標準工作液 5 ml，置于試管中，加 1 滴的 10 % 醋酸鈣溶液，搖勻，用原子吸光儀進行測定，將其讀數與濃度在方格紙上畫一標準曲線，此線應為一條直線。

(2) 土壤樣本之測定：

取 5 ml 土壤供試液于試管中，加 1 滴 10 % 的醋酸鈣溶液，搖勻，照上法進行測定，並由標準曲線讀取其濃度。

(3) 計算：

土壤中 CaO kg/ha = 土壤供試液 Ca ppm $\times 4 \times 1.399 \times 2.5$ 。

4. 鎂之測定：

(1) 鎂標準曲線的製備：

吸取 100 ppm 鎂標準原液 0, 1.0 及 2 ml，分別置于 3 個 100 ml 量液瓶中，以抽出液稀釋至 100 ml，此液中 Mg 之含量各為 0, 1.0 及 2 ppm。以原子吸光儀測定之，並讀取其讀數，將讀數與各相對應濃度在方格紙上劃一標準曲線，此曲線應為一直線。

(2) 土壤樣本之測定：

取土壤供試液用原子吸光儀測定，並由標準曲線讀取其濃度。

(3) 計算：

土壤中 MgO kg/ha = 土壤供試液 Mg ppm $\times 4 \times 1.658 \times 2.5$ 。

- (五) 注意事項：
1. 焰光計與原子吸光儀皆為精密儀器，使用時務須細心，用畢必須以蒸餾水噴洗，使用前應先細讀儀器說明書。
 2. 注意調整適當的火焰與噴頭的清潔。
 3. 土壤供試液或標準液等必須澄清，沈澱物及懸浮物極易引起儀器上之吸液器或噴霧器之阻塞。
 4. 濃硫酸及濃鹽酸的吸取請使用安全吸球。
 5. 使用 Varian Techtron Model AA-5 原子吸光儀測定 Ca, Mg 應調節之條件，詳讀該儀器說明書。

六 土壤鉀有效指數—乳酸鈣法 (Egner and Riem's method)

(一)原理：乳酸鈣係屬弱酸鹽類，具有緩衝力，將其調整為酸性溶液後，以萃取或取代土壤中有效態養分。

(二)設備：1. 焰光計。

2. 搖動機。

3. 500 ml 三角瓶。

(三)試葯：1. 抽出液母液 (Stock solution)：

溶解 280 gm 乳酸鈣 (Calcuim lactate) 於 1.5 公升沸水中，加入 80 ml 1 N HCl (比重 1.16)，放冷後稀釋成 2 公升，加數滴氯仿，貯存於棕色瓶中，可保存一星期。

2. 抽出液：

吸取 50 ml 的母液，稀釋成 1 公升，此時溶液 pH 為 3.6 左右，此液不穩定，須當日配用。

3. 10 % 草酸溶液 (Oxalic acid)：

稱取 10 gm 的草酸溶于水中，稀釋成 100 ml。

(四)方法：1. 稱取 5 gm 風乾土壤置于 500 ml 三角瓶中，加乳酸鈣抽出液 250 ml，在室溫振盪 1.5 小時，過濾，取濾液 25 ml 加 2 ml 10 % 草酸溶液使 Ca 沉澱，半小時後取澄清液以焰光計測定其鉀含量。

2. 計算：

$$\text{土壤中 } K_2O \text{ kg/ha} = \text{土壤供試液 K ppm} \times 50 \times 1.205 \times 2.5$$

七 土壤飽和溶液中鹽分之測定—電導計法

(一)原理：土壤溶液之電導度隨溶液中可溶鹽含量而增加，而土壤中被抽出之鹽分之多少與成分也因土壤與水之比率不同而異，通常以在田間容水含量之下測定時，所得之值最為準確，所以土壤之飽和溶液及其比電導度 (mmhos/cm) 就被利用為測定土壤中之鹽分含量。

(二)設備：1. 電導計— Solu bridge model RD-26。

2. 抽氣機、溫度計。

3. 步氏漏斗 (Büchner funnel)、抽氣瓶、試管、小匙。

(三)方法：1. 飽和液之抽出：

稱經 2 mm 篩篩過的風乾土壤 50 - 100 gm 于 250 ml 燒杯內，沿着杯壁加水，直至全部濕潤後，再滴加之，並用小匙攪拌成為飽和狀態 (即當用小匙在土壤中切下一刀時，土壤即徐徐地向低凹處移動，同時土面將有光澤，並且當靜置數分鐘時並沒有多餘的水分聚集在土面上)，如果發現土壤過乾，則應添加水分，若土面有多

餘之水分，表示水分過多，則應添加土壤，再予攪拌直到飽和狀態為止。

2. 經靜置 2 小時後，利用抽氣機、步氏漏斗、抽氣瓶與濾紙將土壤飽和液抽出，若抽出液混濁應再過濾之。
3. 直接用電橋 (Solu bridge) 測定土壤飽和抽出液的比電導度。在測定前先連接 conductivity cell，且以清水洗淨，次用待測之土壤飽和液洗淨二次，用溫度計測出土壤飽和液的溫度後，在 Solu bridge 計上校正其溫度，再用 cell 上的吸管徐徐吸入土壤飽和液，勿使 cell 內存有氣泡，然後根據電橋上電眼的指示，求出該土壤飽和液在 25°C 之比電導度 (m mhos/cm)。

- (四) 注意事項：
1. 調整土壤飽和液時，若屬質地疏鬆的土壤，添水攪拌後，其靜置時間必須延長，最好過夜才能達到確定的飽和終點，因為土壤在初步加水濕潤時，常呈生硬 (Stiff) 狀態，靜置後，其光澤又常消退，再次加水攪拌後，方可保持其飽和狀態的特性。
 2. 粘重土壤必須盡量減少攪拌時間，特別在添水濕潤初期，否則不易獲得確定的終點。
 3. 添水量與用土量應予記載，必要時可換算為乾土含鹽量。

八、土壤矽 (SiO_2) 有效指數之測定

(一) 原理：以 1 N 醋酸鈉緩衝液 (pH 4.0) 抽出土壤中的矽酸，並且令其在 pH 2.4 - 2.7 之酸性溶液中與鉬酸鉍作用而生成黃色的鉬酸矽複合物 (Silicomolybdate)，其次加 Na_2SO_3 予以還原，使呈藍色溶液，即可用比色法進行測定。

(二) 設備：1. 分光比色計。

2. 保溫箱或是水浴鍋。

3. 50 ml 三角瓶、30 ml 試管、漏斗、吸管。

(三) 試藥：1. 醋酸鈉緩衝液 (Acetate buffer)，pH 4.0：

溶解 49.2 ml 的冰醋酸 (Glacial acetic acid) 及 14.8 gm 的無水醋酸鈉 (Anhydrous sodium acetate) 于蒸餾水中，並稀釋成 1 升，以 1 N 的醋酸鈉或 1 N 的 NaOH 調整至 pH 4.0。

2. 0.6 N HCl：

稀釋 48 ml 的 38 % HCl (即濃鹽酸) 成 1 升。

3. 鉬酸鉍液 (Ammonium molybdate solution)：

溶解 102 gm 的鉬酸鉍 (81 % MnO_3) 於水中，並稀釋成 1 升。

4. 亞硫酸鈉溶液 (Sodium sulfite, Na_2SO_3)：

溶解 170 gm 的無水亞硫酸鈉於水中，並稀釋成 1 升。

5. 矽酸標準原液 (100 ppm SiO_2)：

配製約含 5000 - 10000 ppm SiO_2 的矽酸鈉溶液 (Sodium silicate, Na_2SiO_3)，吸取上述溶液 10 ml 於高型燒杯中，加入 10 ml 的 H_2SO_4 (3:1)，墊以石棉網，置于電爐上加熱，注意勿因沸騰而損失直到冒白煙，繼續加熱 30 分鐘，待冷，加 50 ml 的蒸餾水，徐徐加熱，當溶液呈凝結狀態時，隨即過濾，用蒸餾水清洗，將殘渣同濾紙移入坩堝內，先置烘箱內烘乾，再予灰化，待冷，即可稱重，即為 SiO_2 的重量。

吸取適量的上述矽酸鈉溶液，以醋酸鈉緩衝液稀釋，配製 100 ppm SiO_2 之標準液貯於塑膠瓶中，存於冰箱內或加數滴甲苯。

(四)方法：1. 矽酸標準曲線的製備：

(1) 矽酸標準液之稀釋：

吸取 100 ppm 的矽酸標準液 0，3，5，10 及 25 ml，分別置于 5 個 100 ml 的量液瓶中，以醋酸鈉緩衝液稀釋成 100 ml，即成含 SiO_2 為 0，3，5，10 及 25 ppm 的標準稀液。

(2) 吸取上製之各種標準稀液各 5 ml，分置于 5 個 30 ml 試管內，各加入 2.5 ml 的 0.6 N HCl，搖勻，次加 2.5 ml 的鉬酸鉍溶液，搖勻，靜置 3 分鐘，加入 5 ml 的亞硫酸鈉溶液，搖勻，在加入亞硫酸鈉溶液後 10 - 20 分鐘以內，用 600 - 700 $m\mu$ 之波長測定其透光度，然後將其透光度與各對應濃度在半對數方格紙上劃一標準曲線，此標準曲線應為一條直線。

(3) 土壤樣本之測定：

稱取風乾之土壤樣本 2.5 gm 置于 50 ml 三角瓶中，加入 25 ml 的醋酸鈉緩衝液，置于 60°C 之保溫箱內 (或是水浴鍋) 90 分鐘，其間並時加以搖動，然後取出過濾，取濾液 5 ml 于 30 ml 試管中，加入 2.5 ml 0.6 N HCl，搖勻，次加鉬酸鉍溶液 2.5 ml，搖勻，靜置 3 分鐘後，加入 5 ml 的亞硫酸鈉溶液，搖勻，即可照上法進行測定，由其讀數，在標準曲線上讀取其濃度。

(4) 計算：

土壤中 SiO_2 ppm = 土壤供試液 SiO_2 ppm $\times 10$

(五) 注意事項：1. 土壤供試液經加入鉬酸鉍溶液後之 pH 值必須在 2.4 - 2.7 之間。

2. 在一般之情況下，P 對呈色之干擾影響甚微，當 P 之含量超過 20 ppm，則可加入酒石酸以除去其干擾。

九、土壤中鋅 (Zn) 有效指數之測定

(一) 設備：1. 原子吸光儀。

2. 搖動機。

3. 50 ml 三角瓶、漏斗、試管、吸管。

(二) 試藥：1. 抽出液 (0.1 N HCl)：

吸取濃鹽酸 8.3 ml 置于 1000 ml 量液瓶中，稀釋成 1 升。

2. 鋅標準原液 (100 ppm Zn)：

稱取純金屬鋅 (30 mesh) 0.1 gm 置于 1000 ml 量液瓶中，加 50 ml 的純水與 1 ml 的濃硫酸，待鋅完全溶解後，稀釋成 1 升，此液含鋅 100 ppm。

(三)方法：1. 鋅標準曲線之製備：

吸取 100 ppm 鋅標準原液 0, 0.5, 1.0, 1.5 與 2 ml, 分別置于 5 個 100 ml 量液瓶中，稀釋成 100 ml, 其濃度相當於 0, 0.5, 1.0, 1.5 及 2 ppm Zn。利用原子吸光儀測定之並讀取其讀數，將此讀數與其濃度在方格紙上劃一標準曲線，此曲線應為一條直線。

2. 土壤樣本之測定：

稱取經過 1 mm 篩篩過之風乾土壤樣本 2 gm, 置于 50 ml 三角瓶中，用吸管加入 20 ml 的 0.1 N HCl, 加塞 (橡皮塞包以塑膠紙) 置于搖動機上，搖動 40 分鐘，隨即過濾 (濾液必須澄清，否則應重濾)，此濾液即可用原子吸光儀進行測定，由其讀數在標準曲線讀取其濃度。

3. 計算：

$$\text{土壤中 ZnO ppm} = \text{土壤供試液 Zn ppm} \times 10 \times 1.24$$

(四)注意事項：1. 測鋅所用於配製試藥等之水必須不含鋅，亦即經過離子交換處理過的純水。

2. 一切的器皿必須經過鹽酸溶液 (3 N HCl) 泡浸與非肥皂洗過，用自來水沖洗乾淨，最後再以純水沖洗數次 (三次以上)。

3. 一般之橡皮塞都含鋅，必須包以塑膠紙，以免土壤供試液被污染。

十. 土壤石灰需要量之測定—SMP 法 (Shoemaker, Mclean, Pratt 法)

(一)原理：將土壤 pH 提高到某一定 pH 值或是適合某一作物生長的 pH 值時所需的石灰量，稱為石灰需要量 (Lime requirement)。

加入不同濃度的酸於緩衝液時，緩衝液之 pH 值與所加之酸含量成一直線關係 (直線範圍在 pH 3.5 - 7.5 之間)，將供試的酸性土壤與緩衝液接觸後，測定其 pH 值之變化，然後由 pH 值與酸含量的關係可求出需要調整土壤 pH 的石灰需要量。

(二)設備：1. 玻璃電極 pH 計 (Glass electrode pH meter)

2. 50 ml 塑膠杯或玻璃燒杯。

(三)試藥：1. 緩衝混合液：

溶解 1.8 gm 的對硝基酚 (Para-nitrophenol)，3 gm 的鉀酸鉀 (Potassium Chromate, K_2CrO_4) 及 53.1 gm 的氯化鈣 (Calcium chloride, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$) 於 500 ml 的蒸餾水中 (加水後立即予以攪拌，以免結成塊)，另溶解 2 gm 的醋酸鈣 { Calcium acetate, $Ca(OAC)_2 \cdot 2H_2O$ } 於 300 ml 的蒸餾水中，將兩者混合均勻，次加入 2.5 ml 的三乙醇胺 (Triethanolamine)，混合均勻後以 NaOH 或 HCl 將溶液之 pH 調整至 7.5，最後稀釋成 1 公升。

2. 鹽酸溶液 (HCl)，0.5 N：

吸取 20.2 ml 之濃鹽酸，置于 500 ml 量液瓶中，以蒸餾水稀釋成 500 ml。

3. 鹽酸溶液 0.05 N：

吸取 50 ml 的 0.5 N HCl，稀釋成 500 ml。

(四)方法：1. 標準曲綫之製備：

取 10 ml 的緩衝液，分別置于 6 個燒杯內，其次，分別加入 0，2，4，6，8 及 10 ml 之 0.05 N HCl，攪拌均勻後，分別以 pH 計測定其 pH 值。將 pH 值與加入的 0.05 N HCl 的 ml 數在座標紙上畫一標準曲綫。

2. 土壤樣本之測定：

稱取 5 gm 的風乾土壤，置于 50 ml 燒杯內，加入 10 ml 的緩衝液，以玻璃棒間歇予以充分攪拌約 20 分鐘後，以 pH 計測定其 pH，根據所測之 pH 值與所希望之土壤 pH 值，由標準曲綫查出相當之 0.05 N HCl ml 數，即可求出其石灰需要量。

3. 計算：

石灰需要量 $\text{CaO kg/ha} = (B - A) \times 700$

式中 B = 土壤—緩衝液測出之 pH 值相對應之 0.05 N HCl ml 數。

A = 所要求（希望）之土壤 pH 值之相對應 0.05 N HCl ml 數。

二、土壤中水溶性硼之測定—熱水抽出法

(一)原理：利用薑黃素（Curcumin， $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_6$ ）與硼酸（Boric acid）的酸性溶液蒸乾時，能產生紅色的化合物—Rosecyanine，以酒精溶解後，其吸光度之強度與硼之含量成比例。

(二)設備：1. 分光比色計或光電比色計。

2. 低硼含量之玻璃器皿（250 ml 燒杯，250 ml 磨砂三角瓶，直形冷凝管），50ml 塑膠離心管、水浴鍋或烘乾箱，1 ml 及 5 ml 吸管、漏斗、試管。

(三)試藥：1. 95 % 乙醇。

2. 薑黃素—草酸試劑（Curcumin-oxalic acid reagent）：

溶解 0.1 gm 研細的薑黃素（Curcumin）及 12.5 gm 的草酸（Oxalic acid）於 250 ml 的 95 % 酒精，盛於塑膠瓶中，貯存於冰箱內。

3. 氯化鋇溶液（Barium chloride， BaCl_2 ），10 %：

溶解 10 gm 的氯化鋇（ BaCl_2 ）於 100 ml 的蒸餾水。

4. 硼酸標準原液（100 ppm B）：

稱取 0.5716 gm 的硼酸，溶於蒸餾水，並稀釋成 1 公升，此液含 B 100 ppm。

5. 硼酸標準稀液（10 ppm B）：

精確地吸取 10 ml 的 100 ppm 硼酸標準原液，置於 100 ml 量液瓶中，以蒸餾水稀釋成 100 ml。

6. 硼酸標準工作液：

精確地吸取上述 10 ppm 硼酸標準稀液 0，1，2，4 及 8 ml 分別置于 5 個 50ml 量液瓶內，並以蒸餾水稀釋成 50 ml，其含硼量各為 0，0.2，0.4，0.8 及 1.6 ppm B。

(四)方法：1. 硼酸標準曲綫之製備：

精確地吸取上述 0, 0.2, 0.4, 0.8 及 1.6 ppm 硼酸標準工作液各 1 ml, 分別置于 5 個 250 ml 燒杯內, 各加入 4 ml 薑黃素-草酸試劑, 置于 55 ° ± 3 °C 之水浴鍋或烘乾箱內, 待蒸乾後繼續保溫 15 分鐘, 取出, 待冷, 以吸管加入 25 ml 95 % 酒精, 溶解後, 以 Whatman No. 2 濾紙過濾, 即可以 540 mμ 之波長進行比色, 並讀取讀數, 將此讀數與已知硼濃度在半對數紙上畫一標準曲線。

2. 土壤樣本之測定:

稱取 20 gm 之風乾土壤置於 250 ml 磨砂三角瓶中, 加入 40 ml 的蒸餾水及 0.5 ml 的 10 % 氯化鉬溶液, 瓶口套上直形冷凝管, 煮沸 5 分鐘, 移離熱源冷卻 (此時冷凝管仍須留在瓶口, 不可取下), 次將溶液移入 50 ml 離心管中以 1500 至 2000 rpm 之轉速離心 15 分鐘, 過濾, 取濾液 1 ml 置于 250 ml 燒杯中, 加入 4 ml 的薑黃素-草酸試劑, 以下步驟與標準液同。

3. 計算:

土壤中 B ppm = 土壤供試液 B ppm × 2

(五) 注意事項: 1. 所用器皿必須為塑膠或低硼含量之玻璃製品。

2. 薑黃素-草酸試劑須當日配製, 如置于冰箱中, 可保存 3 - 4 日。

3. 因為形成的 Rosecyanine 會水解成薑黃素, 所以比色必須在 2 小時內完成之。

4. 重現性不太好, 應做重複。

三 土壤陽離子交換能量 (CEC) 及交換性陽離子之測定 - 修正醋酸銨法

(一) 原理: 利用中性醋酸銨溶液, 將土壤予以飽和, 取代土壤中之陽離子, 次用乙醇洗除多餘之銨鹽, 最後以氯化鈉溶液將土壤膠體所吸附之陽離子 (銨離子) 洗出, 並測定洗液中銨離子之總量, 作為 CEC 測定值, 以 me / 100 gm soil 表示之。

(二) 設備: 1. 特製淋洗管, 如圖 1。

2. 100 ml 塑膠瓶, 50 ml 三角瓶。

3. 蒸汽蒸餾裝置 (Steam distillation apparatus) 圖 2。

4. 125 ml 三角瓶、100 ml 分解瓶、微量滴定管。

(三) 試藥: 1. 醋酸銨溶液 (Ammonium acetate, NH_4OAC) 1 N, pH 7.0:

將 575 ml 的冰醋酸 (Glacial acetic acid, 99.7 %) 稀釋成 5 公升左右, 加入 550 ml 的濃銨水 (Ammonium hydroxide sp. 0.88), 稀釋至 9.5 公升左右, 以 NH_4OH 或 HOAC 將溶液 pH 調整至 7.0, 最後稀釋成 10 公升。

2. 酒精洗液, 80 % V/V (中含 0.5 ml 2 N NH_4OH /l):

將 0.5 ml 2 N NH_4OH 加進 842 ml 95 % 酒精內, 以蒸餾水稀釋成 1 公升。

3. 95 % 酒精。

4. 氯化鈉溶液 (Sodium chloride, NaCl) 10 % (0.005 N HCl):

溶解 1 公斤的氯化鈉 (Sodium chloride) 於 8 公升的蒸餾水, 加入 4.2 ml 的濃鹽酸, 最後稀釋成 10 公升。

5. 砂 (Sand):

將海砂（小於 1 mm）用自來水沖洗乾淨，再以 1 : 1 的鹽酸浸泡兩日（中間不時予以攪拌），之後將鹽酸溶液倒掉，用自來水充分沖洗（以 BTB 指示劑檢試洗液中之 HCl），其次以蒸餾水沖洗乾淨（以硝酸銀溶液檢試洗液中之 Cl^- 離子），最後以 105 °C 之溫度烘乾之。

6. 氫氧化鈉溶液（NaOH）2 N：

溶解 40 gm 氫氧化鈉於水中，並稀釋成 500 ml。

7. 混合指示劑：

溶解 0.33 gm 的溴甲酚綠（Bromocresol green）及 0.165 gm 的甲基紅（Methyl red）於 500 ml 酒精。

8. 硼酸—指示劑溶液：

溶解 20 gm 的硼酸（Boric acid）於 700 ml 的熱水中，待冷，移入盛有 20 ml 混合指示劑及 200 ml 酒精的 1 l 量液瓶中，混合均勻後滴加適量的 0.05 N NaOH，當 1 ml 的蒸餾水加入 1 ml 的該溶液時，能使溶液由粉紅色變為淺綠色，此時將溶液稀釋成 1 l。

9. 硫酸標準液（ H_2SO_4 ）0.005 N：

（四）方法：1. 步驟：

- （1）先填塞碎濾紙片於特製淋洗管之管底，其鬆緊程度務使洗液通過速度低於 50 ml / hr（大約每 20 秒鐘一滴）。
- （2）稱取 2 gm 之風乾土壤（2 mm）與 4 gm 砂，混合均勻後置於淋洗管中。
- （3）將含有 100 ml 1 N NH_4OAC 之塑膠瓶倒置於淋洗管之上端，任其自然淋洗，洗液則收集於淋洗管下端的 100 ml 塑膠瓶中，此洗液可供作交換性陽離子（Ca, Mg, K, Na）測定之用。其中 Ca, Mg 以原子吸光儀測定，K 與 Na 則用焰光計測定。
- （4）次將含有 50 ml 酒精洗液的三角瓶倒置於淋洗管之上端，洗液則廢棄之，另外以 10 ml 之 95 % 酒精淋洗土柱，洗液亦予廢棄。
- （5）最後將含有 100 ml 的 10 % NaCl 之塑膠瓶倒置於淋洗管之上端，洗液則收集於管下端的 100 ml 塑膠瓶中，供作陽離子交換能量（CEC）測定之用。

2. 洗液中銨離子總量之測定—蒸餾法：

- （1）吸取 20 ml 土壤洗出液，置於分解瓶中，經與蒸餾裝置連結，由蒸餾器上之漏斗徐徐加入 2 N NaOH 5 ml，次以蒸餾水 5 ml 淋洗漏斗，蒸餾 4 分鐘，並控制電爐溫度，使每分鐘餾出液為 7.5 ml 左右。
- （2）餾出液收集於 5 ml 的硼酸指示劑溶液中，用 0.005 N 硫酸標準液滴定之。
- （3）用同樣方法作空白測定。

3. 計算：

- （1）土壤中交換性陽離子含量：

$$\text{Ca me}/100 \text{ gm soil} = \text{土壤洗出液 (NH}_4\text{OAC) Ca ppm} \times 0.25$$

$$\text{Mg me}/100 \text{ gm soil} = \text{土壤洗出液 (NH}_4\text{OAC) Mg ppm} \times 0.41$$

$$K \text{ me}/100 \text{ gm soil} = \text{土壤洗出液 (NH}_4\text{OAC) K ppm} \times 0.13$$

$$Na \text{ me}/100 \text{ gm soil} = \text{土壤洗出液 (NH}_4\text{OAC) Na ppm} \times 0.22$$

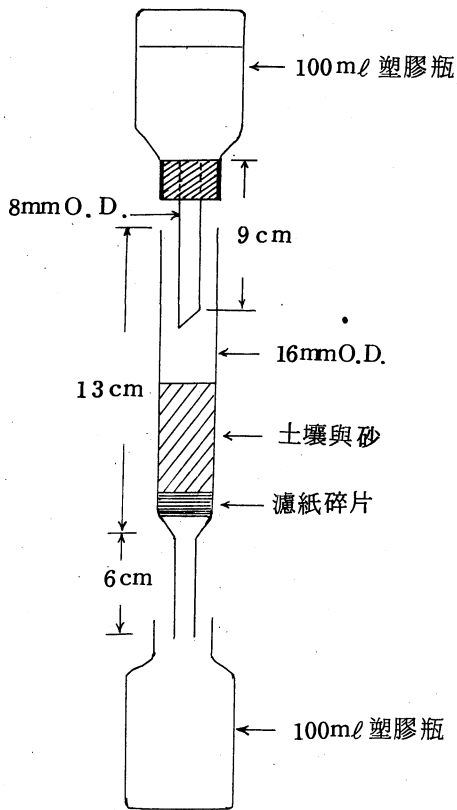


圖 1 土壤陽離子交換能力之淋洗裝置

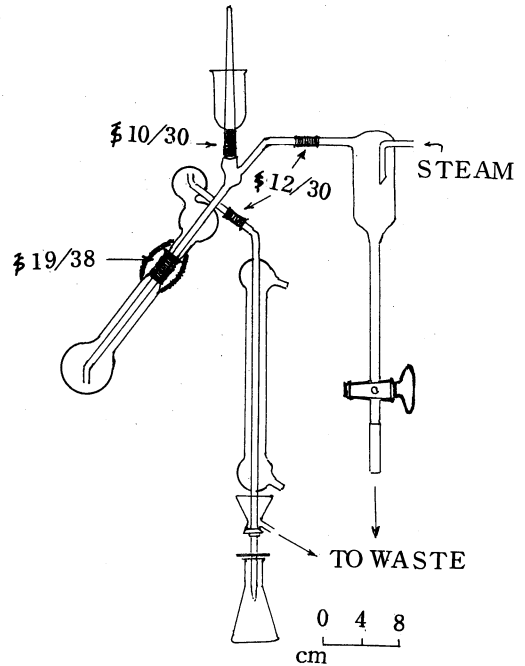


圖 2 蒸汽蒸餾裝置

(2) 土壤之陽離子交換能力：

$$CEC \text{ me}/100 \text{ gm soil} = N (A - B) \times 250$$

式中 N = 硫酸標準液之規定濃度

A = 土壤洗出液 (NaCl) 測氮時所用之硫酸滴定數 ml。

B = 空白測定時，所用硫酸滴定數 ml。

- (四) 注意事項：
1. 土壤與砂必須充分拌勻，在淋洗過程中，土柱中間不得有空隙，以免淋洗不完全。
 2. 土柱之淋洗時間不得小於 2 小時也不能超過 24 小時。
 3. 本法所用硫酸標準液之規定濃度甚稀，應經常加以校正以防變化。
 4. 蒸餾裝置中，添加鹼液部分，應經常灌以蒸餾水，以防玻璃塞粘着，不用時應將玻璃棒取出，上蓋以玻璃杯。
 5. 本法係屬半微量測定，適合於大量樣本測定之用，所有用具必須分別充分淋洗，以免混染。

三 自動化分析簡介

(一)原理：自動分析大致上分為連續流體分析 (Continuous flow analysis) 與各個連續分析 (Discrete continuous analysis) 。所謂各個連續分析即每個樣本各自分別單獨進行分析工作，而最後分析結果也個別以點狀記錄下來，此法相當於將人工分析方法予以機械化。而連續流體分析，簡言之，就是將樣本及試藥等連續送入儀器內進行分析工作，化學反應也在連續的發生與進行，分析的結果以連續的曲線形式被記錄下來。茲簡介於次：

(二)自動分析儀之基本組成：

1. 取樣器 (Sampler)：吸取樣本用。

包括樣本盤及樣本杯，以一定的轉速旋轉。

2. 比例輸送幫浦 (Proportioning pump)：

利用幫浦管 (Pump tube) 定量輸送試藥及樣本等。

3. 化學處理分析器 (Analytical cartridge)：

(1) 滙流器 (Manifold)：包括滙合管、混合管等，用於試藥等之混合。

(2) 透析器 (Dialyzer)：沉澱、過濾及離心分離等。

(3) 加熱槽 (Heating bath)：加熱促進化學反應。

4. 測定器 (Detector)：測定分析結果。

(1) 比色計。

(2) 螢光計。

(3) 焰光計。

(4) 原子吸光儀等。

5. 記錄器 (Recorder)：記錄分析結果。

(三)操作方法：1. 視分析方法之模式，將取樣器、幫浦與測定器等利用幫浦管、滙合管、混合管、加熱槽等加以連接起來。

2. 測定器先預熱 10 - 20 分鐘。

3. 起動幫浦，以蒸餾水（滲入適當的潤滑劑）清洗所有的管路（約 5 分鐘）。

4. 將幫浦管按照模式連接各種試藥，而取樣管插入蒸餾水（或抽出液）中，此時記錄器上即劃出基綫 (Base line)。

5. 調整基綫。

6. 將已知標準液由高濃度順序放入取樣器之轉盤上，同時把樣本排在其後，選擇適當的轉速。

7. 開動取樣器，開始分析。

(四)計算：1. 將記錄器上劃出之標準曲綫之高度與其標準液之濃度間之關係劃出一標準曲綫。

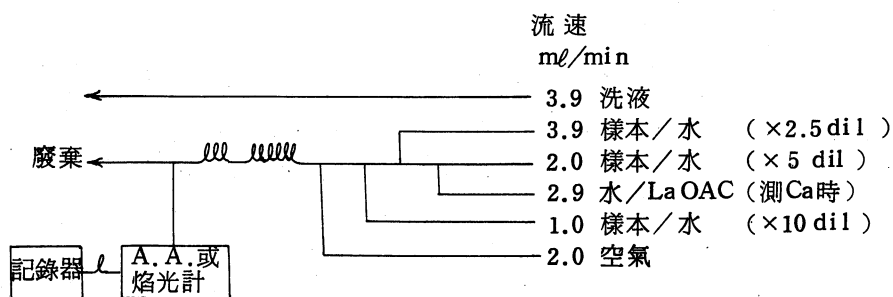
2. 將樣本之曲綫高度與標準曲綫比較，即可求出樣本之濃度。

(五)注意事項：1. 分析前後，所有之管路必須以蒸餾水充分清洗。

2. 幫浦管不用時，必須予以放鬆。

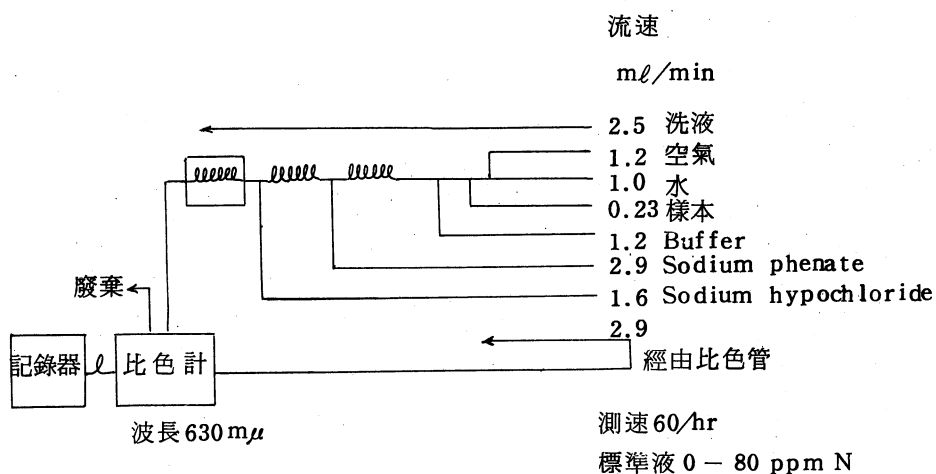
3. 自動分析之流程圖可依分析原理，自行設計。茲將農試所土壤肥力室所採用之有機物，氮、磷、鉀、鈣、鎂以及微量要素 (Cu, Fe, Mn, Zn) 之流程圖舉

例于下，以供參考。

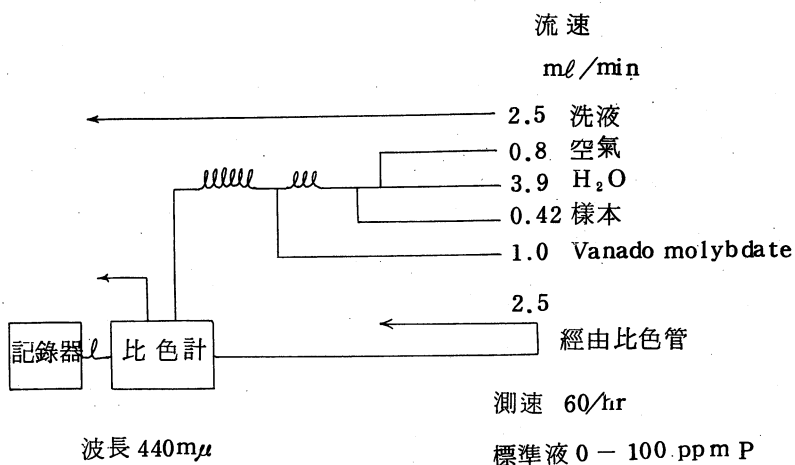


樣本測定速度: 40/hr

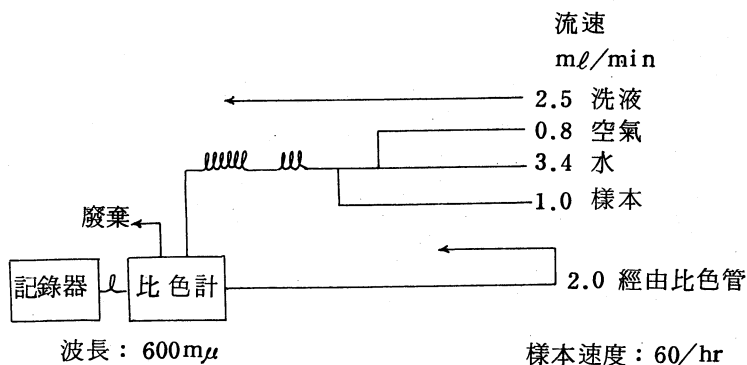
K, Na, Ca, Mg 之自動分析流程圖



氮之自動分析流程圖



P 之自動分析流程圖



有機質之自動分析流程圖

參 考 資 料

1. 林家棻 1969 本省現行之土壤肥力測定方法 台灣省土壤肥力速測工作人員訓練班講義
台灣省農業試驗所發行
2. 李子純 1979 土壤有機物之比色測定 土壤肥料通訊第 320 期
台灣省土壤肥料學會
3. 張愛華，方淑鈺，林家棻 1979 土壤陽離子交換能量之自動測定
土壤肥料通訊第 320 期 台灣省土壤肥料學會
4. 台灣糖業研究所 1979 糖業手冊第二篇第五章甘蔗營養式蔗田土壤肥力測定方法 pp274
— 275
5. 德偉企業有限公司 1979 Technicon 自動分析儀之原理、操作與保養
6. Black, C. A. (Ed.). 1965 Methods of Soil Analysis, Part II. No. 9 in the series
Agronomy, American Society of Agronomy.
7. Chapman, H. D. 1961 Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. Division of
Agricultural Science, University of California.
8. Flannery, R. L., & D. K. Markus. 1980 Automated analysis of soil extracts for phosphorus, potassium, calcium and magnesium. Jour. Assoc. Off. Anal. Chem. 63(4):779-787.
9. Jackson, M. L. 1958 Soil Chemical Analysis.
10. Rothamsted Experimental Station. 1973 Analysis of Crops, Soils and Fertilizers.
11. Searle, P. L. 1974 Automated colorimetric determination of ammonium ions in soil extracts with Technicon Auto-Analyzer II equipment. New Zealand Jour. Agr. Res. 18:183-187.
12. U. S. Salinity Laboratory Staff. 1954 Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agr. Handbook No. 60. U.S.A.

鮑氏土壤機械分析法

王 新 傳

一、引 言

土壤中大小粒子分佈名爲質地，而測定此大小粒子分佈之操作稱爲機械分析。在此分析當中，最主要事情，乃爲使各土粒完全分散，單獨懸浮於水中，且不致於破壞土壤各單粒。爲達到此目的，仍須應用分散劑及攪拌作用，以除去或溶解土粒間之膠結物質或使失去其膠結作用。最簡單的機械分析法爲鮑氏比重計法 (Bouyoucos hydrometer method)。

鮑氏比重計法雖不如吸管法 (Pipette method) 之精密，但此法操作簡易，省時，非其他法所能及，且其準確度已可足供一般分析之用，故採用甚廣。此法係用一特製比重計，於一定時間內測定，經一定手續處理之土壤懸濁液之比重，由其讀數可直接求得砂粒，粉粒及粘粒之百分數。

二、方 法

(一)用具：

1. Bouyoucos 氏比重計：讀數爲 0 ~ 60 單位 (g / l)。
2. 電動攪拌器：速率 9,000 rpm。
3. 600 ml 攪拌杯。
4. 玻璃筒：直徑 2 ½ 吋，高 18 吋，容量 1,000 ml。

(二)試劑：偏磷酸鈉 (Sodium metaphosphate) 飽和溶液。

(三)分析方法：

1. 秤取一定量土壤 (通過孔徑 2 mm 土篩者)，砂土用 100g，其他土壤用 50g，秤量以烘乾基計 (Oven-dry basis)。
2. 將秤取土壤放入攪拌杯，加蒸餾水 300 ml 和 10 ml 偏磷酸鈉溶液，放置 10 分鐘 (固結土壤者 20 分) 使水分充分浸入於土壤內，俾利於土壤分散。
3. 置於電動攪拌器中，予以攪拌，砂土 5 分鐘，其他土壤 10 分鐘。
4. 攪拌後將全部懸濁液洗入玻璃筒內，加水至 1000 ml 之標線。
5. 以攪拌槳上下攪拌均勻後，迅即取出，記取時間，靜置 30 秒後，輕輕插入比重計，不使其上下搖動，至 40 秒鐘後記取比重計讀數 P_s 取出比重計。
6. 再以攪拌槳均勻攪拌，懸濁液後放置至 2 小時，測其比重爲 P_c 。

(四)比重計讀數校正

1. 加入分散劑於懸液中所應作之校正：

於土壤懸液中加入 10 ml 飽和偏磷酸鈉溶液後，會影響懸液密度，故應另測定每 1000 ml 水中，含有 10 ml 偏磷酸鈉溶液之比重計讀數 P_l 然後從各懸液讀數 P_s 及 P_c 扣除 P_l 數值。

2. 每次測定比重時，應同時測定該懸濁液之溫度，如高於 19.4 °C，每增高 1 °C 比重計之讀數應加 0.3，低於 19.4 °C，每低 1 °C 須減 0.3 (見附表 1)，調正各讀數 P_s 及 P_c 爲液溫 19.4 °C 時之校正讀數爲 P_{s_1} 及 P_{c_1} 。

(五) 計算：

$$\text{砂粒 (2 ~ 0.05mm) 百分數} = 100 - \frac{P_{s_1}}{W} \times 100$$

$$\text{粘粒 (< 0.002 mm) 百分數} = \frac{P_{c_1}}{W} \times 100$$

$$\text{粉粒 (0.05 mm ~ 0.002mm) 百分數} = 100 - (\text{砂粒百分數} + \text{粘粒百分數})$$

W 為烘乾土壤量。

(六) 結果解釋

根據砂粒，粉粒及粘粒三者之百分數可由圖 1 求得該土壤之質地類別。

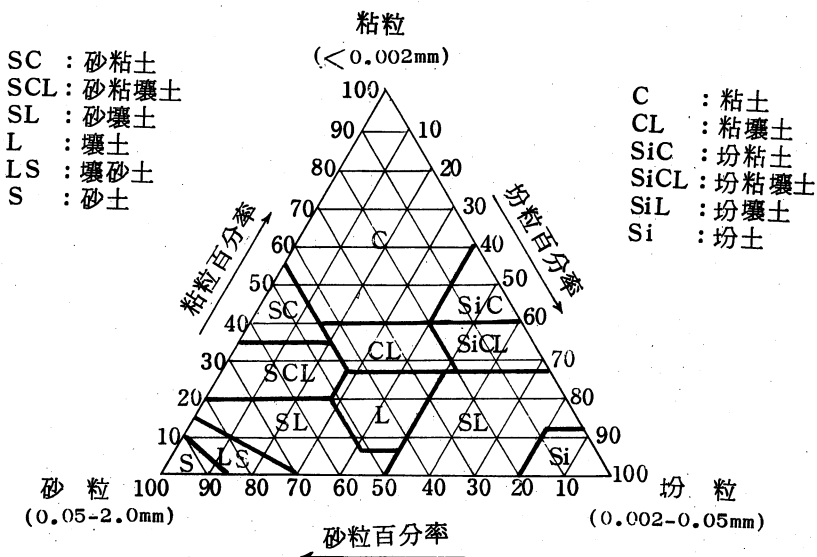


圖 1 土壤質地分類三角圖

(七) 注意事項：

1. 含有高量有機物之土壤，應先加 30 % H_2O_2 10ml 放置於溫暖處一夜使有機物漸次分解後進行攪拌。
2. 含有聚電解質土壤改良劑 (Polyelectrolyte soil conditioners) 之土壤，不易分散，必需先除去改良劑後攪拌。
3. 倘於懸濁液面生成多數汽泡，而致使比重計與懸濁液之界面不明顯時，可加戊醇 (Amyl alcohol) 1 滴以消滅之。

附表1 溫度校正表

溫度C°	溫度 校正值	溫度C°	溫度 校正值	溫度C°	溫度 校正值	溫度C°	溫度 校正值	溫度C°	溫度 校正值	溫度C°	溫度 校正值
14.0	-1.48	17.0	-0.73	20.0	0.18	23.0	1.25	26.0	2.45	29.0	3.80
1	-1.45	1	-0.70	1	0.21	1	1.28	1	2.50	1	3.85
2	-1.43	2	-0.67	2	0.25	2	1.32	2	2.54	2	3.89
3	-1.41	3	-0.64	3	0.28	3	1.36	3	2.58	3	3.91
4	-1.39	4	-0.62	4	0.31	4	1.40	4	2.62	4	3.96
5	-1.37	5	-0.59	5	0.35	5	1.44	5	2.67	5	4.04
6	-1.34	6	-0.56	6	0.39	6	1.48	6	2.70	6	4.08
7	-1.32	7	-0.53	7	0.42	7	1.52	7	2.76	7	4.13
8	-1.30	8	-0.51	8	0.45	8	1.56	8	2.80	8	4.18
9	-1.27	9	-0.47	9	0.48	9	1.60	9	2.84	9	4.23
15.0	-1.25	18.0	-0.44	21.0	0.52	24.0	1.63	27.0	2.89	30.0	4.28
1	-1.21	1	-0.41	1	0.55	1	1.67	1	2.93	1	4.32
2	-1.19	2	-0.38	2	0.59	2	1.71	2	2.94	2	4.37
3	-1.18	3	-0.35	3	0.63	3	1.75	3	3.03	3	4.42
4	-1.15	4	-0.32	4	0.66	4	1.78	4	3.07	4	4.47
5	-1.13	5	-0.29	5	0.70	5	1.83	5	3.12	5	4.52
6	-1.10	6	-0.26	6	0.74	6	1.89	6	3.16	6	4.54
7	-1.08	7	-0.23	7	0.77	7	1.90	7	3.21	7	4.62
8	-1.05	8	-0.20	8	0.82	8	1.95	8	3.25	8	4.67
9	-1.02	9	-0.17	9	0.84	9	2.00	9	3.29	9	4.72
16.0	-1.01	19.0	-0.14	22.0	0.87	25.0	2.03	28.0	3.34		
1	-0.98	1	-0.11	1	0.91	1	2.08	1	3.38		
2	-0.95	2	-0.09	2	0.95	2	2.12	2	3.43		
3	-0.92	3	-0.07	3	0.98	3	2.16	3	3.47		
4	-0.89	4	0.00	4	1.02	4	2.20	4	3.52		
5	-0.87	5	0.02	5	1.06	5	2.25	5	3.57		
6	-0.84	6	0.05	6	1.09	6	2.29	6	3.60		
7	-0.81	7	0.07	7	1.13	7	2.33	7	3.66		
8	-0.78	8	0.11	8	1.17	8	2.37	8	3.71		
9	-0.76	9	0.15	9	1.21	9	2.41	9	3.76		

土色酸鹼度與石灰性之簡易檢定法

黃 明 輝

一、土色的鑑定

土色爲土壤重要特徵之一，瞭解土色的成因，可推測土壤有機物含量，排水狀況及通氣情形，提供土壤分類與土壤管理的基本資料。

(一)顏色的描述方法：

所有顏色 (Color) 能利用三種特性描述之，即色相 (Hue)、明度 (Value)、彩度 (Chroma)。色相是指光譜而言，如紅、黃、綠、藍等。明度指顏色的明暗程度。彩度是指光譜顏色的純度或強度。

色相有五種主色，紅 (R)、黃 (Y)、綠 (G)、藍 (B)、紫 (P)，和五種輔助色，橙 (YR)、黃綠 (GY)、藍綠 (BG)、藍紫 (PB)、紅紫 (RP)，每種主輔色各分爲 0 - 10 十個等級，故全部色相從 R 至 RP 可分爲 100 種。

明度由黑 (0) 至白 (10)，數目愈大愈明亮，其表示法爲 1.7 / , 2 / , 3 / , 4 / , 5 / , 6 / , 7 / , 8 / 等。

彩度之鮮艷程度是按 0 (無色彩)，1、2、3 之順序漸漸增強，其表示法爲 / 0 , / 1 , / 2 , / 3 , / 4 , / 6 , / 8 等。

一種顏色的描述順序依次爲色相、明度和彩度。例如一個顏色的色相 7.5 R，明度 6 /，彩度 / 4，則記錄爲 7.5 R 6 / 4。

(二)土色的名稱：

土色的變異很大，一般顏色的名稱不易表示色調上些微的差異，Munsell 顏色的符號 (Munsell color notation) 對於可能出現的顏色有系統的描述，通常在土色後添加 Munsell 顏色符號，可提高土色描述的可靠性，並可避免人爲的差異。

棕色 (Brown color) 是土色中最常出現的顏色，從統計上顯示土壤底層的土色最常分佈的區域是以 7.5 YR 4 / 4 - 6 或 10 YR 4 / 4 - 6 爲中心之範圍，以棕色爲標準時，顏色更紅的 (5 YR , 2.5 YR) 稱爲紅棕色 (Reddish brown)，顏色以黃色爲主或較棕色淺的稱爲黃棕色 (Yellowish brown)。如果顏色的明度高於棕色的稱爲亮棕色 (Bright brown)，如果色彩鮮艷程度稍低的稱爲暗棕色 (Dull brown)，彩度更低的稱爲淺黑棕色 (Dark brown)，明度更低的稱爲黑棕色 (Blackish brown)。

(三)土壤色帖的使用方法：

本檢定乃利用日本農林省出版之標準土色帖爲依據，使用前必須充分瞭解每頁色帖中所描述色相 (Hue)、明度 (Value)、彩度 (Chroma) 三方面逐漸變化的方向，才容易找到適合的土色。

1. 比色應在良好且等量光度下進行，並使土樣和色片盡量靠近，這是描述土色最重要的一點。在室內，樣品和色片二者放在窗戶旁邊，使光線自然地從側面 45 度角照射在樣品及色片上，並避免強烈直射的日光；同樣的，在陰暗的森林或樹蔭下，也要避免使光線成一直線的照射。

- 2 土色的描述乃檢定剛曝於空氣中土塊 (Soil clod) 表面之顏色或比較土樣經手指粉碎壓平後，平坦表面所現的顏色 (若用其他方法則須註明)。在壓平樣品時，手指必須乾淨。
- 3 土樣可放在指尖或濾紙上，緊靠色片比較，或將樣品放在土色測定盤上比色；後者最方便。
- 4 同一樣品須測定濕土及乾土二種土色，濕土是在土壤潤濕後，當水膜消失即讀出土色。乾土是使用風乾的土壤。
- 5 爲使比色精確，方形紙罩必須罩住色片的四周以利比色。黑色紙罩用於顏色暗的樣品，白色紙罩用於淺色的樣品。
- 6 樣品顏色很少完全與色片符合。只能以最相似顏色表示，然後清楚地描述二者之差異。若色相位於 2.5 Y 和 5 Y 之間，可以 3.75 Y 表示之；若明度位於 3 和 4 之間，則以 3.5 表示之；又若彩度在 2 和 3 之間，以 2.5 表示。只用小數表示，不可用分數表示。
- 7 當土色的彩度低於 1 時，色帖所付之無彩色片放在土樣左邊比較測定之。
- 8 當樣品的顏色不均一時，大面積的顏色及小面積的顏色均須描述，若土樣中含有極小面積的斑點，由於顏色判定困難，只記錄土樣之土色。
- 9 砂質土壤之顏色時常變化，對土色的描述而言砂粒本身顏色並不重要，重要者乃包住砂粒上被覆層的顏色。
- 10 當樣品的彩度低或帶灰色時，必須小心判斷較接近那一種色相，YR 或 G 或 B，例如 N7/ (YR)。
- 11 同樣地，明度低的樣品亦須細心校對，是否稍微帶紅色或藍色。
- 12 同一土樣，其濕土和乾土在顏色上有差別。色相差別時常在 2.5 以內，即在色帖的同一頁上，濕土的明度很少高於乾土。濕土的彩度一般相同或稍微高於 (至多一級) 乾土。
- 13 除非必要，否則土壤色帖不可以長期直接曝露在日光下。
- 14 當色片有污點時，可以用乾淨的濕布輕輕擦拭乾淨，但忌用任何稀釋溶劑。
- 15 一特別色片 7.5 YR 8/8 包裹在黑紙片內，每年用此色片檢查色帖上相同之色片一次。
- 16 有※符號之色片有較寬的容許範圍，例如，明度 1.7 / 表示在 2 / - 1.5 之間的明度。

三 土壤酸鹼性 (pH) 之檢定

土壤 pH 的高低，可影響土壤中植物營養素的有效性與微生物的活動，是土壤非常重要的特性之一；普通在室內多用玻璃電極法測定之，但在田間多用簡易的比色法檢定。

比色法之原理乃利用酸鹼指示劑 (pH indicator) 與試液中不同濃度氫離子發生作用而呈現各種顏色，再以所呈顏色與標準 pH 比色表比較決定其 pH 值。茲介紹本法所需用之器材及手續如下：

(一)器材：白色瓷盤、牛角匙、標準 pH 比色表。

(二)試劑：

1. 溴甲酚綠 (Bromocresol green, BCG)：

稱 100 mg 溴甲酚綠於瑪瑙研鉢中，加 1.5 ml 之 0.1 N NaOH 混合研細，直至指示劑完全溶解爲止，加水稀釋至 250 ml，並用 0.1 N NaOH 或 0.1 N HCl，以 pH 計調至 pH 4.6，加氯仿 (Chloroform) 五滴保存之，其適用範圍爲 pH 3.6 - 6.0，其變色範圍

為黃—綠—藍。

2. 溴麝香草酚藍 (Bromothymol blue, B T B) :

稱 100 mg 試藥於瑪瑙研鉢中，加 1.75 ml 之 0.1 N NaOH，研細至試藥溶解為止，稀釋至 250 ml，並調至 pH 6.9，加氯仿五滴保存之；其適用範圍為 pH 5.8 — 8.2，其變色範圍為黃—綠—藍。

(三)方法：

1. 用牛角匙取少許土壤置於瓷盤之半月形凹處。
2. 加 2—3 滴 BCG。(注意：加入指示劑要適量，太少不易見其反應色，太多則 BCG 本身顏色會掩蓋反應色。)
3. 搖動瓷盤使土壤和指示劑充分混合。
4. 在一分鐘後，傾斜白磁盤，以玻棒或小匙引出一些指示液，以此液顏色與標準 pH 比色表中的 BCG 色譜比較，決定其 pH 值。
5. 如 BCG 色譜中，無一色與反應色相同，或反應色與色譜兩端顏色相近，不能確定其 pH 值時，改用 BTB 指示劑依上法試之，直到獲得結果為止。注意使用 BTB 指示劑時，須與標準 pH 比色表的 BTB 色譜比較之。
6. 本法所列兩種指示劑的 pH 變異範圍為 pH 3.6 — 8.2 若供試土壤之 pH 超出該範圍時，以 $\text{pH } 3.6$ 或 $\text{pH } 8.2$ 表示記載之。

三 土壤石灰性之檢定

石灰性土壤與酸性土壤，兩者性質懸殊，肉眼不易區別，有加以檢定的必要；檢定石灰性土壤時，可滴加 HCl 溶液於供試土樣，如有氣泡發生，即為石灰性土壤 (Calcareous)，如肉眼不見氣泡，可用耳聞有無小泡破裂之聲音，若無，即屬非石灰性土壤。如土壤內含石灰結核者，則可看到由結核所發生之氣泡，因為石灰性土壤多含有石灰 (CaCO_3)，與鹽酸 (HCl) 接觸後起化學反應，放出二氧化碳 (CO_2) 而產生氣泡。

(一)器材：牛角匙、白色瓷盤。

(二)試劑：6 N HCl。取 50 ml 濃鹽酸，以蒸餾水稀釋至 100 ml。

(三)方法：(半定量)

1. 用牛角匙取少許土壤置於瓷盤上。
2. 逐滴加蒸餾水於土壤。
3. 加 1 至數滴 6 N HCl 溶液於土壤，觀察氣泡發生的情形。
4. 氣泡產生程度與 CaCO_3 含量關係約略如下：

氣 泡		CaCO_3 %
沒 有	(—)	0
模糊—輕微	(±)	2
明 顯	(+ +)	2 — 5
激 烈	(+ + +)	5 — 20
極 激 烈	(+ + + +)	> 20

參 考 資 料

1. Black, C. A. (Ed.) 1965 Methods of Soil Analysis, Part 2. pp.924-925. Number 9 in the series of Agronomy, American Society of Agronomy and American Society for Testing and Materials.
2. Jackson, M. L. 1958 Soil Chemical Analysis.
3. Oyama, M., & H. Takehara. 1967 Revised Standard Soil Color Charts. Tokyo, Japan.
4. Soil Institute of Iran. 1968 Methods for Routine Analysis of Soil and Water. Technical Bulletin No. 7. Tehran, Iran.

土壤測定結果的解釋與施肥推薦

蘇 楠 榮

一、引 言

用化學方法測定土壤，目的在於診斷土壤的肥力情形，以便根據診斷結果作施肥推薦。本來應就個別農田進行田間肥料試驗，直接測定作物的肥料效應，始能作正確的施肥推薦，但實際上不可能辦理那麼多的田間試驗，祇能以簡速的化學法來代替，這就是土壤肥力的化學測定，簡稱「土壤測定」(Soil test)或「土壤速測」(Quick test)。

雖化學測定所得數值有高低，但如無解釋，便不知高到何種程度才算足夠(高)，低到多少應算缺乏(低)或很缺乏，自然亦不知測定值多少時應施用多少肥料。為明瞭如何解釋測定值，必須先由土壤肥力工作人員進行所謂「土壤測定的校準」或「土壤測定值與施肥效應的相關研究」。這是用田間肥料試驗校準土壤測定值的工作，可說用土壤肥力的直接測定法校準間接測定法。

雖土壤測定經過校準研究後，可以解釋測定值的意義，但田間有很多干擾因子，影響土壤肥力或肥料效果的發揮，因此這些因子也要了解，才能做正確的應用。

二、土壤測定的校準

(一)校準的理論：

土壤測定的校準(Soil test calibration 或 Soil test evaluation)，第一項工作是不同測定法的比較評估，這是評估測定值能否反映土壤的真正肥力情形；如測定值是有效性磷，就是要看它是否能反映土壤磷素肥力的真正情形。土壤的真正肥力，可以用肥料試驗的無肥區產量百分率來表示，例如土壤磷素肥力，可以用磷肥試驗的無磷區產量百分率表示，其算法是無磷區產量用施磷區(各要素齊全區)產量來除，再乘以100。這時的施磷區產量，應選用磷肥用量最適當的最高產量區的產量，而不一定用磷肥用量最多區的產量。土壤中有足夠或接近足夠的磷素供應時，無磷區產量百分率可以達到100或接近100。有時產量百分率超過100，這是施用磷肥引起減產的情形。無磷區產量百分率愈低表示土壤愈缺乏有效的磷，需要施用愈多量磷肥加以補充；產量百分率愈高表示需要的肥料愈少。

如測定值高的土壤，其無肥區產量百分率亦高，而測定值低的土壤其無肥區產量百分率亦低，則表示測定值可以反映土壤的真正肥力情形，因而可以斷定所用的測定法有應用價值。但如測定值的高低與無肥區產量百分率的高低之間並無相關存在，便知道該測定法不好，至少不適於在本地區使用。

土壤測定校準的第二項工作是查出「缺乏臨界值」(簡稱臨界值 Critical value , Critical level ; 或臨界濃度 Critical concentration)，這是缺乏與不缺乏的界限值；測定值在此值以下時，不施肥會減產，在此值以上時施肥與不施肥的產量差異很小。換言之，臨界值即無肥區產量百分率相當接近100%(例如96—98%)時的測定值。當測定值已達此值或超過此值時，施肥效果太小，不經濟，可以不施肥(以上述磷的例子，可以不施磷肥)，如果施用，也祇施用少量，測定值比臨界值愈低，缺乏愈大，需要的肥料愈多。

臨界值究竟採用產量百分率多少為標準，可斟酌收穫物與肥料價格加以決定，一般以 96 % - 98 % 為適當。在農業生產水準尚低的國家，本來施肥很少，而且肥料貴，產品便宜，往往採用較低標準，甚至採用 90 % 產量作為決定臨界值的標準。本省亦有用 95 % 或 90 % 產量做標準的例子，但採用太低標準，應用起來將限制生產潛力的發展，不符合集約生產的要求。

土壤測定校準的第三項工作是測定值的分級與設定各分級的施肥推薦量。臨界值以上，屬於施肥無效的測定值，可歸級為「高」，其施肥推薦量是零至少量（安全量）。臨界值以下，可依產量百分率的高低，將測定值分級為「中」、「低」及「極低」三級，其各級的要素缺乏程度依序是輕、中及重，因此肥料推薦量應該是少量、中量及多量。

(二)校準的方法：

為評估各種測定法，以便從其中選擇適當的測定法，不一定要用田間試驗來校準，用盆栽試驗亦可，但為確定臨界值，必須進行田間試驗，因為盆栽土壤量太少，所求得臨界值常偏高。

1. 測定法的評估及選擇

用田間試驗校準土壤測定值時，如包括氣候土壤變化很大的區域（例如整個臺灣或臺灣西部），最好在 100 處以上的地點舉行田間試驗。如祇研究氣候土壤變化較小的範圍（例如在濁水平原或在桃園紅壤臺地），則 20 處可以足夠。選擇試驗土壤，應注意其測定值的分佈盡量廣汎而均勻。

肥料試驗處理，對每一要素應設 0，1，2 三級或以上的用量。計算無肥區產量百分率，應以有肥處理中最高產量作為 100，有了 20 對以上的土壤測定值與無肥區產量百分率，便可進行校準，即一般所謂肥效與土壤測定值間相關的研究。（肥效與無肥區產量百分率本質相同，祇是表示方法倒反，前者大就是後者小。）

臺灣土壤測定值校準研究做得很多，其中農試所及糖研所的工作所佔比率最大。在此選用較單純的例子，即高雄區農業改良場鄭榮賢氏在水稻土壤速測應用示範計劃下，就高屏地區粘板岩沖積土（部份有砂頁岩沖積土）舉辦土壤有效鉀校準的結果，做為教材，示於圖 1。該圖的無鉀區產量百分率計算法是以最高產量為 100，與原報告用最高鉀肥用量區的產量作為 100 者不同，原報告的相關係數較低，修改後計算的相關係數已提高為 0.897，回歸曲線亦有改變，另外加了臨界值的尋求。

該圖中有 19 個點，表示 19 處的試驗。其無鉀區產量百分率（ y ）與 Mehlich 氏法有效鉀含量（ x ）間的關係是一種曲線關係，而且很像半對數曲線，因此試算 y 對 $\log x$ 的回歸的結果，得到如圖上所附的半對數回歸方程式。根據這個方程式劃出的回歸曲線，就是圖上的曲線。這條曲線的走向與實際試驗值（19 個點）的分佈情形很符合，可以說曲線很有代表性。又 y 與 $\log x$ 的相關係數很高，在統計上亦達極顯著水準，因此可以斷定所用 Mehlich 氏有效鉀測定法相當不錯，可以真正分出稻田鉀素肥力的高低。

2. 臨界值的尋求

從圖 1 虛線部份，可以明瞭，為了不施鉀肥而尚能獲得施用鉀肥最高產量的 98 % 產量，土壤有效鉀需要 55 ppm，如換算為氧化鉀，再換算為每公頃含量，等於 165 公斤。這就是以獲得 98 % 產量為目標的臨界值。如以 97 % 產量為目標，則臨界值變為 50 ppm

K 或 150 公斤／公頃的 K_2O 。

圖 1 的例子是將回歸趨勢看成 $y = a + b \log x$ 的模型，但有的試驗資料，採用直線回歸型 $y = a + bx$ ，或 Mitscherlich 氏報酬遞減律模型 $\log(100 - y) = \log 100 - bx$ 較能符合實際。有時採用北卡羅來納大學 Kate 與 Nelson 兩氏的不連續模型 (Discontinuous model) 的作法，以判定臨界值，不需要任何計算，不但簡單迅速，而

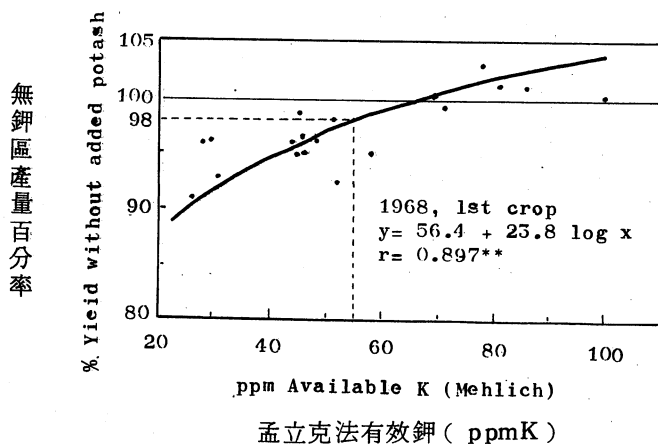


圖 1 高屏地區粘板岩及砂頁岩沖積土有效鉀含量與水稻鉀肥效應間之相關 (57年一期, 鄭榮賢)

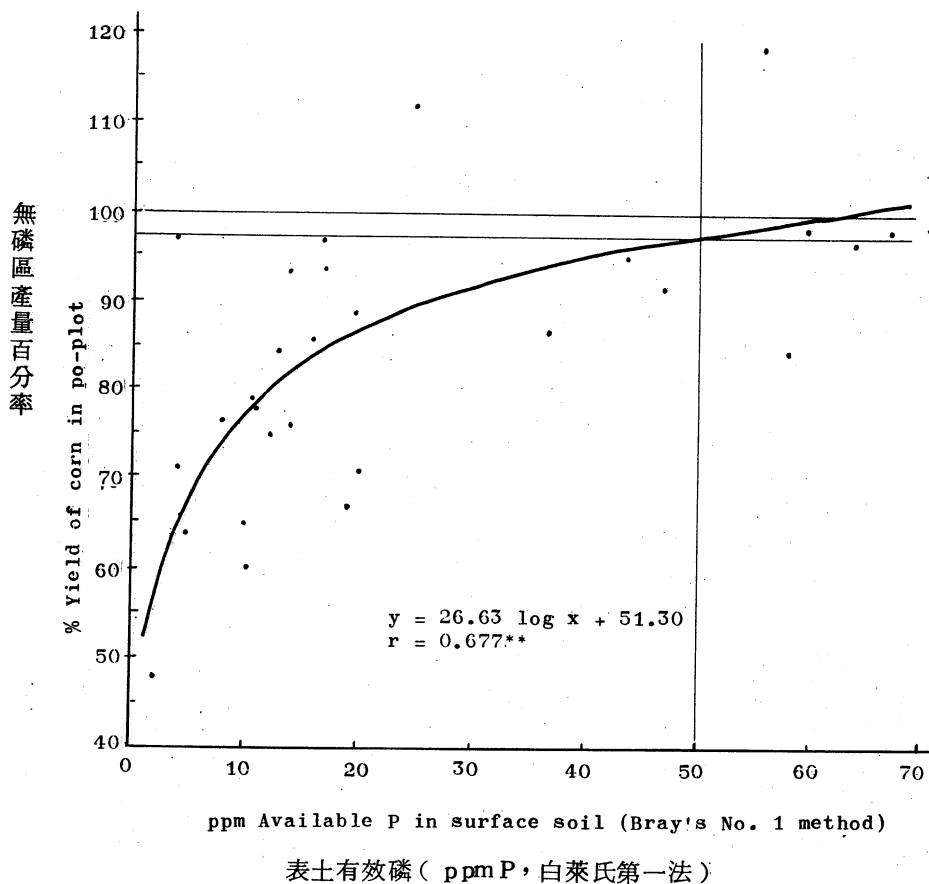


圖 2 玉米對磷肥之效應與土壤有效磷含量間之關係 (林家棻, 1970)

且正確，非常理想。圖 2 是引用林家棻氏 59 年發表的玉米田土壤有效磷校準研究有關報告中的相關圖（中華農學會報新 69 期 19 頁），改為使用 Kate-Nelson 不連續模型的方法，求得臨界值的情形。此法的要領是用兩條直交而各與 XY 軸平行的直線，將圖上的點劃分為四區，並使左上方與右下方兩區中的點數儘量少。以此法求得的臨界值是 50 ppm P，等於 290 kg/ha 左右的 P_2O_5 ；這時不施磷肥可以收最高產量的約 97.5%。如依據林氏原來所用的半對數方程式 $y = 26.63 \log x + 51.30$ ，計算 97% 產量所需有效磷，便得 52 ppm；用 96% 產量計算，便得 48 ppm。

3. 測定值與施肥推薦量的分級

圖 2 的臨界值為 50 ppm P（約 290 kg/ha 的 P_2O_5 ），因此大於 50 ppm 的有效磷含量應分級為「高」。有效磷在 30 - 50 ppm 之間，無磷產量百分率不高不低，磷素肥力應評為「中」。15 - 30 ppm 時，產量百分率平均較低，應分級為「低」。15 ppm 以下，產量百分率都很低，應分級為「極低」。理論上肥力愈低，需要肥料便愈多。至於實際需要多少，最好選臨界值以下各級的代表土壤各一、二個，進行比較詳細的肥料適量試驗。表 1 是此種適量試驗的很好例子。但為節省經費人力，可以祇選測定值極低的土壤兩處進行試驗，以其所得經濟施肥量作為「極低」級的推薦，「低」及「中」兩級的測定值，則推薦其 $\frac{1}{2}$ 及 $\frac{1}{3}$ 量，應無太大錯誤。又測定值的分級，不一定做等距劃分，常需根據相關圖上各點的分佈情況，做不等距的分級。

表 1 美國田納西州高臺試驗場土壤鉀素不同含量級的玉米鉀肥適量與施用法試驗結果
（產量 bushel / 英畝）

處 理	土 壤 鉀 測 定 值			
	極 低	低	中	高
0	59	122	136	152
K_2O 量 30	95	143	158	158
(磅 / 英畝) 60	128	143	153	153
90	138	159	162	154
撒 施	89	137	154	158
條 施	112	146	150	151

三、土壤測定的解釋及應用

簡單說，「土壤測定的解釋」就是要解釋所測數值究竟屬於高、或中、或低、或極低（分三級或五級亦可）。經過肥力工作人員的校準後，標準已有，便可以解釋，至於「應用」，就是把解釋的結果應用於施肥或改良。有了不同測定值分級的施肥適量試驗的資料，便可以根據測定值解釋的結果（高、中、低、極低等），進行施肥量的推薦，這就是「應用」。但如環境條件、品種、栽培管理等與一般情形不同，而不同到足以影響土壤肥力及肥料效果的發揮程度，便需要用和一般不同的解釋標準，應用的標準自然亦變。下面說明這些問題，以便在土壤測定結果的解釋應用時，作斟酌調節的參考。

四 影響土壤測定值解釋法的因子

下列各因子，可以影響土壤「有效養分」的真正有效程度而改變肥料需要量；或直接影響作物生理及生產潛力而改變肥料需要量，因此應在土壤測定值的解釋應用時，根據這些因子作適當的調節。

(一) 品種特性及生產力

品種的產量水準愈高，通常需要吸收的養分量亦愈多，所以對產量高的品種而言，其土壤有效養分的臨界值可能較一般品種為高，施肥推薦量亦可能要較多。（例如半矮性多蘗秈稻品種的氮肥需要量，顯然高於一般梗稻品種。）但如該品種的吸收力或養分利用率較佳，情形又不相同。例如據臺中區農業改良場 67 與 68 年試驗，雜交高粱臺中 5 號的產量比臺中 3 號顯然為高，但其氮、磷、鉀需要量都比臺中 3 號低。又國際稻米研究所選拔的品種中，有若干抗缺鋅的品種，在一般認為有效鋅含量不夠的土壤種植，亦可以有相當程度的生產。

(二) 生產潛力

同一品種，如氣候、土壤環境或人為管理技術的差異使生產潛力有明顯的差異時，作物的養分需求量亦會相差很多，自然肥料需要量亦改變。例如連深氏利用 64 年一期全省水稻高產施肥示範區進行研究時，發現在生產潛力特高的高屏地區，稻株所需的矽酸濃度較一般為高。又二期水稻生產潛力比一期作低，所以二期稻的氮肥需要量也較低。

(三) 氣候

1. 溫度：在適當高溫下，土壤要素的有效度提高，根的生長速度快，根的吸收機能亦高，因此作物吸收土壤要素的效率高，需要的肥料因而較少。在低溫下，情況恰為相反。這種情形在各種要素中，以磷的場合最為明顯，因為磷的吸收在初期最為重要，生長初期的溫度對磷肥的需求影響最大。日本北海道的水稻，在寒災的年度，施用磷肥的效果非常大，普通年度較小。臺灣一期稻的磷效大於二期稻者（也有倒反的例子）；如土壤有效磷的含量相似，一期作所需磷肥較二期作多。不過，二期作水稻需要磷肥較少，並非根的機能強的關係，而是因為在高溫下水田有機質的分解快，引起較強的還原狀態，使土壤磷的可溶性大為提高。

旱作方面，溫度影響磷有效性的情形，頗為普遍，例如玉米夏作的磷肥效果小，秋作大，而同樣秋作，晚種的磷效較大，表示臨界值較高，同一有效磷含量的真正有效程度隨溫度降低而降低，這種情形，在數年前新港鄉旱作推廣工作中，亦已得到實際經驗。日本鹿兒島大隅地區的高粱在 Truog 法有效磷酐 30 ppm 的土壤無法正常發育（芋頭可以），100 ppm 才能不缺磷，但 30 ppm 的土壤，於青割高粱後在高溫下重播高粱時，發現不缺磷了。臺灣鳳梨一般土壤交換性鉀的臨界值是 140 ppm K，但在霜害年度，對鉀的需求提高，在臨界值附近的土壤，施鉀效果亦甚明顯（因為無鉀區不耐霜的關係）。另外甘藷、大豆的夏作需氮量均低於秋作，這是高溫下土壤有機質的分解較快，可以供給較多氮素的關係。

2. 雨量（水分）：水分足夠時，土壤要素的溶解、流動及擴散較多，容易被作物利用，因此土壤要素的含量不必太高，但乾旱時測定值要高，才能足夠。水分條件特別好的年度磷肥的效果會較差，其原因在此。

3. 日照：日照不足時，光合作用受阻，澱粉在細胞內的聚積減少，這會使作物對氮肥需要量降

低，但提高鉀的需要量。雨量少（實際上是日照多之意）的年度，氮的需要量增加，日照最好的年度，比最差的年度，作物的需氮量有增加高達一半的例子，當然產量也增加很多。作物的需氮程度，在葉色的黃化程度上有正確的表現，而且比葉片含氮量所能表示的更為正確。

(四) 土壤物理性

1. 新墾地：林地新墾為果園或旱田，土壤疏鬆，滲透性好，保水性佳，根的伸長旺盛，吸收容易，臨界值較一般土壤為低。
2. 緊密度：土壤因在水分多時耕耘，或因使用重型農機的關係而破壞構造，變為緊密時，鉀的吸收利用大為減少，土壤鉀素的臨界值提高。這種土壤的鉀肥需要量顯然較有效鉀測定值相同的一般土壤為多。
3. 排水不良：各要素均受排水不良的影響而減少吸收率，其中以鉀所受的影響最大，因此在有效鉀測定值相同的情況下，排水不良水田應較一般水田增施鉀肥，同時鉀肥的效果亦較為明顯。鋅的有效性，在排水不良時亦降低，雖有效鋅含量不低，仍然會發生缺鋅症。
4. 質地：在測定值相同的情況下，質地愈粘，N，P，K，Zn等的真正有效性均愈低。愈砂，則有效性愈高，因此粘質土壤的施肥量要較砂質土壤增加。這點在施用石灰矯正酸性時亦相同。但在整個土壤剖面均為砂質的情況下，因為水的淋洗快，氮的損失多，氮肥需要量增加。
5. 水分：石灰質土壤的水稻缺鐵黃化症在缺乏水分時容易發生，在浸水情況下則發生較少。在銅過多的土壤（我國農技團曾在宏都拉斯遇到）用旱田直播法栽培水稻，會發生嚴重的銅害（黃化），但採用浸水碎土整地法，可以避免或大為減輕。

(五) 土壤化學性

1. CEC：如有效養分測定值相似，CEC較大的土壤需要較多肥料，臨界值亦較高。質地粘的，CEC亦大，但粘土礦物種類有關，同樣質地，安山岩質的土壤（淡水一帶，東部海岸山脈兩側等）的CEC顯然較其他土類為大。
2. 土壤還原及碳酸：水稻二期作，初期生長在高溫、有機分解旺盛而且地下水位昇高的情況下，土壤還原強，土壤溶液中 HCO_3^- 及 Fe^{2+} 離子很多，甚至產生 H_2S ，這些都顯著影響K，Zn等的吸收。台灣過去試驗顯示二期作鉀肥效應平均較一期作為高，其原因可能在此。又彰化雲林有部份稻田在二期作發生缺鋅，但一期作不發生，亦屬同樣情形，如從生育前期開始進行排水晒田，這些不甚嚴重的缺鋅可以防治。
3. pH：酸性強時，有效態Mo要多，但在中性以上的pH下，祇要其幾分之一，即可足夠。有效態Mn，Zn，Fe，Cu及B等，在高pH下所需的含量比低pH下為高。
4. 緩效態養分：在相似的Mehlich有效鉀含量下比較，紅壤的水稻鉀肥效應顯然大於粘板岩沖積土。這是紅壤的非交換性鉀含量較粘板岩土壤低很多的關係。砂頁岩沖積土介於兩種土類之間。
5. 要素間的拮抗：
 - (1) 土壤中 CaCO_3 及P太多時，Fe，Zn缺乏症容易發生。
 - (2) 同樣的有效磷含量，如土壤中Al太多（酸性太強），可使有效磷的真正有效度降低，而使馬鈴薯的無磷區產量百分率降低（即施磷效果提高），有效磷的臨界值亦提高（北

卡羅來納大學 1973 報告)。

- (3) B / Ca 之間及 Mn / Fe 之間都有拮抗作用，因此一要素的有效性高時，另一要素亦應高，否則引起缺乏。
- (4) 對鳳梨等作物，陽離子間似有生理上互相補充的作用，在 Mg / K 比大的土壤，其交換性鉀的臨界值較 Mg / K 比小的土壤為低。
6. 新轉種水稻之紅壤：在有效磷測定值相同的情況下，紅壤茶園新轉作水田的磷肥需要量較老水田為多（陳春泉，60 年報告）。這顯示其土壤有效磷的化合形態屬於較難利用的形態。
7. 鹽分地：鹽分地磷肥效果高於一般土壤，而水稻鉀肥效果則較一般為低，可能臨界值與一般土壤不同。

(六) 栽培管理

1. 覆蓋及燒稻草：覆蓋稻草或其他有機材料，施用堆肥，或燒稻草時，不但添加其中所含的鉀，而且在腐爛時生成的有機酸以及燃燒時的高溫脫水作用，會增加非交換性鉀的釋放，在這些處理以前測定的有效鉀數值已經不能代表實際情形，鉀肥用量應較根據測定值推薦的用量減少。
2. 不整地栽培：因土壤沒有擾動，有機質的分解較整地栽培少，氮的礦化量因而較少，氮肥用量要增加。
3. 病蟲害管理：稻熱病猖獗地區或年度，或防治不好的稻田，土壤有效矽酸的臨界值提高（水稻需要更多矽酸才能抗病）。但病蟲害使作物的氮需求量降低，例如稻熱病發生多的近山地區稻田的需氮量少。生理病對氮需求的影響亦相同。
4. 連作障礙：因連作多年，產量降低時，對要素的需求量也減少。連作低產問題，如從養分缺乏方面進行研究，多半會落空。

五、台灣主要作物的土壤測定值分級與肥料推薦量

台灣過去舉行的土壤測定法及其解釋的研究很多，雖然還有不滿意與不完全的地方（尤其石灰質土壤的磷有效指數的測定，還沒有成功），但大致可以應用於主要作物的土壤肥力診斷服務及施肥指導。

(一) 磷鉀測定值與施肥量

主要作物的土壤有效磷、鉀分級及各級的磷、鉀肥推薦量，均已列於農林廳 65 年 4 月修訂編印的「作物施肥手冊」中，本文不予轉載，請各區改良場作土壤肥力診斷服務時，參考該手冊，如知道土壤樣本來源的農田有和一般不同的特殊條件，均應根據前述「影響土壤測定值解釋法的因子」的各項內容，靈活修正施肥推薦量。

手冊中根據土壤有效態磷、鉀含量分級推薦施肥量的作物，有水稻、甘藷、玉米及甘蔗。祇做磷肥分級推薦的作物為小麥。祇做鉀肥分級推薦的作物，有大豆、小麥及鳳梨。其他資料欠缺，是因為沒有做過研究或沒有找到可以採用的測定法，磷對豆類為重要要素，但在大豆的土壤磷校準研究中，發現五種測定法中測定值與植物體磷濃度有相關的祇有白萊氏第一法，但該法測定值與田間施磷效果之間缺乏相關，無法作土壤磷的分級。由於玉米的需磷量與豆類相近，如在診斷服務的樣本中，有需要為豆類做推薦者，建議暫時試用玉米的標準。

又手冊上各作物所用測定法不同，這是因為試驗結果顯示各種作物最適當的測定法不相同的關係，如勉強採用統一的測定法，將影響推薦的可靠性。如將來能找到適合各種作物各種土壤的新測定法，當然最為理想。施肥手冊上各推薦表的有效磷數值，水稻、玉米及甘藷三作物採用白萊氏第一法的測定值，甘蔗用糖研所的「修正白萊氏第一法（土／液比改為 1／50），小麥用白萊氏第二法。有效鉀，水稻及玉米用孟立克法，甘藷、小麥及大豆用歐洲的葉格諾氏（Egner）法，甘蔗及鳳梨用交換性鉀法。

施肥手冊中的土壤測定值單位，大部份採用每公頃磷酐或氧化鉀的公斤數。但小麥的測定值採用每公頃有效磷及有效鉀公斤數，為將磷的公斤數換算為磷酐公斤數，應乘以 2.3，鉀公斤數換算為氧化鉀公斤數，應乘以 1.2。大豆的鉀肥推薦表測定值分級有誤算應予修正（小於 38，應改為小於 45；39—88，應改為 46—105；大於 88，應改為 105），同時應注意這不是白萊第一法測定值而是葉格諾法。

又甘蔗的測定值採用「可溶提磷素」及交換性鉀的 ppm 數。為了將磷 ppm 換算為磷酐公斤／公頃，應乘以 5.7；鉀 ppm 換算為氧化鉀公斤／公頃，應乘以 3.0。不同測定法的測定值相差很多，不能互相代用。例如不能以白萊一法磷測定值充用於白萊第二法的分級推薦表，或以孟立克鉀測定值充用於葉格諾法的分級推薦表。但農林廳系統的土壤測定，祇用白萊一法磷及孟立克法鉀，因此下面稍加說明此兩法和其他方法的測定值間的平均的關係，以便於解釋時，供非常勉強的參考。

1. 小麥土壤的白萊第二法 P_2O_5 kg/ha，先減 22，再用 2.08 除之，便相當於白萊第一法 P_2O_5 kg/ha。（在台中砂頁岩沖積土及紅壤適用）。
2. 小麥土壤葉格諾法 K_2O kg/ha，先減 29，再用 0.8 除之，便得孟立克 K_2O kg/ha。
3. 嘉義縣甘藷土壤的葉格諾法 K_2O kg/ha，先減 19，再以 0.42 除之，便相當於交換性 K_2O kg/ha；交換性 K_2O 的 60—90% 相當於孟立克 K_2O 。
4. 屏東縣大豆土壤的葉格諾法 K_2O kg/ha，先乘 1.35，再扣 17，便相當於孟立克 K_2O kg/ha。
5. 孟立克鉀在屏東土壤平均為交換性鉀的 91%，在紅壤似為 50—60%（前者根據王銀波氏 64 年報告，後者根據王接皇、曾憲鼎兩氏 51 年報告）。
6. 修正白萊氏第一法磷較白萊第一法磷有時高很多倍，不易比較。

(二) 土壤測定與氮肥推薦量

在盆栽試驗的均一環境下作校準試驗時，通常會發現無論土壤有機質，全氮或可水解氮的含量，均與無氮區產量百分率或作物的氮吸收量有極顯著的相關。林家堯氏對水稻土壤的研究顯示這個事實，林氏後來亦證明在浸水保溫處理下，從土壤釋放的氮（稱為可礦化氮）與無氮區產量百分率以及氮吸收量之間的關係更為密切。事實上上述各種測定值都是相當理想的土壤氮素有效性的指數，其中以有機質的測定最為方便。

但在變化多端的田間情況下，氮肥效果的大小或氮肥需要量與任何氮素有效性指數之間，均無密切的關係存在。因此儘管土壤氮素有效性的研究很多，但世界上很少看到使用土壤氮素有關的測定值，作為氮肥推薦的依據。這是因為土壤氮的釋放（有效化）受溫度、水分、土壤 pH、質地、滲透性、耕耘程度、晒田等等，環境與人為因子的影響太大，加上作物本身對氮素的需求亦受氣候（尤其日照）、品種、栽培技術、病蟲害等等因素的影響，所以不

能用實驗室測定的氮素肥力去估計田間實地氮肥需要量。

如在作物生長期間能經常分析田間土壤，或正確預測在土壤樣本所屬農田的當期作不同生育階段的各種環境及人為條件，再在實驗室仿照這些條件，進行氮素礦化的測定，應該可以正確地估計田間實際氮素供應情形，但這種做法不可能應用在土壤測定服務。

農林廳施肥手冊的水稻氮肥推薦量是根據過去許多地方試驗結果，再經示範推廣的經驗，修正而得，並依稻型、地區、期作、栽培方式（機插、手插或直播）及滲漏程度等的不同而分。實際上同一地區內的變化還是很大，各區改良場人員在區內推薦氮肥用量時，通常需要參考當地農家施肥經驗，再做調整。至於土壤測定的應用，有機質的含量（如改為可礦化氮亦同）多半不能做氮肥量估計的依據，祇在同一地點附近有有機質高低差異大時，才做調節施氮量的參考。

依台中場施肥示範推廣資料的統計及高雄場羅瑞生氏在四種完全不同土壤所舉辦的試驗，土壤 pH 與氮肥適量之間有密切關係。中部強酸性稻田的公頃氮素適量，約為一期作 100 公斤，二期作 80 公斤；微酸性到中性的土壤，一期作約需 120 公斤，二期作 100 公斤；鹼性土壤，一期作 160 公斤或更多，二期作 120 公斤或更多。高雄路竹的鹼性土壤（鹽分地），氮需要量亦高達 190 公斤以上。

土壤 pH 與氮需要量間有明顯關係存在的理由，可能是：

- (1) 強酸性土壤肥力低，產量水準低，需氮較少。
- (2) 強酸性土壤浸水後 pH 昇高到中性附近，變化幅度大，此種變化會引起多量氮的釋放。
- (3) 鹼性土壤，其原有氮素及肥料氮素的揮發損失大。

雖然土壤氮或有機質的測定對估計氮肥需要量的幫助不大，但在實地施肥指導上，如以地區一般推薦量為基礎，根據農家過去施肥量的予修改，再於生長期間根據作物在葉色及生長態勢上所表現的氮素營養狀態，作靈活的中、後期氮肥量調節，便能獲得滿意的結果，這是各場同仁在過去施肥推廣及生產潛力測定工作中證明的事實。

(三) 矽酸及次微量要素測定值的解釋應用

早年連深氏的研究顯示有效 SiO_2 含量的臨界值為 40 ppm，當時作為臨界值判定的標準是 95 % 無矽區產量百分率，為獲得 100 % 產量所需 SiO_2 為 90 ppm，40 與 90 ppm 之間的土壤，施用含矽爐渣的增產率為 5 % 以下。但最近在各地區舉辦的爐渣示範與觀察區成績顯示增產率普遍較高，似與一般農家病害防治較差，使爐渣效果增加，以及目前生產水準與品種特性已與早年校準研究時（50 年左右）完全不同有關。在缺乏新校準資料之情況下，建議以連氏報告中產量達 100 % 時的有效 SiO_2 含量，即 90 ppm，視為臨界值，含量在 40—90 ppm 間推薦施用爐渣每公頃 2 公噸，40 ppm 以下推薦 3 公噸。

微量要素中台灣土壤有較普遍發生問題的要素是鋅。台東場曾在東海岸 30 點進行鋅效觀察，試求土壤鋅臨界值，但所用 0.1 N HCl 法測定值與鋅效（大部份都有效）大小之間沒有相關，似因其他因子干擾太大。該地區發生缺鋅的土壤，用此法測定值多在 3 ppm 以下，但 6 ppm 的仍然有發生。根據國際稻米研究所的報告，EDTA- $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 法有效鋅的臨界值為 0.6—1.6 ppm（田中、吉田，1973）。又 0.05 N HCl 法有效鋅的臨界值為 1 ppm（Ponnamperuma, 1979）。莊作權氏就甘蔗缺鋅地區土壤所作研究使用 0.1 N HCl 溶提法，所得臨界值為 12 ppm Zn（於收穫後採土）。北卡羅來納大學在南美紅壤地帶的玉

米試驗亦用 0.1 N HCl 法，但臨界值為 1.4 ppm，似可做酸性土壤玉米施鋅的參考。

最近農試所及各場合作舉辦的水稻胡麻葉枯病田肥力因子研究中，發現錳缺乏為花蓮台東地區及苗栗地區的發病因子之一。根據 Cox 與 Kamprath 1972 年的綜合報導，各作物各土壤的易還原性 Mn 的臨界值在 25 - 65 ppm 之間。

柑桔的缺鎂相當普遍，但易以肉眼辨認，其與土壤 Mg 的關係尚無研究，鳳梨園土壤的缺鎂亦有發生。有限的試驗資料顯示交換性鎂的臨界值為 60 ppm，含量不到此值，應施用硫酸鎂。

(四) 石灰需要量

旱田作物對土壤酸性較水稻為敏感（鳳梨、茶、馬鈴薯等為例外），應根據石灰需要量測定結果，或 pH 值，推薦適當的石灰施用量。如根據土壤 pH，做較粗放的推薦，可以參考前述「作物施肥手冊」中所列石灰施用量。該手冊中依 pH 分級推薦石灰用量者，有大豆、花生、小米及柑桔（柑桔祇訂 pH 5.5 以下要施用），均根據台灣有限的田間試驗結果而定。其中大豆及小米的推薦量，均以中等質地土壤為準，如質地偏砂質，應酌減用量，偏粘質時應酌增，因為質地較粘的土壤，其粘粒及有機質含量均較多，CEC 較大，雖 pH 值相同，亦需要較多石灰才能提高 pH 到所需水準。

蔬菜（尤其葉菜，如甘藍、萵苣、白菜等）石灰效果很大，山坡地玉米對石灰亦有很好的效應，一般豆科作物、蘆筍、各種果樹等，亦均厭惡酸性。這些作物雖在施肥手冊中沒有推薦石灰的施用，但如土壤 pH 在 5.5 以下，可暫時依照大豆的石灰推薦表，再斟酌質地的砂粘，加以合理推薦。甘蔗方面，台糖公司有很好的石灰推薦法，已應用多年。

石灰施用量不必求真正正確，但怕用量超過而引起鉬以外的微量要素的缺乏及土壤磷素有效度的降低等問題，因此寧可起先用量不要太多，以後每年看 pH 升高情形，靈活調節用量，使 pH 逐漸達到目標，較為安全。

參 考 資 料

- 台灣省政府農林廳 1976 作物施肥手冊
- 台灣省農業試驗所土壤肥力研究室 1967 台灣省農田肥力測定 台灣省農試所印
- 台灣省高雄區農業改良場 1968 稻田磷鉀速測應用示範報告 50 年 1 期作（油印）
- 台灣糖業公司 1979 糖業手冊第五章．貳．蔗田土壤肥力測定 pp.272 - 280
- 方英傑、王傳釗 1979 蔗田土壤非交換性鉀素之測定及其與甘蔗生長之關係 台灣糖業研究所研究彙報 86:21 - 40
- 李子純、許兩順、林慶喜 1978 土壤肥力與水稻胡麻葉枯病之關係研究 中華民國農學團體 67 年度聯合年會特刊：20 - 40
- 林家茶、張愛華、曾肇清 1970 土壤中不同形態磷含量與作物對於磷肥效應之關係 中華農學會報新 69:19 - 32
- 林家茶、張愛華、曾肇清 1973 台灣主要土壤含氮狀況與其供應情形 農業研究 22(3):186 - 203
- 陳春泉 1971 苗栗以北地區水田土壤肥力測定結果之研究 農業研究 20(1):21 - 39
- 莊作權、高銘木、張晉華 1975 施鋅對甘蔗增產及養分吸收之效果 糖業研究所研究彙報

68 : 1 - 16

黃宣鵬 1969 排水不良稻田鉀肥效應試驗 土壤肥料試驗成果報告 pp.109 - 120

省政府農林廳印

蘇楠榮 1966 環境因素與作物施鉀 土壤肥料通訊第187期

蘇楠榮 1969 台灣鳳梨之施肥與若干有關栽培因子之研究 台灣省土壤肥料學會英文特刊
第一號

- 1Bray, R. H. 1948. Correlation of soil test with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirement. In "Diagnostic techniques for soils and crops", pp.53-86. Amer. Potash Inst., Washington, D.C.
- 2Cate, R. B., Jr. and L. A. Nelson 1965 A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. Tech. Bull. No. 1, ISFEI Series, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA.
- 3Chapman, H. D. 1965. Diagnostic criteria for plants and soils. Published by H. D. Chapman, 830 South University Drive, Calif. USA.
- 4Cooke, G. W. 1970. The control of soil fertility, pp.282-306. Hafner Pub. Co., Darien, Conn., USA.
- 5International Rice Res. Inst. 1973. Annual Report for 1972.
- 6Ishizuka, Y. 1971. Physiology of the rice plant. In "Advances in agronomy", Vol. 23:241-315. Academic Press, Inc., New York.
- 7Lian, S. 1976. Silica fertilization of rice. In "The fertility of paddy soils and fertilizer applications for rice". ASPAC Food and Fert. Technol. Center, Taipei.
- 8Mortvedt, J. J. et al 1972. Micronutrients in Agriculture, pp.243-313 and pp.389-413. Soil Sci. Soc. Amer., Inc. Madison, Wis., USA.
- 9North Carolina State Univ. 1973. Agronomic-Economic research on tropical soils. Annual Report for 1975.
- 10Su, N. R. 1972. The fertility status of Taiwan soils. In "Soils of the ASPAC Region. Part 1. Taiwan". pp.16-95. ASPAC Food & Fert. Technol. Center, Taipei.
- 11Su, N. R. 1976. Potassium fertilization of rice. In "The fertility of paddy soils and fertilizer application for rice". ASPAC Food & Fertilizer Technol. Center, Taipei.
- 12Tseng, H. D. 1961. Fertilizers and manures of rice in Taiwan. In "Soils and fertilizer uses in Taiwan", JCRR Plant Industry Series No. 20.

作物營養診斷

植物樣本之採集調製與貯存

張 淑 賢

一、引 言

自十九世紀以來，許多學者均致力於利用植物分析與土壤速測以檢定作物之營養狀況與土壤肥力之研究。其中植物分析更常被用於多年生，深根性作物之營養診斷與施肥推薦。植物分析之基本論點即在於葉片為植物之同化器官，為控制植物營養之主要機構，因此葉片中各要素之濃度變化當可反應植物之營養狀況（缺乏、正常、或過多），並與作物之產量相互關連。因此近年來配合著葉片取樣技術之研究、分析技術之發展、與田間或盆栽之營養試驗，乃建立起較統一而可靠的葉片標準濃度範圍，藉以診斷作物之營養狀況及施肥推薦。在這方面較為成功的作物有柑桔、甜菜、蘋果、梨、葡萄、甘蔗等。

因為葉片之養分濃度分析值，除了受栽培土壤之肥力狀況所影響外，尚受葉片取樣技術、樣本製備方法及分析方法的準確度所影響。其中葉片取樣技術是否適當而具代表性更是成功的葉片分析與診斷之先決條件。不當的取樣方法，不僅使葉片分析結果毫無意義，甚至導致錯誤的結論，因此取樣技術的檢討實為植物分析的首要之務。本文擬就取樣及樣本製備過程中影響葉片分析值之因子加以檢討，並提出一般性的取樣原則及學者們研究後所推薦之各作物取樣方法，以供進一步試驗研究之參考。

二、影響葉片要素分析值之因子

(一) 葉齡

葉齡的大小顯著地影響葉片中要素濃度，以春稍柑葉之各要素濃度變化為例（見圖 1，轉摘自 W. Reuther 所著“*The Citrus Industry*”圖 6-4 至 6-6），其 N、P、K 濃度隨葉齡增加而降低，而 Ca、B、Fe、Mn 則隨葉齡增加而增高。Zn、Cu 之變化較小。一般作物大體有相同的趨勢，因此在建立診斷標準濃度範圍時，需明確標示取樣葉齡。

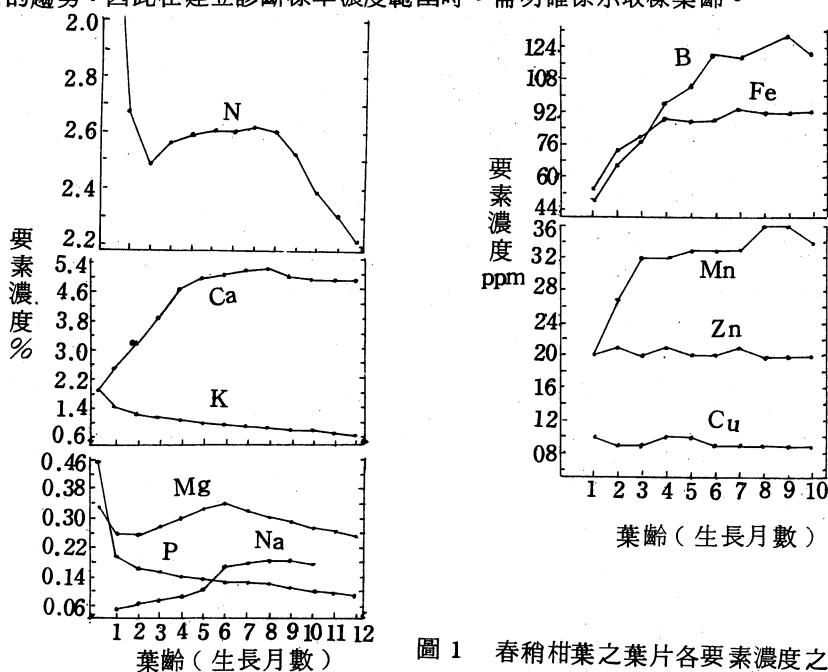


圖 1 春稍柑葉之葉片各要素濃度之經時變化

(二)採樣部位

植株部位不同（根、莖、葉），其要素含量亦不同，即使是同一葉片之葉柄（水稻爲葉鞘）與葉身之要素含量亦不同（見表1），因此葉片樣本之採取需標明是否包括葉柄（葉鞘），亦或僅取葉身。

表1 木瓜第十一葉片之葉柄與葉身各要素含量

部位 \ 要素	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	B ppm
葉身	3.78	0.32	5.06	2.00	0.42	28	8.5	25	105	48
葉柄	1.26	0.28	5.12	1.93	0.11	9	4.5	18	36	18

(三)果樹上之葉片位置（高度及方位）

據Koo & Siteo (1956)之研究結果，採自不同樹幹高度（0—6呎，6—12呎，頂部）、方位（東西南北）、遮蔭程度之五月齡柑葉，其葉片K、Mg或N濃度稍有不同。因此在果樹之葉片採樣通常是取自東、西、南、北各方位且高度大致相同之葉片組合成一樣本。

(四)結果枝與非結果枝之葉片

分別採自結果枝與非結果枝之同一葉齡之葉片其要素含量亦有顯著不同。Embleton等氏（1963）調查Valencia甜橙之葉片，則結果枝之葉片N、P、K、Zn、Cu、Fe、B含量較非結果枝顯著爲低，而Ca、Mg含量則反是（見表2）。

表2 Valencia甜橙結果枝與非結果枝葉片要素含量比較
（轉摘自“The Citrus Industry”表6—2）

枝條種類	大量要素（%）				
	N	P	K	Ca	Mg
非結果枝 ^a	2.36	0.128	0.86	3.52	0.250
結果枝 ^b	1.53	0.083	0.38	3.92	0.349
差異顯著性 ^c	***	***	***	**	***
	微量要素（ppm）				
	Zn	Cu	Fe	Mn	B
非結果枝	135	5.1	58	77	65
結果枝	118	2.7	48	74	43
差異顯著性	**	***	**	N.S.	***

a：春梢，五個月葉齡之頂梢葉片。

b：春梢緊鄰果實之五個月葉齡之葉片。

c：N.S. 表示非結果枝與結果枝之要素濃度差異不顯著。

** 表示差異達1%顯著水準，*** 表示達0.1%顯著水準。

(四) 有無新梢生長

此為生長習性如柑桔者特有的問題。新梢生長需消耗養分，因此同為春梢枝條，若其上有新梢生長，其葉片要素含量也將不同。

(六) 品種、品系間之差異（果樹方面則分成根砧與接穗）

作物之品種、品系不同，在同一栽培條件下其葉片之要素含量亦不同（見表3 水稻之例）。在果樹中，不同的根砧其養分吸收能力不同，因此影響接穗之葉片要素含量，而不同品種、品系的接穗亦有其不同的要素適宜濃度範圍，因此在建立診斷標準及進行營養診斷時，需就相同的品種、品系，相同的根砧與接穗組合來討論。

表3 水稻品種間N、P、K含量差異
（分蘖盛期之葉片樣本，張氏，1978）

品 種	水耕液中氮濃度	N %	P %	K %
台 農 38 號	8 ppm	4.24	0.60	2.51
	16 ppm	4.31	0.59	2.58
台大育43號	8 ppm	4.51	0.46	2.77
	16 ppm	4.80	0.46	2.82

(七) 採樣時期

在不同的生育時期，植物根系之養分吸收能力不同，同一葉齡葉片之養分濃度亦有不同。因此葉片樣本之採取需注意其生育過程中濃度變化較少的時期。在果樹方面更有年度變化，因此標準濃度之建立，需綜合多年之分析結果。

(八) 日中變化

Steyn (1961) 氏之試驗結果指出，一天當中植物葉片濃度亦有稍許的變化，因此當日採樣的時間最好能一致。

三、葉片取樣方法之一般性原則

由上述可知影響葉片要素含量分析值之因子很多，因此在進行植物分析供作施肥參考之前，對於上述可能影響植物要素含量之因子宜先加以詳細研究，然後求出反映營養狀況最敏感的部位與要素含量變異不大且易於辨認之採樣時期（或葉齡）。一般而言，剛成熟之葉片，其要素濃度較為穩定，受病蟲害侵襲的機會也較少，因此一般作物可考慮此一採樣方法。

在面積較廣之取樣區內，需就土壤特性之變異與其上作物之生長情況之不同，劃分成若干區域，分別採取樣本分析，如此方可明瞭其土壤與作物生長之變異情形而提供合理的施肥方法。

在未尋出適當的取樣方法之前，若欲診斷作物之異常狀況（要素缺乏或毒害），可分別採取異常園區之異常葉片及正常園區相同部位、葉齡之葉片，分析比較兩者之要素濃度差異，或可找出有用之結論。

就採樣面積單位而言，一般果園為2—4公頃。就採取株數而言，以栽培總株數的20%為宜。就分析樣品需要量而言，一般以50—100個葉片合成一個樣本，已足夠各要素之分析。

四 植物樣本之製備方法

葉片樣本採下後，需攜回實驗室，加以洗清、烘乾、磨細、儲藏等處理。這些步驟之處理方法均可影響分析結果，因此需有一律的標準。茲將各步驟之處理方法分述如下：

(一)葉片樣本之攜帶：

準備一冷藏箱攜至田間，葉片採下後可裝於塑膠袋、布袋或紙袋，置於箱內；若無冷藏箱，則將葉片裝於布袋或紙袋並保持陰涼。採下之葉片最好能於當日清洗、乾燥，若隔日才能洗清、乾燥，則需置於冰箱中儲藏。因為葉片採下後，直到乾燥前其呼吸作用仍繼續進行，若遲遲未加處理，將導致葉片乾量顯著損失，而使分析結果偏高。又不新鮮的葉片在清洗過程中，某些要素易於流失亦影響分析結果。冰箱之溫度較低，可抑制呼吸作用之進行，因此可用於暫時之貯存，但仍需迅速處理。（見表 4，林氏（1968）茶葉之例）

(二)葉片樣本之清洗

許多研究報告指出葉片洗淨之方法顯著地影響分析結果。一般而言，大量要素 N、P、K、Ca、Mg 之分析值較不受洗清方法的影響，而微量元素之分析值則深受影響，尤其是經過微量元素噴施處理之葉片更為顯著。（見表 5 林氏（1968）茶葉之結果，及表 6 Labnauskas（1966）柑葉之結果）。因此若葉片樣本僅需分析大量要素，則可先以自來水洗去塵土，再以純水沖洗。若需進行微量元素之分析，則葉片需先以肥皂水洗清，再以自來水沖淨，最後以純水沖洗。洗淨之葉片再以乾淨紗布擦乾。

表 4 裝袋溫度與放置日數對於茶葉中要素成分之影響

品 種	要素成分	裝 袋			放 置 時 溫 度				放 置 日 數			
		布 袋	塑膠袋	L.S.D. 0.05 0.01	室 溫 (88 °F)	冰 箱 (40 °F)	L.S.D. 0.05 0.01		1 日	3 日	5 日	L.S.D. 0.05 0.01
硬 枝 紅 心	N %	5.17	5.21	0.04 0.05	5.28	5.09	0.04 0.05		5.11	5.20	5.26	0.05 0.07
	P %	0.17	0.17	0.004 0.005	0.18	0.17	0.004 0.005		0.17	0.17	0.17	N.S.
	K %	1.51	1.50	N.S.	1.60	1.40	0.04 0.05		1.60	1.51	1.40	0.05 0.07
	Ca %	0.39	0.39	N.S.	0.40	0.38	0.01 0.02		0.38	0.39	0.39	N.S.
	Mg %	0.23	0.21	0.012 0.016	0.22	0.22	N.S.		0.23	0.22	0.22	N.S.
青 心 大 有	B ppm	21.0	20.8	N.S.	21.7	20.1	1.02 1.38		21.9	20.5	20.2	1.25 1.68
	Cu ppm	14.0	14.9	0.71 0.95	15.3	13.6	0.71 0.95		14.8	14.7	14.0	N.S.
	Fe ppm	92.3	81.7	6.22 8.40	97.1	77.0	6.22 8.40		75.7	90.2	95.2	7.61 10.29
	Mn ppm	676.0	680.9	N.S.	696.2	660.7	19.70 26.63		659.3	687.2	688.8	24.13 32.62
	Zn ppm	38.7	36.8	N.S.	40.7	34.8	2.4 3.2		38.6	36.4	38.2	N.S.

(三)葉片之乾燥

洗淨之葉片，可以塑膠袋或紙袋盛裝，置於 60 °—70 °C 之送風烘乾箱中乾燥 48 小時。

表 5 洗淨法對於茶葉要素成分分析之影響

洗 法 \ 要 素	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	B ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
A 片片皂洗	5.23	0.19	1.59	0.48	0.19	26.7	14.1	87.1	691.9	34.5
B 整批皂洗	5.01	0.20	1.57	0.49	0.19	27.8	14.6	94.3	786.8	33.8
C 片片水洗	5.11	0.19	1.59	0.47	0.20	27.2	14.2	102.8	743.0	34.2
D 不洗	5.14	0.19	1.57	0.52	0.19	29.0	16.3	161.8	732.1	35.6
LSD. 0.05	0.07	N.S.	N.S.	0.016	N.S.	0.89	N.S.	16.02	57.8	N.S.
0.01	0.01	N.S.	N.S.	0.022	N.S.	1.22	N.S.	21.90	78.9	N.S.

表 6 洗淨法對於柑葉要素成分之影響 (轉摘自“ The Citrus Industry ”表 6-7)

洗 法	乾 物 要 素 濃 度											
	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Na ppm	Cl ppm	Zn ppm	Mn ppm	Cu ppm	B ppm	Fe ppm
不洗	2.53	0.147	1.07	3.97	0.422	0.061	0.022	123	182	5.6	367	186
清潔劑洗	2.56	0.146	1.08	3.97	0.407	0.066	0.028	68	94	5.1	368	61
清潔劑-酸洗	2.55	0.147	1.07	3.96	0.416	0.065	0.064	65	92	5.0	369	61
顯著性	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	**	**	**	**	**	**	N.S.	**
變異百分率(%)	2	4	3	3	5	8	32	10	14	9	3	12

* 每一數值均係 64 個樣本測定值之平均。

** 表示 F 值已達 1% 以上之顯著水準。

N.S. 表示差異未達顯著水準。

(四) 葉片之磨細

一般而言，磨粉機的種類對大量要素之分析值無影響，但微量元素 (Fe、Mn、Cu、Zn) 或其他金屬元素之分析則需選擇適當的磨粉機。林氏 (1968) 之結果顯示 (表 7) 鐵製磨粉機 Wiley mill 增加樣本中 Fe、Zn、Cu 之分析值。欲分析金屬元素之樣本最好以瑪瑙研磨，或鍍 Ni、Cr 之磨粉機磨細。至於磨細程度，視分析方法而定，Macro-method，樣本需通過 20 mesh，Micro-method 樣本則需通過 40 mesh。

表 7 磨細法對於茶葉片中要素成分之影響

磨 法 \ 要 素	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	B ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
電動磨粉機	5.07	0.19	1.57	0.48	0.19	28.5	16.02	127.2	732.5	37.0
用手以木棒 碾細	5.17	0.19	1.59	0.50	0.20	26.9	13.56	95.7	744.4	32.0
L.S.D. 0.05	0.05	N.S.	N.S.	0.011	N.S.	0.63	1.97	11.33	N.S.	2.8
0.01	0.07			0.016		0.87	267	15.48		3.8

五、磨細樣本之貯藏

磨細樣本可裝於附有旋轉瓶蓋之玻璃瓶中，混勻後，置於 60 °C 乾燥 24 小時，趁熱蓋緊蓋子，置於乾燥處貯藏。分析之前再於 60 °C 乾燥後放冷，馬上稱量。

參 考 資 料

1. 林家棻 1968 植物成分之分析 台灣農業研究中心五十六年暑期作物講習會專刊
2. Chapman H. D. 1960 "Leaf and Soil Analysis in Citrus Orchards — Criteria for the Diagnosis of Nutrient Status and Guidance of Fertilization and Soil Management Practices" C. A. E. S.
3. Reuther W. 1973 "The Citrus Industry" chap 6
4. S.S.S.A 1967 "Soil Testing and plant Analysis II Plant Analysis"

本省現行植物分析法

張 淑 賢

一 引 言

本文中所列之分析方法多為農試所植物營養研究室慣用之大量樣本分析法，係參照該所李蘭帝技正之研究、IRRI 出版之植物樣本分析手冊及 M.L. Jackson 所著土壤化學分析等著作整理而成。本手冊僅注重操作過程之描述，欲詳知各分析方法之原理、干擾因子、精度範圍請參閱所列參考文獻。

二 氮之定量—微量擴散法

(一)樣品之分解：

1 器具：

刻有 50 ml 標線之分解瓶、橡皮塞、電爐、變壓器。

2 試藥：

(1)濃硫酸 (H_2SO_4)

(2)分解催化劑：將磨細的 K_2SO_4 250 g， $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 50 g 及 Se 5 g 均勻混合。(即 50 : 10 : 1 w/w)

(3)方法：

精稱樣品 200 mg 置入 50 ml 分解瓶中，加分解催化劑約 0.5 g 及濃硫酸 4 ml，在電爐上先以變壓器調節較低的溫度加熱至濃白煙消失(約 20 分鐘)，然後提高電爐溫度繼續加熱，則硫酸沸騰，分解液顏色漸轉變成青綠色(時間約需 1 小時)，繼續加熱 20 分後取下分解瓶。放冷後加純水約 10 ml 振盪再放冷，加純水至 50 ml 標線，蓋上橡皮塞混勻，即可供定氮。

(二)測定：

1 原理：

樣品分解液中之氮以 NH_4^+ 存在，當加入 NaOH 使其 pH 超過 10， NH_4^+ 即全部變成 $NH_3(g)$ 逸出，此 NH_3 再以 H_3BO_3 溶液吸收之， $NH_3 + H_3BO_3 \rightarrow NH_4^+ + H_2BO_3^-$ ，產生的 $H_2BO_3^-$ 再以標準酸標定，即可知氮量。

2 器具：

(1)培養皿：直徑約 9 公分，由大小相同的上蓋與底蓋組成，當蓋在一起時，接縫平整緊密。

(2)小玻璃杯：直徑約 4 公分、圓底。

(3)恒溫箱：調整至 35°C。

(4)10 ml 微量自動滴定管，最小刻度 0.01 ml。

3 試藥：

(1)10 N NaOH 溶液：將 4 Kg 工業用 NaOH 溶解於水並稀釋成 10 升。

(2)B P B 指示劑：溶解 1 g bromophenol blue (溴酚藍) 於純水中，可加約 3 ml 0.1 N NaOH 幫助其溶解，最後稀釋成 250 ml。

(3)4% 硼酸—指示劑混合液：稱取 40 g H_3BO_3 溶解於 1000 ml 純水中，加 B P B 指示劑 30 ml 混勻。配好之硼酸指示劑混合液，其 pH 應在指示劑變色範圍內，即 pH 3.8 左右。

如呈青紫色，應以 0.1 N HCl 調整其顏色至紅帶綠色。

(4) Methyl orange 指示劑：將 0.1 g methyl orange (甲基橙) 溶解於 100 ml 純水中。

(5) 0.1 N 酸標準液 (HCl 或 H₂SO₄) 均可：

取 9 ml 濃鹽酸 (12 N) 或 3 ml 濃硫酸 (36 N)，加純水稀釋成 1000 ml。其酸度之標定法為正確稱取 0.530 g Na₂CO₃ (先在 270 ° - 300 °C 燒約 1 hr，置於乾燥器中放冷)，溶於純水中至 100 ml，此即 0.1 N Na₂CO₃ 溶液。取此 0.1 N Na₂CO₃ 溶液 10 ml 置於三角瓶中加兩滴 methyl orange 指示劑，用上述約 0.1 N 之酸液滴定至指示劑顏色變為橘紅色為止。然後將之加熱沸騰約 1 分鐘 (顏色又變回黃色)，放冷後以純水洗三角瓶內壁，再以酸液滴定至再呈橘紅色為止。記下最後之滴定數。酸的濃度 (Normality)

$$= \frac{0.1 \text{ N} \times 10 \text{ ml}}{\text{酸之滴定數 ml}}。$$

若要調製正確 0.1 N 酸液時，再以下列計算法求出應補加的純水量：即

$$\text{應加純水量} = \text{殘留酸液容量 ml} \times \frac{(10 \text{ ml} - \text{酸滴定數 ml})}{\text{酸之滴定數 ml}}$$

(6) 0.01 N 酸標準液：取 0.1 N 酸標準液 100 ml，加純水稀釋成 1000 ml 即可。

4. 方法：

取供試液 5 ml 置於培養皿中，另備小玻璃杯內裝約 4 ml 硼酸吸收液，置於培養皿中央。迅速加入約 5 ml 10 N NaOH 於培養皿內，迅速蓋上另一培養皿，接縫以玻璃膠帶密封，輕輕搖動，使供試液與 NaOH 充分混合後，移入保溫箱，36 小時後取出撕開膠帶，取出硼酸吸收液 (此時已變為藍紫色)，以 0.01 N 酸標準液滴定至原來紅帶綠的顏色。將近終點時，應一滴滴慢慢加入，以玻璃棒攪拌後，再加另一滴為宜。記下滴定數。

5. 計算：

$$\text{植物體中 N\%} = 0.01 \times 14 \text{ mg} \times \text{滴定數} \times \frac{50 \text{ ml}}{5 \text{ ml}} \times \frac{100 \%}{200 \text{ mg}} = \text{滴定數} \times 0.7$$

6. 注意事項：滴定時，小杯皿底下應襯以白紙，並以日光燈照射，以利滴定終點之觀察。

三、磷之定量——鉬黃法

(一) 樣品之分解

1. 器具：

刻有 50 ml 標線之分解瓶、橡皮塞、電爐。

2. 試藥：

三酸混合液：即以 HNO₃ : HClO₄ : H₂SO₄ = 4 : 1 : 1 (v/v) 的比率混合。

3. 方法：

稱取樣品 200 mg 置入 50 ml 分解瓶中，加三酸混合液 3 ml，放置一夜，翌日在電爐上加熱分解至澄清 (約需 1 小時)，取下分解瓶放冷後加純水至標線混勻。此分解液可供磷、鉀、鈣、鎂測定之用。另取 3 ml 三酸混合液同法操作做為空白。

(二) 測定：

1. 原理：

在含有磷的酸性溶液中，鉬酸根及偏鉬酸根與磷酸根起反應，形成異性酸化合物（Heteropoly compound）而呈鉬黃顏色。當酸度在 0.2 N — 1.6 N 範圍內，鉬黃顏色的深度和磷濃度成正比，且不受酸度變化的干擾。

2. 器具：

光電比色計、10 ml 試管、1 ml 注射筒。

3. 試藥：

(1) HNO_3 - Vanadate-Molybdate 試劑：溶解 25 g 鉬酸鉍於 400 ml 純水中，此即 A 液。另溶解 1.25 g 偏鉬酸鉍（ NH_4VO_3 ）於 300 ml 沸水中後放冷，倒入 250 ml 濃硝酸後再放冷，此即 B 液。將 B 液倒入 1000 ml 容量瓶中，再倒入 A 液，加純水稀釋成 1000 ml。

(2) 磷標準液：精確稱取 0.2195 g 40 °C 乾燥過之 KH_2PO_4 ，另加 25 ml 7N H_2SO_4 ，以純水稀釋成 1000 ml 即為 50 ppm P 母液。取此母液 0、5、10、15、20、25 ml 置於 50 ml 容量瓶中，以純水稀釋成 50 ml，即為 0 ~ 25 ppm P 標準液。

4. 方法：

準確吸取樣品分解液、空白、及磷標準液各 4 ml 置於 10 ml 試管中，以 1 ml 注射筒加入 1 ml 呈色劑，以手指按住管口將它倒轉以求迅速混合。放置 20 分鐘後測其 420 nm 吸光度。鉬黃顏色永遠穩定。

5. 計算：

植物樣本中 P % = 測得 ppm 數 $\times$ 0.025

6. 注意事項：

- (1) 吸取樣本及標準 P 液之吸管最好是同一支。
- (2) 測光管外壁，需以衛生紙拭淨，手指只能握住管口部分。
- (3) 以 0 ppm 磷酸（即純水）4 ml 加 1 ml 呈色劑調節透光度為 100。

四 鉀之定量—焰光分析法

(一) 原理：

將含有鉀之水溶液噴於火焰上時，可使鉀原子析出並發出其特性波長之焰光，在某一濃度範圍內，其焰光的強度與鉀濃度成正比。

(二) 器具：

火焰光度計（Flame photometer）

(三) 鉀之標準液：精確稱取 0.477 g KCl（105 °C 乾燥 2 hr）加純水溶解並稀釋至 500 ml，此即 500 ppm K 原液，取此原液 5 ml、10 ml 稀釋至 500 ml 即為 5 ppm 及 10 ppm K 標準液。

(四) 方法：

取樣品分解液及空白各 2 ml 稀釋成 50 ml（此液亦可供 Ca、Mg 之測定），使用火焰光度計測定此稀釋液之透光度，並與標準相比較決定其濃度。（先以純水調零，再以 10 ppm K 調整透光度為 100。

(五) 計算：

$$\text{植物樣本 K \%} = \text{測得 ppm 數} \times \frac{50 \text{ ml}}{2 \text{ ml}} \times 50 \times 10^{-6} \text{ g} \times \frac{100 \%}{0.2 \text{ g}} = \text{ppm 數} \times 0.625$$

(六) 注意事項：

- (1) 每測數個樣品，即需調零及 100。
- (2) 若樣品 K 含量較低，可取 5 ml 分解液稀釋成 50 ml 以提高其透光率讀數，降低誤差。

五、鈣之定量

(一) 原子吸光法 (Atomic absorption spectrophotometry)

1. 原理：將欲測元素之水溶液噴於氣體火焰中，則該元素即氣化並以原子狀態析出。此時該原子即可吸收其特性波長的光線，且在某一濃度範圍內，該原子濃度與吸光度成正比。

2. 器具：

原子吸光儀，具 5 ml 標線之試管。

3. 試藥：

(1) 10 % Lanthanum Acetate 溶液：稱取 10 g lanthanum acetate，加 90 ml 純水溶解之。

(2) 鈣標準液：精稱 2.497 g 乾燥過之 CaCO_3 置於 100 ml 燒杯中，加約 5 ml 6 N HCl 溶解之，再以純水稀釋成 1000 ml，此即 1000 ppm Ca 原液。取此原液 50 ml 稀釋成 500 ml，即為 100 ppm Ca 原液。再取 100 ppm Ca 原液 0 ~ 5 ml 稀釋成 100 ml 即成 0 ~ 5 ppm Ca 標準液。

4. 方法：

取樣品分解液及空白 2 ml 稀釋成 50 ml。將此樣本稀釋液及 0 ~ 5 ppm Ca 標準液倒入試管中至 5 ml 標線。各加一滴 10 % lanthanum acetate 溶液，測定其原子吸光光度，並與標準液之吸光度相較。

5. 計算：

$$\text{植物樣品 Ca \%} = \text{測得 ppm 數} \times \frac{50 \text{ ml}}{2 \text{ ml}} \times 50 \times 10^{-6} \text{ g} \times \frac{100 \%}{0.2 \text{ g}} = \text{測得 ppm 數} \times 0.625$$

6. 注意事項：

- (1) 每一原子吸光儀之直線範圍不同，需先以標準鈣液試驗濃度與吸光度之直線性範圍。
- (2) 調整樣品分解液之稀釋倍數，使其稀釋液濃度在直線範圍內。

(二) GEDTA 滴定法：

1. 器具：

10 ml 自動微量滴定管、磁性攪拌器、日光燈及黑板。

2. 試藥：

(1) 0.001 M GEDTA 液：稱取 0.380 克 GEDTA，溶解於水中，再稀釋成 1000 ml（若不溶解可加少量 4 N KOH）。此液需以標準鈣液標定其濃度，並調整其濃度至 0.001 M。（GEDTA 式量為 380）。

(2) 0.001 M Ca 標準液：精稱 1.000 g CaCO_3 ，以 5 ml 6 N HCl 溶解之並以純水稀釋成

1000 ml，即為 0.01 M Ca 標準液，取此鈣標準液 100 ml 稀釋成 1000 ml，即為 0.001 M 鈣標準液
(3) 4 N KOH：將 224 g KOH，加純水溶解成 1000 ml。

(4) Calcein 指示劑。

3. 方法：

取分解液 2 ml 置於 50 ml 燒杯中，加約 15 ml 純水，加 1.5 ml 4 N KOH 及少量 Calcein 指示劑，此時溶液呈現帶綠色螢光。加過量的 GEDTA 標準液至螢光消失變為淺橙色。然後以鈣標準液逆滴定。逆滴定时使用磁性攪拌器、燒杯後面襯以黑板，上掛日光燈，由側面對黑板觀察螢光。逐滴加入鈣標準液，當螢光出現時即為逆滴定的終點。兩標準液滴定數的差即為鈣之滴定數。

4. 計算：

$$\text{植物樣本 Ca \%} = 40 \text{ mg} \times 0.001 \times (\text{GEDTA 標準液滴定數} - \text{標準 Ca 液滴定數}) \times \frac{50 \text{ ml}}{2 \text{ ml}} \times \frac{100 \%}{200 \text{ mg}} = \text{鈣滴定數} \times 0.5$$

5. 注意事項：

若樣品鈣含量很低，可取較多量分解液進行滴定，但 4 N KOH 液需按比例增量加入，以維持適當鹼性。

六 鎂之定量—原子吸光法

(一) 器具：原子吸光儀

(二) 試藥：

鎂標準液：精稱純鎂金屬 1.000 g，以少量 6 N HCl 溶解之，再以純水稀釋成 1000 ml，此即 1000 ppm Mg 原液。或將 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 於 300 °C 燒 7 小時以去掉結晶水使成無水 MgSO_4 ，置於乾燥器中放冷，精稱 1.2375 g 無水 MgSO_4 ，加純水溶解之並稀釋至 250 ml 亦為 1000 ppm Mg 原液。取此原液 50 ml 稀釋成 500 ml 即為 100 ppm Mg 原液。取此 100 ppm 原液 0 ~ 5 ml 以純水稀釋成 100 ml 即為 0 ~ 5 ppm Mg 標準液。

(三) 方法：

取樣品分解液 2 ml，以純水稀釋成 50 ml。測定此樣品稀釋液之原子吸光光度並與標準 Mg 液相較以測定其濃度。

(四) 計算：

$$\text{植物樣品 Mg \%} = \text{測得 ppm 數} \times \frac{50 \text{ ml}}{2 \text{ ml}} \times 50 \times 10^{-6} \text{ g} \times \frac{100 \%}{0.2 \text{ g}} = \text{測得 ppm 數} \times 0.625$$

七 鐵、錳、銅、鋅之測定（原子吸光法）

(一) 樣品之抽出：

1. 器具：

100 ml P.E. 塑膠瓶、漏斗、Whatman No. 1 濾紙。

2. 試藥：

1N HCl：將 1.5 升純的濃鹽酸加入 16.5 升純水中混勻即可。（此液以塑膠瓶保存）。

3. 方法：

稱取樣品 1 g，置於 100 ml P.E. 瓶中，加 25 ml 1N HCl，勿搖，使樣品全部浸於酸中，靜置 24 小時後過濾至乾淨之 P.E. 瓶中。此濾液可供直接測定 Fe、Mn、Cu、Zn。另取 25 ml 1N HCl 同上法操作，做為空白。

(一) 樣品之測定：

1. 器具：原子吸光儀。

2. 試藥：

- (1) Fe 標準液：精稱 0.7023 g 乾燥之 $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (硫酸亞鐵銨)，溶解於 1N HCl 中並稀釋至 1000 ml 此即 100 ppm Fe 原液。取此原液 0~10 ml，以 1N HCl 稀釋成 100 ml 即為 0~10 ppm Fe 標準液。
- (2) Mn 標準液：精稱乾燥過之 KMnO_4 2.880 g，置於 1000 ml 燒杯中，加約 250 ml 純水溶解之，再加 20 ml 約 18 N 之 H_2SO_4 ，加熱使之沸騰，逐量加入固體 Na_2SO_3 ，直到高錳酸鉀顏色完全消失。繼續加熱以趕走 SO_2 蒸氣。取下溶液放冷後，倒入容量瓶中以純水稀釋成 1000 ml，即為 1000 ppm Mn 原液。取此原液 50 ml，以 1 N HCl 稀釋成 500 ml 即為 100 ppm Mn 原液。取此 100 ppm Mn 原液 0~5 ml，以 1N HCl 稀釋成 100 ml 即為 0~5 ppm Mn 標準液。
- (3) Cu 標準液：精稱純銅金屬 1.000 g 置於 100 ml 三角瓶中，加約 8 N HNO_3 50 ml，慢慢煮沸此液，直到 NO_2 紅棕色氣體不再冒出。以純水稀釋至 1000 ml，即為 1000 ppm Cu 原液。取此原液 50 ml，以 1N HCl 稀釋成 500 ml，即為 100 ppm Cu 原液。取此 100 ppm 原液 0~10 ml，以 1 N HCl 稀釋成 100 ml 即為 0~10 ppm Cu 標準液。
- (4) Zn 標準液：精稱純鋅金屬 (30 mesh) 1.000 g，置於 1000 ml 容量瓶中，加入 1N HCl 使之溶解再稀釋至 1000 ml 標線，即為 1000 ppm Zn 原液。取此原液 50 ml，以 1 N HCl 稀釋成 500 ml 即 100 ppm Zn 原液。取此 100 ppm Zn 原液 0~2 ml 稀釋成 100 ml 即為 0~2 ppm Zn 標準液。

3. 測定方法：

樣品抽出液及空白可直接測定各元素之原子吸光度並與其適當濃度之標準液相較。

4. 計算：

植物樣品中 Fe、Mn、Cu、Zn ppm = 測得 ppm $\times$ 25

5. 注意事項：

漏斗需以 3 N HCl 浸洗過。

八、硼之定量—薑黃素呈色法

(一) 樣品之抽出：

1. 器具：

振盪器，100 ml P.E. 塑膠瓶、漏斗、Whatman No. 1 濾紙。

2. 試藥：

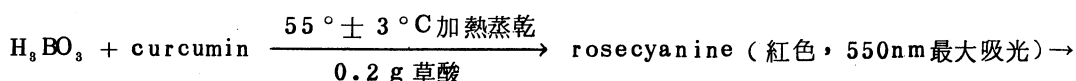
0.5 N HCl：將 210 ml 濃鹽酸加入純水中並稀釋成 5 升。

3. 方法：

稱取 0.5 g 植物樣品，置於 100 ml P.E. 瓶中，加入 25 ml 0.5 N HCl，振盪 2 小時後，過濾至乾淨 P.E. 瓶中。另取 25 ml 鹽酸，同上法操作，做為空白。

(二)測定方法：

1. 原理：



95 % 酒精抽出 → 比色。

curcumin : 1,7-bis(4-hydroxy-3-methoxy phenyl)-1,6-heptadiene-3,5-dione。

2 器具：光電比色計、水浴、離心機、100 ml P.E. 杯、50 ml P.E. 離心管。

3. 試藥：

(1) 95 % 酒精。

(2) Curcumin-oxalic acid 試劑：溶解 0.1 g curcumin (薑黃素) 及 12.5 g oxalic acid (草酸) 於 95 % 酒精，並以酒精稀釋成 250 ml。若 curcumin 無法全部溶解，則試劑需過濾。此試劑需盛於塑膠瓶中，貯存於冰箱，其有效期間約一星期。

(3) 硼標準液：精稱硼酸 0.5716 g (40 °C 乾燥過者) 溶於純水中，並稀釋成 1000 ml，此即 100 ppm 硼原液。取此原液 50 ml 稀釋成 500 ml 即為 10 ppm B 原液。取 10 ppm 原液 0 ~ 40 ml 稀釋成 100 ml 即為 0 ~ 4.0 ppm B 標準液。標準液及原液均貯存於 P.E. 瓶中。

4. 方法：

取樣品抽出液、空白及 B 標準液 (包括 0 ppm) 各 1 ml 置於 100 ml P.E. 塑膠杯中，加 curcumin-oxalic acid 試藥 4 ml 混勻，置於 55 ° ± 3 °C 熱水浴中蒸發至乾後 15 分鐘 (約需 1 時半)，取下放冷。加 15 ml 酒精溶解，倒入 50 ml P.E. 離心管中，以 1500 rpm ~ 2000 rpm 離心 5 分，測其 540 nm 吸光 (0 - 2.0 ppm)，超過 2 ppm 者，測其 580 nm 吸光。

5. 計算：

植物樣品硼濃度 (ppm) = 測得 B ppm × 50

6. 注意事項：

(1) 漏斗需先以 3 N HCl 浸洗過。

(2) rosecyanine 以酒精抽出後，需於 2 小時內完成比色。

(3) 此法再現性較差，標準及樣品之呈色最好能做重複，取其平均值。

參 考 資 料

1. 李蘭帝 1966 大量植物樣本氮磷鉀之迅速測定法 農業研究 15(2): 1-5
2. 李蘭帝 1968 應用擴散法定量氮素試前檢查 土壤肥料通訊 No. 206
3. 李蘭帝 1968 硫酸之應用對 EDTA 法測定植物體鈣鎂之影響 農業研究 17(2): 40-48
4. Jackson M. L. 1962 "Soil chemical Analysis" 3rd Ed.
5. Yoshida S, D.A. Forno, J.H. Cook & K.A. Gomez 1972 "Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice" 2nd Ed. IRRI.

作物營養障礙徵狀

連 深

一、引言

從植物生理的立場，作物的低產問題可以歸因於(1)營養生長之過剩，(2)營養生長之不足。

營養生長過剩主要係由於氮素肥料施用過多所致；例如水稻當氮肥的用量過多時其分蘖旺盛、葉片過份伸長繁茂，互相遮蔭，致使植物群體內部陽光不足，呼吸作用大於同化作用，根系因碳水化合物供給不足而衰弱，最後導致水稻倒伏，收量大減。改良品種之形態特性和調節氮素用量、時期可以調節適當、和諧的營養生長和生殖生長，提高光能的利用，因而獲得收量之提高。

營養生長之不足主要係由於作物生長必須的某些要素缺乏或由於土壤中某些物質或離子濃度過高，或由於土壤溶液之滲透壓過高等導致營養障礙 (Nutritional disorder) 所致。此等營養障礙中，元素的缺乏或過多雖然可以植物分析一一辨認，但由於種類繁多實際上並不可能。好在這些元素之缺乏或過多均各有特殊徵狀。辨認此等徵狀後可以研判所遭遇之營養障礙問題大概。故由作物徵狀初步研判後再作土壤或植物分析可以收事半功倍之效。

二、診斷作物營養障礙之步驟

(一)現地調查：在現地觀察土壤及地形、作物地上部和地下部之生長情形和徵狀，聽聞徵狀發生之經過。

1. 調查的時期應儘量配合徵狀的發生時期

例如：缺鉀徵狀往往在插秧後 2~3 週時比較明顯，但於 6 週以後卻恢復正常。

2. 聽聞徵狀發生的經過

(1)最近才發生或發生已久？如係最近才發生，而過去沒有，很可能與病蟲害有關。如發生已久，並且在同一地區普遍發生則可能與營養障礙有關。

(2)如果發生已多年，但在乾旱之年特別顯著，則有缺硼之可能。如其發生在潮濕之年顯著，則可能與錳過多之毒害有關。

(3)發生已多年，但只限於部份農田則可能與該農家之田間管理所致營養障礙有關；例如石灰施用過多可能導致硼的缺乏，鉀施用過多可能導致鎂的缺乏，磷施用過多可能導致鋅的缺乏，錳施用過多可能導致鐵的缺乏等，故農家的施肥管理情形亦需加調查。

3. 土壤及地形觀察

土壤如屬鹼性則營養障礙可能與鋅、鐵、錳等元素之缺乏有關。反之，土壤如屬酸性則營養障礙可能與鉬的缺乏，鐵的過剩等有關。除了表 1 之 pH 值外，灌溉水之 pH 值及導電度，土壤剖面之形態及排水之情形亦應加注意；鹼性水田土壤在排水不良情形下水稻往往發生缺鉀、缺鋅。酸性水田土壤在排水不良情形下水稻易發生鐵之過剩障礙。

4. 徵狀觀察

應就作物的根部、葉片及果實分別觀察徵狀。

(1)注意水耕試驗所設要素缺乏之徵狀與田間實際發生者往往有很大差異。例如田間水稻缺鉀時其下部葉片往往可以看到棕色斑點。但據吉田氏這種棕色斑點在水耕試驗的缺鉀水稻即很少看到。這種棕色斑點可能與缺鉀時所引起之鐵過剩有關。田間水稻缺鋅時亦有類似情形應加注意。

。又品種間亦有徵狀上之差異。據云，如水稻的鐵過剩徵狀，有些品種其下部葉片並沒有棕色斑點出現，只是變成橘紅色而已。

有些病害，特別是毒素病的症狀與營養障礙徵狀相似，應向病理專家討教共同研判。

(二) 植體化學分析

由徵狀的觀察懷疑某些元素的缺乏或過剩後即進行此等元素之化學分析予以確認。

(三) 土壤分析

對所採土壤（風乾）測定 pH、有機質含量、陽離子交換能量、交換性鹽基、有效性磷、游離鐵等含量。土壤中 pH 值對於營養障礙之判斷功效最大—如水稻之下葉呈棕斑而土壤如為酸性，則該棕斑可能是鐵過剩所致。如土壤為鹼性，則可能為缺鉀或缺鋅所致。

(四) 玻璃室試驗

使用問題土壤以盆栽試驗重現症狀，並加若干處理以觀效果。試驗時要使用脫鹽水，有時候要加些纖維粉末以促進土壤還原。

(五) 田間試驗

以上試驗得到結論後即在現地進行田間試驗，探討各種改良措施或施肥的效果。

三、各種要素缺乏之徵狀

各種元素在植物體內之功能及移動性難易各有不同，故其缺乏徵狀在植物體呈現之部位亦各有異。石塚氏將各種元素在植物體內之移動性分為如下三類：

(一) 缺乏症狀發生於下方之老葉者—如 K、Mg、Zn。因此等元素在植物體中最易移動故。

(二) 缺乏症狀發生於上端之新葉或新組織者—如 Ca 及 B。因此等元素在植體難於移動故。Fe、Mn 也是。

(三) 缺乏症狀發生於全株葉片者。雖然老葉之缺乏徵狀較新葉要嚴重些，但差異沒有(一)的情形那麼明顯—如 N、P、S，因此等元素在植物體之移動性屬中等故。

山崎氏對一般植物要素缺乏症之觀察診斷，曾作綜合性整理如下：

1. 容易在植物體內再移動之要素，其缺乏症呈現於下方成熟葉。

(1) 下方葉漸次枯死，莖細小，有時帶紫紅色。

氮 (N)：為蛋白質中之胺基酸及葉綠素等之主要成分。缺乏時生長受阻，主根雖然很長卻無側根。葉色變黃，葉片小而硬，嚴重時枯乾。因在植物體內之移動性屬中等，故缺氮時葉片之黃化遍及全株，但下葉有較嚴重之傾向。

硫 (S)：亦為蛋白質中若干胺基酸之成分，故缺硫時作物亦呈黃化現象，情況和缺氮相似。

磷 (P)：為構成核酸之重要成分，對細胞之分裂、碳水化合物及蛋白質之合成，呼吸作用等均有密切關係。因在植物體內之移動性亦屬中等，故缺磷徵狀亦不集中於新葉或老葉。缺磷時葉片變小，葉色暗綠，分蘖受阻，成熟遲延。很多作物莖葉並呈紫紅色。根部生長差，很短。

鉬 (Mo)：參與硝酸態氮之還原及豆科作物根瘤菌之固氮作用。缺鉬時豆科作物之葉色變淺綠至黃綠，其生長及種子生產受阻；其徵狀與缺氮相似，可能與硝酸態氮之利用受阻及固氮能力之減低有關。

(2) 下方葉變黃或生成黃斑，但葉脈保持綠色。

鎂 (Mg) : 爲葉綠素之成分，直接影響光合成。亦爲若干酵素之成分，幫助磷在植物體內之移動，並參與油脂之合成。因在植物體內之移動性大，故缺鎂時徵狀先呈現於老葉；其葉緣及葉脈間部分引起黃化，與葉脈周圍之綠色成明顯對比。

(3) 下方葉變黃或生成棕色斑點。

鉀 (K) : 存在於細胞液中呈溶解狀態。直接影響各種酵素作用。對碳水化合物之合成、輸送及儲藏，蛋白質之合成及蒸騰作用之調節等機能，關係重大。亦有增加作物抗寒、抗濕、抗旱及抗病蟲害之能力。由於鉀在植物體內之移動容易，缺鉀時老葉之鉀移至生長中之新葉，致使老葉由葉緣及尖端變黃而枯乾，呈燒焦狀，逐漸向內擴展，但新葉可保持正常。根部分枝少，根量銳減，但長度增加。

2 不容易在植物體內再移動之要素，其缺乏症在新葉上顯著，或局限於頂部組織。

(1) 新葉變形，莖的頂端部枯死。

鈣 (Ca) : 在細胞膜或細胞壁中存在的較多。主要功能爲中和植物體內過剩之有機酸，強化細胞壁組織及調節體內水分。因移動性小，故缺鈣時老葉仍正常，但新葉及新根無法生長；新葉彎曲，葉尖白化，繼之，變褐色而枯死，根部則變短而粗。果菜類之代表性缺鈣症，如番茄的尻腐。其他如白菜和芹菜等之心腐病。

硼 (B) : 與細胞分裂，花粉受精，養分吸收及糖分之輸送等有密切關係。因其移動性亦頗小，故缺乏時，生長點之生長停止，變脆、變黃而枯死；其葉柄木栓化，根部或莖部之中心部分變黑，莖葉多皺。木瓜缺硼時果實變小和變形；柑桔缺硼則果實變小並且硬而乾；其他代表性缺硼症有根菜類的心腐病等。由硼的缺乏症狀與缺鈣者相似一點可以推測硼對鈣之吸收利用或許有重大關係。

(2) 通常莖的頂端部並不枯死。

鐵 (Fe) : 與葉綠素之形成有關，亦爲氧化酵素之成分。因其在植物體內亦不易移動，故缺乏時老葉保持正常而新葉則變黃至白色。

錳 (Mn) : 爲呼吸酵素之成分，且與葉綠素之生成有間接關係，故缺錳時新葉亦引起黃化。其徵狀與缺鐵者相近，但葉脈周邊殘留之綠色較缺鐵者明顯。

銅 (Cu) : 爲氧化還元酵素之成分，因而直接參與呼吸作用。其移動性亦差，故缺銅時小麥之幼葉變黃至黃白，生長受阻。果樹生長點停止伸長，繼之，由尖端部向下倒行落葉。水稻尚未聞有缺銅之報告。

鋅 (Zn) : 亦爲若干酵素之成分，具有氧化還元反應之接觸作用。其最重要之功能爲參與生長荷爾蒙之主成分 tryptophan 之合成。因移動性差，故缺鋅時因生長荷爾蒙減少，新葉細小而呈叢生狀。另在葉脈間黃化，顯出特殊斑紋；玉米缺鋅時新葉叢生，葉片中肋變白，中肋邊之葉肉沿中肋變黃而枯乾，另一邊則正常。水稻缺鋅時下方葉片常有微細銹點，有時亦有類似玉米缺鋅之徵狀。

矽 (Si) : 沉澱於莖葉表皮細胞內，使組織堅固。水稻與甘蔗等作物缺矽時莖葉軟弱，葉片下垂，受光態勢變劣，影響光合成，且易倒伏及易罹病害。由於其根部之氧化力較弱，根部之功能易受土壤毒害物質之影響而轉弱。

本省若干作物比較常見的要素缺乏，其症狀如圖片：



圖 1 水稻之缺鋅



圖 2 水稻之缺矽（水耕）

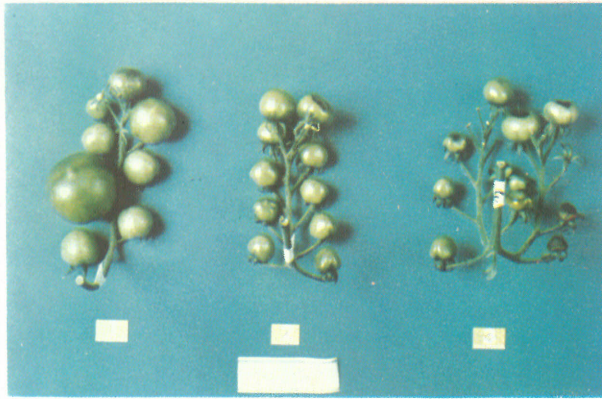


圖 3 蕃茄之缺鈣



圖 4 柑桔之缺鎂



圖 5 柑桔之缺硼



圖 6 木瓜之缺硼

* 除圖 2 係由 Tanaka, A and S Yoshida, 1970 Nutritional disorders of the rice plant in Asia. IRRI Technical Bulletin 10 轉載外，其他由本省農業試驗所欣再發植十提供。

四 各種元素過剩症狀

據 Tanaka & Yoshida 水稻之若干毒害徵狀如下：

- (一)鐵過剩：最初小棕色斑點出現於下方葉片的尖端，漸擴及葉片的底部，並在葉脈間結合。上葉仍是綠色，但嚴重時整株葉片呈暗棕色。
- (二)錳過剩：棕色斑點發生於下方葉片的葉脈及葉鞘上。分蘖少，生長受阻。
- (三)鹽害：分蘖少，生長受阻，葉尖白化或黃化。
- (四)硼：最先老葉的葉尖黃化。然後出現橢圓形黑棕色大斑點，以至於整片老葉枯死。

參 考 資 料

- 1 山崎傳 1966 微量要素と多量要素。博友社，日本，東京。
- 2 吉田昌一 1970 アジアにおける水稻の營養障害(1)。農業技術 25 : 1 - 5 。
- 3 Sprague, H. B. (Editor) 1964 Hunger signs in crops, a symposium. Published by David Mckay Company. New York, U.S.A.
- 4 Ishizuka, Y. 1971 Nutrient deficiencies of crops. Published by FFTC, ASPAC, Taipei, Taiwan, R.O.C.
- 5 Tanaka A. and S. Yoshida 1970 Nutritional disorders of the rice Plant in Asia. IRRI Technical Bulletin 10.

作物分析結果的解釋與施肥推薦

連 深

一、植物分析診斷作物營養狀態之原理

分析植物化學成分以診斷作物營養狀態，推測肥料需要量之原理係基於植物生長或收量與植體養分或礦物質成分濃度有一定的函數關係；植體內各種養分各有某種臨界濃度（critical content），低於此則植物生長受阻，收量減少。這種濃度亦稱臨界濃度之低限（lower critical level），為診斷養分缺乏與否之基準。但這種養分濃度足夠與否之界線對某些要素而言雖然相當明顯，對於另一些要素却並不然。故有些工作者將臨界濃度定在收量開始減少（即最高收量）之點上，亦有些工作者却將其定在收量減少5%或10%之點上；蓋臨界濃度定的愈低，其應用上之限度雖然減低，其可靠性却愈高故。

又植體內之養分或礦物質成分濃度繼續增高，超過某一濃度則由於其毒害作用導致生長量或收量之減少；此濃度亦稱臨界濃度之上限（upper critical level），為診斷養分過剩之基準。有些養分濃度過高，在其呈現毒害之前先有其他生育上之不良效果，例如氮素過多則由於植物群體過份繁茂導致光能利用率之低下，因而減低收量。這種情形下之臨界濃度可能不如其他元素直接毒害的情形那麼單純、明顯；蓋其受很多環境因子之影響而變異故。

植體養分濃度與植物生長或收量之關係，其典型者如圖1：

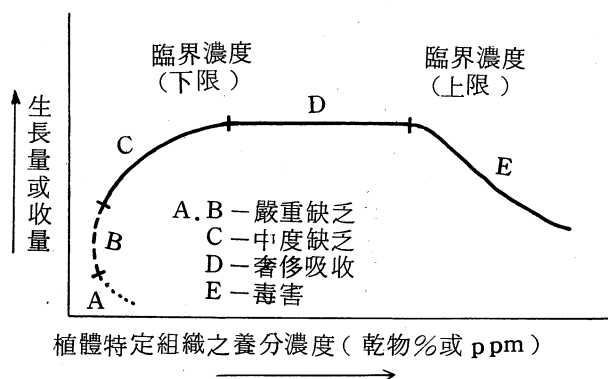


圖1 植體養分濃度與生長量或收量之關係

三、植物分析應用之限度

植物分析應用於施肥推薦之功效端賴於上述植物生長、收量與養分濃度之關係是否密切，臨界濃度是否明顯而且穩定。

事實上同一塊田之不同植物個體在養分濃度上已有相當變異姑且不論，即使同一棵植物，其養分濃度亦因部位、時期不同而有很大變異。故植物分析之第一要件就是規定採樣的部位、時期以及所分析養分的成分（如氮素可測定全氮或硝酸態氮），以減少樣本本身所引起的誤差，並期分析結果能顯著反應植物養分之需求狀態。

但即使採樣技術良好而能求得某一棵或一試驗區內植物之養分濃度與生長之關係和養分欠否之臨界濃度，其能否普遍適用於不同棵植物或大面積之植物群落仍是一個問題。蓋植物生長除了受養分供需狀態所影響外，尚受其他養分濃度之交感作用，土壤水分、氣溫、日照等環境因子，植物本身之特性；諸如植物群落之葉面積，葉片之受光姿勢，光合作用之始源（source）積儲（sink）間關係等所影響而收量更是各生育階段所生長之各器官累積並互相影響所得結果，故上述養分濃度與植物生長、收量之關係以及其養分之缺乏之臨界濃度當隨此等因子之變異而變（Bates 1971）。故各種養分之臨界濃度必須在各不同環境下加以校正（calibration）方可應用。

氮素與水稻收量間之複雜關係可由圖 2 了解一斑。

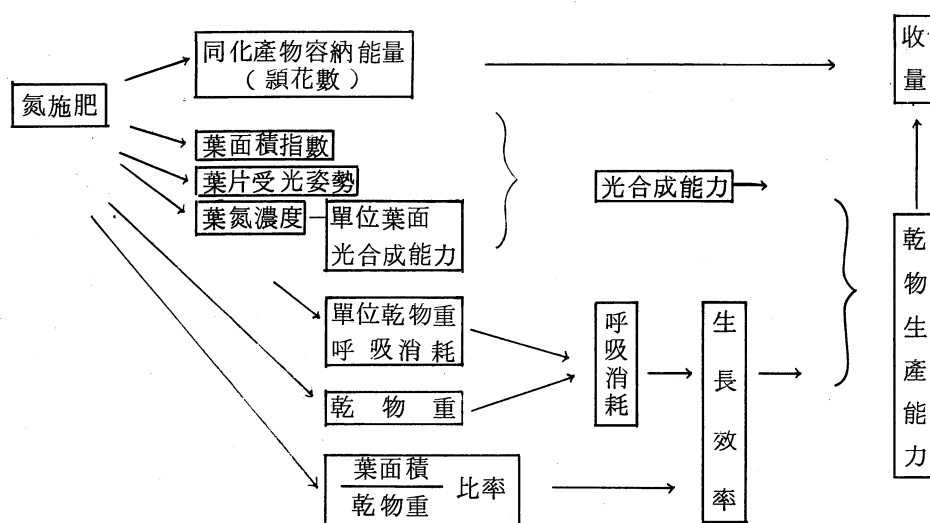


圖 2 氮肥施用支配收量之經緯（模式圖）

由於上述理由，植物分析應用之最大難題乃其精確度問題；植物分析如應用於比較嚴重之養分缺乏或過剩所致營養障礙之確認或原因之探討則很可適用，但如用於肥料施用量之推測則其精確度是一個課題。由於鈣鎂及一般微量元素之缺乏和過剩界限比較敏銳，其營養上之問題一般亦以缺乏或過剩兩個極端的為多，植物分析對於此等元素之營養診斷應用較易。至於氮磷鉀等，特別是其中之氮素，一般都是如何調節其施用量才能得到高產量或較高經濟效應等問題，通常的植物分析應用就較困難。對於此等元素如果除了其濃度外能進一步考慮其植物群落之特性，如葉面積指數，和其他環境因子，如日射量等則其與收量之相關當會更好；作物曆（crop log）之應用即為其例。許多報告指出以葉色代替葉氮濃度可得到較良好之氮營養診斷效果；蓋葉色除了反映葉氮濃度外更涵蓋葉面積、日照等因素故。

有關植物分析應用於營養診斷，施肥推薦之研究，美國方面較多，本省還少。由於各種作物在不同環境下之養分臨界濃度尚未確立，故一下子要作植體分析之服務勢遇許多困難，所推薦的施肥量精確度亦不大。但植物分析之目標如放在(1)微量及鈣、鎂等元素之營養障礙問題診斷(2)三要素肥料之浪費防止，則仍可收到相當功效。希望以上述目標進行服務之餘，繼續探討養分濃度，各種環境因子與作物收量之關係，以達到進一步提高服務精確度目的。爰將若干作物已設之臨界濃度資料抄錄，並作

若干討論。

三、若干作物之養分臨界濃度或適宜養分濃度範圍

(一) 水稻

Tanaka & Yoshida 曾經整理以往的研究成績，訂定水稻各種元素的臨界濃度如表 1。

表 1 水稻各種元素之缺乏和毒害之臨界濃度 (A. Tanaka and Y. Yoshida, 1970.)

元素種類	缺乏 (D) 或 毒害 (T)	臨界濃度	植體分析部位	生育期
N	D	2.5 %	Leaf blade	Til
P	D	0.1 %	Leaf blade	Til
	T	1.0 %	Straw	Mat
K	D	1.0 %	Straw	Mat
	D	1.0 %	Leaf blade	Til
Ca	D	0.15 %	Straw	Mat
Mg	D	0.10 %	Straw	Mat
S	D	0.10 %	Straw	Mat
Si	D	5.0 %	Straw	Mat
Fe	D	70 ppm	Leaf blade	Til
	T	300 ppm	Leaf blade	Til
Zn	D	10 ppm	Shoot	Til
	T	1,500 ppm	Straw	Mat
Mn	D	20 ppm	Shoot	Til
	T	> 2,500 ppm	Shoot	Til
B	D	3.4 ppm	Straw	Mat
	T	100 ppm	Straw	Mat
Cu	D	< 6 ppm	Straw	Mat
	T	30 ppm	Straw	Mat
Al	T	300 ppm	Shoot	Til

Mat — 成熟期，Til — 分蘗期

此表所訂養分缺乏的臨界濃度顯然比一般所了解者低，茲分別評述如下：

1. N：據 Yoshida 等，水稻分蘗期間植體氮濃度為 4 % 時分蘗最盛。當氮素濃度降至 2 % 則分蘗停止，低於 2 % 則分蘗減少。又據 Mikkelsen 分蘗期間之氮素濃度適宜範圍為 3 — 4 %。可見分蘗初期植體氮濃度應高達 3 — 4 % 以促進早期分蘗，俟分蘗數達到目標後氮濃度應降至 2 % 左右以免繼續增加無效分蘗。又據木內氏，為增加一穗粒數幼穗形成期之氮臨界濃度為 2.4

%。但如斯高的濃度是否會促成無效分蘗增加，甚值憂慮。據筆者試驗結果，幼穗形成期氮濃度如高於 1.8 — 2.0 % 則施穗肥無效，反之則有效。

2. P : 據 Yoshida 分蘗期間植體 P 濃度為 0.2 % 時分蘗最旺盛，0.03 % 時則分蘗停止。木內氏認為為增加一穗粒數幼穗形成期 P 濃度需大於 0.2 %。Mikkelsen 以 2 % 醋酸液抽出剛成熟葉 (Y leaf) 之 P 認為分蘗盛期及幼穗形成期之臨界濃度各為 0.1 及 0.08 %，但 Angladette 所示出穗期止葉之臨界濃度却高達 0.18 %。

3. K : 據 Yoshida 分蘗期間植體 K 濃度達 1.5 % 時分蘗最盛。K 濃度降至 0.5 % 時分蘗停止。又據木內氏等為要增加一穗粒數幼穗形成期之 K 濃度以 2 % 以上為宜。渠等更指出為增加千粒重出穗期之 K 濃度以 2 % 為宜。Mikkelsen 亦指出分蘗期及幼穗形成期 Y leaf 之適宜 K 濃度各為 1.4—2.8 及 1.0—2.2 %。在本省盛澄淵氏等指出出穗期及收穫期之 K 臨界濃度均為 1.7—1.8 % 左右。蘇楠榮氏檢討 Von Uexkull 的結果亦指出收穫期稻葉之 K 臨界濃度為 1.8 % 左右，對若干品種則更高達 2.2—2.3 %。由以上結果可見各人所指出之 K 臨界濃度較 N、P 趨於一致；稻葉之 K 濃度如在 1 % 以下則示鉀素嚴重缺乏，K 濃度在 2 % 以下時有施鉀肥之必要。

4. Zn : 據 Tanaka & Yoshida，分蘗期間水稻之 Zn 濃度如為 10 ppm 以下則缺鋅，但後來 Forno & Yoshida 則將臨界濃度提高為 15—18 ppm。Lantin, Cayton & Ponnamperuma 則將其提高至 27 ppm。

5. Si : 據日本及韓國報告收穫期稻葉之 SiO_2 濃度如低於 10—11 % 可以矽酸鈣之施用期待 5 % 以上增產效果。本省試驗結果其臨界濃度為 8—9 %。

6. Fe, Al : 據上表分蘗期水稻植體之 Fe 及 Al 濃度如各高於 300 ppm 則有毒害症狀或生育阻碍。但據本省 120 處稻田之水稻分析結果其 Fe 及 Al 濃度却分別高達 600—1800 及 500—1500 ppm。淡水一地產量很高，但其分蘗期植體 Fe 濃度却高達 1800 ppm，Al 濃度亦高達 1500 ppm，故其臨界濃度 (上限) 值得懷疑。

(二) 玉米

據 Jones Jr. 等玉米主要生育期，各種元素濃度之適宜範圍如表 2。

(三) 茶樹

據林家榮氏夏季所採第二嫩葉之氮濃度低於 4.25 %，磷濃度低於 0.26 %，鉀濃度低於 1.5 % 則施氮、磷、鉀各可以提高產量。葉片中 N/K 及 P/K 之適宜比值各在 2.5—3.0 及 0.175—0.225 之間。即若以葉氮之適宜濃度為 4.5 %，則葉磷及葉鉀之適宜濃度各為 0.26—0.4 % 及 1.5—1.8 %。

(四) 鳳梨

據蘇楠榮氏標準成熟葉基部白色組織中氮素之臨界濃度為 1.3 % 或更高，生育盛期為 1.4 %，而在花芽分化前 (12 月) 則高達 1.75 %。但準成熟葉之葉色指數作為診斷標準較用葉氮臨界值更為正確。

準成熟葉基部組織之鎂濃度如在生育旺盛期中期 (八月) 達 0.28—0.30 %，則果實產量可以正常。

又同一組織之生育旺盛期 (七月) 鉀臨界濃度為 3.4 %。

(五) 柑桔 : 據 Embleton 等柑桔葉片各種元素之臨界濃度如表 3。

表 2 玉米各種元素之適當濃度，分析部位及採樣時期 (Jones, Jr. et al. 1973)

元 素	Jones (1967) 雌花 吐 絲 期 雌 穗 包 葉	Neubert, et al. (1969) 同 左	Lockman (1969) 地上部整 株播種發芽後 30 ~ 45 天
		%	
N	2.76 — 3.50	2.60 — 4.00	3.5 — 5.0
P	0.25 — 0.40	0.25 — 0.50	0.4 — 0.8
K	1.71 — 2.50	1.70 — 3.00	3.0 — 5.0
Ca	0.21 — 1.00	0.21 — 1.00	0.9 — 1.6
Mg	0.21 — 0.60	0.31 — 0.50	0.3 — 0.8
S	— — —	0.21 — 0.50	0.2 — 0.3
		ppm	
Al	10 — 200	— — —	0 — 70
B	4 — 25	15 — 90	7 — 25
Cu	6 — 20	8 — 20	7 — 20
Fe	21 — 250	21 — 250	50 — 300
Mn	20 — 150	34 — 200	50 — 160
Mo	— — —	0.6 — 1.0	— — —
Zn	20 — 70	50 — 150	20 — 50

又據邱再發氏，椪柑及桶柑，蘋果及梨等樹在八月中所採不結果枝條之葉片標準濃度如下：

表 4 臺灣椪柑、桶柑、蘋果、梨樹在八月採取未結果枝條之葉片養分標準濃度 (邱·1976)

果 樹 Fruit tree	N %	P %	K %	Ca %	Mg %
椪 柑 及 桶 柑 Ponkan and Tankan	2.9 — 3.5	0.12 — 0.18	0.9 — 1.7	2.5 — 4.5	0.25 — 0.50
蘋 果 及 梨 Apple and pear	2.0 — 2.6	0.12 — 0.30	1.0 — 2.0	>1.25	0.25 — 0.50

由上可見已設各種作物營養診斷之基準很多仍相當粗放，其適宜養分濃度之範圍甚寬。爲要達到經濟施肥及提高收量、品質等目的，此等基準尙待繼續研究及校正。

在尙未有充分資料以前，擬根據表 3 及 4 資料暫訂柑桔葉片養分濃度之分級標準如表5。

表.3 柑桔 (Valencia 和 Navel orange) 葉片分析營養診斷標準 (Embleton et al. 1978)

Element	Unit (total in dry matter)	Ranges ²				Excess
		Deficient	low	Optimum	High	
N	percent	< 2.2	2.2 to 2.3	2.4 to 2.6	2.7 to 2.8	> 2.8
P	percent	< 0.09	0.09 to 0.11	0.12 to 0.16	0.17 to 0.29	> 0.30
K ³	percent	< 0.40	0.40 to 0.69	0.70 to 1.09	1.10 to 2.00	> 2.30?
Ca	percent	< 1.6?	1.6 to 2.9	3.0 to 5.5	5.6 to 6.9	> 7.0?
Mg	percent	< 0.16	0.16 to 0.25	0.26 to 0.6	0.7 to 1.1	> 1.2?
S	percent	< 0.14	0.14 to 0.19	0.2 to 0.3	0.4 to 0.5	> 0.6
B	ppm	< 21	21 to 30	31 to 100	101 to 260	> 260
Fe ⁴	ppm	< 36	36 to 59	60 to 120	130 to 200?	> 250?
Mn ⁴	ppm	< 16	16 to 24	25 to 200	300 to 500?	> 1000?
Zn ⁴	ppm	< 16	16 to 24	25 to 100	110 to 200	> 300
Cu ⁴	ppm	< 3.6	3.6 to 4.9	5 to 16	17 to 22?	> 22?
Mo ⁵	ppm	< 0.06	0.06 to 0.09	0.10 to 3.0	4.0 to 100	> 100?
Cl	percent	?	?	< 0.3	0.4 to 0.6	> 0.7
Na	percent	?	?	< 0.16	0.17 to 0.24	> 0.25

- 1 除了氮素以外，本表之各種標準值亦可適用於葡萄、檸檬及其他的柑桔品種。
- 2 基於不結果枝及不分枝之春梢枝條，其頂端生長5~7個月的葉片的濃度。詳細如葉片採樣須知。
- 3 鉀素標準值係基於該要素對果實數目之效果所定。
- 4 此等標準值當不能適用於已噴過此等元素之葉片。
- 5 由結果枝條之葉片所得。

四 植物分析結果之解釋應注意事項

植物分析結果所示養分濃度之高低，一般都原因於土壤中該養分供給之多寡，故植物分析之結果示某種要素濃度低時，一般的對策是依其缺乏的程度建議施肥量。但有很多場合植物分析所顯示之養分缺乏或過多並不直接原因於土壤中該養分供給之多寡，在植物分析結果之解釋及施肥建議上不能不加以留意。茲分述如下：

(一)土壤中雖含有養分，但因物理性不良，如硬度大，致使作物根不能充分發揮作用，或因排水不良，致使土壤中氧氣發生不足現象，於是作物根的呼吸作用乃受阻礙。例如石灰性土壤加上排水不良的情形下，水稻的鉀、鋅吸收最易受阻呈現缺乏現象。又作物根的呼吸作用受到阻礙時其氧化力減弱，則易受鐵入侵，呈現鐵過剩毒害等是。

又土壤的酸鹼度直接影響養分之有效性，故有時候不必施用所缺養分而只要以石灰或硫調節土壤酸鹼度即可解決問題。

(二)土壤中雖含有養分，然而有頑頑等關係的成分含量異常的多時，作物不能吸收利用其所必須的養分。例如土壤中的鉀過多時，植物根的鎂吸收可能受到抑制而缺鎂。又如植物缺鉀、矽等元素致使根部氧化力減弱易使鐵入侵而呈現鐵的毒害；旱田中施磷過多常會引起鋅、鐵吸收的困難而呈現鋅、鐵的缺乏；因酸性土壤中鐵、鋁之活性大，磷肥易被土壤吸着固定，減低有效性而呈現磷的缺乏。

故根據植物分析結果推薦施肥時，更要參考其過去之土壤管理（包括施肥）情形。有時只要糾正施肥，使養分間之平衡轉好，即可解決養分缺乏的問題。

(三)氣象條件亦與作物之要素欠缺有關係；如鎂的欠缺易發生於多雨期，鈣及硼的欠缺多發生於乾旱期（因植物體內之水分不能充分移動會阻礙此等要素之吸收），氣溫低，磷的效果特別明顯等皆示氣象方面之因素亦會助長缺乏症之發生。

綜上可知，農作物之要素缺乏症，並非僅因土壤中之必須要素的絕對量不足為其唯一造成原因，有時係由多種要素錯綜交雜影響而引起者。是故植物分析結果之解釋尚需植物徵狀之觀察和土壤分析資料之配合方能臻效。

柑桔葉片要素濃度之級別施肥建議，暫擬如表 6。又柑桔葉面施肥時，其噴液之濃度如表 7。

表 5 柑桔葉片要素濃度分級標準（草案）

要素濃度	極 低	低	中	高
N (%)	< 2.9 而且有缺乏徵狀	< 2.9	2.9 ~ 3.5	> 3.5
P (%)	< 0.12 而且有缺乏徵狀	< 0.12	0.12 ~ 0.18	> 0.18
K (%)	< 0.9 而且有缺乏徵狀	< 0.9	0.9 ~ 1.7	> 1.7
Ca (%)	< 2.5 而且有缺乏徵狀	< 2.5	2.5 ~ 4.5	> 4.5
Mg (%)	< 0.25 而且有缺乏徵狀	< 0.25	0.25 ~ 0.50	> 0.50
Fe (ppm)	< 36	36 ~ 59	60 ~ 120	130 ~ 200
Mn (ppm)	< 16	16 ~ 24	25 ~ 200	201 ~ 500
B (ppm)	< 21	21 ~ 30	31 ~ 100	101 ~ 260
Cu (ppm)	< 3.6	3.6 ~ 4.9	5 ~ 16	17 ~ 22
Zn (ppm)	< 16	16 ~ 24	25 ~ 100	110 ~ 200

表 6 柑桔葉片要素、濃度等級別施肥建議（草案）

要素	葉片要素濃度等級	要素推薦量 (Kg/ha) 或其他建議
N,P,K	缺乏	按慣用量 * 增 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 。
	低	按慣用量增 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 。
	中	按慣用量或按慣用量減 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$ 。
	高	按慣用量減 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ 。
Ca	缺乏	施石灰石粉或白雲石粉 (1~2 t/ha) 以改變 pH 至 5.5 ~ 6.0 為目標，每年檢查 pH 一次，如超過 6.0 即停止。
	低	同上
	中	pH 在 5.0 以下之土壤，仍可建議施用適量石灰石或白雲石粉。
	高	不施
Mg	缺乏	除冬季施用白雲石粉 (1~2 t/ha) 外，應於春夏季合計施用每棵 0.7 ~ 1.5 公斤硫酸鎂於土中。亦可建議葉面施肥，詳細如另表，每年噴五次，以藥液不滴下為度。
	低	施用白雲石粉 (1~2 t/ha)。
	中	pH 在 5.0 以下之土壤仍可建議施用適量石灰石或白雲石粉。
	高	不施
B	缺乏	於早春施用硼砂，每棵 100 ~ 150 克，亦可建議葉面施肥。
	低	硼砂用量每棵 0 ~ 100 克。
	中	不施
	高	不施
Cu	缺乏	於早春施用硫酸銅，每棵 40 ~ 80 克，或葉面施肥。
	低	同上，每棵 10 ~ 40 克或葉面施肥。
	中	不施
	高	不施
Fe	缺乏	於早春施用硫酸鐵，每棵 100 ~ 200 克，並建議施用堆肥或葉面施肥。
	低	同上，硫酸鐵用量每棵 50 ~ 100 克。
	中	不施
	高	不施
Mn	缺乏	於早春施用硫酸錳，每棵 40 ~ 60 克或葉面施肥。
	低	同上，硫酸錳每棵 10 ~ 20 克。
	中	不施
	高	不施
Zn	缺乏	葉面施肥數次，可建議施用堆肥。
	低	同上，但 1 ~ 2 次，可建議施用堆肥。
	中	不施
	高	不施

* 如慣用量低於農林廳編“作物施肥手冊”中所推薦之標準用量，則改按標準用量增減。

表 7 葉面施肥噴液濃度 (柑桔)

摘自山崎 1966

肥料要素	使用化合物 *	化 合 物 濃 度
N	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	0.5% 6~8月, 0.8% 9月, 1.0% 11-12月。
P	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0.5 ~ 1.0 %。
K	—	—
Ca	CaCl_2 或 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.3 ~ 0.4 %。
Mg	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2 ~ 3% 數次。
Fe	$\text{FeSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	0.1 ~ 0.2 % 數次。
Mn	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CaO} (1:1)$	各 0.25 ~ 0.3% 5 - 6 月數次。
B	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 或 H_3BO_3 和 $\text{CaO} (1:1)$	各 0.2 ~ 0.3% 5 - 6 月數次。
Zn	ZnSO_4 和 $\text{CaO} (1:1)$	各 0.6% 5 - 8 月數次。
Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CaO} (1:1)$	各 0.2 ~ 0.4% 同上。

* 可使用工業用級。

參 考 資 料

1. 山崎 傳 1966 微量要素と多量要素。博友社, 日本, 東京。
2. 木内知美 1968 水稻の栄養診断とその方法。農業および園藝, 43:1823-1829。
3. 林家荃 1967 植物分析與施肥(5): 利用葉片分析檢定本省主要茶區 NPK 需要狀況。中華農學會報新 60: 81-93。
4. 邱再發 1976 柑桔、梨及蘋果樹葉片診斷之研究。中華農業研究 25: 3, 214-226。
5. Angladette, A. 1964 Nutritional status as indicated by Plant analysis. Page 366 in "The Mineral Nutrition of the Rice Plant." The Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland.
6. Bates, T. E. 1971 Factors affecting critical nutrient concentrations on plants and their evaluation: a review. Soil. Sci. 112:116-130.
7. Embleton, T. W. et al 1978 Leaf analysis as a guide to citrus fertilization. Pages 4-9 in Reisenauer, H. M. ed. Soil and plant tissue testing in California. Division of Agricultural sciences, university of California, Bulletin 1879.

- 8 Forno D. A., C. T. Asher and S. Yoshida. 1975 Zinc deficiency in rice. II. Studies on two varieties differing in susceptibility to Zinc deficiency. Plant and Soil. 42:551-563.
- 9 Jones, Jr. J. B. and H. V. Eck. 1973 Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorgham. In Walsh, L. M. and J. D. Beaton (Editors). Soil testing and Plant Analysis. Soil Science Society, America.
- 10 Mikkelsen D. S. 1978 Diagnostic Plant analysis for rice. Pages 16-17 in "Soil and Plant-Tissue Testing in California." Division of Agricultural Sciences, University of California Bulletin, 1879.
- 11 Su, N. R. 1969 Research on fertilization of pineapples in Taiwan and some associated cultural problems. The Soc. Soil Scientists and Fertilizer Technologists Taiwan, Special Publication No.1.
- 12 Su, N. R. 1976 Potassium fertilization of rice. Pages 117-148 in "The Fertility of Paddy Soils and Fertilizer Application for Rice". FFTC, Taipei, Taiwan.
- 13 Tanaka, A. and S. Yoshida 1970 Nutritional disorders of the rice plant in Asia. IRRI Technical Bulletin 10.
- 14 Yoshida, S. and Y. Hayakawa 1970 Effects of mineral nutrition on tillering of rice. Soil Sci. Plant Nutr. 16:5,186.

土壤與植物速測設備與其運用

儀器分析與維護

李 蘭 帝

一、pH 計

pH 的定義如下： $\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$ ， a_{H^+} 為氫離子的活性，以一公升溶液裡的莫爾做單位。在塩濃度低的溶液裡活性與濃度相接近。在塩濃度高的溶液則不然。故考慮 pH 值亦應考慮塩濃度。

(一)測定原理

很多指示劑可供 pH 的測定用。但電化學的方法較普遍，所以玻璃電極幾乎成為測 pH 的標準方法。玻璃電極與基準電極在水溶液中產生一種電動勢，其關係如下：

$$E = E_0 + 2.303RT(\text{pH})$$

E 即代表電動勢。 E_0 為一常數，依電極組合而定。R 為氣體常數。T 為絕對溫度。在 29°C 時，pH 相差 1，電動勢即相差 60 mv。

(二)測定儀器

電動勢的測定即需電位差計，有特殊的電位差計供 pH 的測定。一般純溶液的 pH 測定並無大問題。但有膠狀物質存在時，常使讀數不穩或不一致。原因在基準電極有小毛孔連溶液，該處如有膠狀物質存在時常引起干擾的緣故。在測定土壤 pH 時即有此現象。解決的方法有：讓土壤沈澱後，玻璃電極插入土壤中，而基準電極在上面的純溶液裡。如此可避免上述的干擾。另一方法為溶液中加入 KCl 等塩類。所以亦有人用 NKC1 去測土壤的 pH。

(三)儀器維護

pH 計甚怕潮濕。潮濕的地方最好裝有除濕機。通常毛病多在電極。基準電極的小毛孔不能塞住。正常的基準電極如懸掛在大氣中隔日毛孔處即有白色的 KCl 結晶。否則毛孔即被堵塞。玻璃電極的老化是另一個問題。老化的結果使反應遲鈍。電極常用酸洗是有幫助的。在筆者的經驗用 5% 的 HF 泡玻璃電極一分鐘，非常有效。pH 計最好有兩個以上的標準液去校對。為使兩個標準液的讀數對準常需調整斜率。如 pH 計無斜率調整，可用溫度調整代替。事實上兩者為同一作用。此時溫度指示可忽略。pH 計的毛病常用短路法來檢查。將兩電極的插入口短路時，如指示穩定，零點調整自如，則放大器大致無問題。

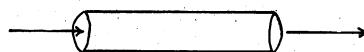
二、導電度計

物質受到外來的電源常產生電流，歐姆定律敘述如下：

$$I = KE$$

I 為電流，E 為電壓，K 為比例常數稱為導電度。K 雖稱常數，事實上受材料及形狀的影

響。如果導體為一圓柱形，而電流方向如圖則：



$$K = k A / L$$

A 為斷面積，L 為長度，k 稱為比導電度。比導電度與形狀無關，只與材料有關故可視為某一物質的特性。比導電度的單位為 mho/cm，其千分之一為 millimho/cm。

(一)測定原理

使用電橋為測定導電度的標準方法。如遇平衡點不夠明顯時：①選擇適當頻率，②電極使用白金黑電極，③加適當電容器等辦法來求改善。另有一些直讀式的導電度計雖然準確性較差，但使用簡便。

測定時通常備用標準溶液。如用 0.01N KCl 時其導電度如下表：

溫度 °C	導電度 (millimhos / cm)
15	1.147
16	1.173
17	1.199
18	1.225
19	1.251
20	1.278
21	1.305
22	1.332
23	1.359
24	1.384
25	1.413
26	1.441
27	1.458
28	1.496
29	1.524
30	1.552

導電度與比導電度成比例，其關係如下：

$$k = CK$$

k 為比導電度，K 為導電度，C 為電極常數。由標準液之讀數求得 C 之後，樣本之比導電度即可算出。有些儀器可設定電極常數可省上述之計算。

另一個問題為溫度之影響。溶液之溫度愈高，導電度愈高，所以通常以 25°C 之溫度來表示比導電度。這樣樣本溶液必須調整至 25°C 才可以測定。在較粗放的測定場合可用溫度校正法去計算，其公式如下：

$$\text{比導電度 (25 }^{\circ}\text{C)} = \text{比導電度 (t }^{\circ}\text{C)} \times \{ 1 - 0.025 (t - 25) \}$$

有些儀器設有溫度調整可省上述之計算。

在稀薄溶液，比導電度與鹽濃度幾乎成比例。所以比導電度常被用做鹽分含量的指標。

(二) 維護

電橋的導線接點處偶爾產生接觸不良等現象。用酒精擦拭可能有幫助。另一種毛病為電極的白金黑脫落。可用氯化白金溶液再電渡一層白金黑即可。

三、分光光度計

分光光度計由三個單元所構成，包括光源、分光器與光度計。

(一) 光源：鎢絲燈在可視部範圍所用。氬放電管用在紫外部。土壤肥料工作上以鎢絲燈最常用。

如果分光光度計為單光束的話光源的穩定非常重要。讀數的不安定常因光源所引起。通常電源安定器有它適用的電源範圍，所以必須注意我們的電源是否在安定器所要求的範圍內。

(二) 分光器：通常使用三稜鏡或光柵。分光器的重要特性為它的分解能，常以光帶寬度表示。在一般土壤肥料工作上，光帶寬度在 10 nm 以下，已夠使用。簡單的儀器常用濾光板，但它的使用受限制。標準線常有彎曲現象，原因之一為光帶寬度不夠窄。

(三) 光度計：光系有兩種設計：單光束與雙光束。雙光束分光光度計有特殊優點，尤其是波長的掃描。所以需要某某波長範圍的光譜時非常需要。一般經常工作單光束已夠使用。

(四) 比色原理

在做比色時，只要相對的光強度。通常將空白液放入時其光度設定為 100。將空白換成樣本所得的讀數即為透光率。所以說讀數是相對的。另有一種讀數稱為吸光度，透光率與吸光度的關係如下：

$$\text{吸光度} = \log (100 / \text{透光率})$$

吸光度有個優點，通常與濃度成比例。這兩種讀數如刻在同一表上時，透光率成等間隔，而吸光度則不然。另一種設計為吸光度也呈等間隔。如再設計一種放大裝置，濃度可由讀數直接讀出。在吸光度與濃度不成直線關係時，應由一系列標準來做標準線。一般比色透光率宜在 20 ~ 60 % 之間。

(五) 維護

一般使用說明書上均有維護的詳細說明。特別須要注意的：①受潮問題，②樣本室的清潔，③有散熱部應保持空氣暢通。

四、火炎光度計

火炎光度計事實上也是一種分光光度計。光源由火炎來取代，樣本室可不必，其餘無大改變。有一個特殊的裝置叫噴霧器。

火炎光度計在測鉀鈉很方便。這種儀器的分光器通常用濾光板以降低價格。

火炎光度計的標準線會產生彎曲，尤其測鈉時更為明顯。低濃度的情形可得較直的標準線。樣本溶液的鹽濃度常會影響火炎。高濃度鹽分甚至於產生火炎頭部的堵塞現象。常記住，盡可能使用低濃度的溶液。

維護：

火炎頭部時常需要清潔。噴霧器堵塞時必須遵守說明書的方法去排除故障。用壓縮空氣將噴霧器倒吹有時也有效。一些廢液的排泄管要保持清潔，並注意要有水在管內。對燃料氣體要特別小心以策安全。

五、原子吸光儀

原子吸光儀在土壤肥料工作上顯得很有用。這儀器的優點：①高靈敏度，②甚少有干擾，③方法簡便。在原理上它是火炎光度計的反面使用，也就是不測發光而測吸光的方法。在構造上仍保持分光光度計的基本構造，但下面幾點修改：①陰極管取代光源，②樣本室成為火炎部。一部現代的原子吸光儀構造相當複雜，不便詳述。

因為與火炎光度計同樣使用火炎，在火炎光度計應注意的項目，在原子吸光儀同樣適用。常記住，盡可能使用低濃度的溶液。

因為它是測吸光的方法，所以與比色法同樣透光度在 20~60% 為適當。在高濃度常有標準線彎曲現象。解決方法與比色相同。

使用 Varian Techtron Model AA-5 原子吸光儀應調節之條件如下：

元 素	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
灯管電流 (Lamp current) mA	3	3	5	5	3	5
波長 (Wave length) mμ	422.7	285.2	248.3	279.5	324.7	213.9
燃料 (Fuel)	乙 炔	乙 炔	乙 炔	乙 炔	乙 炔	乙 炔
助燃劑 (support)	空 氣	空 氣	空 氣	空 氣	空 氣	空 氣
隙縫寬度 (Slit width) nm	0.5	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5
適當之測定範圍 μg/ml	1-4	0.1-0.4	2.5-10	1.0-4.0	2-8	0.4-1.6

土壤與植物速測站之規劃配備與管理

林 家 榮

一 引 言

自從 Liebig 氏創議植物營養論以來，農業學者多從事土壤與植物化驗診斷作物需肥之研究，但從 1850 年至 1920 年間多無建樹，迨至 1920 年晚期，Bray、Hester、Morgan、Spurway 與 Truog 諸氏創議土壤有效性營養素學說以來，土壤速測漸受重視，1940 年後期更被公認為判斷作物施肥重要工具之一，以土壤與植物測定推荐施肥，雖非十全十美，但就目前智識，捨此之外，尚無其他更具體之有效方法。

目前美國各州均有土壤速測站的設立，每年分析土壤樣本數百萬個，亦有若干商業性土壤速測站，其他如愛爾蘭、丹麥、荷蘭、蘇格蘭、英格蘭、德國、法國及印度等，亦有健全之土壤速測系統，最近台肥公司王中立氏考察荷蘭 Oosterbeek 土壤與植物速測所之報告中稱，該所自 1927 年成立以來，業務蒸蒸日上，目前每年分析樣本多達 25 萬餘件，採用電腦一貫作業，堪稱世界著名之農民服務機關之一。加拿大土壤速測包括添加土樣，抽取土壤溶液，以及測定溶液中之營養素亦均採用自動化一貫作業，據報告每星期每人可測定 792 個樣本，每一樣本測定項目包括 pH，有機物，有效性磷鉀及鎂等 5 項。在美國 Delaware、Maryland 與 New Jersey 等州之土壤速測亦已採用自動化分析，二十年前，作者參觀美國各州之縣土壤速測站時，其設備多屬簡陋，遠不如本省區農改場目前所擁有者，可見土壤速測有其發展遠景。

本省各區農改場土壤肥料股附設速測室以來，已逾十年，設備研究均具基礎，為發揮土壤速測功能，省農林廳決定自本年度開始接受農民樣本，免費化驗服務，此時討論速測站之規劃配備與管理，有欠實際，事實上，速測站之規模配備可大可小，視其業務需要發展遠景而定，難作定論，不過，十年前土壤肥料股成立之初，多屬因陋就簡，少有規劃，目前各區農改場多醞釀搬遷，報載政府決定實施第二次土地改革，擴大每戶農場面積，朝向工業化國家經營農業，預料土壤速測將更被重視。因此，不揣冒昧，謹抒管見，提供參考。

二 規 劃

速測站之工作性質係接受農民所送龐大之土壤／植物樣本，及時處理，化驗結果，儘速通知農民，并希望農民按照施肥推荐之後，可獲得最高利潤。為配合工作有效的推展，需要的實驗室有化驗室包括天平室、儀器室、化學藥品室、貯存室、與土壤樣本乾燥室、土壤樣本製備室、植物樣本製備室、樣本貯存室、溫室、網室、辦公室、衛生設備以及安全措施等。

速測站的規劃常遇有二種情形，其一為將舊實驗室或辦公室或其他建築物，予以修建，另一則屬闢地新建，前者多屬臨時措施，常難達到所要求，後者雖可隨心所欲，但仍受法規、經費、場地等等的限制，因此，僅提若干原則說明如下：

(一)位置：以清靜、遠離畜舍、堆肥場，不易受污染地區為宜，除有足夠場地興建前述措施外，尚須考慮空間可容將來發展餘地。

(二)建築形式：採用多層式或平層式，多取決于經費與可用場地之面積。

(三)設計：一般可分為兩類，其一將實驗室與辦公室均置于建築物之一邊，使光線直接射入走廊，另一為將走廊置于中央，雙邊隔間成實驗室或辦公室，大實驗室多置于較深的一邊，兩邊辦公室或其他房間置于較淺的一邊（圖 1，2），而將所有管道（如進排水管、通風裝置、壓縮空氣、抽氣等）置于靠走廊之實驗室牆壁內，萬一發生障礙，容易修繕。

1. 化驗室的大小：其寬度取決于實驗桌的種類與數目，實驗桌的方向多與玻璃窗成直角，

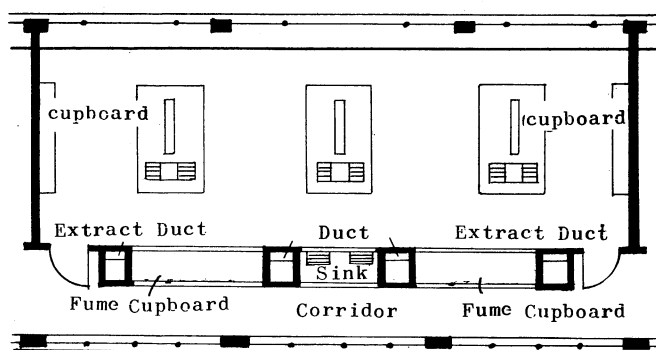


圖 1 一邊走廊之實驗室

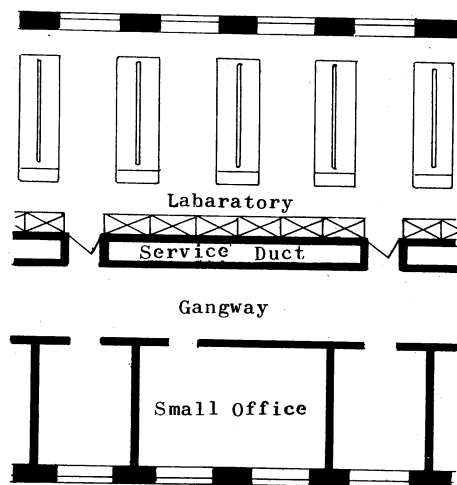


圖 2 中間走廊兩邊不同深度之實驗室與辦公室

單邊實驗桌寬度以不超過 80cm 為原則，雙邊實驗桌以不超過 160 cm 為原則，實驗桌間走道以留置 1.4 ~ 1.9 m 為宜，實驗桌的高度約為 88 cm，每單位實驗室可從 3.0 ~ 3.5 m（圖 3、4、5），化驗室的深度則取決于實驗桌的長度，以及固定儀器所需要的空間，室內地面之天花板高度為 3.25 ~ 3.50 m，大而深的化驗室則宜增至 4 ~ 4.25 m。由單位實驗室的寬度可估計全建築

物所需要的長度。

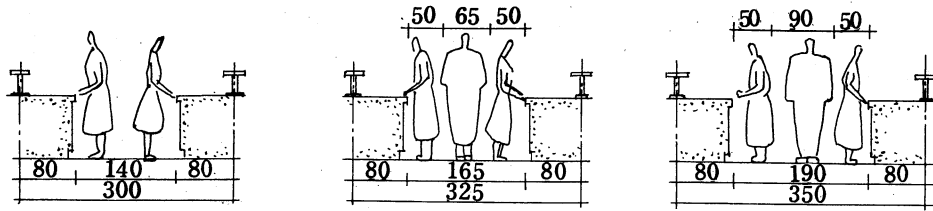


圖 3 實驗桌間之距離 (cm)

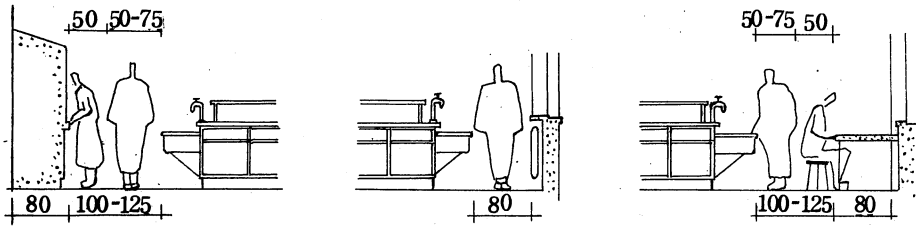


圖 4 實驗室內通道之寬度 (cm)

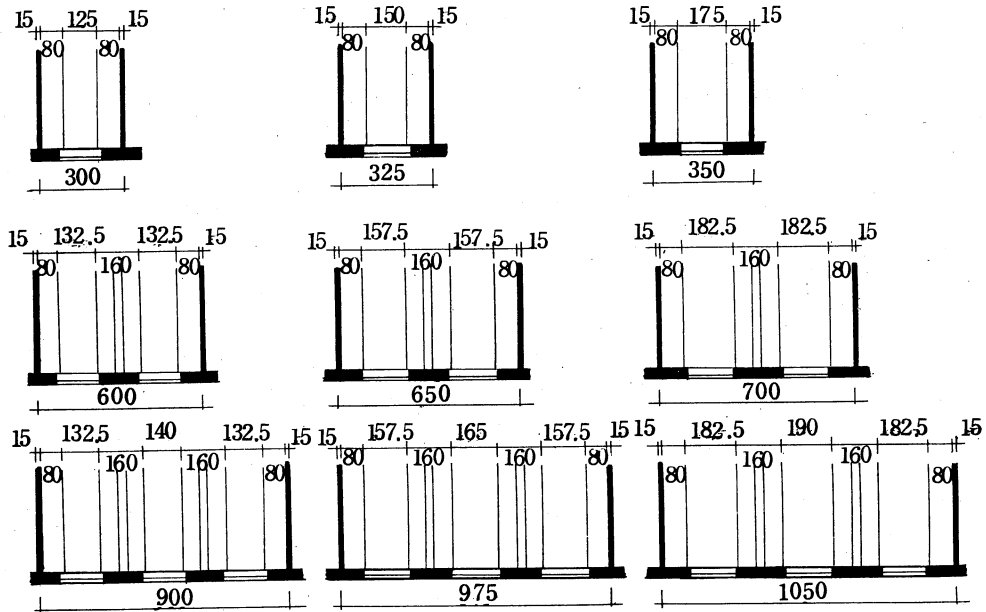


圖 5 實驗室之寬度 (包括室、窗與通道), cm
比例尺 1/200

2. 門窗的大小：門的寬度以不低於 1 m 為原則，最好為 1.10m，可使儀器或其他器具易于搬運，有時亦可用雙門，總寬度為 1.20m，一邊門的寬度為 0.9 m，另邊為 0.30m，前者經常開啓使用，後者只在必要時開啓，門的開啓，多向走廊，萬一室內發生緊急事故，易於開啓。

室內工作需要品質良好的天然光線，玻璃窗的寬度應配合單位實驗室的大小，普通為 1.50m，約為單位實驗室寬度之半，窗的高度儘可能予以提高，使入射光線可達及實驗室的內牆壁，但基座窗檻

應離室內地面約 90 cm 高，以便安置實驗桌，從玻璃窗入射光線抵達工作桌面之角度以不低於 27° 為原則（圖 6），玻璃窗面積與室內平面面積之比約為 1.4 或 1.5，目前本省多採滑動鋁門窗，窗的啓閉，不影響實驗桌的器具。

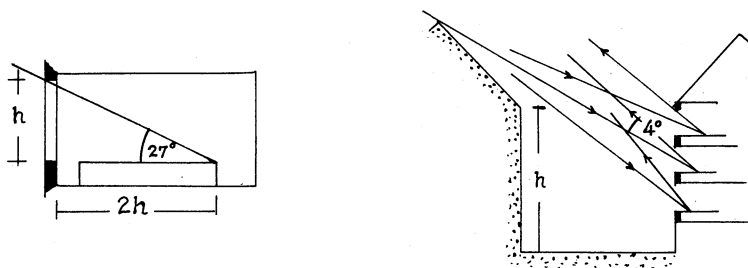


圖 6 入射光線之角度

3. 地面牆壁與天花板：一般實驗室地面的負荷不宜低於 500 kg/m^2 ，以 750 kg/m^2 為宜。目前本省實驗室地面鋪設的材料多為地磚，水泥磨石子，或塑膠地板，各有利弊，尚難找出一種材料，符合各種情形需要者。隔間牆壁多屬磚造，外塗塑膠粉刷，若利用玻璃隔間，基座約須離地面 1.10 ~ 1.20 m，所用玻璃以半透明為佳，以免日光燈反射。天花板上多鋪設各種水平管道，須預留可移動部位，必要時，可進入修繕。

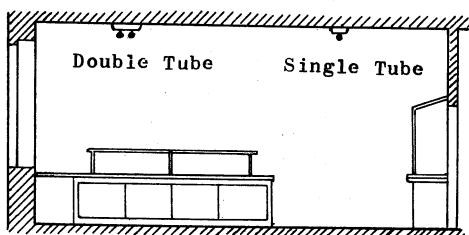
4. 走廊：若化驗室等之門開向走廊，則走廊寬度以 2.25 ~ 2.50 m 為宜，否則多不超過 2 m，過寬，終將導致放置器具，以致緊急時，阻塞通路。

5. 通風：化驗室內空氣常因高溫電爐、熱板、水浴鍋以及化學藥品等所散發的氣體而污染，室內空氣需要經常更新，普通以每小時 6 ~ 15 次為宜。速測站的化驗室若設有 1 ~ 2 個良好的通風櫥及通氣罩，凡發生污氣的工作均在通風櫥內進行，再加上門窗，可能不至發生通風問題，若設置中央空氣調節系統，則室內溫度與濕度均可控制，最為理想，但安裝與維護費相當可觀。室內舒適之溫度與濕度如表一。

表一 舒適之溫度與濕度

室 外 溫 度 $^\circ\text{C}$	20	24	28	32	35
舒適的室內溫度 $^\circ\text{C}$	20	22	24	26	27
相 對 濕 度	75	65	57	50	45

6. 光度：光線的強度視工作性質而異，一般實驗室需要的光度為 250 ~ 500 lux，可請電氣工程師計算，設計時，最主要者為光線照射必須均勻，不出現工作者在影中工作，為使光線有日光效果，室內裝置多列日光燈時，靠近近者應有較強的光度，遠者較弱。（圖 7）



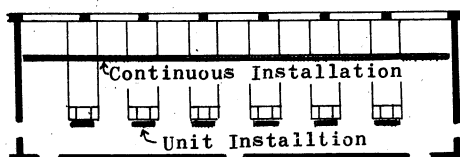


圖7 室內日光灯之排列

7. 電：本省室內常用電源電壓為 110 ~ 115 V，但實驗室有時需要 220 V 電源，電力的分配應按照速測站中各室所須電力多寡，電源電壓種類，插座位置以及預期發展所需要的電力，提供有關工程師設計，一般聯接儀器的電源，應接地線，可裝于牆壁。

8. 水：實驗室工作需要經常保持適當水壓（2 ~ 3 atm）的水源，若缺水季節，水壓降低時，應考慮裝設壓力抽水機，若屬多層建築，水源水壓僅敷基層需要時，則水道應予分開，高層者加設壓力抽水機。

9. 其他：衛生設施除一般洗盥器外，應有淋浴裝置，水源開關可用腳踏式或手肘式，以備緊急時，易於開啓沖洗。其他如瓦斯、熱水、蒸餾水之供應，壓縮空氣，抽氣以及安全警報系統等措施，若採用中央系統裝置，則在籌劃時，均應一併加以設計。

綜上而言，速測站若屬新建，經選定位置後，按照地形大小與上述原則，配合工作上的需要，將各種室間分佈情形以及固定實驗桌、通風櫥、洗槽與預定安放儀器位置等，依照比例尺繪製平面草圖，送請有關工程師予以設計，經數度修正協調之後，作成定案。

三 配 備

配備包括範圍甚大，有事務性的與業務性的，前者如打字機、計算機與複印機等等，後者如儀器與圖書刊物等等，今日科技發達，儀器構造設計，日新月異，本文僅敘述若干有關土壤速測與植物營養診斷之若干重要基本儀器，提供參考，其他從略。

(一) 基本配備

1. 化驗室：速測站化驗室係以化學檢定為主，需要之設備有：通風櫥或分解櫥、冰箱、培養箱、水浴鍋、熱板、高溫電爐、蒸餾水裝置、去礦物水裝置、氮素分解裝置、蒸餾裝置、離心機、搖動機、攪拌器、pH 計、電導度計以及有關玻璃用具等。

2. 天平室：宜設在安靜不受震動地區，不靠近分解櫥或高溫器具，宜向北，避免日光照射，使室溫變化少，室內用人工取光及通風，不開窗，天平台構造應平穩，不易潮濕。台上一定距離應預留電源插座。最少需要化學天平乙台及上皿天平乙台。

3. 儀器室：本省氣候炎熱、濕度高，以及化學藥品散發的污氣，重要儀器放置在化驗室內易受侵襲損害，促短使用壽命，常用儀器如原子吸光儀、焰光儀、pH 計、比色計等宜集中安置于儀器室，桌枱必須堅實穩固，並預留若干電源以及排氣罩插座，進排水管、水槽以及壓縮空氣與真空抽氣管道，另安裝窗型冷氣機，保持室內一定溫度與濕度。

4. 藥庫及玻璃儀器貯存室：速測站處理龐大樣本，化驗室之桌枱應經常保持整潔，非即時應用之玻璃儀器及藥品宜有系統地存放于貯存室，有揮發性之酸鹼類藥品可分別置于有通風設備之分解櫥基座。

5. 樣本貯存室：土壤或植物樣本經乾燥、粉碎、篩別裝罐，編號後，應有次序地安裝于架層上，植物樣本容易變質受害，罐蓋尤須緊密，樣本經化驗提出報告後，約須保留半年，以便中途發生問題，有所補救，半年以後，若樣本不具再利用價值者，則可予更新，讓出空間，放置新樣本。

6. 研究室：提供工作人員辦公或研究之用，除一般事務性設備外，應有檔案櫃，貯存有關土壤速測與植物診斷資料，將來業務發展，資料多時，則應另立檔案室。

7. 土壤乾燥室：土壤乾燥問題，仍衆說紛紛，但樣本乾燥後，處理容易，化驗結果重複性高，容易作相對之比較，目前仍多採用乾燥方法。室之大小，依目前情形以同時可乾燥 1~2 仟個土壤樣本為宜，如使空間有效利用，提高乾燥效率，宜設架層及通風去濕等設備。

8. 樣本製備室：土壤與植物樣本乾燥後，化驗前，須先磨細，篩別，裝罐等手續，土壤比重大，肥料成分低，植物樣本則反是，樣本製備過程中，難免發生塵埃，引起污染，兩者樣本製備室宜隔開，室內均應有良好通風設備，可有效地將樣本製備過程中所產生的灰塵抽出。室內設備包括電氣烘乾箱（烘乾植物樣本），磨粉機、吸塵器以及不同孔徑之篩盤等。

(二) 省時配備：土壤與植物速測，顧名思義，講求時效，化驗結果，力求精確，處理大量樣本，尤應避免因人為疏忽，而發生錯誤，因此一切操作應予系統化，省時設備，多屬配合實驗室情形，有者可自行設計，種類繁多，茲提供數種作為參考。

1. 定量湯匙：在化驗過程中，除配製試藥，固體藥品必須用天平稱量外，稱量土壤樣本，費時甚多，而土壤速測結果之表示多採用公斤/公頃，或磅/英畝，其中蘊含有體積意義在內，因此若干國家土壤速測多採用量取土壤樣本之體積以取代重量，圖 8 示各種不同體積之塑膠製定量湯匙，量取土壤後，在把柄上敲打 3~4 次，除去空隙，然後用水平棒移去多餘土壤後，頃于其他容器中，目前本省僅在測定土壤 pH 時，採用之。

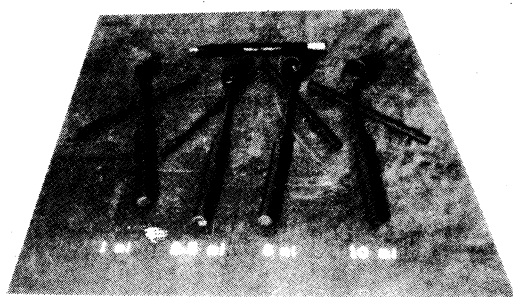


圖 8 各種定量湯匙

2. 定距離瓶杯架：該架長 23 吋，寬 2 ½ 吋，厚度 2 吋，每架設 11 孔，孔與孔之中心距離為 2 吋，孔徑大小以安放 50ml 塑膠杯，或 50ml 三角瓶者為適宜，孔內裝海棉或橡皮類材料，以便使用後倒置淋洗，瓶杯不至脫落（圖 9）

3. 溶液定量添加器：土壤或植物速測經常需要添加一定容積之抽取液或試液，該儀器添加溶液的體積由針筒控制，溶液之吸取與添加則由唧筒活塞調節，勿須動力，溶液之容器可置于同桌面，大量溶液之容器亦可置于地面，添加 25ml 試液一次，約須 5 秒，添加 110 個樣本，共須 10 分鐘左右（圖 10）亦有利用電動操作者如圖 11。

4. 定時多頭攪拌器：抽取土壤中有效態養分時，添加試液後，常須加以搖動或攪拌，測定土壤 pH

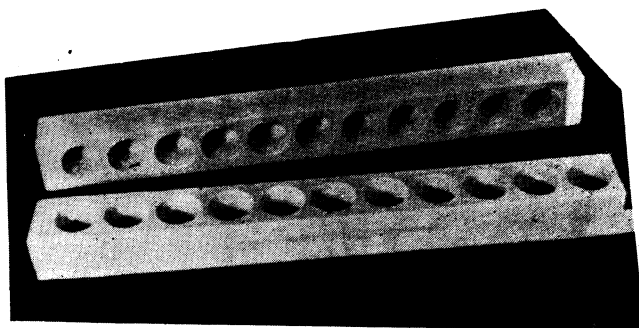


圖 9 定距離杯／瓶架

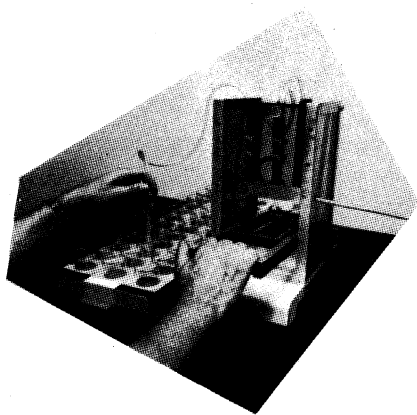


圖 10 手動定量添液機

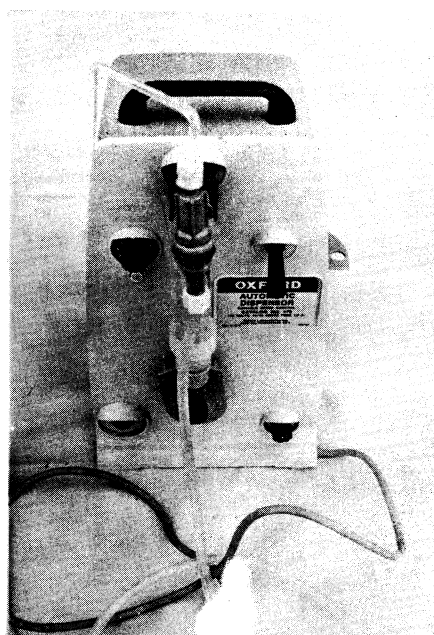


圖 11 電動定量添液機

時，亦須加攪拌，此攪拌器共有三列，每列有11支攪拌頭，棒與棒之中心距離為2吋，同時可攪拌33個樣本，利用齒輪裝置，在一定時間內，每一攪拌棒之迴轉次數一致。利用100w及100Volt電源，附設三種變速器及0～30分鐘定時器，最慢轉速為400 rpm。用後并有水流自動洗滌攪拌棒裝置（圖12）。若用電動搖動機，配置定時開關，亦具同樣功效。（圖13）

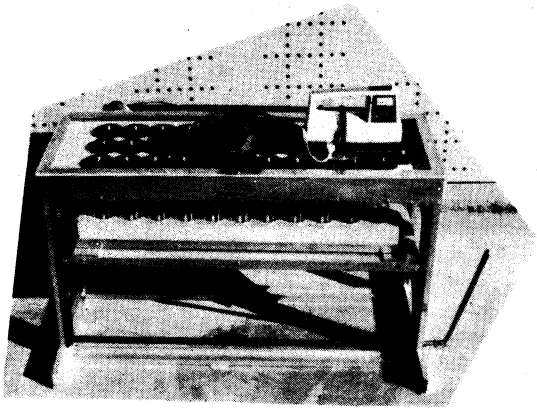


圖 12 可變速，電動定時攪拌器



圖 13 電動震盪機

5. 過濾裝置：土壤中有有效態養分經攪拌或搖動抽取後，往往需要過濾，濾架裝置之設計必須與前述定距離瓶架相配合，架長亦為 $23\frac{5}{8}$ 吋（圖 14）、寬 $2\frac{1}{2}$ 吋，每架板上設 11 孔，孔與孔之中心距離為 2 吋，孔徑之大小視帶有試管漏斗之管徑而定，架板可用兩層疊成，中襯齒狀橡皮，固定漏斗之管徑，使用後，倒置淋洗時，不至脫落。

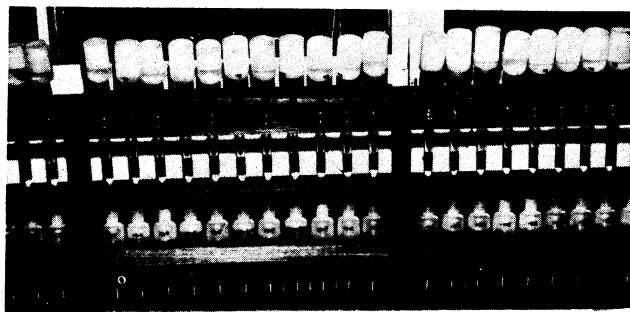


圖 14 過濾裝置

6. 實驗室推車：速測工作，往往同時處理大量樣本，雖然均在化驗室內進行，搬運仍屬難免，提

高效率宜置推車，其設計標準與前述杯瓶架之尺寸有關。圖 15 所示推車係屬不銹鋼製，每車設 5 層，每層可放置 66 個樣本，共計可安放 330 個，車底座附設滑輪，可自由旋轉，甚為輕便，推車不但節省搬運時間，并可避免人為錯誤，因推車所放置之樣本，均按照樣本號碼，順序排列。

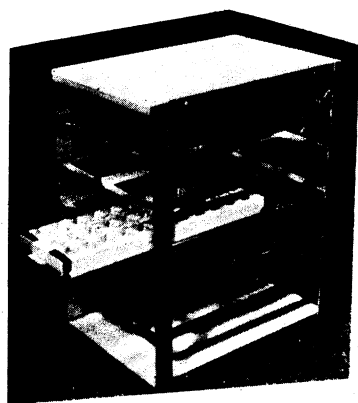


圖 15 實驗室用滑輪推車

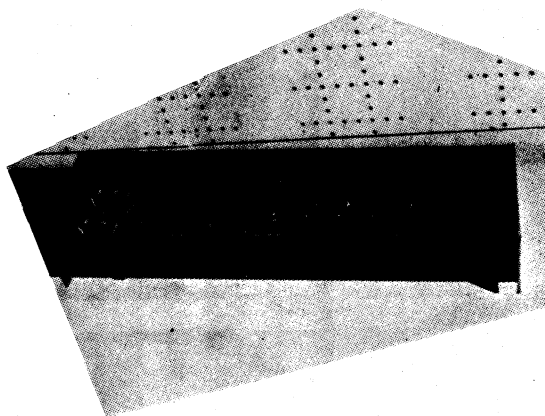


圖 16 洗滌裝置

7. 洗滌裝置：一批樣本化驗終了，留置大量已使用之杯瓶，洗滌費時，圖 16 示洗滌器係由兩列 P V C 水管構成，一列接自來水龍頭，另列接一蒸餾水，每列有 11 個出水孔，其中心距離為 2 吋，使用過之杯瓶或漏斗連架可倒置于各出水口，先用自來水沖洗，次移于另列，經蒸餾水沖洗後，倒置于推車架層上，任其淋乾，供再次使用。

四 管 理

可分為行政與業務兩方面，前者包括編制、人事與組織等，由于牽涉範圍太廣，暫且不談，茲僅將業務方面討論于次：

(一)重視採樣技術：室內化驗僅稱小量樣本，而其化驗結果所代表之面積則甚大，因此所採取之樣本必須具有代表性，否則室內化驗結果即使異常精確，仍無意義。一般農民對於採樣技術多不瞭解，若人力許可，速測站應派遣採樣熟悉人員為農民服務或指導農民採樣，或由轄區農改場訓練若干地方幹部為農民採取代表性樣本。

(二)細心處理樣本：樣本抵達後，必須立即拆封，先整理附送之資料表（附錄二及九），然後按照資料表校對樣本，必要時，并予編號，并立即給予適當處理，在處理過程中，應注意勿將樣本號碼弄錯，樣本資料表應盡量保持清潔，以便列入檔案，樣本點收清楚之後，應在資料表上加蓋簽收日期，及簽收負責人，以憑查攷。

(三)提高工作效率：目前土壤速測經常測定的項目為 pH、有機物、有效態磷鉀鈣鎂等 6 項，必要時，加測電導度，有效態矽及鋅。植物分析方面經常測定者為氮磷鉀鈣鎂，必要時，加測微量要素，各種測定方法詳另文，茲不贅述，但此等化驗結果與施肥推荐報告表須在接到樣本後，在後作整地施肥種植前，抵達農民或有關指導人員手中，在本省復作情形之下，各項化驗工作尤應特別講求效率。

表 2 測定 110 個樣本所需要時間之估計（分鐘）

化 驗 操 作	土壤經常測定項目所需要之時間（分）						植物經常測定所需要之時間（分）				
	pH	有機物	有效磷	有效鉀	有效鈣	有效鎂	氮	磷	鉀	鈣	鎂
樣 本 量 取	30	60	60	60			60	60			
添加試藥或抽取液	10	30	10	10			15	15			
分 解							90	50			
搖 動 或 攪 拌	10		5	15							
稀 釋					15	15	15	15	15	15	15
過 濾		15	15	15							
量取分解液或抽取液			35								
添 加 試 藥			20				120	30			
保 溫		24hr*					36hr*				
測 定	60-120hr**	90	90	60	60	60	90	90	60	60	60
測定結果計算及登記	15	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
用 具 洗 滌	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
合 計	155-215	255	295	220	135	135	470	320	145	145	135

* 時間不予計算

** 視 pH 計靈敏而定

表 2 示在熟練分析工作人員之下，每次測定 110 個樣本（其中 10 個為對照樣本）所需要的時間。其中土壤經常測定者有 6 項，共須 1255 分鐘，相當于 21 小時，植物經常測定者有 5 項，共費 1295 分鐘，相當 21½ 小時，換言之，每一速測站若有熟練化驗人員 3 人，每日工作 7½ 小時，每星期分析 5 天，星期六半天供作儀器維護，配製試藥及室內清理之用，則每星期可化驗土壤或植物樣本 400～500 個。

速測站專責分析人員，由于處理樣本數目甚多，有時難免發生人為疏忽，如分析結果計算錯誤，或樣本號碼弄錯，以致影響施肥推荐，此等化驗記錄，必須裝訂成冊，萬一差錯，以便查攷訂正。化驗結果必須細心記載，經過一定手續校對後，送交有關人員推荐施肥。

室內化驗，操作步驟一定，時間容易控制，而田間採樣與樣本處理費時較多，因此將來速測制度邁向軌道之後，通告農民送樣時間，應依地區、氣候、作物栽培時間，預作安排，利用傳播機構如廣播電台或電視台在農民節目時間，予以插播，以收時效。

（四）追蹤推荐成果：利用植物或土壤分析結果推荐施肥，在本省尚屬初創時間，其成果如何？值得加以追蹤與檢討。

1 訪問調查：各區速測站在其轄區範圍內抽取若干送樣農民，（本年度計劃暫定為 20%），進行實地訪問調查，瞭解農民對於推荐施肥的反應，若屬滿意，則其滿意原因安在？若屬不滿意，則不滿意原因安在？所得資料，均登記于資料表中，以供檢討。

2 通訊調查：若屬短期性作物，施肥推荐之後，在該等作物將屆收穫時期，可利用通訊調查所有送樣農戶對於採用施肥推荐之反應，調查要點詳于“土壤／植物樣本資料與分析報告表”中，茲不贅述。

(五)建立資料檔案：土壤或植物樣本送至速測站，經化驗後推荐施肥，猶如病人至醫院，經醫師診斷配方，醫師診斷病症，除依賴病人口述及各項檢驗結果，尚須依據病歷記錄檔案配方，土壤與植物樣本，既未能口述其本身狀況，參攷資料記錄，推荐施肥，更屬重要。因此土壤／植物樣本資料與分析報告表必須妥為保存并整理成檔案，以便隨時查攷改進施肥推荐。此等資料檔案并應列為財產，不因人事變動而散失。

總之，管理之道在使速測業務蒸蒸日上，但單憑速測結果，推荐施肥，所受干擾因子仍多，因此除經常例行工作外，尚應加強研究，精益求精，使速測業務普受農民歡迎為首要。深望同好者共勉之。

參攷資料

1. 王中立 1978 考察服務農民的荷蘭奧斯特比克土壤速測及作物分析試驗所記 土壤肥料通訊 316 期 9 月號。
2. 李子純 1969 土壤速測室之配備與管理 台灣土壤肥力速測工作人員訓練班講義。
3. Bandel, V. A., C. K., Stottlemeyer, L. J., Cotnoir, Flannery, R. L. 1969 Uniform automated soil testing methods for Delaware, Maryland, and New Jersey. Technicon International Congress 1969 Advanced in automated analysis Vol. 2:45-50.
4. Boucher, R. J., K. D., Luke, H. H., Wood, 1969 An automatic soil analyzer. Technicon International Congress 1969, Advances in Automated Analysis Vol. 2:39-44.
5. Custom Laboratory Equipment Company. 1978 Equipment list. P. O. Box 757 or 205 E Michigan Ave. Orange City, Florida 32763, USA.
6. Melsted, S. W. 1967 The philosophy of soil testing. Soil Testing and Plant Analysis. Part I. Soil Testing. Soil Science Society of America, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin, USA.
7. Schramm, W. 1965 Chemistry and Biology Laboratories Design, Construction-Equipment. Pergamon Press Ltd. Headington Hill Hall, Oxford, 4 & 5 Fitzrou Square, London W.1.
8. Tisdale, S. L., & W. L. Nelson, 1966 Soil Fertility and Fertilizers 2nd. Ed.

土壤與肥料之識別與檢定

臺灣耕地土壤之識別

陳 春 泉

一、土壤特性之識別

(一)母質：母質為決定土壤性質之重要因素，尤以沖積土為然；所以母質之識別，十分重要，台灣之土壤母質容述如次：

1. 砂岩頁岩：要認識沖積土內之砂頁岩，十分不易，當以地區內之上游岩石為根據，較為可靠，唯粗質地之土壤，含有石片者，則不難認明。同時砂岩頁岩母質之土壤，除泥岩成分甚多或排水不良者外，土色比粘板岩者為黃，但不若紅土母質之紅與棕。
2. 粘板岩：粘板岩母質之土壤，最易識別，即一般土色灰，或青灰，如土壤已變成黃色，但隱約仍可看出原有灰之底色，或則底層可以看到薄而表面平滑之板岩碎片，或則土壤有成為層疊之感覺；同時粉粒含量較高，指間摩擦有潤滑之感覺。西部平原，凡導源於中央山脈之河流所沖積者，大底含有粘板岩母質，而以濁水溪及宜蘭濁水溪所含粘板岩為多，下淡水河含量頗豐。
3. 紅土：導源自紅土台地內之沖積土，皆含有紅土沖蝕物質，或可含有一部份砂頁岩（巔崙山層）物質。如非排水不良，一般土壤棕色，近台地者，則可含有紅色。如非排水不良，其大塊之銹斑，常為較紅之棕色，大體上土壤質地較粗。砂質多為石英。
4. 泥岩：泥岩色灰，如為新沖積者，土色灰或暗灰，pH 常較高，如為老沖積物，則土壤一般較粘，本省南部，泥岩惡地雖多，但河川下切，岸邊狹窄，其沖積土極為有限，多灌注入較大河流而入海，乃使海邊土壤，含泥岩之成分，可能增加，土壤亦較暗灰。
5. 片岩：片岩色淡，為淡灰色，形成土壤亦然；粉粒亦多，木瓜溪沖積及宜蘭縣冬山最為標準。又片岩可自淡灰色而薄之石片認出。
6. 其他：凡與石灰岩有關者，土壤常較粘，色較暗，有時有機物含量甚高。玄武岩所形成者次之。東部海岸山脈含火山岩質母岩，其沖積土亦復如是。唯安山岩之沖積土，不易識別。

總之，識別母質之前，先要明其導源，較為允當。

(二)排水：

1. 外排水：以地位高低及地下水高低為根據；地位高，地下水低者為排水良；地位低，地下水經常可達地面下 80 ~ 100 公分者，為排水不完全；地位低，地下水常近表土者為排水不良；如土壤經常在水面下，為排水極劣。目前土系分類，乃以此為根據。
2. 內排水：以土壤剖面之透性為根據，砂質土壤，排水優良；如砂土位於高地者排水過度；淺層土壤下為砂層或礫層者，透性過佳，如地下水低，亦屬排水過度。土壤粘重或剖面內具有不透水之硬盤者，則水分集聚於不透水層之上，若為大面積平坦地時，排水亦屬不良（但剖面如無排水不良之性狀時，即不具灰藍層或灰藍斑紋者，僅於下雨時，始顯排水不良之現象，土系分類，仍不屬於排水不良類）。
3. 排水情況與土壤性質之關係

(1)排水優良之土壤，土色鮮明，除因母質之灰色外，不具灰色，如屬永久性旱地，剖面不具銹紋或斑紋，但剖面中下部，可能保留有早期所形成之灰白及黃棕斑紋，此種情形，則須謹慎鑑定。

(2)排水不完全及不良：地下水常在表土下 80~120 公分處，此帶土壤具有灰藍及銹棕斑紋，或於 100 公分以下土色灰藍；即屬排水不完全。灰藍層如在表土下 20~30 公分處開始，即示排水不良。灰藍層不具銹紋者為永久浸水處，如土色不是灰藍，但色較暗，亦為較常浸水之故。

(三)土壤反應及石灰性：

1. 土壤反應：一般人注意表土層而已，但植物根可達處之土壤仍屬重要，例如有表土 pH 值 5.0 之二土壤，其一剖面下部 pH 值仍為 5.0 左右，另一剖面表土下 60 公分處 pH 為 7.0，則對深根作物之影響，二者顯有不同。

2. 石灰性：凡土壤滴以 10% 之稀鹽酸液，如有氣泡發生，即為石灰性土壤 (Calcareous)，如肉眼不見氣泡，可用耳聞有無小氣泡破裂之聲音，若有即為輕石灰性，若無，即屬非石灰性土壤，如土壤內含有石灰結核者，則可看到由結核所發生之氣泡，此為含石灰結核之土壤，與石灰性土壤不同，因其可能比較肥沃。

石灰性土壤，以濁水溪灌溉之粘板岩新沖積土，及其一部老沖積土，南部沿河及沿海等較新沖積之土壤屬之，石灰性土壤消耗氮肥，應注意追分施，亦會減低磷肥之有效性。

(四)土壤構造：土壤構造有種種，水田表土，甚難判斷，而構造最明顯者為看天田土壤之亞表土以下之稜柱狀構造，次為紅壤之稜角塊狀構造，但質地較鬆者則較不明顯，經水田利用多年者，構造亦較小且非銳角，旱作表土，則有團塊或小塊構造。

(五)土壤質地：土壤質地，田間可以指摸鑑定之，方法如次：

1. 水分：加水於土壤，使至適為塑性而止，不可過多，亦不可太少。

2. 指摸：土壤置於大姆指及食指中指間，姆指與食指反向前後擦過土壤，由指間之感覺以認定土壤粗細。如擦過之表面平滑光亮，則為比較粘重之土壤（粉質粘壤土至粘土）。

3. 砂粒：具粗感，細砂頗有粗感，極細砂則粗感微弱，指間略有滑過之感覺。

4. 粉粒：指間無粗感，僅有滑感，覺得很細緻。

5. 粘粒：指間極滑，再加少許水分，則粘度大增，指間覺有粘着力。但加水太多，則失去粘着力。

6. 再加水：上述步驟後，再加水使較為稀薄，則沙粒可以摸出及看出，而判斷其多少，並可認識其母質種類。

在土壤中，三種粒子混合，則先探砂粒之感覺情形，判別有無在 50% 以上，或 70% 以上。次探粘粒是否在 10% 以上，或 30% 以上。然後探指間之滑膩度，如屬高度，但不大稠粘，則係粉粒在 50% 以上，如此則可決定土壤質地之範圍了。

土壤不同，指面感覺亦異，含三氧化物多之土壤如紅壤，不易分散，本來較粘之土壤，會感覺得不大粘，則應盡量使土壤細碎後，才可指摸，反之如台東海岸山脈黑色土及其下灰黃粘質土壤，混合粘粒不很多時，土壤粘着力之感覺甚為顯著；而粘板岩及片岩沖積土，指摸時感覺很細緻，以為土壤會粘，乃因細粉粒多之故，結果粉質壤土會摸作粉質粘壤土，宜加注意。

表土質地，為土型 (Soil type) 分類之主要根據，土壤剖面質地之分佈為土系 (Soil Series) 分類之根據，因其對土壤水分升降，通氣，保水及保肥，均有重要之關係。

(六)土壤結構：土壤在手中，易於壓碎者，曰鬆脆 (friable)；土壤無構造，粒子密集且壓實者曰密

實 (Compact)，密實者透水性劣；土壤含密實之粘土層曰粘盤 (Clay pan)；土壤含密實而有砂或鐵之膠結物，以細砂及粉粒為主，乾時極為硬實，濕時不難使碎者曰脆盤 (fragipan)，脆盤對根及氣水皆通過緩慢或困難。

(七)土壤厚度及深度：土壤深度是指自表土至土壤底層最下部間之距離。例如土壤深度為50公分或150公分，分別為自土壤表面至50公分或150公分處為止，其下則為礫石層或岩石。土壤厚度是指每層土壤之厚薄，例如表土厚度20公分，亞表土厚度為15公分等等屬之。

(八)大土類：台灣耕地土壤種類及其主要區別，概述如次：

1. 紅壤：凡紅土台地所見者屬之，土壤紅色，容易辨認。但紅土台地內，亦有黃紅色土壤，亦有底土為灰白之土壤，當與紅壤有別。

2. 黃壤：黃壤名稱在土壤分類上，尚未確定，因已被普遍熟識，為方便計，暫予沿用。

本省紅土台地低一層的台地，與最新沖積土比較，地位較高，其土壤之亞表土以下為黃棕色，色彩在7.5 YR及2.5 Y 7/6之間之Chroma數值>4（呈色鮮明），且排水良者屬之；此種土壤，在南部者，多為微酸至中酸性，北部者屬強酸性反應。例如高雄縣旗山南梓仙溪西岸丘陵麓，台南市竹篙厝，嘉義縣中埔，南投縣竹山，台中縣豐原西南，台北縣汐止等土壤屬之。

3. 沖積土：沖積土沒有固定特性，目前僅依有無游離石灰或石灰結核，母質，生成年代，土層深度，排水狀況及土壤質地加以分類。

4. 看天田土壤：嘉南平原內，凡土壤質地粘重，表土下具暗灰或暗灰棕層，而具稜柱狀構造之土壤屬之，經查此種土壤為內陸窪地彙集物，水稻產量常佳。土壤詳測時，命名台灣粘土。

5. 塩土：塩土本為大土類之一，亦有認台灣塩土乃由沖積土塩漬而成，則稱塩漬沖積土。吾人注重此種土壤之性質及其改良與利用方法已達目的。對其在土壤分類系統之位置，仍待來日之探討，故目前仍併入於沖積土之內，而以土相表示之。

本省塩土之形成原因約有：(1)近海或大排水溝旁土地，含塩地下水上升。(2)半塩水魚塩水之滲出又透入於鄰地再上升而彙集。(3)嘉南平原西邊土地不平坦之略為低下之位置彙集四週略有塩分之集水。(4)古時集有高塩分窪地，而今塩分上升至已填平之耕土內。(5)泥火山，如崗山滾水坪之含塩泥漿之供給塩分。

二 臺灣耕地土壤種類

台灣耕地土壤種類，頗不簡單，可概略類別如下：

(一)紅壤：紅壤在本省絕大部分由古老之沖積物（所謂洪積層）化育而成，其特徵為土色紅，底層為蛋石層，其質地大都粘重，比較不粘或粗質地者頗少（大肚山及后里有之），土壤構造，凡粘重而色暗紅，未經水田利用者，為中度大小之銳角塊狀構造，構造體間膠結力弱，開掘後紛紛散開，如經水田利用或相對地位較低者，則原來之銳角塊狀構造，崩解為細小之角塊或竟成小團粒或屑粒構造，乾時掘開仍易散開，濕時則土壤強韌開掘時具有彈性之感覺，紅壤經多年水田利用後，透水性十分緩慢，未經水田利用，且表土未成泥漿者，則透水性頗速，紅土保水力頗差，有效水分含量低，對旱作為重要限制因子之一，含磷較低及矽量低，含鉍較高，亦為其缺點，水稻氮肥損耗較慢，為其優點。

由於種種原因，紅土頗有變化，分述如次：

1. 正常紅壤：含有上述各性質。

2. 黃棕色土壤（一般分類為黃壤，因與紅壤母質及年代相同，為方便計，列於紅壤類下說明之）：
本土壤，曾有一個時期，相對地位較低，呈黃棕色，其過度者，含有濃淡不一之紅彩，其某些性質與成分，可能與前述紅壤有所不同，桃園八德以東面積最大，其他紅土地帶，存有細小面積。
3. 黃棕色心土以下含有紅及黑結核之土壤：本土壤在桃園縣後湖及觀音一帶面積最大，嘉義縣民雄松子腳亦有之，其他紅土地帶，可能有小面積之存在。又在紅壤地帶內，偶有遇到心土含有密集之堅硬鐵錳結核層。
4. 心土灰白，或含鐵盤或大塊鐵錳結核或否：表土灰棕其下或為鐵盤（桃園縣八德、霄裡）或為灰白色粉粘壤土至細砂粘壤土，灰白色土壤內，可含大塊鐵錳結核（八德），土壤可深達一公尺以上，亦可淺至60公分以下（新竹湖口西方），此種土壤，桃園縣八德、平鎮鄉埔心北面，及新竹縣湖口以西一帶有之，面積不小，嘉義民雄好修，大埔美中坑亦有小面積存在，其他紅壤地帶之某些地位低下之處，可能亦有小面積存在。
5. 甘藷粉土：在嘉義縣民雄東南方之北勢子，有數百公頃之此種土壤，其特性為表土粉粒含量甚高，懸濁後極易沉澱，沉澱物密集，一如沉澱之甘藷粉，其透水性極弱，但極易乾燥，旱作缺水者生長不良，土壤灰白色，心土或其下某部位，可能含有暗紅彩斑，可含衆多鐵錳結核，表土下有一硬實層，雨淋不散，底土極易因水而崩解，以致土壤由地下漏水孔，崩解流失，逐漸擴大，成為陷穴，崩塌顯明，此種土壤，或曰盤層土，或曰退化鹼土，或曰退化紅土，皆待研究，唯本土壤地位較其東南及北三面較高之紅土地為低，其西面間斷存有紅土小丘，台地或向西傾斜地，水為重要成土因子，其早期集水中曾彙集可溶性塩類不無可能。
6. 暗色厚層表土：紅土地帶，常有局部略低之窪地，土壤剖面正常，但表土甚厚，尤桃園八德方面，某些地點，表土有機物含量甚高，此等土壤，常較肥沃，肥力試驗，似宜注意。
7. 剖面上部黃下部紅之土壤：本土壤除表土外，其次層為黃棕色，或黃棕色含有少許紅彩，深度可達40至60公分，其下為普通紅土。
8. 池塘土壤：桃園一帶，過去甚多水池，前桃園大圳成立後，廢除大部份池塘，改為水田，此種土壤，因長期浸水，紅色退化成為黃棕，加以灰棕等色之斑紋，改為水田後，一年內，無水之機會仍少，故土壤常較泥濘，此種土壤，其肥力與一般紅壤，有無差異，尚未明白，但表土暗灰者，有機物含量高，水稻生長優。
9. 含砂之紅壤：在紅土台地間，常有土壤，含砂較多（常為砂質粘壤土），土壤不若一般紅壤之紅，棕色成分較重，但仍為紅棕色，土壤構造不佳，多屬鈍角塊狀構造，但不結實，此種土壤與一般紅壤有別。至於后里及大肚山，常可發現表土為砂質粘壤土或砂質壤土者，但心土仍與一般紅壤無二，與本項所述者，並不相同，又在大肚山、八卦山及高雄大埤湖附近，有暗紅棕砂質壤土剖面，其紅色成分，比上述含砂土壤為少，又是另外一種土壤。
10. 玄武岩流形成砂質塩基性土壤：分佈於澎湖群島（唯花嶼土壤乃由粉岩所形成），大體可分為三種：(1)土色暗棕，表土為壤質砂土至砂質壤土，輕鬆，其下為壤土至砂質粘壤土，構造不顯，略見密實，土層深度自20至70公分，而以30至40公分者為多，係分佈於較低之台地上，較易獲得淺井水之灌溉，(2)表土棕，壤質砂土至砂質壤土，心土紅棕，粉粘壤土，深度70至90公分以上，(3)心土黃棕，餘同第(2)種土壤。此兩種土壤分佈於較高之處，大部分土地，少有水井，餘請閱農業要覽土壤篇第37頁之二項及第71頁之一項。澎湖土壤表土之砂，都是由海邊珊瑚砂用作填廐材料，乃以廐肥方式，長久施用之結果。

(二)黃壤：就土壤發育之時間言，黃壤為次於紅壤之比較老之土壤，在本省可耕地土壤中，黃壤面積較小，多為較老之沖積或崩積或二者連合之產物，其形成之環境必須排水優良，標準之剖面應呈黃棕色，無銹斑銹紋或灰斑（但如係母質所遺留者，不在此限），土壤構造，多為鈍角塊狀，土壤反應一般為強酸至微酸，其酸性較弱或呈微鹼基性者，可能因灌溉水及其他因子所影響。土壤質地不一，可自砂土至粉粘壤土。土壤深度亦不一致，可自數十公分至一公尺以上。本省各地，除紅土以外之台地，多屬黃壤。黃壤之分佈，請參閱農業要覽土壤篇第74頁至76頁河岸段丘土區及77頁之3項。又台灣北部安山岩質所形成者，呈色較紅，請參閱同書第71頁二項。唯可耕地區域黃壤面積細小而星散，質地及深度變異亦大，不易說明，依前述原則予以鑑定，不致偏差過遠。

(三)看天田土壤（台灣粘土）

看天田就廣義言，凡無人工灌溉而依賴天雨以種植水稻者皆屬之。但過去學者，看天田土壤僅限用於質地粘重，具有粘盤，透性緩慢，而早期灌溉設施幼稚時期，因其耗水較少，而用為水田之土壤。此一名稱，常引起誤解，尤以外國人為然。故有倡用「台灣粘土」之建議，茲因「看天田」一名，沿用已久，為便於瞭解計，未予改變。所謂看天田土壤之主要特徵為表土或亞表土以下，具有大稜柱構造，土色暗灰，向下灰色漸淡，成為灰黃或灰黃棕色；構造體表面被有暗灰色之灰粘物質，此被覆物向下漸薄，深可達一公尺以上，凡未經台糖深耕犁耕過者，約15公分表土以下，具有暗灰色硬實之亞表土，厚度可達15至20公分。土壤剖面質地，多屬粉質粘壤土，一部分為粉質粘土。而剖面上部為粉質粘壤土，90至120公分以下為粉質壤土至細沙壤土者，亦不難發現。表土質地，以粉質粘壤土者為多，濕時稠粘，乾則龜裂不便耕耘；其為粉質壤土者，耕性較佳；而高雄縣仁武，有一部分為覆蓋之砂質壤土，其表土則甚輕鬆。

看天田土壤，大部分剖面內含有石灰結核，少部分不含石灰結核，二者肥力有無差異，有待研究。看天田土壤之分佈，自雲林縣之斗六以南至高雄縣之仁武間縱貫鐵路以東為多，鐵路以西在嘉義者為鹿草，台南為新營，善化及下營，他處則面積較小。日據末期，日人深耕（45公分深）看天田，增產甘蔗，但因此鹿草及其他很多地方水稻不能生長，民國37年土壤概測經查其表土非常密實，田面乾後全無孔隙，且亦可能滲集於亞表土之錳，翻至表土，阻礙水稻生長，誌此可助研究者之參考。

(四)沖積土：本土壤佔全省耕地面積之絕大部分，但因係由沖積而成，大小河川衆多，性質各異，土壤十分複雜，不易說明。茲概略介紹如下：

1. 砂頁岩沖積土：砂頁岩之性質，直接影響所形成土壤之特性；本省雲林縣以南土壤，因上源岩層所含石灰較多，土壤中所含石灰，遂較豐富，酸性較弱，北部則反是。故本類土壤，大略可分為北部及南部兩種：

(1)南部：南部砂頁岩母質沖積土壤，除看天田土壤外，另可分為非石灰性沖積土及石灰性沖積土二種，又有含石灰結核沖積土一種：(A)非石灰性沖積土，土壤對10%稀鹽酸液不起反應；分佈於比較高或離河流或海岸較遠之處。(B)含石灰結核沖積土，土壤剖面內某層或某數層含有或大或小之石灰結核，加稀鹽酸後，有石灰結核之土層，產生氣泡，其他土層則否，且氣泡出自石灰結核，而不出自土粒。常與非石灰性土壤鄰近並存。(C)石灰性沖積土，土壤對稀鹽酸溶液發生氣泡，分佈於近河或近海之處，包括一般所謂鹽土在內。

上列三種土壤，A及B項除B項土壤有一或數層加稀鹽酸而引起氣泡外，其他性狀甚為接近，即除少部分因排水較差，剖面下部呈灰至暗灰外，一般土色較黃，大體排水比較佳。至於

質地，除局部地區，質地較粗外，大部分以中質地為多，其為細質地者，多屬看天田類土壤。C項土壤，一般色澤較A及B類土壤為灰，但如母質為黃棕色者，則土色較黃。本類土壤，其海拔較高者，排水大體尚佳，其海拔較低者，則排水欠佳，且常含鹽分，其含鹽量之多少，則因地下水之高低，附近有無魚塢或大排水溝，排水系統之優劣與有否種植水稻及水稻種植之次數而定。土壤質地一般較輕，自砂質壤土至粉質壤土，粉粘壤土較少。本區土壤宜注意者為：常遇魚塢填成田地或於含鹽地區，人工翻轉土壤達60公分之深度；其為靠近砂丘者，曾經填有砂丘土壤或為舊砂丘剝平之跡地；此等土地與其附近之正常土地，或有不同。

(2)北部：由於上源岩石含石灰質較少，其土壤酸性也較強，且漸向北部，年雨量分佈更為均勻，蒸發量亦較低，故自雲林以北，向北土壤酸性漸強，且北部土壤，多因河川狹窄，形成小谷沖積，除局部地形，如台中盆地之一部分，土壤質地較細外，大都土壤質地頗粗，以壤土居多，次為砂質壤土與砂質粘壤土，土壤色澤，一般較南部者為黃；土層一般頗為深厚（大於100公分），淺層土壤之比率頗低。至其排水，則受局部地形所控制，大體上以排水中庸者為多，排水劣者少。

2.粘板岩沖積土：粘板岩沖積土，乃由中央山脈粘板岩沖蝕物所沖積而成，一部分粘板岩，岩層間夾有鬆散之灰色粉質層，常引起岩石崩塌，此即宜蘭濁水溪及彰化濁水溪混濁之由來。因母質富含石灰及其他鹽類，故形成土壤皆為鹽基性。由於地形及母質之差異，可分為三類說明之，（板岩沖積土，雖屬酸性時氮之損失仍較砂頁岩沖積土為快）：

(1)宜蘭：宜蘭平原地勢甚低，濁水溪含有頗豐之粉粒及粘粒，大部份土壤質地頗細（粉粘壤土至粉質壤土），但在西邊及沿河地區，則質地較粗（壤土，粗粉質壤土至砂質壤土），但面積較小；土色青灰，土層深，除小部分較高地區外（大體在鐵路線以西），大部分排水不良。本區試驗，宜注意排水與土壤質地之異同。

(2)彰化：彰化土壤，因濁水溪所含泥砂，較宜蘭遠為豐富，故凡自濁水溪引水灌溉者，土壤物質年有增加，而靠近水源者尤為顯著。本類土壤分佈於濁水溪兩岸，北自彰化及鹿港，南至斗六，虎尾及崙背以至麥寮，土壤可分為較新沖積物及較老沖積物二種；後者含有大小不一之石灰結核，且土壤黃灰以至淡灰；前者不含石灰結核，土色青灰，土層多深，土壤質地以粉質壤土為多，次為粉粘壤土；但在二林海邊一帶，則屬砂質壤土，且土壤偏於黃棕灰色，土壤反應多為鹽基性，排水中庸以至不完全，排水不良者面積較小。（凡濁水溪灌溉之土壤，絕大部份為石灰性）

(3)屏東：屏東縣由於下淡水河支流老濃溪以及東邊山脈之粘板岩物質所影響，自枋寮以北各地及高雄之林園及美濃，皆為粘板岩沖積土。唯各河流所帶泥砂較宜蘭濁水溪為少，土壤質地亦較之為粗，土壤亦可分為較新及較老二種。前者與彰化者近似，後者與彰化不同處為土壤剖面內（表土下50~60公分處）含有鐵錳結核而缺石灰結核，且土壤呈酸性反應，PH值可低至5.6以下。土壤質地則較彰化者為輕，以粉質壤土，壤土以至砂質壤土為多，且土層深度少於60公分者，頗為普遍，故本區試驗，宜注意土壤質地，深度、土色，反應以及排水之異同。

（本區含有自砂頁岩山區出源之南梓仙溪，流量頗大，故一部分土壤含砂頁岩成分甚高。）

3.粘板岩及砂岩頁岩混合沖積土：此種土壤，分佈於粘板岩沖積土及砂岩頁岩沖積土之交界處，或沖積土之上源一部分為粘板岩，另部分為砂岩頁岩，經沖積混合而成者，如大肚溪是。本土壤質地，一般為壤土，砂質壤土及粉質壤土。本類土壤，可由砂粒所含板岩物質之比率加以認定，以分

佈於雲林縣虎尾以西一帶面積最大，其他凡源自中央山脈而經砂頁岩地帶之河流下游，皆可能有此類土壤存在。其性質與板岩及砂頁岩沖積土之異同，有賴多方加以研究。（本類土壤，請參覽各縣土壤詳測報告，因板岩含有較高鈣磷之現象，故凡含有板岩物質之土壤，均另成土系）。

4. 片岩沖積土：中央山脈之東北及東邊，為片岩所組成，故其下游之沖積土，皆為片岩沖積土，此種沖積土所含砂粒，皆為能閃光之片形，色灰，故土壤成灰色，質地多為粉質壤土，壤土以至砂質土，粉粘壤土不多。土層多淺，大部份小於 60 公分，但深達一公尺以上者，也屢見不鮮，分佈自宜蘭縣之冬山以至花蓮及台東。冬山土層多深，花蓮一部份，東部縱谷中較寬之數處如光復，玉里土層亦較深。排水不良者，時聞有水稻枯死之病害，宜加注意。近有發現施錳、鉀及矽有效之試驗報告。花蓮土壤，常有水稻缺鋅病之發現。玉里以南土壤，性質接近粘板岩沖積土。
5. 東部海岸山脈山麓暗色沖積土：東部海岸山脈，由砂岩頁岩集塊岩及少部安山岩所組成，火山灰物質相當豐富而普遍，所形成土壤，多色暗而粘，山麓小沖積扇，常為黑色而粘重之土壤，乾則龜裂，面積雖小，但利用上發生若干問題，土壤深度不一，深者一公尺餘，淺者僅 40~50 公分，此種土壤性質頗為特殊，CEC 皆大，近年發現水稻缺鋅，值得探討研究。
6. 淺層沖積土：老河床地，經濁水之沉積，或人工之客土，用以種植水稻，或為礫石間含有砂泥，檢去大塊礫石，用以種植作物，東部縱谷，面積極大，屏東縣境亦有，其他各地則面積較小；此種土壤，試驗時頗有困難，但因面積頗大，利用之研究，頗有必要，但宜與其他土壤分別研究，此種土壤性質，受土層深度，土壤質地及母質種類影響極大，分類上當以此諸因子為依據。故試驗亦宜注意各土壤間此諸因子之異同。

(四) 安山岩形成土壤及其沖積土

本省北部及東部海岸山脈安山岩及其碎屑岩形成之山嶺，面積不小，凡坡度平緩而安定者，能形成紅色之細質地土壤；由集塊岩或凝灰質集塊岩形成者，多為黑色或暗色之土壤。由其形成之沖積土，則有黑色、極暗棕、棕色及灰色等。質地自細至中而以細者為多。色愈暗，有機物含量愈多。CEC 之大，為各類土壤之冠，有效矽含量似亦較高，部分土壤磷之固定亦較明顯。一般為較佳之水田土壤。

三、台灣土壤詳測圖之判讀

台灣土壤詳測，於民國 51 年開始，至 68 年已全部完成，今後土壤肥料試驗，宜以當地面積較大之土系為對象，足以增進試驗結果之應用價值，故對土壤詳測圖之判讀，對土壤肥料人員，實屬重要，茲概述之：

(一) 土壤分類方法

1. 土類：暫以目前已知土類為分類依據，其分類未能確定者，亦暫沿用，其尚未分類而土壤特性不能列入於已知土類者，臨時給予名稱。
2. 次級特性：同一土類內，有重要特性須予分別者，例如石灰性，非石灰性等。
3. 排水：各類土壤下，依排水情形，分為優良（以 a 代表之），不完全（以 b 代表之）與不良（以 c 代表之）三級，但優良一級，包括尚佳（例如平原沖積土，剖面內可有斑紋）及確實優良（例如不含斑紋之黃壤及紅壤）二種，部分土壤，因水田利用，剖面具銹斑及灰斑者，列為排水不完全，但如非栽培水稻，應為排水良土壤，應用土壤報告及土壤圖時，請加細察。
4. 土壤質地：土壤剖面質地之分佈為土系之依據，表土質地為土型之依據。
5. 其他特性：某特性不屬於土類分類範圍，但在土型內顯有不同，對土壤管理利用具有不同之影響

者，例如表土厚度，土地坡度，表土礫石之含量，土壤含鹽（以 **a** 代表於圖面）等特性是為土相。

6. 土系分類時，有一些性質，離開土系之中心特性，頗有出入者，本來宜另設土系，但因面積不大（全省 < 50 公頃）則以土系變異示之，如剖面質地較細用 **h**，較粗用 **l**，較黃用 **y**，較紅用 **r**，較年輕用 **j**，為沖積來源用 **f** 等等，置於土系代號之後，土型代號之前，例如 **Tsy4** 即為座架系黃色變異粉質壤土型。

7. 台南縣土壤分類舉例：

行 號	剖面質地	砂 頁 岩 沖 積 土									看 天 田 土 壤						黃 壤	
		石 灰 性			石 灰 結 核			非 石 灰 性			石 灰 結 核			無 石 灰 結 核				
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b
1	SiC-SiC-SiCl										Tk							
2	SiCL										Sk			Ku			Lt	
3	Si L	An			Ly			Ts									Kn	
⋮																		

(二) 判讀方法：

土壤圖所表示，除地形地物外，即為土壤各繪圖單位之界線與符號，每一符號，由代表土系之英文字母二個，右下角代表表土質地之阿拉伯數字一個，如有坡度，接以大寫英文字母一個，如有鹽害則以 **a**；如有三個字母，則第一個大寫為發現土系之縣名代號，第二個大寫，第三個小寫，如 **Y Kc** 為雲林（**Y**）發現之溝皂（**Kc**）系。例舉如次：

土 壤 名 稱	圖面符號	土 類	母 質	石灰性	排 水	剖 面 質 地	表土質地	土相特性
岸 內 系	An	沖積土	砂頁岩	石灰性	尚 佳	全剖面為粉質壤土		
岸 內 粉 質 壤 土	An4	"	"	"	"	"	粉質壤土	
岸內粉質壤土含鹽相	An4a	"	"	"	"	"	"	土壤含鹽 必須改良
隆 田 系	Lt	黃 壤	"		優 良	全剖面粉粘壤土		
隆 田 粉 粘 壤 土	Lt7	"	"		"	"	粉粘壤土	
隆田粉粘壤土緩坡	Lt7C	"	"		"	"		土壤坡度 15-20度

參 考 資 料

1. 陳春泉 1979 土壤調查手冊 台灣省農業試驗
2. 陳春泉 1978 台北宜蘭縣土壤調查報告 台灣省農業試驗所 報告第35號
3. Kawaguch, K, & K. Kyoma 1977, Paddy Soils in Tropical Asia, Their Material Nature and Fertility. The University Press of Hawaii, Honolulu.
4. U.S.D.A. 1951, Soil Survey manual, Handbook No.18.
5. U.S.D.A. 1975, Soil Taxonomy, Handbook No.436.

土壤質地之識別

王 新 傳

一、引 言

土壤質地係指組成土壤的砂粒，粉粒及粘粒等不同大小之礦物粒子的含量百分比，一般大於 2mm 以上之石礫則不考慮在內。

土壤質地可說是支配土壤特性的根源，因所組成的土粒大小和不同大小土粒之含量不同，可引起不同土壤理化性，如粘着性，可塑性，保水力，抗蝕性，通透性，離子交換能量及緩衝作用等性質。

所以無論從土壤生成，土壤分類或土壤利用觀點上，土壤質地是最先被考慮之土壤性質。

二、土粒大小之區分

因組成土壤物質之土粒大小為漸變性，所以須要以人為方法，按土粒大小對土壤理化性質及植物生長之影響力之相似性，將大小相近之土粒歸類為三級，即砂粒，粉粒及粘粒。各級之粒徑範圍，因其觀點不同，各國方法略有不同，茲將國際法和美國法舉例如下。

粒 徑 區 分 比 較

粒徑 (mm)		2		0.2		0.02		0.002	
國 際 法	礫	粗 砂		細 砂		粉 粒		粘 粒	
美國農部法	礫	極粗砂	粗砂	中砂	細砂	極細砂	粉 粒	粘 粒	粒
粒徑 (mm)		2		1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.002

三、土壤質地分級（美國農部法）

根據土壤所含之砂粒，粉粒及粘粒重量百分率，將所有土壤分為 12 組質地。茲將美國農部法各質地組名稱及其砂粒，粉粒及粘粒含量範圍列舉如下：

質 地 名 稱	粘 粒 %	粉 粒 %	砂 粒 %
砂土 (Sand)	< 10	< 15	> 85
壤質砂土 (Loamy sand)	< 15	< 30	70 ~ 90
砂質壤土 (Sandy loam)	< 20	< 50	43 ~ 85
壤土 (Loam)	7 ~ 27	28 ~ 50	23 ~ 52
粉土 (Silt)	< 12	> 80	< 20
粉質壤土 (Silty loam)	27	50 ~ 88	< 50
砂質粘壤土 (Sandy clay loam)	20 ~ 35	0 ~ 28	45 ~ 80
粘質壤土 (Clay loam)	27 ~ 40	15 ~ 53	20 ~ 45

坩質粘壤土 (Silty clay loam)	27 ~ 45	40 ~ 73	< 20
砂質粘土 (Sandy clay)	35 ~ 55	< 20	45 ~ 65
坩質粘土 (Silty clay)	40 ~ 60	40 ~ 60	< 20
粘土 (Clay)	> 40	< 40	< 45

除上述質地外，砂土至砂質壤土之各組質地，視其不同大小砂粒含量，對全砂量之比率之不同，再細分為若干質地亞組。

質地之砂粒大小及不同大小土粒之百分率舉例如下：

砂土，壤質砂土及砂質壤土細分表					
質地名稱	對全砂量之各級砂粒含量百分比				
	極粗砂 (2~1mm)	粗砂 (1~0.5mm)	中砂 (0.5~0.25mm)	細砂 (0.25~0.1mm)	極細砂 (0.1~0.05mm)
粗砂土 Coarse sand	> 25 %		任何一級 < 50 %		
砂土 Sand	> 25 %			任何一級 < 50 %	
細砂土 Fine sand				> 50 %	
	< 25 %				< 50 %
極細砂土 Very fine sand					> 50 %
壤質粗砂土 Loamy coarse sand	> 25 %		任何一級 < 50 %		
壤質砂土 Loamy sand	> 25 %			任何一級 < 50 %	
壤質細砂土 Loamy fine sand				> 50 %	
	< 25 %				< 50 %
壤質極細砂土 Loamy very fine sand					> 50 %
粗砂質壤土 Coarse sandy loam	> 25 %		任何一級 < 50 %		
砂質壤土 Sandy loam	> 30 % (極粗砂 < 25 %)			任何一級 < 30 %	
細砂質壤土 Fine sandy loam				> 30 %	< 30 %
	15 ~ 30 %				
極細砂質壤土 Very fine sandy loam				> 30 %	
	< 15 %			> 40 % (極細砂半數以上)	

四 土壤質地之實用歸類

土壤質地之基本分組相當精細，共有 12 組，但為一般農民在利用上方便起見，尚有比較粗放的歸類方法，將性質比較接近之幾種質地歸併在同一類，其實用歸類與基本質地分組關係如下：

一般名稱	基本土壤質地名稱
砂 性 土 Sandy soils	粗質地土壤 Coarse-textured soils { 砂土 壤質砂土
壤 性 土 Loamy soils	稍粗質地土壤 Moderately coarse-textured soils { 砂質壤土 細砂質壤土
	中質地土壤 Medium-textured soils { 極細砂質壤土 壤土 粉質壤土 粉土
	稍細質地土壤 Moderately fine-textured soils { 粘質壤土 砂質壤土 粉質粘壤土
粘 性 土 Clayey soils	細質地土壤 Fine-textured soils { 砂質粘土 粉質粘土 粘土

五 不同質地土壤之特徵與野外質地鑑別

不同質地之土壤，因其所組成之土粒之大小及不同大小土粒之含量之不同，能表現不同土壤物理性質或外觀性狀，如土壤之粘着性，可塑性，結構，土壤物質之均一性或光澤等。我們可以利用這些性質，以視覺或觸覺，可以在野外鑑別不同土壤質地。雖然土壤質地在室內以機械分析方法，可做準確測定，但是以土壤調查人員或農藝工作人員而言，野外質地鑑別法，乃具有相當的實用價值。不過這種方法應需要時常在室內，利用經過機械分析決定的代表性土壤質地樣本，矯正個人之摸觸感覺，始能保持其準確性。

茲將主要不同質地土壤所表現的外觀性狀及摸觸感覺之一般性，略述於後作為參考。不過在這裏需要強調者，即以下各項描述係為一般性的指示，因個人間之感覺有相當之距離，必需以代表土壤樣本，作感覺訓練，至能正確鑑別質地為止。一般而言，粘粒具有粘性及其可塑性，粉粒有輕鬆粉狀感覺，而砂粒即無粘性或可塑性而有粗糙之感覺。

砂 土：以肉眼或手捏均可辨出砂粒很多。乾時疏鬆不能成型，濕時雖握之成塊，但輕觸即破散，手搓不能成條，全無粘性及其可塑性。

壤質砂土：仍如砂土，相當粗糙，但是因略含有粉粒及粘粒，土粒間略具有結合性，乾時用力握之勉可成型，但輕觸即破碎，濕時略有粘性，可結聚成塊，但搓之仍不能成條。

砂質壤土：雖含砂量仍相當多，但因亦含有少量粉粒及粘粒，具有土粒間之結合性。乾時可成塊，但易破散，濕時可感覺粘性，所握成之土塊，小心弄撫之不致破碎。以手搓之可成為易碎之粗條。

壤 土：各土粒之含量比較平均，柔而滑，但仍稍具有粗糙感覺，乾時可成土塊，慎觸之不破

碎，以手壓之，可破碎為大團粒。濕時有粘性及可塑性，濕土塊不易破碎，以手搓之能成條，稍長即斷，不易搓成細長條。

粉質壤土：含有較多粉粒之土壤，有鬆軟感覺。乾時成土塊，用手壓之易破碎，搓碎時有光滑及粉狀感覺，稍加水即易流動成為泥狀。

無論乾濕，用手可壓成薄片，而不易破碎，手搓能成條但有裂痕。

粘質壤土：乾時碎之，成大小不等之硬土塊。濕時具有相當之粘性及可塑性，柔軟易成型，以手撫弄不易破碎，以手搓之易成細長條，但有微細裂痕。

粘土：乾時成極硬土塊。粘性，可塑性頗大，濕土可使成各種模型，任意撫弄也不致破碎，以手搓之，可成不易斷之細長條。

因土壤之水分狀態，種類及其他成份之多量存在，同一質地之土壤，可呈出不同物理性狀，故以指頭感覺，鑑別土壤質地時，應注意如下事項。

1. 水分太少而不充分捏合時，土壤中之粘粒聚成的堅硬顆粒不能搓碎，而使增加粗糙感覺，引起粘粒含量判斷之誤差。
2. 高安定度之微細土壤構造之存在，易引起粘粒含量之過低判斷。
3. 有機物之多量存在，能減低粘土之粘性，而增加砂土之結合性，故頗易引起粘土及砂土之鑑定錯誤。
4. 粉狀石灰之多量存在，能使土壤增加粉狀感覺，而引起粉粒含量之過高判斷。
5. 必需除去多量之碎礫石，始能使質地鑑別正確。
6. 因土壤母質之不同，會引起同質地之觸覺之差異，故應選出多種不同母質之土壤質地樣本，做鑑別訓練。
7. 時常利用擴大鏡，以視覺補充觸覺判斷力。

肥料之認識與檢定

連 深

一、肥料的理化性

肥料的理化性，不僅影響它們肥效的高低，對貯藏和施用的方便與否，也有密切的關係。認識肥料的理化性將有助於肥料種類之辨別及鑑定。

(一)肥料的成份和化合態

1. 氮素肥料的化合態：氮素肥料的化合態，可大別為四種：

- (1) 硝酸態氮：硝酸鹽肥料所含的氮素為硝酸態氮。此種氮是水溶性，但不能為土壤所吸著，故易流失。對於旱作效果非常優良；但對於水稻却肥效較低。
- (2) 銨態氮：各種銨鹽所含的氮素均為銨態氮，亦易溶於水並能為土壤所吸著，不易流失故最適合於水田施用。銨態氮對旱作效果亦很好，因在旱田迅速地被氧化為硝酸態氮。
- (3) 簡單有機態氮：例如尿素和氰氮化鈣中的氮便是。易溶於水，亦容易分解，在土壤中受微生物的作用，先變為銨態氮，再變為硝酸態氮，肥效亦是很快。
- (4) 有機態氮：較複雜的有機態氮，例如糞尿、堆肥、豆餅及綠肥中的氮便是。在土壤中分解為銨態氮，再變為硝酸態氮，肥效較慢，但持續力較強。

2. 磷素肥料的化合態：亦可分為四種：

- (1) 水溶性磷酸：例如過磷酸鈣的磷便是，以磷酸一鈣為主。
 - (2) 檸檬酸可溶性的磷酸：不溶於水，但可溶於檸檬酸中，熔磷肥所含的磷酸便是，以磷酸二鈣為主。
 - (3) 不溶性磷酸：磷礦粉中之磷便是，水和檸檬酸都不能溶解，但經碳酸之作用可以慢慢變為水可溶性。以磷酸三鈣為主。
- 以上(1)(2)(3)均屬無機態磷。

(4) 有機態磷：動植物質中所含的磷便是，經分解為無機態磷酸，植物始能利用。

3. 主要鉀素肥料的化合態為鉀的氯化物，硫酸鹽或碳酸鹽，例如氯化鉀、硫酸鉀和草木灰等是，均屬水可溶性。含於綠肥或藁秆等植物體內的鉀亦是幾乎全部以此等無機鹽或其有機酸鹽之形態存在，故亦均屬水可溶性。

(二)肥料的反應

肥料的反應為肥料所表現的酸鹼程度，可分為化學的反應和生理的反應兩種。

1. 化學的反應：肥料溶於水中所呈之酸鹼度為肥料的化學反應，可以用 pH 試紙簡單鑑定。一般無機化合物溶解於水中，均解離為酸根及鹽基。由於所解離出來之酸根及鹽基強弱不同，所呈酸鹼程度亦就不同。例如硫酸銨及氯化銨溶於水中解離硫酸、鹽酸及銨等離子，前者屬強酸而後者屬弱鹽基，是故此水溶液是呈酸性。以同樣原理可以了解硝酸銨鈣及熔磷為鹼性，氯化鉀、硝酸鈉等為中性。尿素在水中不解離，故亦是中性。
2. 生理的反應：生理反應並非肥料自身的反應，而是肥料施用後經作物吸收對土壤所引起的反應。例如硫銨、硫酸鉀等施用於土壤中，其銨及鉀離子為作物吸收而遺留硫酸根使土壤酸度略增，是為生理的酸性肥料。同理硝酸鈉、氰氮化鈣為生理的鹼性肥料。

(二)肥料的物理性

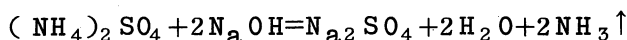
- 1.外型：肥料的外型有粉狀和團粒狀。團粒狀者係由粉狀者加工製成，可減低吸濕性和結塊性。
- 2.吸濕性：吸濕性與肥料的化學成分有關。凡硝酸態肥料吸濕性強，又尿素，氰氮化鈣和氯化鉀等肥料吸濕性亦強。粉狀的肥料吸濕性較團粒狀肥料為強。
- 3.結塊性：吸濕性肥料久貯後，易結成硬塊，不但施用不便，有時且降低肥効，如氰氮化鈣是。

二、肥料成分的簡易檢定

(一)氮 肥

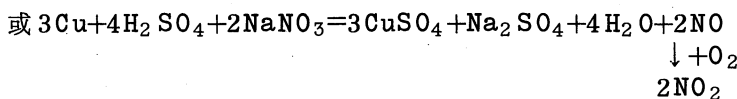
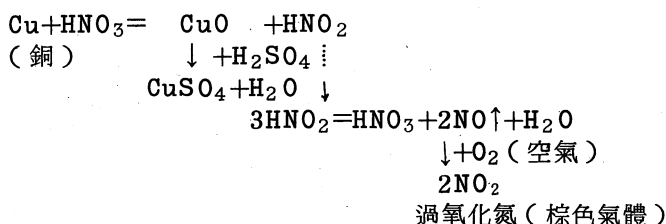
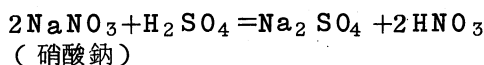
1.銨態氮 NH_4^+

固體肥料（或肥料溶液）放於試管中，加入苛性鈉溶液或消石灰（或草木灰）和水，如有氨臭味，則此肥料含有銨態氮。（例如硫酸銨、氯化銨、硝酸銨等）。



2.硝酸態氮 NO_3^-

肥料溶液約 2 cc 放試管中，加入銅片數片及濃硫酸約 2 cc 緩緩加熱，如有棕色氣體發生，則此肥料含有硝酸態氮。（例如硝酸銨鈣，硝酸鈉）

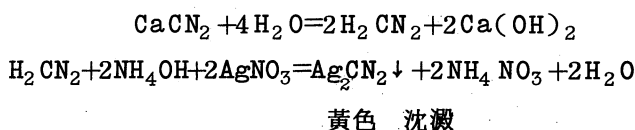


3.尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

取肥料 2 ~ 3 g 於試管中，在 150 ~ 160°C 加熱 3 ~ 4 分鐘，放冷後加入水及少量苛性鈉溶液溶解，再加入硫酸銅溶液數滴，如呈赤紫色，此肥料含有尿素（Biuret 反應）。

4.氰氮化鈣 CaCN_2

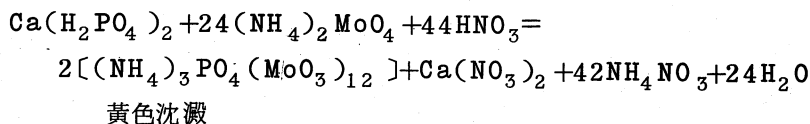
肥料加水抽出後，取抽出液 10 cc 於試管中，加入氨水（1 : 10）及硝酸銀溶液（10%）各 1 cc，如生成黃色沈澱（氰氮化銀 Ag_2CN_2 ），表示此肥料含有氰氮態之氮，例如氰氮化鈣。



(二) 磷 肥

1. 水溶性磷酸 $H_2PO_4^-$

肥料加水抽出。取抽出液 2~3 cc 於試管中，加入硝酸約 2 cc，硝酸鉍溶液 2~3 cc 及鉬酸鉍溶液 5~6 cc 如生成黃色沈澱，磷鉬酸鉍 $[(NH_4)_3PO_4(MoO_3)_{12}]$ ，此肥料含有水溶性磷酸。在 $65^\circ C$ 左右加溫時，黃色沈澱之生成較速。



(加苛性鈉溶液或氨水時溶解)

2. 檸檬酸可溶性磷酸 HPO_4^-

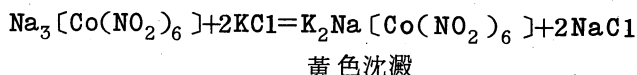
肥料加水抽出後之殘渣，再加 2% 檸檬酸溶液抽出。取抽出液 2~3 cc 如操作 1，如生成黃色沈澱則此肥料含有檸檬酸可溶性磷酸。(如熔磷肥)

3. 不溶性磷酸 PO_4^{3-}

肥料加檸檬酸溶液抽出後之殘渣，加硝酸溶解。此溶液中加入硝酸鉍溶液和鉬酸鉍溶液，如生成黃色沈澱，此肥料含有不溶性磷酸(如磷礦粉)。

(三) 鉀 肥 K^+

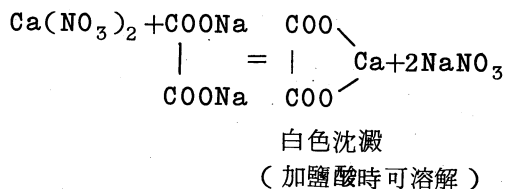
肥料溶液中加入亞硝酸鉍鈉溶液及等容之酒精，如生成黃色沈澱(亞硝酸鉍鈉鉀) $K_2Na[Co(NO_2)_6]$ ，此肥料含有鉀鹽。鉍鹽亦與亞硝酸鉍鈉溶液反應生成黃色沈澱，故如肥料中含有鉍鹽，須預先加入苛性鈉溶液煮沸，除去氨氣，然後加入亞硝酸鉍鈉溶液及酒精。



(四) 其他成分

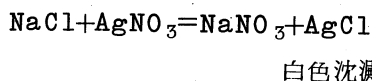
1. 鈣鹽 Ca^{++}

肥料溶液中加入氯化鉍溶液及氨水，再加入草酸鈉溶液，如生成白色沈澱(草酸鈣)，此肥料含有鈣鹽(如磷酸鈣、硫酸鈣、碳酸鈣等)。用草酸或草酸鉍代替草酸鈉亦可。



2. 氯化物 Cl^-

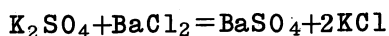
肥料溶液中加入硝酸及硝酸銀溶液，如生成白色沈澱(氯化銀 $AgCl$)，此肥料含有氯化物(如氯化鉍、氯化鈉、氯化鉀)



(加氨水時可溶解)

3. 硫酸鹽 $\text{SO}_4^{=}$

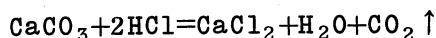
肥料溶液中加入鹽酸及氯化鋇，如生成白色沈澱（硫酸鋇 BaSO_4 ），此肥料含有硫酸鹽（如硫酸銨、硫酸鉀、硫酸鈣等）



白色沈澱（加氨水時可溶解）

4. 碳酸鹽 $\text{CO}_3^{=}$

固體肥料中加入鹽酸，如發生氣泡（碳酸瓦斯），此肥料含有碳酸鹽，如碳酸鈣、碳酸鉀（草木灰）等。



碳酸瓦斯（二氧化碳）

5. 有機質

固體肥料加濃硫酸如變焦黑則含有機質。

三、常用的肥料與其性能

(一) 氮素肥料

1. 硫酸銨：為速効性生理酸性肥料，純者白色結晶，含氮 21%，吸濕性小，如有乾燥不良現象，多係由於含水分及遊離硫酸過多之故。
2. 氰化鈣：純者應該為白色，用於肥料者因含炭素故呈暗灰色，含 12~15% 之氧化鈣，為鹼性肥料。氰化鈣含氮 18~20%。吸濕性很強，在空氣中因吸收水分及二氧化碳發生化學變化，使表面硬化，增加體積與重量，降低含氮率及肥効。氰化鈣具有毒性，有殺滅地下害蟲及抑制雜草生長之功效，對作物也一樣有害。它在土壤中之分解約需 1~2 週，視溫度高低而異，分解後其毒性亦隨之消失。當基肥時，多在插秧前一週至二週間施下；如需用作追肥時，應先將其與 5~10 倍量之泥土混合堆置，經 1~2 週時間始可施用。本省已停止生產，故現在已很少使用此種肥料。
3. 硝酸銨鈣：為灰色或含雜色的粒狀肥料，含氮 20.5%，其中銨態及硝酸態者各佔一半。因含石灰，略呈鹼性反應。吸濕性強。貯藏時勿與火種接近以防燃燒。對旱作之肥効良好，但對稻作，尤其是在水田當基肥時肥効較遜。
4. 氯化銨：為白色粉狀結晶物，一般含氮 26%。稍具吸濕性。對水稻的肥効與硫酸銨差不多。施用後增加土壤酸性，較硫酸銨略甚。
5. 尿素：白色針狀結晶，因吸濕性強故多製成粒狀。若在製造過程中混入微量鐵素雜質時，可能略帶桃紅色，但與肥効無關。含氮 45~46%。

尿素極易溶解，在未分解前極易流失。在土壤中受微生物作用而分解，分解之速度因土壤性質而異，其中溫度之影響最大，20°C 經 3~4 日則全部可分解為銨鹽。

(二) 磷酸肥料

1. 過磷酸鈣：為淡灰色粉狀的磷酸肥料，含有磷酸一鈣和石膏。含水溶性磷酐 18%，為生理的中性肥料，通常當基肥，但亦可作追肥。
2. 熔磷肥：係以磷礦石、橄欖石或蛇紋石等含鎂礦物，磨碎混合後在高溫電爐溶製而成，是一

種灰褐色的粉末。含磷酐 18 %，但不溶於水，能溶於酸性土壤溶液或植物根酸中而被植物吸收。具有鹼性，有矯正土壤酸性的功效。

本省已停止生產，故現在已很少使用此種肥料。

3. 磷礦石粉：係由磷礦石粉碎而成，為粉末狀肥料。主要為磷酸三鈣；一般含磷酐 30~40 %。因溶解性低，肥効較遲。

(三) 鉀素肥料

1. 硫酸鉀純者為白色結晶。製造過程中有微量雜質時呈土黃至紅色，但與含鉀量及肥効無關。其氧化鉀的含量在 48 % 左右。物理性良好。其價格較氯化鉀貴，故只施用於忌氯的作物，如煙草。
2. 氯化鉀純者為白色結晶。氧化鉀含量為 60 % 左右，稍富吸濕性。
3. 草木灰主成分為鉀鈣鎂的矽酸鹽、磷酸鹽和碳酸鹽。其中 90 % 左右為水溶性碳酸鉀，極易溶解於水，肥効很高。

四複合肥料：與普通氮磷鉀單質肥料不同，係含有兩種以上要素的肥料，均為粒狀。色澤因磷礦石來源不同而略有不同，呈淺灰至淺黃色。其製法先以液氨製成硝酸，以硝酸酸解磷礦，再依次加入液氨、硫酸及氯化鉀製成漿狀，然後經粒化，乾燥製成。依三要素原料之比例不同而有各種成分，如 20—5—10, 18—8—8 等之複合肥料，可供不同作物的需要。

參 考 資 料

台灣省糧食局肥料運銷處（民國 66 年）。肥料手冊

土壤肥料試驗之執行與資料整理

盆栽試驗技術

李子純

一 前言

盆栽試驗由於目的不同，其所用培養基也不同，而分為土耕、水耕、砂耕及礫耕等。其中以土耕及水耕較為普遍。本篇將簡單介紹土耕及水耕的試驗方法。

二 土耕盆栽試驗

(一) 試驗用盆：

過去，盆栽試驗用盆多屬上釉或未上釉的瓦盆，大小種類很多，排水孔或有或無（植水稻用），排水孔位置有在盆底，也有在側面者，隨試驗所需而定。此種瓦盆缺點很多，例如搬運不便，易碎。其未上釉者含雜質甚多，又可能吸收鹽分，上釉者也多含有硼、鋅等微量元素。

其後的塑膠盆雖較瓦盆為優，但經日晒後，很易碎裂。近年來的壓克力製品則較理想，輕便、不易碎裂；現本省製品有 30×27 公分及 20×17 公分等多種規格，前者與 Wagner 盆容積相若，約可盛土 12 - 15 公斤，後者可盛土 3 公斤左右。

(二) 試驗設計：

通常盆栽試驗多採逢機區集設計，重複三次，同一重複者放置一處。為使試驗結果便於統計分析，每一處理應設二個以上等級。

(三) 盆栽土壤的選擇：

盆栽土壤的選擇因試驗目的不同而異：

1. 有關土壤肥力測定校正試驗：

無論土壤速測或植物營養診斷必須經過多數田間試驗加以證實。但田間試驗所需人力、財力甚大，往往先進行盆栽試驗，獲得初步結果後，再進行田間試驗。因此選用土壤尤須慎重。此類試驗所用土壤多在 20 種以上，而其肥力等級如磷或鉀或兩者須具有高、中、低及極低之區別且不偏向任何一方。普通在選取土壤時，可先參閱該氣候區域之下，土壤分類圖及土壤肥力分佈圖，了解其大略分佈情形，或參考過去田間試驗成果，在適當地點，先選取代表性之混合小樣本，選取數目可倍于所需要者，但每一樣本，必須註明詳實採樣地點，及採樣日期，攜回予以風乾調製後，立即化驗，依其肥力等級，選取所需的土壤，再至原地採取盆栽試驗所需的多量樣本，此時應注意在第一次與第二次採樣期間，土面有無變動，或農民有無施用肥料。若是，則應予廢棄，而以候選之土壤遞補之。每一樣本所採數量依試驗設計，用盆大小以及土壤中含水量情形而定。

2. 特殊問題土壤研究：

如為了解或解決某一特殊土壤的問題，則試驗用土壤必須取自該問題發生的地點，無選擇餘地。

3. 有關作物產量問題試驗：

普通土壤均可進行。但當所植作物為旱作時，應選中質地者，如壤土、細砂壤土、或均質壤土較適宜。因其導水力強，易保持作物生長所需的適當水分，且不易粘結。如用細或粗質地土壤則水分管理較困難。

4. 肥料效用檢定試驗：

在進行此類試驗時，必須選擇對所觀察要素有顯著效應的土壤。如能在選定試驗地點前，先以盆栽試驗比較作物在不同土壤上的反應，較易獲致有用的結果。例如一簡單的盆栽試驗，觀察要素用量設數等級，其他要素則充分供給，即可獲得理想資料。圖 1 為類此試驗的結果（曲線 A）及得自另一產量效果不理想土壤的假想結果（曲線 B）。圖中曲線 A 為溫室環境下產量對磷肥的效應，由此曲線可知當肥料施用量在 60—240 mg p/pot 範圍時，磷肥效果最大。曲線 B 乃不理想的反應，試驗時應避免選用此種土壤，除非目的為尋求其不正常的原因。

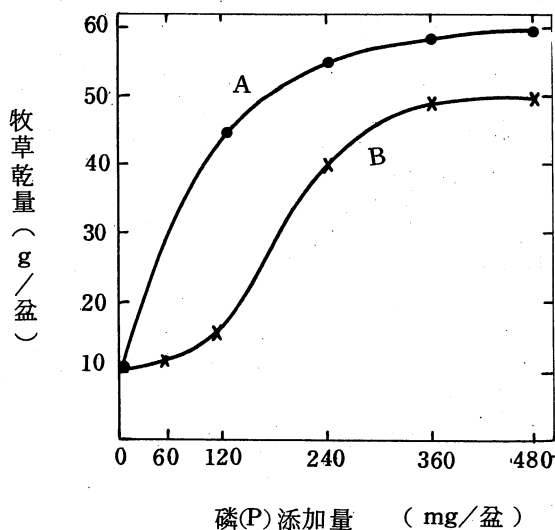


圖 1 磷肥效果比較試驗中理想的（A）及不理想的（B）反應曲線

有時某些土壤對某一要素之施用在田間有效，在溫室却無效，其可能之解釋或為通常溫室的溫度及濕度均較高，有機物較易分解，其所釋出之營養素較田間為多之故。

如欲某一要素之施用在土壤中有效，使用之土壤最好在數年中已不施用該要素，如此必較使用未經耕作或一向施肥之土壤更好。

（四）土壤調製：

盆栽試驗用土多採用耕犁層土壤，即表土 0 至 15 公分者。土壤採回後，先行風乾，其乾燥程度以水分含量為田間容水量的 $1/4$ 至 $1/3$ 為最理想，因土壤在這種含水量時處理不致有塵埃，且混合時也不會粘着於攪拌器上。如土壤乾燥至風乾程度，則除上述缺點外，裝盆時更易過於密實，灌水後又易成糊狀。

土壤經乾燥至適當程度後，予以打碎，至約能通過 0.5—1.0 cm 網篩為度，再予混

合均勻，即可貯存至適當處所備用。如貯存時土壤有足夠水分使土壤內夾雜的雜草種子在貯存期間發芽最好，如此即可減少作物生長時的雜草問題。

(四) 土壤酸鹼度的調整：

水稻多植於浸水土壤，而土壤經浸水後，其 pH 低者，多可因土壤還原而升高；pH 高者也可因還原而降低，故在盆栽水稻時，除非係石灰施用試驗，否則很少調整其土壤之 pH 值。但對旱作則否。一般旱作多喜生長於中性土壤，以 pH 在 6 - 7.5 為最適宜，此時土壤 pH 如過高或過低需予調整。其方法如下：

1. 土壤 pH 的提高：

為提高土壤 pH 至 6 - 6.5，盆栽試驗中常用 4 : 1 的試藥級 CaCO_3 及 MgCO_3 混合物加入土壤。如所進行的試驗並非微量元素研究，也可以磨細的白雲石粉代替。

(1) 石灰需要量的測定：為確定某一土壤提高至一定 pH 值所需石灰之量，應在試驗前先以燒杯或試盆數個分別盛入等量土壤，每盆中加入不同量的石灰，混勻後加水至約田間容水量程度，二星期後測定其 pH 值。圖 2 即為 Mountview silt loam 土壤於加入不同量的石灰後兩星期 pH 之測值，由此曲線即可推算出提高該土壤至某一 pH 值所需之石灰量。

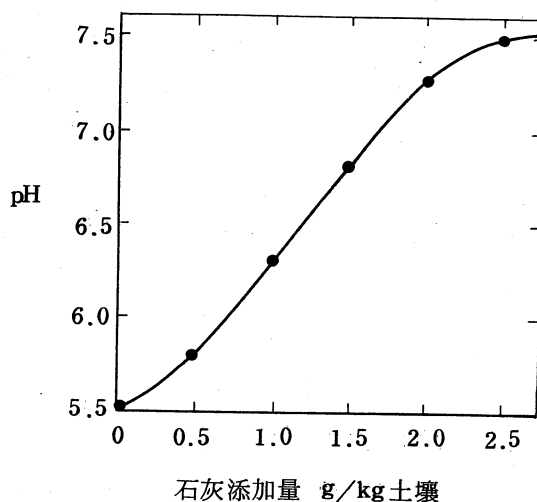


圖 2 Mountview silt loam soil 的石灰需要量曲線

(2) 石灰施入時間：當石灰用量不多（在 2 g/kg 土壤以下）時，石灰與土壤間的作用不致影響肥料效果，二者可在作物種植前同時加入。如所用石灰係試藥級者，其與土壤間的作用約可在七天內完成。

但當石灰用量多時，應將石灰先加入土壤使其先達到所需的 pH。此時為使石灰與土壤均勻混合，可分別每次以 50 公斤土壤與石灰混合，混勻後，以 10 - 15 公分深度將土壤攤開，放置於溫室地面或其他適當處所，再以去離子水潤濕至其含水量在 5 - 25 % 之間。放乾後，再予混合，加水潤濕，如此在 10 至 15 天的反應期間（普通石灰需 30 - 60 天）至少加水潤濕兩次，待作用完全後，即可裝盆使用。

2. 土壤的酸化：

當土壤 pH 過高，需要酸化時，也應先以不同量試藥級硫磺粉與土壤混合培育（方法與前述石灰需要量之測定相同），由此所得結果推算土壤酸化至一定 pH 所需施用硫磺的量。如所用硫磺係細粉末，作用期間約為 4 至 6 星期，但一般市售硫磺因其粒子過粗，所需作用期間過長，盆栽試驗不宜使用。

(六) 土壤裝盆：

土壤混合均勻，其含水量經測定後，即可裝盆。

如係旱作，其盆底之排水孔應先置以濾紙或玻璃棉防土壤漏失（濾紙腐爛後濕潤的土壤也不致再自排水孔流失）。當然如盆內係套用塑膠袋者，則無此需要。如所用之盆係 Wagner 氏盆之容積，也可於盆底先裝以小石子二公斤，其上再覆河沙兩公斤，再裝上土壤八公斤。如是使盆內之排水及通氣性較好，有利作物生長。

如係水稻且不需排水者，可以橡皮塞堵塞排水孔。若需排水，則可自橡皮塞鑽孔裝玻璃管，再由管口控制排水量，但為避免土壤堵塞排水孔，玻璃管在盆內之一端開口處應先包以玻璃棉，其上再蓋二公斤細砂，然後再裝土。

土壤裝盆後無論即將種植之作物為旱作或水稻，切記必須在施肥後，未灌水前將盆內土壤儘量壓實，務使每盆土壤密實度相同，以確保日後作物生長的差異並非由於土壤裝盆的緊密度不同所導致。

(七) 施肥原則：

在比較不同肥料中某要素的效用時，必須將其他生長限制因素儘量去除。例如，在比較多種肥料中磷的效用時，作物生長過程中即不能讓其受氮或其他因素限制。即應充分供給其他營養素（供給量以低於毒害程度為準）。又對探討中的要素施用量必需設以多種等級，以便於尋求如圖 1 中曲線上肥料對產量效果最大的施肥範圍。

例如圖 1 中磷肥效果的比較應在曲線 A 中每盆施 P 量在 50—200 mg 範圍內，如此始能獲得單位 P 施用量的最大效果，而不同磷肥效果的最大差別也在此範圍內。反之，施用量在 250—450 mg 範圍內則不同肥料間 P 肥效果很接近，且在此範圍內所作的比較，乃基於浪費用量範圍，其所得結果也不若獲自缺 P 範圍時有效。

在此原則下進行盆栽試驗時，除非確知某土壤中其他要素均不缺乏，否則這些要素在作物種植前或生長期必需予以充分供給。例如某土壤中所含 N 及 P 均低，且在種植玉米——尤其當 N 及 P 肥施用量高時——更常有缺 S 及 Zn 的現象，又鉀也可能缺乏，尤其當連續兩作，或數作在同一盆土壤中進行時。在此情況下，其施肥量如以 3 公斤土壤種植玉米 7 至 8 週計，應施 N 1 克以上，P 200 mg，但如此多量的氮肥如在播種時一次施入，可能對發芽有害，且在緩衝力弱的土壤，更可能嚴重抑低其 pH 值，故應分次施用。鉀肥施用量在第一作時用 400 mg K，如繼續再種第二作，應再增加 200 mg，硫則用 160 mg，其他微量元素可依如下重量加入：Mg—14，Fe—14，Mn—11，Zn—12，Cu—4，B—1.4 mg/pot（3 kg 土壤）。

(八) 施肥量及方法：

1. 施肥量：

通常盆栽試驗因植物平均所佔空間較田間為大，生長必較旺盛，而所用灌溉水多為離

子交換水或自來水，所含養分必較田間所用之灌溉水為低，再加上前述之施肥原則，不能讓作物對探討外之要素有缺乏之虞，所以通常盆栽試驗之施肥量常較田間為高。

例如以 Wagner 大小試盆用土十公斤種植水稻時，其所施三要素肥料通常為 $N - P_2O_5 - K_2O$ 各 1 克。

2. 施肥法：

施肥時如將每盆所需肥料分別秤取裝於容器，再個別與土壤混合也可；或將定量肥料先溶於水，配製成一定濃度的溶液，再將每盆應施的量以吸管加入，如此加入後如不再與土壤混合，則可模擬田間條施或點施法。如需與土壤混合，則可待肥料溶液乾後再行拌勻。表 1 為常用肥料營養要素的含量。

(九) 作物播種：

1. 直播法：如盆栽作物為旱作，作物種子多直接播於土壤中。但播種時，必須注意所播種子的密度及深度每盆均須一致。

在播種細小的種子時，常將盆內土壤先取出一定量，在一平面上撒下定量的種子，再將取出的土壤倒回。種子覆土的深度有淺至 1—2 mm 者如豆類種子，或深至 2.5cm 者如玉蜀黍種子等。通常播種時總播下較多的種子，待發芽後再行疏拔。

2. 移植法：一般水稻盆栽時多用揀秧法。而旱作如蕃茄，苜蓿等也常使其在砂床上發芽後再行移植，如此可選擇較為整齊的苗。欲得較好的苗，可在苗床上偶而灌以培養液。幼苗所吸收的養分很少，不足以影響以後對肥料的反應。

(十) 灌溉方法：

盆栽水稻時，灌水只要能保持土壤在浸水狀態即可，無需特別方法。但在種植旱作時，尤其當試盆數量多時，要使每一試盆經常保持適當且相同的含水量，至今仍無完全理想的方法，茲將常用方法兩種分述如下：

1. 稱量法：為較常用的方法。為操作時方便，如所用試盆非塑膠製品，每盆重量不相同，常先以加砂方法使同一試驗中用盆的重量一致，各盆在加入同量土壤以後，即可開始灌水，水自土壤表面分數次加入，至其水分張力約為大氣壓力的 $1/3$ 或田間容水量的 $2/3$ 為度。如實驗室內無水分張力測定裝置，可以下述方法代替：在試盆內先套以塑膠袋，裝入定量土壤，每盆中加入不同量的水，靜置過夜，次日取出塑膠袋，觀察土壤中含水量，以恰能潤濕全部土壤的加水量為最適當。如此即可測定出應加水分的重量。

為避免開始灌水時，土壤表面被沖刷。可在試盆播種後開始灌水時，在土面上覆以濾紙（濾紙可於一至三日後取除）。又在初播種前三星期應儘量減少灌水量，以防止土壤過濕而滋生微生物。

下例為一使土壤含水量達 24 % 的需水量計算法

試盆（加砂後）重	2 8 0 克
乾土重	3,0 0 0 克
稱量時土壤含水量	1 5 0 克
需加水重	5 7 0 克
共 重	4,0 0 0 克

表 1 常用試藥級化合物中植物營養素含量

Name	Chemical formula	Content of nutrient in reagent-grade compound, % ^a
Ammonium nitrate	NH_4NO_3	N-35.0
Ammonium sulfate	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	N-21.2, S-24.2
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	N-46.6
Calcium nitrate	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	N-11.9, Ca-17.0
Magnesium nitrate	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	N-10.9, Mg-9.5
Potassium nitrate	KNO_3	N-13.8, K-38.7
Sodium nitrate	NaNO_3	N-16.5
Monoammonium phosphate	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	N-12.2, P-27.0
Diammonium phosphate	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	N-21.2, P-23.5
Monocalcium phosphate	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	P-24.6, Ca-15.9
Dicalcium phosphate	CaHPO_4	P-22.8, Ca-29.5
Monopotassium phosphate	KH_2PO_4	P-22.8, K-28.7
Monosodium phosphate	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	P-22.5
Potassium chloride	KCl	K-52.4
Potassium sulfate	K_2SO_4	K-44.9, S-18.4
Sodium sulfate	Na_2SO_4	S-22.6
Calcium sulfate(gypsum)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Ca-23.3, S-18.6
Calcium carbonate	CaCO_3	Ca-40.0
Magnesium carbonate	MgCO_3	Mg-28.8
Magnesium sulfate(Epsom salts)	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Mg-9.9, S-13.0
Ferrous sulfate	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Fe-20.1, S-11.5
Manganese sulfate	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Mn-32.5, S-19.0
Zinc sulfate	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Zn-22.7, S-11.2
Zinc oxide	ZnO	Zn-80.3
Copper sulfate	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Cu-25.5, S-12.8
Sodium borate(borax)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	B-11.3
Boric acid	H_3BO_3	B-17.5
Sodium molybdate	Na_2MoO_4	Mo-46.6

^aConversion factors : P to P_2O_5 - 2.287 ; K to K_2O - 1.205

試驗進行時，例行的工作即加水使每盆重量達到 4000 克，通常每星期約需加水兩次。如遇土壤有過乾，或枝葉有乾枯現象，則次數需增加。當然在作物成長後，必需再加上作物本身的重量。以如上方法灌溉在無排水的試盆中尚無通氣不良問題發生。

切記灌水過多，作物會因土壤通氣不良而枯萎，而灌水系統不良，較研究中的營養素，更易限制作物生長。

2. 上吸法：將底部有排水孔的試盆置於另一容器中，灌溉水盛於該容器內，試盆內所需的水全部或部分如此供給，但對某些土壤，如灌溉水完全以此法供給，結果不理想，因水分無法上升至土壤表面。

如試盆容積小，而所用土壤又係導水力較強者，可將試盆（底部有孔者）置於砂床內，灌水於砂中，作物所需之水分即可自砂中供給，此法的缺點為土壤中的鹽分易隨水分移於土壤表面，且各盆中的鹽分也可因滲至砂床而污染其他試盆。

(二) 病虫害防治：

溫室常見的虫害有蚜虫、紅蜘蛛、及其他食葉昆虫的幼虫等。如發現有虫害，應立即噴以廣效的殺虫劑如 *Sevin*，*Malathion* 及 *Kelthane* 等。有機 P 的藥劑如 *Malathion* 雖含 P，但其含量甚低，不致干擾作物對 P 的反應。但應避免使用含 As 的藥劑，因其所含的 As 可能干擾植物分析中 P 的測定。

(三) 溫室與田間試驗的相關性：

進行溫室試驗的優點之一為影響試驗結果的因素在溫室較田間易於控制，且費用較少。其缺點為盆栽通常所用土壤有限，如所植作物過大，無法待其成熟即須收穫。例如玉米常在 50 — 100 公分高時，豆類在始花期。所以，其收穫量只能與田間試驗的初期反應比較，而在田間這種初期生長差別往往至成熟時即已逐漸變小，而與產量不一定有很好的相關性。

另一促使溫室盆栽試驗肥料效果敏銳的因素為盆試所用土壤通常均選擇缺乏探討中的要素者，此時作物對該要素的吸收量來自肥料中者必較其生長於富含此要素的土壤中時為多。在比較肥料效果時，這種方法也較為正確。

換言之，如果一試驗的處理在溫室盆栽情況下，已無顯著差別，即無需再在田間進行相同的試驗。反之，如盆栽結果顯示處理間差異顯著，則可考慮繼續進行田間試驗。

上述情形也有例外者，例如某些試驗——如鹽分濃度與水分的關係——在田間與溫室所得結果可能相差很遠，無法比較。

通常，由進行得好的溫室及試驗室結果可獲知值得繼續再在田間進行試驗的因子。盆栽試驗也為將實驗室所得觀察結果實際應用於植物反應，藉此建立基本的土壤—肥料—植物間關係的有效方法。由於田間情況下進行的試驗準確度低，此種在實驗室及溫室獲得的關係在田間往往無法得到。

為使溫室及田間試驗結果趨於一致，Cook 及 Millar (1946) 謂提高溫室施肥量，使用適當大小試盆及採用相同土壤等為其重要因素。

三 水耕盆栽試驗

水耕栽培為研究植物營養的重要方法，吾人對各種礦物元素在植物體內所擔任的角色幾均來自營養液栽培試驗，這種方法也稱為水耕法 (*hydroponics*) 或無土栽培 (*soiless*)

culture)。

(一)試驗用盆及遮光：

所有盆栽試驗用盆均可作為水耕盆栽之用，只要盆底無排水孔即可。但如進行微量要素試驗，則最好採用壓克力製品。

為防止盆栽時營養液內生長綠藻及隔熱，如所用試盆係玻璃或可透光的塑膠及壓克力製品時，必需予以遮光。其方法可以兩層或多層的棕色紙包裹；或塗以黑色油漆；也可用黑、白紙各一層，內層用黑色紙包裹可遮光，外覆以白色紙可反射光與熱；也可用現在的鋁箔(Aluminum foil)包裹盆外，也是很理想的隔熱及遮光方法。

又為遮光及防止塵埃污染，試盆口必需加蓋，此蓋同時也是水耕作物主要支持物。蓋有盤形網狀者(不銹鋼或鋁線製成)，也有木或塑膠製成上鑽有孔供作物生長者。為使孔的大小有伸縮性便於作物生長，可將孔內塞以海綿等富彈性物，也可藉此固定作物。(圖3)

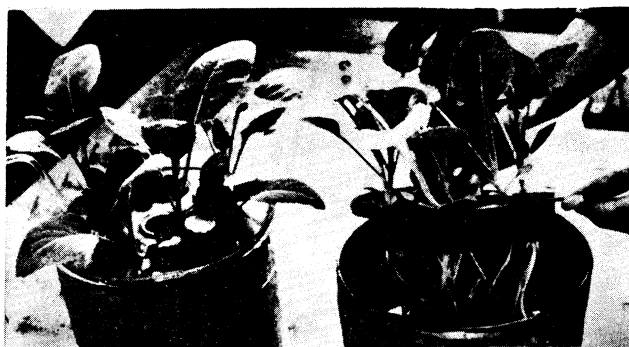


圖3 水耕栽培的花椰菜

(二)水耕液用水：

配製營養液的用水可用雨水、自來水、蒸餾水及離子交換水等，其選擇依試驗性質不同而定。如進行的試驗係有關微量要素者，則應選用離子交換水；如係有關三要素營養問題者，則用自來水即可。通常水稻能在以自來水配製僅含大量要素(N、P、K、Ca、Mg、S)的營養液中生長良好，除鐵及錳外，不致缺乏其他微量要素。

(三)營養液的配製：

水耕栽培所需的溶液，即一般所謂的“營養液”(nutrient solution)，為將作物生長所需的鹽類以某種比例溶於水中而成。其配製的原則為以簡單而可靠的配方供給作物以適當的濃度及比例的必要元素，營養液的配方很多，但只要其中含有作物生長必需的各種元素，而各元素的濃度與作物適宜的濃度相差不遠，作物幾均可生長良好。

營養液中各要素濃度單位常用者有：g/l，ppm，me/l，molar，mg，及 μg 等。茲將兩種較常用的配方列舉如下：

1. Arnon 或 Hoagland 溶液配方：

表2 Arnon 氏水耕液配方

鹽 類 (Salts)	分子量 (M.W.)	g./l.	me/l
KNO ₃	101	0.656	6.49 K ⁺ 6.49 NO ₃ ⁻
Ca (NO ₃) ₂	164	0.656	8.00 Ca ²⁺ 8.00 NO ₃ ⁻
NH ₄ H ₂ PO ₄	115	0.115	1.00 NH ₄ ⁺ 3.00 PO ₄ ³⁻
MgSO ₄ · 7H ₂ O	246.4	0.490	4.00 Mg ²⁺
FeSO ₄ · 7H ₂ O 0.5 % Tartaric acid 0.4 %		0.6 ml./l.	3xweekly (每週需更換三次)
H ₃ BO ₃		2.86 mg	
MnCl ₂ · 4H ₂ O		1.81 mg	
CuSO ₄ · 5H ₂ O		0.08 mg	
ZnSO ₄ · 7H ₂ O		0.22 mg	
H ₂ MoO ₄ (MoO ₃ + H ₂ O)		0.09 mg	

各種配方中所含各營養素濃度相差很大，但其主要大量要素的正常濃度範圍多為 2 — 8 me/l K⁺，6 — 10 me/l Ca²⁺，1 — 4 me/l Mg²⁺，5 — 15 me/l NO₃⁻，0 — 3 me/l NH₄⁺，2 — 4 me/l PO₄³⁻，1 — 4 me/l SO₄²⁻

又營養液的 pH 值最好在 5 — 6 之間。pH 過高易導致溶液內鐵的沉澱而無法為作物利用，其他要素如 Ca 及 P，有時 Mn 在 pH 高時也會成為無效性。

營養液內 pH 的調整可用 IN 的 H₂SO₄ 及 HCl、或 NaOH 溶液。

2. 稻作營養液配方：作物為水稻時，農試所常用的營養液配方如表 3，但為省時，此種營養液均先配製成較濃的母液，於使用時再行稀釋，大量要素及 Fe 稀釋 1,000 倍，微量要素稀釋 10,000 倍。

3. 特殊營養液配方：如所進行的試驗為缺乏某種營養素，則在配製營養液時不加該要素即可。其配製法如表 4。

(四) 營養液的通氣：

1. 通氣的重要性：

水耕栽培時植物根係生長在與自然環境完全不同的環境中。早在 1971 年 Clements 就發現植物根無法在止水中生長，其後的試驗也證明通氣為保持根有效活動的要件。如果沒有通氣設備，培養液中的氧氣壓力就會低於很多植物正常生長所需的量——雖然這種需要量各種作物相差很多。但過量通氣也會使作物受傷，試驗證明當氧氣含量超過 20 % 時作物生長即受阻。

水耕栽培時通常需要通氣，尤其當用盆深，或表面積與全部體積的比例小時；或用盆的蓋很緊密時。反之，如果所用試盆甚小（在3公升以下），或其表面積較大，又可與空氣自由接觸，或營養液常予更新，則可不必通氣。

水稻本身即生長於浸水環境，較其他作物適應於還原狀態，故水耕作物為水稻時，無需通氣。

表3 稻作水耕液配方

要素	鹽 (salts)	分子量 (M.W.)	g/l	me/l	稀釋倍數
(N)	NH ₄ NO ₃	80.05	120.0	1,500 NH ₄ ⁺ 1,500 NO ₃ ⁻	1,000
(P)	NaH ₂ PO ₄ · 2 H ₂ O	156.01	52.0	1,000 P	1,000
(K)	K ₂ SO ₄	174.27	87.1	1,000 K	1,000
(Ca)	CaCl ₂ · 2 H ₂ O	147.03	14.7	200 Ca	1,000
(Mg)	MgSO ₄ · 7H ₂ O	246.50	61.6	500 Mg	1,000
(Fe)*	EDTA-Fe salt		36.5	179 Fe	1,000
(Mic)					10,000
	MnSO ₄ · 4H ₂ O	223.11	22.3	200 Mn ²⁺	
	H ₃ BO ₃	61.84	18.6	900 B ³⁺	
	CuSO ₄ · 5H ₂ O	249.69	2.5	20 Cu ²⁺	
	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	287.56	2.9	20 Zn ²⁺	
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	1235.85	0.35	11.88 Mo ⁶⁺	

* (Fe)母液：稱取 EDTA - Na₂ 鹽 33.3 克溶於約 800 ml 水中，加 89 ml 、 1 N NaOH，再加 FeSO₄ · 7H₂O 24.9 克，待其溶解，放置過夜再稀釋至 1 公升，此液內 Fe 的濃度應為 5 mg/ml，將其貯於棕色瓶中，置於陰涼處。

2. 通氣的方法：

通常均以馬達打入壓縮空氣。為防止空氣中的塵埃或馬達內油的污染，常將此壓縮空氣先導入盛水的瓶中，空氣再自此瓶內由分支管分別以約 3 mm 的塑膠管通入水耕盆底。

塑膠管在盆底處折彎使其與盆底平行（如圖 4），再將出口封閉，並於盆底管壁上以針鑽若干小孔，使空氣自孔內逸出。此種小氣泡不致干擾根的生長，但除可使水耕液通氣外，更有攪拌營養液的作用。

普通情形下，通氣可不必連續施行，如每小時通氣 10 分鐘或每天通氣 4 - 6 次，每次 30 分鐘即可。

(五) 水耕作物育苗：

表 4 營養液配製法 (表內數字為配製 1 公升營養液所需之 *ml* 數)

	M	M	M	M	M	36.5g/l	Micro-	M	M	M	M	M	M	M	M
	KNO ₃	Ca(NO ₃) ₂	MgSO ₄	KH ₂ PO ₄	Fe-EDTA	KCl	nutrients*	CaCl ₂	Na ₂ SO ₄	NaH ₂ PO ₄	NaNO ₃	MgCl ₂			
N lacking	—	—	2	1	1	5	1	5	—	—	—	—	—	—	—
P lacking	5	5	2	—	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—
K lacking	—	5	2	—	1	—	1	—	—	1	5	—	—	—	—
Ca lacking	5	—	2	1	1	—	1	—	—	—	5	—	—	—	—
Mg lacking	5	5	—	1	1	—	1	—	2	—	—	—	—	—	—
S lacking	5	5	—	1	1	—	1	—	—	—	—	—	—	2	—
Fe lacking	5	5	2	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Micronutrients (except Fe)	5	5	2	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Complete	5	5	2	1	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—

* 微量元素溶液配製法

	g/l	ppm
H ₃ BO ₃	2.86	B 0.5
MnCl ₂ · 4H ₂ O	1.81	Mn 0.5
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.22	Zn 0.05
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.08	Cu 0.02
H ₂ MoO ₄ · H ₂ O (85 % MoO ₃)	0.02	Mo 0.01

如進行的試驗僅為大量要素試驗，育苗可在硃石中進行；但如為微量要素試驗，則育苗應在經酸洗過的砂中，較小的種子則可置於濕潤的濾紙中發芽。初發芽的幼苗在未能移植前可先育於育苗槽中，待稍大後再行分別移植於水耕盆內，如圖 5

初育成的幼苗必須先育於較稀薄的營養液中（將營養液稀釋，其稀釋倍數自 2 至 5 倍，依苗之大小而變動），且幼苗的根只能略與營養液接觸，待稍長成後，始能將根全部置於營養液中。

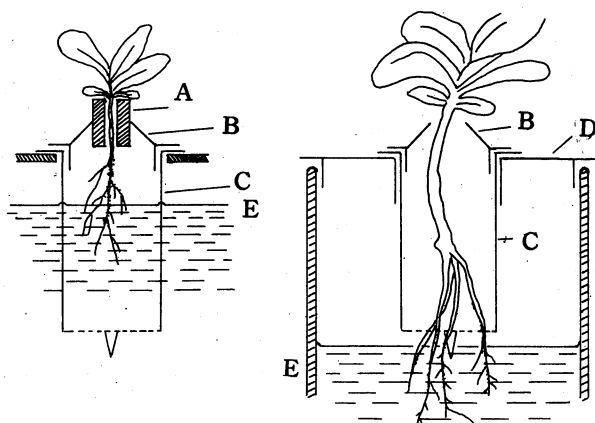


圖 5 育苗法（左為育苗槽，右為水耕用盆）

A 支持幼苗的塑膠泡棉。 B 支持植物的錐形蓋。 C 支持植物的圓形筒。
D 水耕試盆蓋。 E 營養液面。

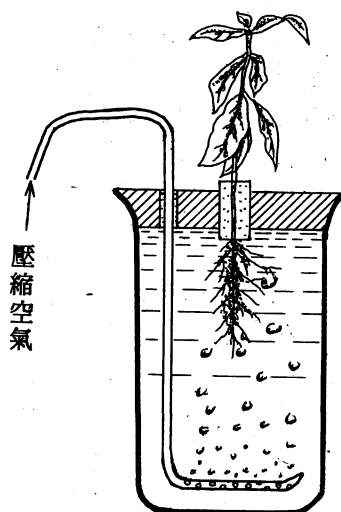


圖 4 壓縮空氣自盆底通入法

參 考 資 料

1. 東京大學農學部農藝化學教室 1952 實驗農藝化學 上册。
2. Allen, S.E., G.L. Terman, and L.B. Clements. 1976. Greenhouse techniques for soil-plant-fertilizer research. TVA National Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, ALABAMA 35660, USA, 57 pages.
3. Chiu, T. F. 1979. Glasshouse experiments for plant nutrition and soil fertility.
4. Cook, R. L., and C. E. Millar. 1946. Some techniques which help to make greenhouse investigation comparable with field plot experiments. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11:298-304.
5. Currier, H.B., G.R. Williams, 1961. Plant physiology laboratory manual, Department of Botany, U.C. Davis.
6. Hewitt, E.J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Revised 2nd. ed. Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation crops, East Malling, Kent, England. Tech. Comm. No. 22.

關於肥料試驗的若干意見

蘇 楠 榮

一 引 言

台灣省土壤肥料學會，曾於五十四年三月受省農林廳補助，出版其特刊(二)「土壤肥料工作人員研習班講義」，並為該廳舉辦是項研習班。當時筆者的講義，就是用上面這個標題。該文曾於五十八年轉載於農業試驗所刊印的土壤速測人員講習會資料中，而現在農試所將出版有關作物需肥診斷方面的書，編者表示要再轉載一次。但自從寫成該文到今，時隔將近 16 年，當時強調的問題，有的已經不必再強調或應該修改，倒是有些新想到的問題，可以加入。因此，筆者以原文為基礎，做了若干取捨刪改與添加。

試驗的最終目的在於其結果的應用。如結果不能應用，或不知應該在何種條件下應用，則所做試驗等於白作。不正確的試驗，設計不妥當的試驗與條件不明或條件不合實際的試驗，均缺乏應用價值，為了使試驗結果能靈活應用，除了試驗的環境，土壤及人為因素要有定量的記錄外，必須同時在多種舉辦試驗，以便瞭解試驗結果隨因素的變化而變的情形，獲得一般化的(原則化的)結論。

許多試驗，往往雖其本身相當成功，但由於主辦人員的解釋錯誤，在下結論時發生偏差，而他人亦未曾深入檢討，致引起結果的完全誤用，此種錯誤有時頗為嚴重，不可忽視。在肥料試驗的設計，執行與結果的解釋應用上，應考慮者頗多，本文無法亦無意列舉。以下祇就若干注意到的問題，提出討論，並就教於先進及同好。

二 田間肥料試驗與條件的連關問題

我們常在試驗報告上，看到以少數試驗結果，下結論說，台南如何、新竹如何，或紅壤如何，砂頁岩沖積土如何等等。大家都知道砂耕培養試驗所得的肥料需要量不能代表田間肥料需要量，因為土壤中已有多量要素預先存在。但很多人似乎犯了一種錯覺，以為「台南」的少數試驗結果，可在台南一帶適用，其實在同一鄉，同一村內，甚至在同一處祇隔一條田埂，肥料要素的需要量可能有相當大的差異。又同一土類內不同地點的要素需要量變化可大於土類與土類間的平均差異。在同一地號上同一田埂內的同一塊土地，今年的肥料需要量與數年後，甚至一期後的需要量可能不相同，而與相隔數百公里屬於不同土類的另一塊田可能相同。

因之，站在實用立場，問題並非台南、新竹或紅壤沖積土等，而是更具體，更一般化的天然與人為條件。我們必須明瞭試驗的條件如何，並須探明在何種條件下，要素需要情形如何變化。否則進行數以百計的試驗，重複多年，亦祇對整個情形的調查有用，至於對每一農民的實際應用，則貢獻很少，因為不能明瞭在某一塊農田的條件下應採用那一處的試驗結果。

以上所說，理論上很簡單，實際上並不容易，有時甚至不能指出某一試驗的「條件」(有影響的條件)是什麼。因此，在肥料試驗中需要先找出與試驗結果有關的條件。例如作鉀肥試驗，問題並非鉀肥有效或無效。因為早已明瞭不是有效就是無效。問題在於為何有效，為何無效。此種探求就是相關研究。首先應注意的是土壤含鉀量條件，即觀察土壤交換性鉀，微酸溶性鉀，非交換性鉀等等，與試驗結果是否有關。(如一切其他條件完全相同，這種相關必然存在，而且非常密切。但田間情形，不可能如此單純，所以祇要其他條件的變化沒有大到完全破壞此種相關的程度，便可以認為有關係存在。)如土壤含鉀量「條件」與鉀肥需要或效果間有關，便可根據該「條件」的變化，決定鉀肥施用量。反之，如發現土壤含鉀量「條件」不是影響鉀肥效果的因素，或影響情形不明顯，必需再進一步尋找同樣有影響或影響更大之其他「條件」。此時可能發現鉀肥效果與水分、溫度、氮肥、耕作或

其他條件有關。這也是屬於相關研究中的重要部分。因此發生水分與鉀效的相關問題，溫度與鉀效的相關問題等等，以及此等相關對土壤含鉀量與鉀效間相關的干擾（連應）問題。等到我們在各種「條件」中找出與鉀效相關相當明顯的一種主要「條件」，而其他條件的干擾亦明瞭時，田間肥料試驗始有靈活應用的希望。

以有限的人力、財力，想一次在各種條件下舉辦多處試驗，必有困難，但每次應查明試驗地的各種條件，當同樣試驗資料逐漸累積，便可明瞭主要影響條件與其影響的趨勢。又與其進行少數複雜試驗（即包括多數因素處理組合者），想要一次解決數項問題，不如用同一費用與人力多作單純而精密的試驗，將各種問題逐步解決。

三 選擇試驗地問題

試驗目的不同，選地對象亦不能固定。理想的選地，至少應包括條件普通者與條件在兩極端者。依肥力而言，需有高、有低、有普通者。依水分而言，應有灌溉者、有不灌溉者，或剖面乾燥（即保水力低）者及保水力高者。倘若無法做到，至少須要以目前能普遍適用的條件為選地條件。譬如改良場人員向農民推廣施肥量，不一定能根據場內肥料試驗結果，因場內土壤及過去施肥情形常與一般農田不同。加上因場地設在都市，常有灌溉水過肥現象。因此，肥料試驗，尤其在適量方面的探求，應在農家土地上辦理，始合實際。祇有定性或原則性的試驗以及初步工作，如盆栽試驗（包括集各地土壤於一處做比較），可以在場內進行，但也要看場內土壤能否使用。

又試驗改良機關，在農家土地上進行各種作物肥料試驗，往往為求管理周到及避免不聽話而選擇熱心且進步的篤農，有時不同機關的不同或相似試驗集中在同一農戶土地上。我們必需明瞭篤農的土壤經多年的培養，肥力偏高，故不能代表一般農家土壤，如根據此種土壤的試驗作施肥推薦便可能有問題。

四 試驗區設置問題

大家知道試驗區中的各區集，愈接近正方形愈能避免同一區集內的土壤差異，也知道一個區集內的各小區最好為長方形，而且其長邊應與土壤變異方向一致。但在田間會遇到若干實際問題，需要注意與靈活處理。

例如，筆者常看到一個試驗區剛好擠在一個田坵上，沒有保護行或祇有一兩行保護行的情形。試驗區太接近田埂或農路當然不好，與其勉強將整個試區擠入一個田坵，不如將一部份重複（區集）移到相鄰的另一田坵上（同樣不能太接近田埂），或將小區面積稍予縮小，以便留下充分的保護行。不同田坵間的土壤差異，可歸於區集變因，對處理間差異的統計上辨別，沒有影響。

在梯田上作試驗，最好不要包括靠梯田最內側及外側的部分，因為沒有作成梯田以前的地形為斜坡，梯田為將內側表土移至外側而成，現在內側的土壤為以前的底土，外側的土壤為表土上再加表土，肥力常有明顯差異。又在梯田上設置小區，其長邊應與埕壁成垂直方向，因為地力變化方向如此。另區集以成正方形為最佳的原則，在梯田亦不一定能適用。例如在一般平地，如試驗處理有6種，每區集內就有6小區，我們通常將此6小區排成兩排的3小區，而不願意排成一排，以免區集變長而增加區集內的土壤變化，在梯田則寧可將6小區排成一排（各小區的長邊並攏）使區集成長方形，而其長邊與埕壁成平行。如此，區集內土壤變化反比造成正方形時為小。

又在設置防風林（或草）的田區，作物發育以接近防風物者為最優，離防風物愈遠，生長愈劣。在此處設置試驗，區集更需要採用長方形，其長邊與防風物成平行，而小區亦成長方形，但其長邊與防風物成直交。

五 田間工作的執行問題

水稻試驗，為了防止肥料流動及為了行走方便，通常在小區設置田埂，田埂的土壤均來自小區中

，如小區不大（例如 10 平方公尺或以下），取土構築田埂後很多表土已被削去，肥料試驗等於在另一種土壤上舉行。筆者曾看過最極端例子，在那試驗區，小區特別狹長，田埂作得特別大，因此，試驗區地面明顯地較試驗區外地面為低，土色亦不同，此種試驗的結果，不可能代表原土壤的肥料需要情形。小區間田埂應愈小愈好，最好以塑膠板代替。

種苗的均一性很重要，如苗源有限無法獲得大小均一者，應依大小選別，以同一大小者種在同一區集，甘藷種尖端苗與非尖端苗，因產量有差，應一律採用尖端苗，這些問題可能大家都會注意到，但每個人插秧習慣不同，插植深度不易統一，而深植者產量會降低，因此同一區集內不應由兩人以上插秧，這事可能常被忽略。筆者曾看過一個試區，其同一區集內各小區的發育在初期已呈很大差異，後來才知道不但有二人同在一個區集內插秧，而且兩人的每樣插植株數也相差很多。

過去水稻試驗，因小區小，不能用耕耘機將基肥打入土中，祇用鋤頭攪拌，其混合深度很淺，氮肥損失較大，但我們向農家推薦的基肥施用法却是耕耘機全層翻施，損失較少，因而施肥次數可以減少。如試驗區不改用小型翻施機械，則可能所得氮肥適量與施用法不能完全適用於實際情形。在各區改良場的深層施肥機試驗中，筆者已建議使用充分長度的小區，使對照區能採用耕耘機進行基肥翻打，結果其較深層施肥減產的程度顯然比以前對照區用鋤頭混合基肥時為小。

有很多人重視小區邊行的生長環境不同於小區內部的事實，其實邊行有一側全無遮蔽，陽光特別豐富，空氣流通好，因而二氧化碳供應量亦比小區內部大，生產潛力較高，其肥料（尤其氮肥）的需要量較大，沒有代表性。又在冷風強風的地區或季節，邊行首當其衝，生育受阻，因而同樣沒有代表性。但很多人為了保持小區內完整或為了方便關係，在生育調查及採集化學分析用植物體樣本時，偏要以邊行作為對象，這種作法顯為不合理。試驗區收穫時，亦均應去除邊行植株產量及面積不計。如此，產量換算為公頃產量亦可接近實際。當然應注意使除去邊行後仍留有充分的真正小區面積及株數才行。

關於植物分析樣本的採樣大家都會避免重複採同一株，但生育調查有很多人在田間插竹條或做記號，每次調查均以固定植株為對象。其用意在於避免每次採樣對象不同，影響前後調查數值的連貫性。如此所得生長曲線起伏較小，可能比較漂亮。然而筆者比較喜歡每次調查重新做逢機採樣的做法，因為如第一次選擇的調查株沒有真正代表性，而以後一直採用它繼續調查，等於從頭錯到底。例如 A 處理實際上與 B 處理相同，而第一次選擇調查株時所選的 A 處理株平均較 B 處理株平均為優，此種不實的處理間差異可能會維持到底。如每次以客觀態度作逢機取樣，當可避免此種固定的誤差。

六 適量的問題

肥料用量試驗，最初步者為效應試驗，即有效與否的問題。進一步者為適量試驗，即在其他要素充足的情況下比較某一要素的數個不同平準，以便探明純利最高的要素用量。一般肥料效應試驗，多半採用「施」與「不施」兩級，而「施」者通常用多量。關於此點，想特別提出討論。

所謂效應，應指最有效時的效果反應，而非在任意決定的某一施用量平準的效應。倘若要素的效應曲線，均符合 Mitscherlich 氏模式，祇要將要素平準定高，便沒有多大問題。其實有很多試驗顯示某些要素，當其用量多時，產量反較少量時為低，而且有時低至與不施時相同或接近的程度。這可能是土壤與品種雙方的特性。在此種場合，如效應試驗祇有一個不施與一個多量兩個處理，所得結果完全錯誤。以筆者等多年前在桃園縣紅壤上所舉辦的土壤鉀素與水稻鉀肥效果間相關的研究為例，田間試驗所用 K_2O 為每公頃 0，40 與 100 公斤三級（少量平準不足多量的一半，理由是設計當時希望少量區產量不要過於接近多量區，以便正確估算肥料鉀素、土壤鉀素與產量的複合相關曲線）。結果 20 處試驗中以 100 公斤區產量為最高者祇 11 處，其餘均以 40 公斤區產量為最高。在此項試驗自然以最高產量為基準計算無鉀區產量百分率，而後者與土壤交換性鉀的相關頗為顯著。但如忽視

40 公斤區的試驗資料（等於沒有設 40 公斤區），全部以 100 公斤區的產量為基準算出無鉀區產量百分率，上述顯著相關關係便不再存在。

因此，效應試驗仍應包括不施、少量及多量三級，始可獲得正確結論。比較不同品種對要素的效應情形時，亦完全相同。有的品種肥料用量少時產量較其他品種低，但在施肥量多的情況下比較，却產量高於其他品種。

另有一種很重要而大家看法未必相同的問題。當我們試驗某種因子增減或變化的效果時，應將其因子保持在固定而適當的狀態。但這適當狀態對不同地點及不同試驗處理而言，不一定意味同一個量。舉例說，在桃園紅壤水田做深層施肥試驗，比較氮肥深施與撒施後耕入兩種方法的差異，其氮肥用量要固定在適當狀態，但其氮肥用量不能與屏東的同一試驗相同，否則不是屏東缺氮，就是桃園水稻倒伏。同樣地，在同一地點的該試驗中，如將深層施肥區的氮量與對照區者定為相同，而到幼穗形成期不管當時的氮營養狀況與發育態勢如何，一律施用同量的穗肥，則不是氮肥吸收率高的深施區引起氮肥過多之害，就是對照區稻株引起缺氮。此時如能設置若干級氮量，與深施法、對照法相組合，便可以將缺乏、適量與過多均包括進去，最為完善，但在處理必需簡單，地點要多的地域性試驗中無法採用這樣的複因子組合。此時與其以均一的施氮量來比較深施與不深施，不如以均一的氮營養狀態來比較。更具體的說，如在穗肥期深施區呈正常或過多的氮營養狀態（由葉色與姿態可知），則祇施用少量穗肥，對照區如呈明顯缺氮，則應多施穗肥，並分別記錄實際用量。至於由葉色與姿態如何判斷氮應施用多少，專做稻作施肥試驗者，均有經驗。如此做法較之固定氮量的做法，一見似為不科學，而事實上更為科學而且實用。以上例而言，可以深層施肥與一般施肥個別的最適施氮量比較其優劣，試驗結果可同時包括適量數字的實測差異，產量差異與經濟效益比較。

七 肥料型態問題

同一要素不同型態的肥料比較試驗，除設置對照區之外如祇用一個要素平準，很難獲得滿意的結論。至少應有少量與多量兩平準。如能再加一級，求得正確的肥效曲線更佳，因不同型態的肥料，必需以各型態的最高純利為比較基礎，不應以某一固定要素量來比較，或用某一固定投資額（肥料費及施用費）來比較，而最高純利必需有整個肥料效應曲線始能算出。

例如設在古坑的鳳梨氮肥種類比較試驗，氮素用量分為主作期每株 0、10 及 20 克三級，無論以每株 10 克或 20 克的 N 做比較，均以硫酸銨為最佳，尿素居中，硝酸銨鈣最劣，差異很明顯。但問題在於 10 克以上硫酸銨的再增產量較小，而尿素及硝酸銨鈣的再增產量較大。因此尿素與硫酸銨的最高純利相似（以配給價格計算），根據效應曲線估計，純利最高時的尿素用量為 N 21 克，硫酸銨用量約為 N 15 克，而兩種產量相似。

基於上述情形，在尿素與硫酸銨的比較示範，如祇能設一個平準，寧可用同一肥料費為比較標準，而不用同一氮素量為比較標準。此種作法，並非欺騙農民，掩蔽尿素的缺點，反而如用同一氮素量作比較，才是不合實際。嚴密的說，不同型態的同一要素肥料，不但應以整個效應曲線比較，且應以不同施肥時期與施肥法比較之。因為各型態的效果表現，在不同時期及用法的情形下未必相同，而在緩效性肥料與一般肥料的比較試驗中，此種問題更為明顯。

八 施肥時期問題

施肥時期問題，就是各生育階段肥料分配法的問題，包括時期，分施次數及每次分配量，而此三種實際上無法分開處理。此種試驗能遇到的干擾條件很多，必須認明這些條件，不可用某一試驗的結果隨意應用於各種不同情形。

譬如太肥沃的土壤，到生育後期土壤中營養素的釋放仍然不少，但在肥沃度低的土壤，生育初期及後期均需要多量肥料。在此兩種土壤進行作物施肥時期分配量試驗，結果可能相差很大。又在雨量

充足、氣溫高、土壤物理性佳、植期早、苗勢旺盛、耕作管理周到等有利條件之下，作物發育量大，在固定的密植度情形下，一定比條件不好的場合容易到達「徒長臨界點」（筆者曾提出這種觀念），這時初期肥料用量需要控制，以免超越臨界點而變為徒長，減低施肥效果。反之，在條件不好的情形下，或密植度較低時，初期肥料分配率要充分，以使作物趁任何機會儘早吸收利用肥料，達成正常發育。因此條件不同，施肥時期及分配量的試驗必有不同結果，這一點可以事先預料，並應在試驗結果的解釋與應用上加以適當注意。

此外漠然進行肥料分施次數試驗，或施肥日期祇以種植後日數計算，而對作物的生理階段沒有考慮，有時會獲得不同結果而徒增困擾。例如試驗一期作插秧後 65 天施氮的肥效，在正常的年度可能效果大，但在寒冷的年度可能碰到穗頸分化期，引起節間過分伸長及穀粒過分增加，導致倒伏及不飽滿而減產。又同一天施於另一較早熟的品種，可能因已經過時，不能增加粒數而效果不顯。

一般人容易犯一種錯覺，以為肥料的適量為第一問題，而將施肥時期及每期肥料分配法的適當與否列為次要問題。但有時後者的重要性不但不亞於前者，而且超過前者。例如日本，韓國及我國都曾經發現在若干缺鉀水田將鉀肥作適當的分施時，其增產率較全量當基肥時大一至二倍。

六 施用法的問題

施用同量肥料，如施用部位不同，可能得到不同效果。二十多年前參觀一個鳳梨栽培距離試驗，當時株距 30 公分的密植區，其鳳梨發育及葉色均顯較株距 35 公分與 40 公分之疏植區為佳。在場的專家們，早已傳聞密植優於疏植的報告，再實際看到這種田間表現與傾聽主辦人的說明，便口口實實地說密植確較疏植為優。其實此時鳳梨苗種植後才兩三個月，鄰接株葉尖間距離還大，栽培距離還沒有真正發揮影響，處理間不可能有任何顯著差異，而且密植的主要優點在於有效利用空間，並非能改進單株的發育。後來經查問才知道施肥位置在株間中點，而不是接近株側，因此明瞭處理間差異是起因於施肥距離的不同。（施肥點與植株的距離隨株距的增加而增加）

近十年來施肥位置問題很受重視。利用農機將容易氧化後脫氮損失的速效性氮肥施入稻田深處以提高肥效的作法，已進入大力推廣的階段。

施肥部位不適當，等於施肥量不足及施肥日期不對，可知法、量與時三者實在不能分開而論。雖因受實際問題限制，通常不便同時進行這三種因素的連應試驗，但至少不能忽視重要性及忘記理想的施肥法包括各種因素的理想組合的事實。

六 要素間效果的連應問題

同一試驗中包括兩種要素（或以上）時，如有處理的完全組合，便能探明要素間效果連應（或交互作用）情形。有一部份人對連應有錯誤觀念。他們以為 A 要素增產 10%，B 要素增產 10%，而 A、B 同施時如增產 15%，即可稱為有連應。其實兩種要素同施的增產量（在上例）需超過 20% 才能說有連應，如祇增產 15%，不但沒有正的連應，而且是有負的連應。

筆者所知道的連應中，最明顯的是新竹區改良場 49/50 年度舉辦的油菜三要素試驗。該試驗氮、磷、鉀等連應很大。以磷鉀連應為例，在無鉀的情況下，施磷區增產種子 44 公斤/公頃（N、P 區 1,224 減 N 區 1,180）；但在 180 公斤 K_2O 共施之下，108 公斤 P_2O_5 可以增產種子 805 公斤（N、P、K 區 2,030 減 N、K 區 1,225）。

又省農試所 53 年一期水稻品種肥料試驗中亦有部份連應情形發生。例如嘉農 242、新竹 56、及矮腳尖等三品種對鉀肥的效應較大，臺中 65 號與在來 1 號對鉀肥的效應不明顯。但這是根據各種處理組合的平均而言。如詳查臺中 65 號及在來 1 號的試驗資料，可知道兩品種在不施磷肥的情況下施用鉀肥，不能增產（羅東）或甚至稍有減產（桃園）；但在施用磷肥的情況下，鉀肥便可增產 225~310 公斤。

在單要素的試驗，雖然看不到連應問題，但也要考慮背後的要素連應，就是一切其他要素的供給量不適當時試驗要素的效果往往不能顯出的事實。

六 土壤肥料試驗中的似是而非結論

試驗做得很好，報告亦寫得不錯，但重要結論下錯了，這種例子處處可見。由於試驗結論與應用或下一步的試驗有直接關係，此種錯誤可以說相當嚴重。例如我們常常用不完全組合處理，進行肥料三要素適量試驗，因為如採用完全組合，祇要每種要素用量有兩級，就已經變成 8 種處理，但用兩級用量的試驗根本不可能查出適量，而如用不完全組合，同樣 8 處理，就可以試驗 A 要素四級，B 要素三級與 C 要素三級，在不需要試驗連應問題的情況下，還是不完全組合最有用。然而有少數人在不完全組合處理的試驗中，看那一種組合的產量最高，就以這種組合的三要素量當做適量下結論。其實不完全組合的設計，祇能在其他兩要素同量的情況下，比較某要素不同量間的產量差異，以查出該要素的適量。舉例說，某一試驗中最佳處理可能是 140 - 80 - 60 公斤 / 公頃的 $N - P_2O_5 - K_2O$ 組合，但以要素別加以檢討時，其個別的適量可能是 N 100， P_2O_5 40， K_2O 60 公斤 / 公頃，而個別適量的組合 100 - 40 - 60 才是真正適量。

從前筆者做鳳梨肥料試驗時，在一個氮肥適量試驗中，發現葉組織中的鉀濃度愈高時葉數便愈少，關係非常顯著。但這是似是而非的結論。因為實際情形是氮肥施得愈多，葉數亦愈增加，而在施鉀量保持均一的情況下，葉數愈多則葉鉀濃度愈降低，這是稀釋效果，如此而已。在其他作物的試驗報告中，亦曾經看過類似情形。例如以 $3 \times 3 \times 3$ 組合三要素試驗的 27 種處理的產量與葉中 NPK 求相關時，葉氮含量愈高，則產量愈高；但葉磷愈高時產量則愈低，葉鉀愈高時，也是產量愈低。其實這項結論中的有關磷鉀的部份是假的。其真相是該三要素試驗中祇有氮肥有明顯增產效果，而磷鉀肥均無卓效。換言之，氮肥是該試驗中的主要影響因子，磷鉀兩因子的影響小。在此情況下，施氮愈多（或小區的土壤氮肥力愈高），便產量愈高，而產量愈高，便葉磷及葉鉀愈低（稀釋作用），因此，乍看之下，磷鉀營養對產量有逆效。如以此做為結論，已經犯了錯誤，如進一步求葉中 N / P 比或 N / K 比與產量的關係，而認為這些比值愈高時產量可以愈高，則錯誤更大。

又有人做大豆試驗，發現氮吸收量愈多每公頃大豆產量便愈高，兩者間關係為直線，因此下結論說以氮肥增施的方法，可以提高大豆產量。這也是似是而非的結論。因為實際上多施氮肥並沒有提高產量，有時反而引起徒長，甚至倒伏，而使產量降低。筆者認為限制大豆生產潛力的因子並不是氮肥，而是使大豆對氮肥的需求不能提高的，導致低產的因子（如物理性），應先研究這些因子，並將這些因子加以去除或改進，以提高大豆的生產潛力後氮肥的需求量自然會提高，多施氮肥自然也會見效。

筆者曾經看過一篇很好的土壤有效磷校準研究報告，該報告中發現如將 Bray 氏第一法有效磷的溶提液對土壤樣本的比率修改為 50 比 1，便可以顯著改進無磷區產量百分率與有效磷測值間的相關。這個工作非常有貢獻。但據原報告的資料處理，無磷區產量百分率對有效磷測值的回歸趨勢為拋物線型，在有效磷達 26 ppm 左右時，無磷區產量百分率達到最高（即施磷效果達到最低），超過 26 ppm 以上，無磷區產量百分率又降低了（即施磷效果又增加了），所以以 26 ppm 做為土壤有效磷的缺乏臨界濃度。但土壤磷素肥力過高時，施磷肥更有效果這一點，顯然有錯。假如沒有錯，而果真有效磷含量超過 26 ppm 時施磷效果又會增加，那麼更不能以 26 ppm 做為臨界點。該研究，為了提高工作的正確度，已先將磷肥效果未達統計上顯著平準的試區資料全部除掉，其結果不但將機差太大的不可靠試區除去，連真正施磷無效的試區也除掉了，但對臨界值的查檢而言，施磷無效地點的資料是非常重要的。資料取捨上的錯誤決定，就是導致上述似是而非臨界值求得的原因。

盆栽試驗不能正確代表田間試驗的情形，這是周知的事實。有時盆栽試驗給我們困擾的結論。記

得台大有一個試驗用 Neubauer 試驗的規模，想究明新鮮有機物的施用爲害稻苗生長的情形，結果反而加入有機物的處理，其發育更佳，養分吸收更多。可以猜測的理由是現場的強還原狀態在該試驗中沒有再現。

有時試驗資料的處理與結論均無錯誤可言，但與已知田間情況有矛盾，這時因爲是盆栽試驗的關係，對其實用意義需要小心評估。二期稻作的低產原因不在氮的問題，這點可以由衆知的事實——二期稻作的氮肥適量低於一期作——加以證明。但農試所的一個連續六作的盆栽試驗，發現二期作水稻的收量與土壤溶液的氮濃度間有極顯著的正相關存在。這個矛盾使筆者想了很久，一直無法解釋，但最近認爲是盆栽試驗中不能再現田間二期作土壤的不良理化性，因而生產潛力提高，能使土壤的氮素肥力發揮影響的關係。

又研究報告的結論或其引用，如果強調某一部份事實，而忽略整體的考察，容易令人誤解。例如 Olsen 與 Watanabe 兩氏，曾就不同質地的土壤，進行作物的磷吸收量比較，證明土壤平衡溶液中磷濃度相同時，作物的磷吸收量是質地愈粘時愈多。這是粘質土壤的養分容量大於砂質土壤的關係。這項結論容易使人誤解，以爲雖然砂質土壤的磷供應強度大但真正有效性是粘質土壤較大。然而詳看兩氏的資料，便知道施用同量磷肥時，砂質土壤的磷吸收量大於粘質土壤，雖然容量也有關係，但以整體而言，強度還是比容量重要。

三 統計分析結果之解釋

統計分析的好處，在於能使我們有充分理由相信試驗處理的差異，或處理的效果。換言之，各種處理平均的差異，如在統計學上屬於顯著，在一般情形之下，可以相信這些處理間真正有差異，否則不敢相信。但差異或效果不顯著時，是否可論斷爲無差或無效？

我們不能將不顯著歸咎於無效，因爲可能實際上處理有效（或有差），而祇因土壤或管理上的變化過大，或試驗技術不佳，使機差變大，結果分析變爲不顯著而已。在此種情形之下，如果憑統計分析數字，下結論說處理無效（或無差），可以說是統計分析的濫用。這種試驗報告似乎不少。

一種肥料如能使產量提高 3%，以全省產量而言，是很大的增產。請問有幾個田間試驗能查出這 3% 的差異，證明其顯著性？！由於農業技術的不斷改進，今日能使產量再提高 10% 以上的獨立因素已經少見，我們實在不應繼續辦理不能鑑定較小的增產率的粗放試驗，否則不但可能沒有貢獻，而且可能因自己的錯誤而竟然耽誤農業的發展。如何使有效果而不顯著的試驗，在下次變爲顯著，那是田間技術問題，但當結束一次試驗，而不可不下結論時，吾人應憑常識及試驗資料的檢討，判斷不顯著的原因究竟是因爲真正沒有差異或實際上有差，祇在統計上屬於不顯著。

肥料試驗資料之整理

王 銀 波

一 緒 言

作物之肥料試驗爲需肥診斷方法之一，肥料試驗種類甚多，但歸納起來不外分田間試驗與室內（包括溫室與實驗室）試驗二種。一般而言，田間之試驗比較不易控制，但因與作物生長之土壤條件較爲接近，對栽培工作之應用可能更爲實際，室內之試驗各種試驗條件比較易於控制，但所用資材或條件（如土壤或培養液）與栽培作物之環境迥異，雖可得較精密之結果，唯與實際生長條件不同，僅能供爲了解其趨勢而已。這些試驗結果爲求其更科學化，並能正確的表示起見，大部分以數字表示，有些表面上看起來不能以數字表示的問題亦儘量使其數字化較爲清楚容易了解。倘僅靠文字之描述常會令人模糊不清，甚者更會使人發生誤會，因此使真正試驗結果矇蔽不顯。所以我們欲比較試驗結果之質與量的問題必需先要有可以表示此質與量的數量方可以言比較。

現在我們有了調查的結果或試驗的紀錄，這些我們總稱爲資料（data）。這些整理的由試驗或調查所得的資料往往數量很多，而且零亂，我們不能對其有所了解，爲了從資料中得到一些訊息（Information）或規律所以要加以整理，這些整理的資料必需正確可靠，整理後才有價值，如果資料不可靠，任你用怎樣精細的方法去整理，這些方法都是白費的。有些人迷信統計，以爲錯誤的資料可由統計去校正，使其成爲正確可靠的數字。其實這是大錯特錯，統計僅能幫助我們去判斷資料並無法改變資料之性質，所以錯誤的資料所得之結論仍是錯誤的，惟有正確的資料才會給我們正確的答案。在這裡我們必需強調對於不正確的資料，統計是愛莫能助的。

資料整理時，數字的抄寫和計算，一不留心就會發生錯誤，這種情形在有經驗的人尙免不了，何況初學的人呢？不過有經驗者一遇錯誤，自己就會發覺立即改正。發覺的方法，主要的是靠校對（Check）和推理（Reasoning）兩方面。校對可以把原來的計算過程重複一遍，也可以用不同的方法再算一遍。但重複計算，同一錯誤有重複發生之可能，故統計上常用不同的方法來校對。推理也是發現錯誤的好方法，不過推理只有靠豐富的知識與過去的經驗去發現錯誤的。

另外，應該養成整齊清潔並愛好數字的習慣，這樣才會減少筆誤之發生。若有馬虎草率的習慣，常常會錯誤百出，實不配從事科學的研究。又利用公式整理資料時，有時對由高深的數學原理演化出來的公式，追問來源是一件非常困難的事，所以在統計方法（Statistical Methods）中可略而不研究，但對各種公式的正當用途和計算的意義則非澈底了解不可，所以在計算之前必須弄清楚爲什麼要這樣算，切不可依樣畫葫蘆的盲算，盲算會使人墮入五里霧中。

有人認爲我們過去許多實驗結果，只要求得各組之平均數，必要時再算幾個百分數，根據平均數與百分數的大小，憑我們的常識，就可以看出各組的差別，這種僅憑數字表面值的推論，就是所謂常識的判斷。當兩組間差異很大而各組內之個別差異（Individual difference）比較少的時候，常識判斷和統計處理所得的結論，可能是一樣的。不過常識判斷主要的缺點，是沒有把機遇（Chance）或生物變異（Biological Variation）考慮在內，因此所下結論難免有錯誤發生，尤其在數字面值剛好迎合研究者的希望的時候，更容易得到似是而非的論斷，因爲此時把機遇或生物變異所來的差別當作兩組真正的差別來處理，而下錯誤的論斷。

一般常有個錯誤的觀念，認爲利用統計方法僅是最後資料之整理與計算，至於事前的計劃、調查

、實驗和紀錄等等是與統計無關。殊不知在計劃一個實驗的時候，就應該全盤了解將來結果怎樣統計，那些資料要詳細記載，那些項目可以略去，如何記載才能便於整理統計，尤其我們不應忘記，實驗的處理 (Treatment) 數，這些參試處理有無代表性，如何進行實驗才可避免偏性 (Bias)，都非常重要。R、A、Fisher 氏認為一個試驗的好壞應由 (1) 實驗本身之計劃 (2) 實驗結果之解釋方法兩項去評判，這是我們從事肥料試驗或營養診斷的人應該緊記的。

三 資料之整理 —— 常用的統計公式

1. 平均值 (Average or mean)

資料之整理最初常整理成一頻度分佈 (Frequency Distribution) 表，這時雖然可看出資料的概貌，但還不達到統計之目的。因此如何表示這群數字的集合體而找出一個代表值來表示其集中情形加以活用，此種代表值普通採用平均值。這個平均值就是普通的算術平均，用符號表示如下：

$$\text{族群平均值 } \mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_1 + \dots + X_N}{N}$$

$$\text{樣品平均值 } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_1 + \dots + X_n}{n}$$

N 表示族群之大小， $X_1, X_2 \dots X_1 \dots X_N$ 表示族群之觀測值。

n 表示樣品之大小， $X_1, X_2 \dots X_1 \dots X_n$ 表示樣品之觀測值。

麻煩的是兩組平均一樣時，普通他們的狀況並不一樣，亦即是各點之分佈情形不同，也有相同之平均值出現，所以除了平均值表示集合體之集中情形外，應該有一種可以表示分散情形的公式。

2 變方 (Variance) 與標準偏差 (Standard deviation)

對資料之第二步認識為資料的分散情形，最簡單的方法是求全距 (range)，即最大數減最小數，這樣可以知道資料的分散幅度。

全距的寫法常把差數寫在前面，而把最小值與最大值寫在括弧裡，如：

2,861 (1,993 - 4,854) 與 26.4 (154.1 - 180.5)

但這方法不能考慮每一個觀察值的變動情形為其缺點，所以

有時同一平均值與同一全距的兩資料之實際情形大為不同。

為考慮每一觀測值之變動情形，以免一個特殊份子而影響全局，衡量變動分散情形的標準，就用各觀察值減去平均值叫

偏差 (Deviation) 以式表示如下：

$$X_1 - \mu = x_1$$

$$X_2 - \mu = x_2$$

⋮

$$X_1 - \mu = x_1$$

⋮

$$X_n - \mu = x_n$$

圖 1 同一平均值同一全距
之不同頻度分佈曲線

這些偏差仍是一群亂七八糟的數字，不能達到統計認識資料的目的，而更困難的是這些偏差之總和又等於零，即

$$\sum_{i=1}^N (X_i - \mu) = 0$$

$$\sum_{i=1}^N (X_i - \mu) = \sum_{i=1}^N X_i - \sum_{i=1}^N \mu = \sum_{i=1}^N X_i - N\mu = N\mu - N\mu = 0$$

故無法求得偏差平均值，以了解偏差之集中情形。因此以各觀察值與平均值之相差，取其絕對值而平均之，這便是均差 (Mean deviation)

$$M.D. = \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \mu|}{N}$$

但任意取絕對值亦無充分理由，因此利用平均值之性質（以平均值為中心時，各觀察值對平均之偏差平方和為最少），知道 N 個觀察值離平均距離之平方和，為觀察值以平均為中心變動的最短距離和，用 N 除之，得平均的變動值，這值叫變方 (Variance)

$$V = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N} \quad \text{族群的變方 (Population Variance)}$$

$$V = S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} \quad \text{樣品變方 (Sample Variance)}$$

當變方大，表示觀察值離開平均值之平均距離大，即分散度大。當變方小，即分散度小。

任一樣品變方不一定等於族群變方，但所有樣品變方之平均，等於族群之變方，這也即是隨機樣品之不偏性 (Unbiased estimate)。樣品之變方若乘 $\frac{n}{n-1}$ 為族群變方最佳估值，此時樣品之變方叫均方 (Mean square) 意即均差平方和 (Sum of square of deviation)，至於分母 ($n-1$)，一般稱自由度 (Degree of freedom)，常以 d.f. 表之。分子稱作偏差平方和 $\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ (Deviation of sum of square)，簡稱平方和 (Sum of square) 用 S.S. 表之。

為使平方後之單位還原故把變方開方，以代表集合體之分散情形，族群變方開方稱標準偏差 (Standard deviation)，以 σ 表之。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}}$$

均方 (M.S.) 開方稱為標準機差 (Standard error) 以 S 表之，為樣品對族群標準偏差之估計值。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

一般以 $\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ 求法較麻煩，因 $\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}$

故計算時以 $\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}$ 代替 $\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$

3. 差異係數 (Coefficient of variation or variability)

上面說過變方與標準偏差係表示量數間的變異或散布的情形，量數分散時變方與標準偏差大，量數密集時則變方與標準偏差小，利用此一原理可以比較兩族群之變異情形。碰到機差相似的族群時，則非常順利，但在兩個機差不同的族群，用變方或標準偏差來說明變異現象是不夠的。為了解決這個問題，就不得不有一個公共的標準作為比較的根據。最自然的比較標準，要算是各自的平均數了。因此我們把標準偏差化做平均數的百分數，稱之為差異係數，又有人稱之謂變異係數，以 C.V. 表示之。

$$C.V. = \frac{\sigma}{\mu} \times 100$$

樣品之差異係數為

$$C.V. = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

差異係數是百分數，所以它是沒有單位的，於是這兩個百分數就可以比較了。換句話說差異係數大的表示變異大，差異係數小的表示變異小。

差異係數，已往用得很多，可是濫用的結果，遂使若干統計學家貶抑了它的價值。所以使用時應謹慎切忌把風馬牛不相干的東西硬拉在一起比較，以致鬧成笑話。

4. 信賴係數 (Confidence Coefficient) 與信賴間隔 (Confidence interval)

在標準常態分佈中，若以 $T_i = (X_i - \mu) / \sigma$ ，且 X_i 之分布常態時，則此 T_i 值之分佈亦為常態，其真平均值為零，變方及標準差為 1，由常態分布之機率密度函數式或任何一種常態機率積分表均可得知， T_i 等於及小於 -1.96 與等於及大於 1.96 之機率各佔 2.5 % 以式示之。

$$\text{左尾機率：} P[-\infty \rightarrow T_L] = P[-\infty \rightarrow -1.96] = 2.5\%$$

$$\text{右尾機率：} P[T_U \rightarrow +\infty] = P[1.96 \rightarrow +\infty] = 2.5\%$$

$$\begin{aligned} \text{兩尾機率和} &= P[-\infty \rightarrow T_L] + P[T_U \rightarrow +\infty] \\ &= P[-\infty \rightarrow -1.96] + P[1.96 \rightarrow +\infty] = 5\% \end{aligned}$$

P 表示界限內所佔機率， T_U 及 T_L 分別表示變值 T_i 之上限及下限。

顯著性測驗之機率水準一般用 5 % 與 1 % 二種，以上例 5 % 為例，則 $T_U = 1.96$ ， $T_L = -1.96$ 稱為信賴上限及下限。又因機率總和等於 1，故中間機率為

$$P[T_L \rightarrow T_U] = P[-1.96 \rightarrow +1.96] = 1 - 5\% = 95\%$$

由下限至上限所佔機率 95 %，此值稱為信賴係數 (Confidence Coefficient)，上限至下限間之距離，即 T_L 與 T_U 之絕對值之和，等於 $2 \times 1.96 = 3.92$ 此數稱信賴間隔 (Confidence Interval)。

若以 1 % 為顯著性之水準，或謂另設以 99 % 為信賴係數時，其 T_L 及 T_U 應分別等於 -2.58 及 2.58，其信賴間隔應為 $2 \times 2.58 = 5.16$ 。

若有其常態變值 X_i ，其真平均值 μ ，標準偏差 σ 時，並以 95 % 為信賴係數，則 $X_L = \mu - 1.96$

為該常態變值 X_L 之信賴下限，

$X_U = \mu + 1.96\sigma$ 為其信賴上限。

$$\begin{aligned} P [X_L \rightarrow X_U] \\ &= P [(\mu - T\sigma) \rightarrow (\mu + T\sigma)] \\ &= P (\mu - 1.96\sigma) \rightarrow (\mu + 1.96\sigma) \\ &= 95\% \end{aligned}$$

其含義即當我們自某無窮大之常態變值族

群中，以逢機方法取出一個變值為樣品，

其所取得之變值，落在此一間隔之機率為 95%。

圖 2 T_1 之值

一般在小樣品中計算時常以 $\bar{X}$ 代替 μ ，而以 $St_{p.s.}^{df}$ 代替 1.96σ 或 2.58σ ，成為

$$\begin{aligned} P [X_L \rightarrow X_U] &= P [(\bar{X} - St_{0.05\%}^{df}) \rightarrow (\bar{X} + St_{0.05\%}^{df})] \\ &= 95\% \text{ (註：大樣品則以 } S \text{ 代替 } \sigma \text{)} \end{aligned}$$

在常態變值之樣品平均值時，中間機率應為 $P [\mu - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \bar{X} \leq \mu + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}] = 95\%$ 。

σ 值不可得，只有以 S 代之，再經移項 $P [\bar{X} - \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + 1.96 \frac{s}{\sqrt{n}}] = 95\%$

S 值之自由度小於 60， T_1 之分佈非常態而為 t 分佈，故 $P [\bar{X} - t_{p.s.}^{df} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{p.s.}^{df} \frac{s}{\sqrt{n}}] = 95\%$

5. 機差 (Probable deviation) 與機誤 (Probable error)

以前學過統計的人，都知道機差與機誤這些名詞。機差是標準偏差的 0.6745 倍，它也表示量數的散布情形，以 $P.D.$ 表示之，其公式為 $P.D. = 0.6745 \sigma$

在常態曲線上，全體均數在各一個機差上下 (即 $\mu \pm P.D.$) 的範圍內，有 50% 的量數分佈着，而在全體均數上下各一個標準偏差的範圍內則有 68% 的量數分佈着。

機誤以 $P.E.$ 表示，其意義與機差相似，不過機誤表示樣本平均值的分佈情形，所以它是相當於標準機差的，其公式為 $PE\bar{x} = 0.6745 S\bar{x}$

在常人的思想裡，半數 50% 好像比 68% 容易理解些，這是機差與機誤的惟一好處，可是在其他方面，標準偏差與標準機差則更勝他們了。因此在現代統計學上，尤其是生物統計學上，機差與機誤幾乎已經不用，不過至今守舊的人依然把機誤放在平均數後面 $\bar{X} + PE\bar{x}$ 而在現代統計學上則把標準機差放在平均數的後面了 ($\bar{X} + S$)。因此我們在研究報告裡應當說明在正負號後面的是什麼東西，這樣才可以不致引起誤會，這點是我們常常忽略的。

三 田間試驗設計及其資料統計分析法

1. 兩處理參試之試驗設計及統計分析法

A. 完全逢機設計 (CRD)，亦稱不駢對而無相關之設計及分析法：

設有某鉀肥試驗，其參試處理有二，一為僅施氮磷肥而不施任何鉀肥 (K_0)，另一為施用與 K_0 等量之氮磷肥外，加施鉀肥 40 Kg / ha (K_1)，每一參試處理重複十次，亦即每一處理設置十個試區，全試驗共需 20 個試區，那一試區屬於那一種處理，則用逢機抽籤決定，設抽籤結果及

各區水稻之稻穀收量如圖 3：

將圖 3 之數字經初步整理，可得表 1：

(1) K_1 50	(20) K_1 67
(2) K_0 41	(19) K_1 76
(3) K_1 54	(18) K_0 67
(4) K_1 61	(17) K_1 71
(5) K_1 59	(16) K_0 64
(6) K_0 39	(15) K_1 72
(7) K_0 47	(14) K_0 67
(8) K_1 67	(13) K_0 65
(9) K_1 68	(12) K_0 57
(10) K_0 53	(11) K_0 61

圖內數字為每公頃之百公斤稻穀重量

圖 3 種 植 圖

表 1

處理 重複	K_1	K_0
1	50	41
2	54	39
3	61	47
4	59	53
5	67	61
6	68	57
7	75	65
8	71	67
9	76	64
10	67	67
總 計	648	561
平 均	64.8	56.1

$n_1 = 10$ 第一參試處理之重複次數

$n_2 = 10$ 第二參試處理之重複次數

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n_1} (X_{1j} - \bar{X}_{1.})^2 &= \sum_{i=1}^{n_1} X_{1j}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^{n_1} X_{1j} \right)^2 = (X_{11}^2 + X_{12}^2 + \cdots + X_{1j}^2 + \cdots + X_{1n_1}^2) \\ &- \frac{1}{n_1} (X_{11} + X_{12} + \cdots + X_{1j} + \cdots + X_{1n_1})^2 = (50^2 + 54^2 + \cdots + 67^2) \\ &- \frac{1}{10} (648)^2 = 42662.0 - 41990.4 = 671.6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{n_2} (X_{2j} - \bar{X}_{2.})^2 &= \sum_{j=1}^{n_2} X_{2j}^2 - \frac{1}{n_2} \left(\sum_{j=1}^{n_2} X_{2j} \right)^2 = (X_{21}^2 + X_{22}^2 + \cdots + X_{2j}^2 + \cdots + X_{2n_2}^2) \\ &- \frac{1}{n_2} (X_{21} + X_{22} + \cdots + X_{2j} + \cdots + X_{2n_2})^2 = (41^2 + 39^2 + \cdots + 67^2) \\ &- \frac{1}{10} (561)^2 = 32489.0 - 31472.1 = 1016.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_x^2 &= \frac{1}{n_1 + n_2 - 2} \left[\sum_{j=1}^{n_1} (X_{1j} - \bar{X}_{1.})^2 + \sum_{j=1}^{n_2} (X_{2j} - \bar{X}_{2.})^2 \right] = \frac{1}{10+10-2} (671.6 + 1016.9) \\ &= 93.8055 \end{aligned}$$

$$S_x = \sqrt{S_x^2} = \sqrt{93.8055} = 9.68$$

$$t = \frac{\bar{X}_{1.} - \bar{X}_{2.}}{S_x} = \frac{\bar{X}_{1.} - \bar{X}_{2.}}{S_x \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{64.8 - 56.1}{9.68 \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}} = 2.009$$

根據自由度為 $(n_1 - 1) + (n_2 - 1) = n_1 + n_2 - 2 = 10 + 10 - 2 = 18$ 查理論 t 值表得 $t_{0.05}^{18}$ 為 2.101 及 $t_{0.01}^{18}$ 為 2.878，今實測 t 值為 2.009 既小於 2.878 亦小於 2.101，故結論為兩參試處理之效果相差不顯著。

B. 逢機完全區集設計 (RCBD)，亦稱駢對而有相關之設計及分析法

設另有某鉀肥試驗，其參試處理仍如上 A 所述，但其田間布置方法，先將全試驗所需之 20 個試區，每兩個相鄰試區劃為同一區集（因為有兩個處理參試），共得十個區集，每一區集之兩個試區，每參試處理逢機各佔其一，設逢機抽籤結果及各區水稻之稻穀收量如下圖 4 所示：

I	(1)	K_1	50	(20)	K_0	67	X
	(2)	K_0	41	(19)	K_1	67	
II	(3)	K_0	39	(18)	K_1	76	IX
	(4)	K_1	54	(17)	K_0	64	
III	(5)	K_1	61	(16)	K_1	71	VIII
	(6)	K_0	47	(15)	K_0	67	
III	(7)	K_1	59	(14)	K_0	65	VII
	(8)	K_0	53	(13)	K_1	75	
V	(9)	K_0	61	(12)	K_1	68	VI
	(10)	K_1	67	(11)	K_0	57	

上圖中實線為區集界，虛線為試區界

圖 4 種 植 圖

將上圖之數字經初步整理，可得下表：

表 二

處理 區集	K_1	K_0	$X_{1j} - X_{2j}$	$(X_{1j} - X_{2j})^2$
I	50	41	9	81
II	54	39	15	225
III	61	47	14	196
III	59	53	6	36
V	67	61	6	36
VI	68	57	11	121
VII	75	65	10	100
VIII	71	67	4	16
IX	76	64	12	144
X	67	67	0	0
總 計	648	561	87	955
平 均	64.8	56.1	8.7	

$n = 10$ 區集數或稱駢對數

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^n (X_{1j} - X_{2j})^2 &= (X_{11} - X_{21})^2 + (X_{12} - X_{21})^2 + \dots + (X_{1j} - X_{2j})^2 + \dots + \\ &\quad (X_{1n} - X_{2n})^2 \\ &= 9^2 + 15^2 + \dots + 0^2 = 955\end{aligned}$$

$$\left[\sum_{j=1}^n (X_{1j} - X_{2j}) \right]^2 = \left(\sum_{j=1}^n X_{1j} - \sum_{j=1}^n X_{2j} \right)^2 = (648 - 561)^2 = 87^2 = 7569$$

$$\begin{aligned}S_d^2 &= \frac{1}{n-1} \left\{ \sum_{j=1}^n (X_{1j} - X_{2j})^2 - \frac{1}{n} \left[\sum_{j=1}^n (X_{1j} - X_{2j}) \right]^2 \right\} = \frac{1}{10-1} \left[955 - \frac{1}{10} (7569) \right] \\ &= \frac{1}{9} (198.1) = 22.0111\end{aligned}$$

$$S_d = \sqrt{S_d^2} = \sqrt{22.0111} = 4.6915$$

$$S_d = \frac{1}{\sqrt{n}} S_d = \frac{1}{\sqrt{10}} \times 4.6915 = 1.4835$$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_d} = \frac{64.8 - 56.1}{1.4835} = \frac{8.7}{1.4835} = 5.8645$$

$t_{.05} = 2.262$, $t_{.01} = 3.250$ 茲實測 t 值既大於 2.262 亦大於 3.250, 故試驗結果為施用 K_2O 每公頃 40 公斤較完全不施鉀肥有極顯著之增產效果, 其估數為每公頃增產 870 公斤, 相當於每一公斤之 K_2O , 平均可以增加 $870 \div 40 = 21.75$ 公斤之稻穀收量。

C. 常見之錯誤統計分析法

(a) 原係 (CRD) 法設計, 誤用 (RCBD) 法分析

(b) 原係 (RCBD) 法設計, 誤用 (CRD) 法分析

(c) 人為之極端正相關資料 (假 RCBD 法一)

以 (a) 與 (c) 為例說明如下:

(a) 表 三

假區集 \ 處理	K_1	K_0	$(X_{1j} - X_{2j})$	$(X_{1j} - X_{2j})^2$
I	50	39	11	121
II	54	41	13	169
III	59	47	12	144
III	61	53	8	64
V	67	57	10	100
VI	67	61	6	36
VII	68	64	4	16
VIII	71	65	6	36
IX	75	67	8	64
X	76	67	9	81
總計	648	561	87	831
平均	64.8	56.1	8.7	

$$\sum_{j=1}^n (X_{1j} - X_{2j})^2 = 831, \quad \left[\sum_{j=1}^n (X_{1j} - X_{2j}) \right]^2 = (6.8 - 561)^2 = 87^2 = 7569$$

$$S_d^2 = \frac{1}{9} \left[831 - \frac{1}{10} (7569) \right] = \frac{1}{9} (74.1) = 8.3333$$

$$S_d = \sqrt{S_d^2} = \sqrt{8.3333} = 2.8862$$

$$S_{\bar{d}} = \frac{1}{\sqrt{n}} S_d = \frac{1}{\sqrt{10}} \times 2.8862 = 0.9127$$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}} = \frac{8.7}{0.9127} = 9.5321$$

此實測 t 值比前在 B 項求得之 5.8645 更大，即更顯著，但因設計法與分析法不相配合，故此結論因所用方法之不合理而不正確。

(b) 人為極端負相關之資料 (假 RCB 法二)

表 四

假區集處理	K_1	K_0	$(X_{1j} - X_{2j})$	$(X_{1j} - X_{2j})^2$
I	50	67	- 17	289
II	54	67	- 13	169
III	59	65	- 6	36
III	61	64	- 3	9
V	67	61	+ 6	36
VI	67	57	+ 10	100
VII	68	53	+ 15	225
VIII	71	47	+ 24	576
IX	75	41	+ 34	1156
X	76	39	+ 37	1369
總計	648	561	87	3965
平均	64.8	56.1	8.7	

$$\sum_{j=1}^n (X_{1j} - X_{2j})^2 = 3965, \quad \left[\sum_{j=1}^n (X_{1j} - X_{2j}) \right]^2 = (648 - 561)^2 = 87^2 = 7569$$

$$S_d^2 = \frac{1}{9} \left[3965 - \frac{1}{10} (7569) \right] = \frac{1}{9} (3208.1) = 356.4556$$

$$S_d = \sqrt{356.4556} = 18.88$$

$$S_{\bar{d}} = \frac{1}{\sqrt{10}} \times 18.88 = 5.97, \quad t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}} = \frac{8.7}{5.97} = 1.4573$$

此實測 t 值比前在 A 項求得之 2.009 更小，即更不顯著，但因設計法與分析法不相配合，故此一結論亦因所用方法不合理而不正確。

由以上所述各點，可知所用之統計法必需與設計法配合，結論方為正確，倘僅列資料之數字表而缺種植圖所用設計法之說明，必將無法確定合理之統計法，若更亂用統計法，則風馬牛不相及，妄論正確之結論矣。

實際上該試驗之設計係上B節所述者，故以同節內所述之統計法分析之，自當合理，其結論堪稱正確，即每公頃之水田施用 40 公斤 K_2O 確有增產之效，致於增產之量，約為每公頃 870 公斤，或謂在每公頃水田施用 40 公斤 K_2O 之場合下，每公頃施用一公斤之 K_2O ，平均可以增加 21.75 公斤之稻穀收量。

2 多於兩個處理參試之試驗設計及統計分析法

A 完全逢機設計 (CRD) 及統計分析法。

就目前之科學知識水準論，所謂試驗，係一種特殊之措施，其目的乃為試驗者用以質詢自然界一些實際問題並令它便於答覆的工具。試驗結果紀錄，即係該等問題答案之具體表現，但此種紀錄必須成為某一大族群之一小樣品，此一樣品對其母族群必須具有某種程度之代表能力，且此代表能力可於同時由該樣品資料估算得之，如是該試驗始負有一種積極的使命，其結果紀錄所蘊藏的訊息 (Information) 經適當統計之整理發拓後，即具有在不同時間或 (及) 空間之環境下的推論價值，故凡試驗最少必須具備下述四種事項：

- 同一試體中必有兩個或以上之處理參試。
- 每一參試處理必須具有兩個或以上之重複，亦即佔有兩個及以上之試驗單位 (試區)。
- 那一個試驗單位施與那一種處理必係以逢機 (Random) 為決定之基本原則。
- 試驗者必須備有該試驗結果紀錄的精確而合理之統計分析比較測驗方法。

設有某試驗，計 1, 2, ..., i, ..., m 等 m 個處理參試，1 處理重複 n_1 次，2 處理重複 n_2 次，其餘類推以至最後之 m 處理重複 n_m 次，則整個試驗所需之試驗單位總數，應為 $n_1 + n_2 + \dots + n_1 + \dots + n_m = \sum_{i=1}^m n_i$ 個 (此等 n 值之數量可被試驗者根據某些理由而決定之)，在此 $\sum_{i=1}^m n_i$ 個試驗單位中，那一個施與或屬於那一種處理，則完全依照機率相等的既定法則個別決定之，但須控制各個參試處理分別佔有其既定之試驗單位數，此種試驗之設計方法，即稱完全逢機設計 (Completely Randomized Design)。

舉例言之，設有 A, B, C 三個處理參加某一水稻田間試驗，A 為不施任何鉀肥處理，B 為施用硫酸鉀處理，C 為施用氯化鉀處理，三種處理分別重複 10、5、5 次共 20 個試區 (Plot) 首先試驗者應將試田中之 20 個試區各給順號 (由 1 至 20)，繼以卜克牌之黑桃 (Spade) 者 10 張代 A 處理，紅心 (Heart) 者 5 張代 B 處理，方塊 (Diamond) 者 5 張代 C 處理，再將此總共 20 張牌充分混合，然後依次翻閱各牌，設第一牌為紅心，即第一試區應該施與硫酸鉀，第二牌為黑桃即第二試區不應施與任何鉀肥，第三牌亦係黑桃，則第三試區仍係不施鉀肥，其餘類推，直到第 20 牌翻完為止。用竹籤或骰子等代替卜克牌亦可，手頭備有逢機數字表使用更佳，結果得如下圖 5：

圖 5

(1) B	(8) A	(9) B	(16) A	(17) A
(2) A	(7) C	(10) A	(15) B	(18) A
(3) A	(6) A	(11) C	(14) A	(19) C
(4) B	(5) C	(12) A	(13) C	(20) B

此種設計為所有試驗設計法中唯一可以容許各參試處理之重複次數不等者（但除非有特殊之原因或理由使其成為不等或必須不等者外，均應保持相等，蓋各參試處理若有相等之重複次數，則對試驗結果紀錄的統計測驗準確性有所補益）。即在其他較為繁複之設計方法，則各參試處理均須具有相等之重複次數，此等其他設計方法，若因遭受不可抗力之災害而致使各個參試處理之重複次數於試驗終了可能變為不等，如是遂構成「缺區」（missing plot）現象，既增加計算工作之煩，且降低其準確程度。惟本設計法準確度之降低不若別法之甚。

在一般情形下，本設計之準確程度往往不及他法之高，尤以田間試驗為然。但其實施步驟及統計分析工作比較簡單易行，且若全部試驗材料於未施與不同參試處理之前無任何分類之象徵時，則因本設計法之試驗機差有最大之自由度數，故採用本法設計試驗可望獲得最準確之試驗結果。

設有 ABCD 四種氮肥，A 代表尿素，B 代表氰氮化鈣，C 代表氯化銨，D 代表硫酸銨，參加同一水稻栽培試驗，比較其效果，每一試區所施之氮量相當於每公頃 90 公斤，因現有之肥料量關係，尿素及氰氮化鈣各夠施用十個試區，氯化銨僅夠施用八區，硫酸銨最少，祇夠施用六區，故全試驗共設 $10 + 10 + 8 + 6 = 34$ 個試區，然後用卜克牌之黑桃者 10 張代表 A 處理，紅心者 10 張代表 B 處理，方塊者 8 張代表 C 處理，梅花（Club）者 6 張代表 D 處理，再將此 34 張卜克牌充分混和，依次翻閱各牌，設得結果如下種植圖（圖 6）

圖 6 種植圖（稻穀收量單位為每區公斤數）

(1) B ₁ 4.56	(12) D ₄ 5.77	(13) A ₅ 3.21	(24) B ₆ 4.32	(25) C ₅ 2.90	(34) C ₆ 4.00
(2) A ₁ 4.52	(11) A ₄ 3.50	(14) D ₅ 5.48	(23) A ₆ 3.11	(26) B ₇ 3.74	(33) C ₇ 4.82
(3) A ₂ 5.61	(10) B ₂ 6.23	(15) D ₆ 5.37	(22) A ₇ 2.65	(27) C ₆ 2.62	(32) B ₁₀ 2.83
(4) C ₁ 5.58	(9) C ₂ 4.98	(16) B ₃ 5.20	(21) B ₅ 4.52	(28) A ₈ 3.90	(31) A ₁₀ 5.10
(5) D ₁ 5.04	(8) D ₃ 3.54	(17) C ₃ 4.76	(20) C ₄ 5.62	(29) B ₈ 4.96	
(6) D ₂ 4.80	(7) A ₃ 3.39	(18) B ₄ 4.77	(19) A ₆ 2.20	(30) B ₉ 2.73	

將上圖之數字經初步整理得表如下：

表 五

重複順號	A 處 理	B 處 理	C 處 理	D 處 理	總 計
1	4.52	4.56	5.58	5.04	
2	5.61	6.23	4.98	4.80	
3	3.39	5.20	4.76	3.54	
4	3.50	4.77	5.62	5.77	
5	3.21	4.52	2.90	5.48	
6	2.20	4.32	2.62	5.37	
7	2.65	3.74	4.82		
8	3.11	4.96	4.00		
9	3.90	2.73			
10	5.10	2.83			
總 計	37.19	43.85	35.28	30.00	146.32
平 均	3.719	4.385	4.410	5.000	4.30353

$$n_1 = 10, n_2 = 10, n_3 = 8, n_4 = 6, \bar{X} \dots = 4.30353$$

$$\sum_{i=1}^m n_i = 10 + 10 + 8 + 6 = 34 \quad C = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij} \right)^2 / \sum_{i=1}^m n_i = (146.32)^2 / 34 = 629.69242$$

$$SST = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}^2 - C = [(4.52)^2 + (5.61)^2 + \dots + (5.37)^2] - 629.69242 = 39.31658$$

$$SSt = \sum_{i=1}^m \frac{1}{n_i} \left(\sum_{j=1}^{n_i} X_{ij} \right)^2 - C = \left[\frac{1}{10} (37.19)^2 + \frac{1}{10} (43.85)^2 + \frac{1}{8} (35.28)^2 + \frac{1}{6} (30.00)^2 \right] - C = 6.48424$$

$$SSE = SST - SSt = 39.31658 - 6.48424 = 32.83234$$

$$dfT = \sum_{i=1}^m n_i - 1 = 34 - 1 = 33, \quad dft = m - 1 = 4 - 1 = 3, \quad dfE = \sum_{i=1}^m n_i - m = 34 - 4 = 30$$

$$MSt = \frac{SSt}{dft} = 6.48424 / 3 = 2.161413, \quad MSE = \frac{SSE}{dfE} = 32.83234 / 30 = 1.094406$$

$$Ft = MSt / MSE = 2.161413 / 1.094406 = 1.975$$

$$cv = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 = \frac{\sqrt{MSE}}{\bar{X}} \times 100 = \frac{\sqrt{1.09406}}{4.30353} \times 100 = 24.3\%$$

表六 變方分析結果表

變異原因	自由度	平方和	均 方	實測F值	5 %	1 %
處 理	3	6.48424	2.161413	1.975	2.92	4.51
機 差	30	32.83218	1.094406			
總 計	33	39.31658				

根據處理均方（大均方）之自由度（ f_1 ）為3及機差均方（小均方）之自由度（ f_2 ）為30查 Snedecor's Table of F Value，得第一種錯誤機率為5%時之理論F值為2.92及1%者為4.51，今處理均方之實測F值為1.975，既小於4.51亦小於2.92，可知此項實測F值之發生機率既大於1%，亦大於5%，因其機率太大，故測驗之虛無擬說（Null Hypothesis）所建議之結論為該四種參試處理之真實效應相等者，遂被吾人接受。意即在本試驗結果紀錄中，所表現之處理平均值相差，曾染有試驗機差之數量已足以埋沒或隱蔽該等處理真實效應之差異，故測驗之結語為不可靠或不顯著（Insignificant）。或謂實得各處理樣品平均值之高低，因受取樣變異之影響，未可深信適為該等處理真實效應高低次序之正確反映也。

上節所作之處理實測F值之顯著性測驗，為各個參試處理互相間差異之綜合性測驗，設若僅有兩個參試處理，全試驗祇有一個處理間之差異，故無綜合性與個別之分，倘有兩個以上之處理參試，則全試驗含有每兩個參試處理對比之差異必多於兩個，如三個處理參試應有 ${}_3C_2 = \frac{1}{2} \times (3 \times 2) = 3$ 個個別相差，四個處理參試應有 ${}_4C_2 = \frac{1}{2} (4 \times 3) = 6$ 個個別相差，十個處理參試，應有 ${}_{10}C_2 = \frac{1}{2} (10 \times 9) = 45$ 個個別相差。按理處理實測F值經測驗為顯著，則所有參試處理真實效應相等之虛無擬說遂被吾人拒絕，此時所應注意者，結論雖為拒絕擬說，但其真義未必即係所有參試處理效應均不相等，且真實次序適如試驗結果中各參試處理之平均值所表

現者，個別之差異組合甚多，何者顯著何者不顯著，自擬說被拒絕後，即渺無所知。若欲窺測其詳，則應更進而作差異之個別測驗，（若處理實測 F 值不顯著，則無此必要，倘勉強為之，而偶有某個個別差異測驗結論為顯著，此種顯著亦被處理 F 值之不顯著所否認）。今上述之例其處理實測 F 值測驗為不顯著，本不應作個別差異測驗，為表示方法計，亦更進一步作個別測驗。方法可沿用 t 值測驗，因本例各參試處理之重複次數不等，故應使用下式求各個個別差異之實測 t 值：

$$t = \frac{\bar{X}_1. - \bar{X}_2.}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, S = \sqrt{MSE}, \text{MSE 爲機差均方}$$

D 處理與 C 處理之實測 t 值：

$$t_1 = \frac{\bar{X}_D. - \bar{X}_C.}{S \sqrt{\frac{1}{n_4} + \frac{1}{n_3}}} = \frac{\bar{X}_D. - \bar{X}_C.}{\sqrt{MSE} \times \sqrt{\frac{1}{n_4} + \frac{1}{n_3}}} = \frac{5.000 - 4.410}{\sqrt{1.0944} \times \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{8}}} = 1.004$$

D 處理與 B 處理之實測 t 值：

$$t_2 = \frac{\bar{X}_D. - \bar{X}_B.}{S \sqrt{\frac{1}{n_4} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{5.000 - 4.385}{\sqrt{1.0944} \times \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{10}}} = 1.139$$

D 處理與 A 處理之實測 t 值：

$$t_3 = \frac{\bar{X}_D. - \bar{X}_A.}{S \sqrt{\frac{1}{n_4} + \frac{1}{n_1}}} = \frac{5.000 - 3.719}{\sqrt{1.0944} \times \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{10}}} = 2.012$$

C 處理與 B 處理之實測 t 值：

$$t_4 = \frac{\bar{X}_C. - \bar{X}_B.}{S \sqrt{\frac{1}{n_3} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{4.410 - 4.385}{\sqrt{1.0944} \times \sqrt{\frac{1}{8} + \frac{1}{10}}} = 0.050$$

C 處理與 A 處理之實測 t 值：

$$t_5 = \frac{\bar{X}_C. - \bar{X}_A.}{S \sqrt{\frac{1}{n_3} + \frac{1}{n_1}}} = \frac{4.410 - 3.719}{\sqrt{1.0944} \times \sqrt{\frac{1}{8} + \frac{1}{10}}} = 1.393$$

B 處理與 A 處理之實測 t 值：

$$t_6 = \frac{\bar{X}_B. - \bar{X}_A.}{S \sqrt{\frac{1}{n_2} + \frac{1}{n_1}}} = \frac{4.385 - 3.719}{\sqrt{1.0944} \times \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}} = 2.013$$

根據機差自由度為 30，查表得錯誤機率等於 5 % 之理論 t 值為 2.042，錯誤機率等於 1 % 者為 2.750，以上計算所得六個實測 t 值均小於 2.750 及 2.042，即六個個別差異顯著性測驗結論為均不顯著。與處理均方實測 F 值測驗之綜合結論相符。

上面所舉的數列，為各參試處理的重複次數不等者，若能控制各參試處理的重複次數相等，

則更有利。

B 每兩參試處理間相差之顯著性測驗

僅有兩個處理參試，F 值與 t 值兩種測驗法之結論相同，蓋因兩種處理之效應，祇有一種相差，無綜合與個別測驗之分別，故擇用二種方法之一即可。但若不僅兩種處理參試時，則兩法測驗之意義不同，且並不相斥乃相輔相成者，即均方顯著性測驗之結論不顯著時，各處理效應相等之擬說既被接受，或謂處理間綜合性差異既被拒絕，遂無進行個別差異顯著性測驗之必要。苟當均方顯著性測驗結論為顯著，因而測驗之虛無擬說 $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_1 = \dots = \tau_m = 0$ 遂被拒絕後，則各個 τ 值之關係如何？是各個 τ 值都不相等？或在 $\frac{m(m-1)}{2}$ 個差數中，全部或

僅有一部份顯著，僅有一部分時是那幾種差數顯著？這一連串問題，則 F 值測驗未曾給與吾人任何答案，故須賴別的方法作更進一步之個別測驗。關於每兩處理平均值的差異顯著性測驗，可大別為最低差異顯著標準 (L.S.D.) 與多種變域測驗法兩種方法，分述如下：

(a) 最低差異顯著標準 (L.S.D.)

此法為數十年來曾被廣泛採用者，設各參試處理之重複次數相等 (即 $n_1 = n_2 = \dots = n_1 = \dots = n_m = n$)

$$\text{因 } t = (\bar{X}_1. - \bar{X}_2.) / S_x \sqrt{\frac{2}{n}}$$

$$\text{故 } \bar{X}_1. - \bar{X}_2. = t \cdot S_x \sqrt{\frac{2}{n}}$$

t 值測驗之原式中，係以 t 為所求之實測值，便與查表所得之理論 t 值比較而決定顯著性者，但在上式中，另以 $(\bar{X}_1. - \bar{X}_2.)$ 為所求之值，至於等號後之 t 值，則應依 S_x 之自由度及第一種錯誤機率查理論 t 值表而得者，故此時應即改寫為： $\bar{D} = t_{p\%}^{df} \times S_x \sqrt{\frac{2}{n}}$ 上式中之 $\bar{D}$ 即稱最低差異顯著標準值 (Least Significant Difference 簡稱 L.S.D.)。此值之應用方法，係另就參試 m 個處理平均值製成差異之梯形表，在該表中遇有較 $\bar{D}$ 值為大者則屬顯著，否則不顯著，此法係利用各處理之重複次數相等及固定第一種錯誤機率 (即無須查出各個實測 t 值之出現機率) 之便而反算得者，如是可省分別計算各個實測 t 值之麻煩也。

上述 L.S.D. 之方法以八個廠商出品之分析試驗數例為例說明之，設第一級之 $P_s = 5\%$ ， $dfE = 40$ ，則 $t_{p\%}^{df} = t_{.05}^{40} = 2.02$ ，第二級之 $P_s = 1\%$ ，則 $t_{p\%}^{df} = t_{.01}^{40} = 2.71$ ， $S_x = \sqrt{MSE} = \sqrt{141.6} = 11.9$ ， $n = 6$ ，故

$$\bar{D}_1 = t_{.05}^{40} S_x \sqrt{\frac{2}{n}} = 2.02 \times 11.9 \times \sqrt{\frac{2}{6}} = 13.88$$

$$\bar{D} = t_{.01}^{40} S_x \sqrt{\frac{2}{n}} = 2.71 \times 11.9 \times \sqrt{\frac{2}{6}} = 18.62$$

結論為 D 與 E，H，G 及 C 與 H，G 等五種差異呈極顯著，C 與 E，B 與 H，G 及 F 與 H 及 G 等另五種差異顯著，其餘所有各個差異均不顯著。

若各參試處理之重複次數相等，有如上例者，則比較之對象 (即梯形表中處理效應基本數值之性質) 並不受限於平均值，另為各處理 n 個重複之總計，總平均值之百分率，對照 (或標準) 處理平均值之百分率，以致於伸算為各種複名度量衡單位均可。但須於同時使用與比較對

象相當之標準機差即妥，即該比較對象對兩平均值差異之改算因子 (Conversion Factor) 為何，則其最低差異顯著標準值亦應乘此改算因子即妥，例如設今改用各處理 n 個重複總計為比較對象，因

$$\sum_{j=1}^n X_{1j} - \sum_{j=1}^n X_{2j} = n\bar{X}_{1.} - n\bar{X}_{2.} = n(\bar{X}_{1.} - \bar{X}_{2.})$$

可知改算因子為 n ，故其最低顯著標準值之計算公式應為：

$$\bar{D} \times n = t_{\alpha, df}^* \times S_x \sqrt{\frac{2}{n}} \times n = t_{\alpha, df}^* S_x \sqrt{2n}$$

蓋因上式中之 $S \sqrt{2n}$ 即係每處理重複 n 次之兩個總計相差之標準機差故也。

表七 梯形比較表

廠 商	平 均								
D	85	D							
C	82	3	C						
B	78	7	4	B					
F	76	9	6	2	F				
A	72	13	10	6	4	A			
E	65	20**	17*	13	11	7	E		
H	62	23**	20**	16*	14*	10	3	H	
G	61	24**	21**	17*	15*	11	4	1	

顯著符號：* 為顯著 (Significant)

** 為極顯著 (Highly Significant)

(b) 多種變域測驗法

(a) 項所述，當兩個以上之處理參試所得紀錄經變方分析並作均方測驗結果顯著後，進而利用通常兩個樣品平均值差異顯著性 t 值測驗法，作任何兩個參試處理平均值差異顯著性測驗之理據，在表面上似無瑕疵，惟細思之，則不盡然。當我們進行個別比較時，已失去綜合性之意義，故上述 L.S.D. 應用於各種差異係於試驗前選定者，則尚正確，但若應用於試驗終了後所得資料建議之各種差異，則不合理。因參試處理數或被調查之項目數甚多時，最大處理平均值與最小處理平均值之差異，曾接受較大機差變異機會較其他差異者為多也。此種事實，可從一種空白測驗察知，設我們於同一族群中以逢機方法取出其大為 n 之兩個樣品，該兩樣品平均值差異之均方期望值應為 $\frac{2}{n} \sigma^2$ ，苟另取出其大仍為 n 之三個樣品，則每兩個樣品平均值差異之均方期望值仍為 $\frac{2}{n} \sigma^2$ ，但若祇以此三樣品中平均值最大及最小之兩個樣品為資料估算兩樣品平均值差異之均方，結果所得必較 $\frac{2}{n} \sigma^2$ 為大，且於同時取其大為 n 之樣品個數愈多，祇以其中平均值最大及最小之兩樣品為資料估算所得之平均差異均方亦愈較 $\frac{2}{n} \sigma^2$ 為大，故以 L.S.D. 應用於任何兩個樣品平均值之差異顯著性測驗，實非公允。若另就測驗之機率言，則在計算 L.S.D. 時所曾選定之第一種錯誤機率，對大小順序相鄰兩樣品平均值之差異顯著

性，則尚恰當，但若仍以此 L.S.D. 作大小順序並非相鄰兩樣品平均值之差異顯著性，則因機差變大而使第一種錯誤機率亦隨之而變大，無法維持原定之機率也。D.B. Duncan 氏於 1955 年所倡之多種變域測驗法 (Multiple Range Test)，此法之誘導前提為某含有 m (大於 2) 個處理之試驗，此 m 個參試處理，必須不能再作任何分類，且其平均值之族群分佈為連續性之常態者，若可再作某種分類，則須先於變方分析過程中分別計算均方並測驗之，然後以同變因內所含各處理效應作此測驗即妥。茲以表八之數例為例，逐步說明本法之實用手續如後：

(1) 將各處理之平均值按由大而小之次序排列得下表：

表 八

處理代號	D	C	B	F	A	E	H	G
平均 值	85	82	78	76	72	65	62	61

(2) 計算平均標準機差：

因 $m = 8$ ， $n = 6$ ， $MSE = 141.6$ ， $dfE = 40$ ，故

$$S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{MSE}{n}} = \sqrt{\frac{141.6}{6}} = 4.86$$

(3) 選定最低顯著機率水準 (P_s) 進而計算各個 $\bar{D}(\frac{P}{P_s})$ 值：

$$\bar{D}(\frac{P}{P_s}) = R(\frac{dfE}{P_s}) \cdot S\bar{x}$$

上式中 P 為每兩個處理平均值之變域間隔數加一，例如 $G D$ 兩處理平均值之間隔為 7 即 $P = 8$ ， $G H$ 者 $P = 2$ ，其餘類推。 $\bar{D}(\frac{P}{P_s})$ 為某兩平均值之變域間隔為 P 及顯著機率水準為 p_s 之最低差異顯著變域值，即當兩個處理平均值之變域間隔為 P 若該兩平均值之差異大於 $\bar{D}(\frac{P}{P_s})$

值，乃被認為顯著之意。 $R(\frac{dfE}{P_s})$ 之值可依 dfE 、 P 、 P_s 三值查 Duncan 氏之多種變域測驗數值表 (Significant Ranges for Multiple Range Test) 而得。茲設選定第一級 $P_s = 5\%$ 、第二級 $P_s = 1\%$ ， $P = 8$ ， $dfE = 40$ ，查該表得 $R(\frac{40}{8.05}) = 3.30$ ， $R(\frac{40}{8.01}) = 4.36$ 故：

$$\bar{D}(\frac{8}{.05}) = R(\frac{40}{8.05}) S\bar{x} = 3.30 \times 4.86 = 16.0$$

$$\bar{D}(\frac{8}{.01}) = R(\frac{40}{8.01}) S\bar{x} = 4.36 \times 4.86 = 21.2$$

繼續查表，得 $R(\frac{40}{7.05}) = 3.27$ ； $R(\frac{40}{7.01}) = 4.31$ ； $R(\frac{40}{6.05}) = 3.22$ ； $R(\frac{40}{6.01}) =$

4.27 ； $R(\frac{40}{5.05}) = 3.17$ ； $R(\frac{40}{5.01}) = 4.21$ ； $R(\frac{40}{4.05}) = 3.10$ ； $R(\frac{40}{4.01}) = 4.12$ ；

$R(\frac{40}{3.05}) = 3.01$ ； $R(\frac{40}{3.01}) = 4.01$ ； $R(\frac{40}{2.05}) = 2.86$ ； $R(\frac{40}{2.01}) = 3.85$ 然後計算各

個 $\bar{D}(\frac{P}{P_s})$ 值，結果彙成表九

表 九

	P _s	P						
		8	7	6	5	4	3	2
$R(\frac{40}{P_{p.}}) \{$	0.05	3.30	3.27	3.22	3.17	3.10	3.01	2.86
	0.01	4.36	4.31	4.27	4.21	4.12	4.01	3.85
$D(\frac{P}{P_{p.}}) \{$	0.05	16.0	15.9	15.6	15.4	15.1	14.6	13.9
	0.01	21.2	20.9	20.8	20.5	20.0	19.5	18.7

(4)求每兩個處理平均值之差異，並與各自相當之最低差異顯著變域值〔 $D(\frac{P}{P_{p.}})$ 〕比較判別其顯著性。

(I)以最大之平均值為被減數者：

$D - G = 85 - 61 = 24$ ， $P = 8$ ， $24 > 21.2 > 16.0$ ，極顯著

$D - H = 85 - 62 = 23$ ， $P = 7$ ， $20 < 20.9 > 15.9$ ，顯著

$D - E = 85 - 65 = 20$ ， $P = 6$ ， $17 < 20.8 > 15.6$ ，顯著

$D - A = 85 - 72 = 13$ ， $P = 5$ ， $10 < 15.4 < 20.5$ ，不顯著

比較及顯著性判斷工作，乃從最大平均值與最小平均值之差異開始，次為最大平均值與第二最小平均值之差異，其餘類推，直至差異呈不顯著為止，在不顯著差異變域內之其他各個差異，即使偶有大於各自之最低差異顯著變域，但亦應被認為不顯著而無須比較。

(II)以第二最大平均值為被減數者：

$C - G = 82 - 61 = 21$ ， $P = 7$ ， $21 > 20.9 > 15.9$ ，極顯著

$C - H = 82 - 62 = 20$ ， $P = 6$ ， $20 < 20.8 > 15.6$ ，顯著

$C - E = 82 - 65 = 17$ ， $P = 5$ ， $17 < 20.5 > 15.4$ ，顯著

$C - A = 82 - 72 = 10$ ， $P = 4$ ， $10 < 15.1 < 20.0$ ，不顯著

因而 $C - F$ ， $C - B$ ，等二個差異亦不顯著，但此等差異之不顯著已被包括於(1)之結論中矣。

(III)以第三最大平均值為被減數者：

$B - G = 78 - 61 = 17$ ， $P = 6$ ， $17 < 20.8 > 15.6$ ，顯著

$B - H = 78 - 62 = 16$ ， $P = 5$ ， $16 < 20.5 > 15.4$ ，顯著

$B - E = 78 - 56 = 13$ ， $P = 4$ ， $13 < 15.1 < 20.0$ ，不顯著

因而 $B - A$ ， $B - F$ ， $F - E$ ， $F - A$ ， $A - E$ 等五個差異亦不顯著。

(IV)以第四最大平均值為被減數者：

$F - G = 76 - 61 = 15$ ， $P = 5$ ， $15 < 15.4 < 20.5$ ，不顯著

因而 $F - H$ ， $F - E$ ， $F - A$ ， $A - G$ ， $A - H$ ， $A - E$ ， $E - G$ ， $E - H$ ， $H - G$ 等九個差異亦不顯著。

又因(IV)之第一個差異已呈不顯著，故比較至此，乃告結束。

若欲與線段表示此等差異之顯著性，吾人即應在各處理之平均值順序表(表八)下，先按上述(I)之比較測驗結果不顯著部份，在D至A之間畫第一條實線，按(II

項比較結果之不顯著部份與(I)重複不必另行畫線，按(III)之測驗結果不顯著部份，在B至E之間另畫第二條實線，按(IV)之比較結果不顯著部份，在F至G之間畫第三條實線，其次再按(I)之結果非極顯著部份應在D至E之間畫一虛線，但以前所畫之第一條實線係在D至A之間，A曾被D至E之間所包括，故祇須在A至E補畫一小段虛線即足，按(II)之結果非極顯著部份應在C至H之間畫一虛線，但以前所畫之第二條實線係在B至E之間，B至E在C至H變域範圍之內，故祇須在C至B及E至H之間補畫兩小段虛線即足，按(III)之結果第一個差異即非極顯著，應在B至G之間畫一虛線，但以前所畫之第三條實線在F至G之間為B至G之間所包括者，故祇須在B至F之間補畫一小段虛線即足，結果得如下列之表：

表 十

處理代號	D	C	B	F	A	E	H	G
平均 值	85	81	78	76	72	65	62	61
第 一 線								
第 二 線								
第 三 線								

試觀上表，同時考慮三線，既無虛線又無實線相連之每兩處理平均值的差異呈極顯著，如D—G，D—H，C—G等三者屬之。僅無實線但有虛線相連者均呈顯著而未達極顯著，如D—E，C—H，C—E，B—G，B—H等五者屬之。其餘有實線相連之差異均呈不顯著，如D—A等20個。

以本法測驗結果與上法者比觀，僅本法稍見嚴格而無重大區別，若另就理據評議，則本法實較合理也。

C 逢機完全區集設計(R C B D)及統計分析法

逢機完全區集設計在田間試驗中，為最普遍被人採用之一種設計方法。在這種設計的試驗裏，各參試處理之重複次數必須相等，設有 m 個處理參試，每處理重複 n 次，則全試驗共需 $m \times n$ 個試區。其設計法之第一步驟，係先依既定之試區規劃(指試區之大小形狀方向等)在一坵試田中劃出互相鄰接的 $m \times n$ 個試區。第二步驟，再依既定之區集規劃(指區集之大小、形狀、方向及同區集內各個試區之連接方式等)，將該 $m \times n$ 個試區作互相鄰接的每 m 個為一區集之劃分，如是全部可得容納 m 個互相鄰接之試區的 n 個區集。第三步驟，係將 m 個處理逢機施與各試區的試驗材料中，其法係限制在每一區集所含 m 個相接的試區中，每一參試處理逢機佔一試區，且各區集分別逢機，至此設計工作遂告完成。

每一區集所容之試區數，通常以2至10之間為最適當，若試區面積並非太大，且試田經區集之劃分後在同一區集內所有試區之間的地力差異仍不致太大，則每一區集所容之試區數增至20個亦不為多。但在一般試田中最好不要超過此數，因為逢機完全區集法中，需每一區集所容之試區數必須與參試處理數相等。若欲改變試區數，必將同時影響參試處理數，故此一問題似無庸說。但可以用各種不完全區集設計法(Incomplete Block Designs)以控制土異，可彌補區集內試區數之限制，終於恢復選擇處理數之自由焉。

茲舉一例以說明此種設計，設有四種不同之水稻氮肥施用量的處理，我們決定拿來參加一個田間試驗，比較那一個處理豐產，那一處理歉收，每處理重複五次，亦即每處理栽培五個試驗區，以A、B、C、D四個英文字母分別代表四種氮肥之施用量，A(150Kg /ha)、B(100Kg

/ha)、C (50Kg /ha)，D (不施氮肥)以，I、II、III、IV、V五個羅馬數字分別代表五個區集，全試驗共有 $5 \times 4 = 20$ 個試驗區，以 1，2...20 等二十個阿拉伯數字分別代表之。各區集內的四個區，那一個應施與那一種氮肥之量，必須先後分別隨機決定，依法進行，即得種植圖中之各區位置及稻穀收量如下(圖7)：

圖 7 種 植 圖

(1) D 29.3	(8) B 33.0	(9) D 29.8	(16) B 36.8	(17) D 28.8
(2) B 33.3	(7) A 34.0	(10) A 34.3	(15) A 35.0	(18) C 35.8
(3) C 30.8	(6) C 34.3	(11) B 36.3	(14) D 28.0	(19) B 34.5
(4) A 32.3	(5) D 26.0	(12) C 35.3	(13) C 32.3	(20) A 36.5

至此，我們的試驗，算是設計完成了，待實施時期到來，我們就可以按這種植圖的位置栽植和施肥了。收穫後再把各區產量填入圖中。又將圖7之數字經初步整理得表十一如下：

表 十 一

處 理 區 集	A	B	C	D	區集總計	平 均
I	32.3	33.3	30.8	29.3	125.7	31.425
II	34.0	33.0	34.3	26.0	127.3	31.825
III	34.3	36.3	35.3	29.8	135.7	33.925
III	35.0	36.8	32.3	28.0	132.1	33.025
V	36.5	34.5	35.8	28.8	135.6	33.950
處 理 總 計	172.1	173.9	168.5	141.9	656.4	
平 均	34.42	34.78	33.70	28.38		32.820

$$C = \frac{1}{mn} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \right)^2 = \frac{1}{4 \times 5} (656.4)^2 = 21543.10$$

$$SST = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}^2 - C = [(32.3)^2 + (33.3)^2 + \dots + (36.5)^2] - 21543.10 = 182.17$$

$$SSB = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n X_{ij} \right)^2 - C = \frac{1}{4} [(125.7)^2 + (127.3)^2 + \dots + (135.6)^2] -$$

$$21543.10 = 21.46$$

$$SSt = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m X_{ij} \right)^2 - C = \frac{1}{5} \left[(172.1)^2 + (173.9)^2 + \dots + (141.9)^2 \right] -$$

$$21543.10 = 134.45$$

$$SSE = SST - SSB - SSt = 182.17 - 21.46 - 134.45 = 26.26$$

$$dfT = mn - 1 = 20 - 1 = 19, \quad dfB = n - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$dft = m - 1 = 4 - 1 = 3, \quad dfE = dfT - dfB - dft = 19 - 4 - 3 = 12$$

$$MSB = SSB / dfB = 21.46 / 4 = 5.36, \quad MSt = SSt / dft = 134.45 / 3 = 44.82$$

$$MSE = SSE / dfE = 26.26 / 12 = 2.19, \quad F_t = MST / MSE = 44.82 / 2.19 = 20.466$$

綜上計算所得列成變方分析結果表如下：

表 十 二

變異原因	自由 度	平 方 和	均 方	實 測 值 F	5 %	1 %
區 集	4	21.46	5.36			
處 理	3	134.45	44.82	20.466 **	3.49	5.95
機 差	12	26.26	2.19			
總 計	19	182.17				

註：根據 $dft = 3$, $dfE = 12$ 查理論 F 值得 $P = 5\%$ 之值 F 為 3.49, $P = 1\%$ 則為 5.95, 實測 F_t 值為 20.466, 均大於 3.94 及 5.95, 故此實測 F_t 值呈極顯著, 嗣後之差異顯著性測驗, 參考上兩節所述者行之即妥。

因本試驗的四個參試處理 A、B、C、D 是氮肥用量的不同, 屬於數量上的 (Numerical or Quantitative) 而非質量上的 (Descriptive or Qualitative), 而且處理間的數量距離均相等, 如上項試驗之 A 為施 N 150Kg/ha, B 為施 100kg/ha, C 為施 N 50kg/ha 及 D 為施 N 0 kg/ha, A 與 B, B 與 C 及 C 與 D 三個距離都是 N 50kg/ha。這種資料之統計分析法上, 尚可更進一步按處理間之距離與產量上之相差探究其在座標圖上之反應情形, 其統計分析法即將處理變異的三個自由度劃分為三種不同之座標線型, 其法如下：

$$n = 5, A = 172.1, B = 173.9, C = 168.5, D = 141.9$$

$$N' = 3A + B - C - 3D = 3 \times 172.1 + 173.9 - 168.5 - 3 \times 141.9 = +96.0$$

$$N'' = A - B - C + D = 172.1 - 173.9 - 168.5 + 141.9 = -28.4$$

$$N''' = A - 3B + 3C - D = 172.1 - 3 \times 173.9 + 3 \times 168.5 - 141.9 = +14.0$$

$$SSN' = \frac{1}{20n} (N')^2 = \frac{1}{20 \times 5} (+96.0)^2 = 92.16$$

$$SSN'' = \frac{1}{4n} (N'')^2 = \frac{1}{4 \times 5} (-28.4)^2 = 40.33$$

$$SSN''' = \frac{1}{20n} (N''')^2 = \frac{1}{20 \times 5} (+14.0)^2 = 1.96$$

$$SSN' + SSN'' + SSN''' = 92.16 + 40.33 + 1.96 = 134.45 = SS_t$$

綜上所得結果如下表十三：

表 十三 變方再分析結果

變 異 原 因	自 由 度	平 方 和	均 方	實測 F 值	5 %	1 %
區 集	4	21.46	5.36	—		
處 理	(3)	(134.45)	44.82	20.46 **	3.49	5.59
N' (直 線)	1	92.16	92.16	42.08 **	4.75	9.33
N'' (第一種曲線)	1	40.33	40.33	18.42 **	"	"
N''' (第二種曲線)	1	1.96	1.96	< 1	"	"
機 差	12	26.26	2.19			
總 計	19	182.17				

3. 拉丁方格設計及統計分析法

A 拉丁方格之變方分析

今設曾有某稻田綠肥品種比較試驗，計有 A、B、C、D、E、F 等六種綠肥品種參試，採用 6×6 之拉丁方格設計之，當然每品種必需重複六次，並設以表十四之方式作其田間種植圖，待各個試區之綠肥生長至適當時期即分別翻入各試區之土中，翌年春插植第一期作水稻，以便探究各個綠肥品種之後效，設得各區稻穀收量並經初步計算得結果如下表十四及表十五：

表 十四

直 列 橫 行	1	2	3	4	5	6	橫 行 總 計
一	D 12.2	F 15.4	E 16.6	B 14.3	C 11.5	A 14.2	84.2
二	B 10.9	D 20.5	C 12.3	F 14.1	A 1.44	E 16.0	88.2
三	F 11.2	B 14.8	A 15.2	D 21.0	E 15.8	C 12.9	90.9
四	A 15.3	C 14.8	B 15.1	E 16.8	F 13.1	D 19.3	94.4
五	E 13.4	A 16.4	F 14.2	C 13.3	D 17.7	B 14.6	89.6
六	C 10.1	E 17.7	D 18.0	A 15.2	B 13.2	F 13.8	88.0
直 列 總 計	73.1	99.6	91.4	94.7	85.7	90.8	535.3

表 十 五

直列 品 種	1	2	3	4	5	6	綠肥品 種 總 計
A	15.3	16.4	15.2	15.2	14.4	14.2	90.7
B	10.6	14.8	15.1	14.3	13.2	14.6	82.9
C	10.1	14.8	12.3	13.3	11.5	12.9	74.9
D	12.2	20.5	18.0	21.0	17.7	19.3	108.7
E	13.4	17.7	16.6	16.8	15.8	16.0	96.3
F	11.2	15.4	14.2	14.1	13.1	13.8	81.8
直列總計	73.1	99.6	91.4	94.7	85.7	90.8	535.3

現在我們開始變方分析了：

$$C = \frac{1}{m^2} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m X_{ijk} \right)^2 = \frac{1}{36} (535.3)^2 = 7959.6136$$

$$SST = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m X_{ijk}^2 - C = (12.2)^2 + (10.9)^2 + \dots + (13.8)^2 - 7959.6136 = 221.4164$$

$$SSC = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^m X_{ijk} \right)^2 - C = \frac{1}{6} \left[(73.1)^2 + (99.6)^2 + \dots + (90.8)^2 \right] - 7959.6136 = 69.5447$$

$$SSR = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^m X_{ijk} \right)^2 - C = \frac{1}{6} \left[(84.2)^2 + (88.2)^2 + \dots + (88.0)^2 \right] - 7959.6136 = 9.5881$$

$$SS_t = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \left(\sum_{j=1}^m X_{ijk} \right)^2 - C = \frac{1}{6} \left[(90.7)^2 + (82.9)^2 + \dots + (81.8)^2 \right] - 7959.6136 = 121.9747$$

$$SSE = SST - SSC - SSR - SS_t = 221.4164 - 69.5447 - 9.5881 - 121.9747 = 20.3089$$

$$dfT = m^2 - 1 = 36 - 1 = 35 \quad dfC = dfR = df_t = (m - 1) = 6 - 1 = 5$$

$$dfE = (m - 1)(m - 2) = 5 \times 4 = 20$$

$$MSC = SSC / dfR = 69.5447 / 5 = 13.90894$$

$$MSR = SSR / dfR = 9.5881 / 5 = 1.91760$$

$$MSt = SS_t / df_t = 121.9747 / 5 = 24.39494$$

$$MSE = SSE / dfE = 20.3089 / 20 = 1.015445$$

$$F_t = MSt / MSE = 24.39494 / 1.015445 = 24.024$$

綜上列計算所得列成變方分析結果如下：

表 十 六

變異原因	自由度	平方和	均 方	實測 F 值	5 %	.1 %
直 行	5	69.5447	13.90894			
橫 行	5	9.5881	1.91760			
處 理	5	121.9747	24.39494	24.024 **	2.71	4.10
機 差	20	20.3089	1.015445			
總 計	35	221.4164				

嗣後，其參試處理間之個別比較，可參考 2 B(a)及 B(b)項施行，於此省略不贅。

B 多拉丁方格設計及其統計分析法

拉丁方格設計參試項目數在二至四個時，因重複次數太少，很難使用拉丁方格設計試驗。多拉丁方格試驗法，即為補救這種缺點而設。這種試驗的設計方法，係以數種性質相同的拉丁方格連合在一起即成。例如：某可可樹的肥料試驗，設有下面三種磷肥用量參加試驗。A…不施磷肥區，B…每株施用過磷酸石灰一磅半（單量），C…每株施用過磷酸石灰三磅（倍量）。這個問題，如果利用普通的拉丁方格設計試驗，因為試項只有三個，所以僅得重複三次，機差自由度 $(m-1)(m-2) = (3-1)(3-2) = 2$ ，未免太小。假如聯合三個性質相同的拉丁方格，種在一起，則每一試項即共重複九次，機差自由度為 $(3m-4)(m-1) = (3 \times 3 - 4)(3-1) = 10$ ，遂得適當的增加，現在把那個試驗的種植圖和各個試區的可可莢果收量一併列了出來如表 17

表 十 七

方格 直列 橫行	I				II				III			
	1	2	3	橫行 總計	1	2	3	橫行 總計	1	2	3	橫行 總計
1	B 41	C 25	A 15	81	C 27	B 28	A 3	58	A 11	C 15	B 17	43
2	A 20	B 32	C 24	76	A 4	C 17	B 9	30	B 24	A 14	C 33	71
3	C 22	A 12	B 21	55	B 22	A 4	C 17	40	C 22	B 20	A 15	57
直列總計	83	69	60	212	53	49	29	131	57	49	65	171

其次再把上表裡的數字，經初步的整理又得下表十八：

表 十 八

試 項 方 格	試 項 收 量 (各 方 格 的 個 別 總 計)			試 項 總 計 (大總計)
	I	II	III	
A	47	11	40	98
B	94	59	61	214
C	71	61	70	202
方 格 總 計	212	131	171	514

$$C = \frac{1}{nm^2} \left(\sum_{h=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m X_{hij} \right)^2 = \frac{1}{3 \times 3^2} (514)^2 = 9,786.0$$

$$SST = \sum_{h=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m X_{hij}^2 - C = [(41)^2 + (25)^2 + \dots + (15)^2] - 9,785.0 = 2,117.0$$

$$SSS = \frac{1}{m^2} \sum_{h=1}^n \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m X_{hij} \right)^2 - C = \frac{1}{9} [(212)^2 + (131)^2 + (171)^2] - 9,785.0 = 364.6$$

$$SSC = \frac{1}{m} \sum_{h=1}^n \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^m X_{hij} \right)^2 - SSS - C = \frac{1}{3} [(83)^2 + (69)^2 + \dots + (65)^2] - 364.6 - 9,785.0 = 242.4$$

$$SSR = \frac{1}{m} \sum_{h=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^m X_{hij} \right)^2 - SSS - C = \frac{1}{3} [(81)^2 + (76)^2 + \dots + (57)^2] - 364.6 - 9,785.0 = 388.6$$

$$SS_t = \frac{1}{nm} \sum_{k=1}^m \left(\sum_{h=1}^n \sum_{i=1}^m X_{hik} \right)^2 - C = \frac{1}{3 \times 3} [(98)^2 + (214)^2 + (202)^2] - 9,785.0 = 904.3$$

$$SSE = SST - SSS - SSC - SSR - SS_t = 2,117.0 - 364.6 - 242.4 - 388.6 - 904.3 = 217.1$$

各種均方的求法，仍係以其自由度除相當的平方和即得，並以機差均方除試項均方得試項 F 值，這種計算方法，原則上是固定不變的，故此均略不贅，茲將計算所得列成變方分析表十九如下：

表 十 九

變異來源	自由度	平方和	均 方	F 值	5 %	1 %
方 格	2	364.6	182.3	8.40		
直 列	6	242.4	40.4	1.86		
橫 行	6	388.6	64.7	2.98		
磷肥施量	2	904.3	452.2	20.83**	4.10	7.56
機 差	10	217.1	21.71			
總 計	26	2117.0				

總收量的相差顯著標準值：

$$LSD_1 = t_{0.05}^{10} \times \sqrt{MSE} \times \sqrt{2nm} = 2.228 \times \sqrt{21.71} \times \sqrt{2 \times 3 \times 3} = 44.04$$

$$LSD_2 = t_{0.01}^{10} \times \sqrt{MSE} \times \sqrt{2nm} = 3.169 \times \sqrt{21.71} \times \sqrt{2 \times 3 \times 3} = 62.60$$

此外，上述統計方法，只能適用於各個方格必須栽在同一地方，而且同一季節的試驗紀錄。如果每個方格的試驗地點不同，彼此距離很遠（如區域試驗）或年度不同（如跨年試驗），其統計方法又不大相同了。

至於參試項目較多，但欲保持拉丁方格的優點（控制兩向土異），並謀試項重複次數不致太多時，我們把拉丁方格作為基本法則，其他形

表 二十

磷肥施量	總收量		
A	98	A	
B	214	116**	B
C	202	104**	12

式稍加更改，即可構成互異的好幾種試驗方法，如希臘拉丁方格設計法等，也各自有其適當的統計分析測驗判斷步驟，於此不贅。

4. 複因子試驗及統計分析法

AP × Q 之複因子試驗及統計分析法

在某一試驗中，其全部參試處理之實施情形相當複雜，係由幾類性質相異每類含有兩個或以上之處理，且各類處理不相排斥者，經完全組合而得各種試項之試驗，謂之複因子試驗。設有 V_0, V_1 兩個小麥品種，經過幾年比較試驗結果，二者都很豐產，未能確實判斷何者較高，今擬作更精密的比較試驗一下，同時又想研究一下鉀肥施量對小麥收量的影響，更有人說該兩個小麥優良品種對鉀肥反應不大相同，因為我們希望同時解決這二個問題，就把 V_0, V_1 兩個優良小麥品種與三個鉀肥用量 (k_0 = 不施鉀肥， k_1 = 每一公頃施用 K_2O 50 公斤， k_2 = 每一公頃施用 K_2O 100 公斤) 兩類處理共同參加同一試驗。第一類處理是兩個不同品種，第二類處理是三個不同鉀肥用量，兩類處理在試驗技術特稱兩個參試因子 (Factors) 第一因子為小麥品種 (V)，第二因子為鉀肥用量 (K)，同類因子之參試各處理稱為變級 (Level)，第一因子含有兩個變級 (V_0, V_1)，第二因子有三個變級 (k_0, k_1, k_2)，至於參試項目則須另由兩因子之所有變級作完全組合而成，如上列兩參試因子所有變級之完全組合共有下列六種：

1. $v_0k_0 = (00) \dots \dots \dots v_0$ 品種不施鉀肥
2. $v_0k_1 = (01) \dots \dots \dots v_0$ 品種每公頃施 50 公斤之 K_2O
3. $v_0k_2 = (02) \dots \dots \dots v_0$ 品種每公頃施 100 公斤之 K_2O
4. $v_1k_0 = (10) \dots \dots \dots v_1$ 品種不施鉀肥
5. $v_1k_1 = (11) \dots \dots \dots v_1$ 品種每公頃施 50 公斤之 K_2O
6. $v_1k_2 = (12) \dots \dots \dots v_1$ 品種每公頃施 100 公斤之 K_2O

因為同一試區可以接受每因子的一個變級，試區獲得最經濟之利用，且試驗結果所蘊藏的智識既多了各因子的關係，同因子中各個變級間又可作綜合性的比較，所以複因子試驗的價值經常要比單因子試驗者高。把上列六個處理組合共同作成一個試驗，即稱複因子試驗。

由上述各點，可知所謂複因子試驗，僅涉及參試處理構成之狀態，與以取樣法不同而區分之各種設計法並不相斥。即複因子試驗之設計法既可採用完全逢機設計或逢機完全區集設計，亦可採用拉丁方格設計或其他設計法。今設上述之小麥品種及鉀肥用量複因子試驗，既以該六個處理組合參試，並決定重複六次及採用拉丁方格設計法，經逢機手續後，將其種植圖及各區小麥收量並作初步計算得下列四表：

表二十一 各直列橫行之總計

直列 橫行	1	2	3	4	5	6	橫行總計
1	(00)101	(11)134	(01)109	(10)112	(12)122	(02)153	731
2	(11)177	(02)164	(12)205	(01)148	(10)154	(00)148	996
3	(12)180	(10)142	(00)123	(02)152	(11)166	(01)151	914
4	(02)152	(00)133	(10)141	(12)210	(01)143	(11)168	947
5	(01)132	(12)177	(02)144	(11)158	(00)115	(10)131	857
6	(10)138	(01)146	(11)160	(00)129	(02)142	(12)193	908
直列總計	880	896	882	909	842	944	5353

表二十二 各處理組合之總計

處理 \ 直列	1	2	3	4	5	6	處理總計
(12)	180	177	205	210	122	193	1087
(11)	177	134	160	158	166	168	963
(10)	138	142	141	112	154	131	818
(02)	152	164	144	152	142	153	907
(01)	132	146	109	148	143	151	829
(00)	101	133	123	129	115	148	749
直列總計	880	896	882	909	842	944	5353

表二十三 各因子變級之總計

品種 \ 鉀肥	k_2	k_1	k_0	品種總計
V_0	907	829	749	2485
V_1	1087	963	818	2868
鉀肥總計	1994	1792	1567	5353

表二十四 各處理組合及因子變級之平均

品種 \ 鉀肥	k_2	k_1	k_0	品種平均
V_0	151.17	138.17	124.83	138.06
V_1	181.17	16.50	136.33	159.33
鉀肥平均	166.17	149.33	130.58	148.69

現在我們可以開始變方分析了：

$$C = \frac{1}{mpq} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^q X_{ijkl} \right)^2 = \frac{1}{6 \times 2 \times 3} (5353)^2 = 795961.36$$

$m=6 \cdots$ 直列數 = 橫列數 = 處理組合數 ($m=p \times q=2 \times 3=6$) = 重複次數

$p=2 \cdots$ 參試品種數 (V_0 、 V_1)

$q=3 \cdots$ 參試鉀肥用量之變級數 (k_2 、 k_1 、 k_0)

$$SST = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p X_{ijk}^2 - C = (101^2 + 177^2 + \cdots + 193^2) - C = 818103 - 795961.36 = 22141.64$$

$$SSC = \frac{1}{6} (880^2 + 896^2 + \cdots + 944^2) - C = \frac{1}{6} (4781521) - C = 796920.17 - 795961.36 = 953.81$$

$$SSR = \frac{1}{6} (731^2 + 996^2 + \cdots + 908^2) - C = \frac{1}{6} (4817495) - C = 802915.83 - 795961.36 = 6954.47$$

$$SSt = \frac{1}{6} (1087^2 + 963^2 + \cdots + 749^2) - C = \frac{1}{6} (4848953) - C = 808158.83 - 795961.36 = 12197.47$$

$$SSE = SST - SSC - SSR - SS_t = 22141.64 - 958.81 - 6954.47 - 12197.47 = 2030.89$$

表二十五

變異原因	自由 度	平 方 和	均 方	實測 F 值	理 論 F 值	
					5 %	1 %
直 列	5	958.81	191.762	24.024**	2.71	4.10
橫 行	5	6954.47	390.894			
處 理	5	12197.47	2439.494			
機 差	20	2030.89	101.545			
總 計	35					

由上表處理均方之實測 F 值呈極顯著，意即六個參試處理組合之間具有綜合之顯著差異，茲以 LSD 進行個別差異顯著測驗如下：

表二十六

處理組合	平均收量					
V_1k_2	181.17	V_1k_2				
V_1k_1	160.50	20.67**	V_1k_1			
V_0k_2	151.17	30.00**	9.33	V_0k_2		
V_0k_1	138.17	43.00**	22.33**	13.00*	V_0k_1	
V_1k_0	136.33	44.84**	24.17**	14.84*	1.84	V_1k_2
V_0k_0	124.83	56.34**	35.67**	26.34**	13.34*	11.50

$$LSD_{.05} = t_{.05}^{.80} \sqrt{MSE} \times \sqrt{\frac{2}{m}} = 2.086 \times \sqrt{101.545} \times \sqrt{\frac{2}{6}} = 12.14$$

$$LSD_{.01} = t_{.01}^{.80} \sqrt{MSE} \times \sqrt{\frac{2}{m}} = 2.845 \times \sqrt{101.545} \times \sqrt{\frac{2}{6}} = 16.55$$

但因每種處理組合都是由品種試因中之某一變級與鉀肥用量之某一變級二者所組合而成者，故上述結論六個參試處理組合間之綜合差異顯著，究係品種之不同所誘致，抑或鉀肥用量多少之影響，或二者均有關係，甚至二者均無關係，而僅組合不同所起，此等問題，混淆不清，很難下一明析而附有具體理由的結論。此時因有兩因子之各變級均具備均衡性（Orthogonality）之條件，吾人可再依照兩參試因子之變方分析法將處理平方和及自由度拆為品種和鉀肥用量兩種主效應（Main Effect）及二者之交感效應（Interaction）三部份，作進一步之檢討，計算方法列述如下：

$$SSV = \frac{1}{m \cdot q} \sum_{k=1}^q \left(\sum_{i=1}^m X_{ijk1} \right)^2 - C = \frac{1}{6 \times 3} (2485^2 + 2868^2) - C$$

$$= 800036.06 - 795961.36 = 4074.70$$

$$SSK = \frac{1}{m \cdot p} \sum_{i=1}^m \left(\sum_{k=1}^q X_{ijk1} \right)^2 - C = \frac{1}{6 \times 2} (1994^2 + 1792^2 + 1567^2) - C$$

$$= 803565.75 - 795961.36 = 7604.39$$

$$SSVK = SS_t - SSV - SSK = 12197.47 - 4074.70 - 7604.39 = 518.38$$

$$dfv = p - 1 = 2 - 1 = 1, dfk = q - 1 = 3 - 1 = 2,$$

$$dfvk = (p - 1)(q - 1) = (2 - 1)(3 - 1) = 2$$

又因參試之三種鉀肥用量 0、50、100 Kg/ha 爲等距者，該變因的平方和及可再予拆分為直線關係 (Linear) 及二次線型關係 (Quadratic) 兩部份，各佔一個自由度，其計算方法如下：

$$SSK' = \frac{1}{2mp} (k_2 - k_0)^2 = \frac{1}{2 \times 6 \times 2} (1994 - 1567)^2 = \frac{1}{24} (427)^2 = 7597.04$$

$$SSK'' = \frac{1}{6mp} (k_2 - 2k_1 + k_0)^2 = \frac{1}{6 \times 6 \times 2} (1994 - 2 \times 1792 + 1567)^2$$

$$= \frac{1}{72} (-23)^2 = 7.35$$

綜上各項計算所得，列成變方再分析結果表如下表二十七：

表 二十七

變異原因	代號	自由度	平方和	均方	實測 F 值	理論 F 值	
						5 %	1 %
直 列	C	5	958.81				
橫 行	R	5	6954.47				
處 理	t	(5)	(12197.47)	2439.494	24.024**	2.71	4.10
品 種	v	1	4074.70	4074.70	40.127**	4.35	8.10
鉀 肥 用 量	K	(2)	(7604.39)	3802.195	37.443**	3.49	5.85
鉀量直線關係	K'	1	7597.04	7597.04	74.810**	4.35	8.10
鉀量二次線型關係	K''	1	7.35	7.35	—	4.35	8.10
品種與鉀量之交感	VK	2	518.38	259.190	2.552	3.49	5.85
機 差	E	20	2030.89	101.545			
總 計	T	35	22141.64				

$$\text{品種比較 } \bar{V}_1 - \bar{V}_0 = 159.33 - 138.06 = 21.26^{**}$$

$$LSD_{.01}^{.05} = t_{.20}^{.05} \times \sqrt{MSE} \times \sqrt{\frac{2}{mq}} = < \frac{2.086}{2.845} \times \sqrt{101.545} \times \sqrt{\frac{2}{18}} = < \frac{7.01}{9.56}$$

鉀肥用量比較：

表 二十八

鉀肥用量	平均收量		
k_2	166.17	k_2	
k_1	149.33	16.84**	k_1
k_0	130.58	35.59**	18.75**

$$LSD_{.01}^{.05} = t_{.20}^{.05} \times \sqrt{MSE} \times \sqrt{\frac{2}{mp}} = < \frac{2.086}{2.845} \times \sqrt{101.545} \times \sqrt{\frac{2}{12}} = < \frac{6.07}{8.28}$$

品種與鉀肥用量之交感：

表二十九

鉀肥 品種	k_2	k_1	k_0	品 種 總 計
V_0	- 4.37	- 0.53	+ 4.88	0.00
V_1	+ 4.37	+ 0.53	- 4.88	0.00
鉀肥總計	0.00	0.00	0.00	0.00

$$\begin{aligned}
 \text{LSD}_{01}^{05} &= t_{01}^{05} \times \sqrt{\text{MSE}} \times \sqrt{\frac{(p-1)(q-1)}{mpq}} \\
 &= < \frac{2.086}{2.845} \times \sqrt{101.545} \times \sqrt{\frac{(2-1)(3-1)}{6 \times 2 \times 3}} \\
 &= < \frac{4.95}{6.76}
 \end{aligned}$$

上表中之各值係利用下式計算之：

$$\bar{X}_{\dots k_1} - \bar{X}_{\dots k_2} - \bar{X}_{\dots k_1} + \bar{X}_{\dots}$$

例如 $V_0 k_2$ 格內之數字為： $\bar{X}_{\dots 0_2} - \bar{X}_{\dots 0_1} - \bar{X}_{\dots 1_2} + \bar{X}_{\dots} = 151.17 - 138.06 - 166.17 + 148.69 = -4.37$ 表中之直列及橫行總計必等於零，否則即示計算錯誤。在表二十七中，品種與鉀肥用量交感之實測 F 值不顯著，即示已無計算表二十九中各值之必要，但為顯示方法起見，仍行之，故所得各值均小於其相當之 LSD 。另在前品種比較中，吾人已知 v_1 極較 v_0 豐產，又在表二十八中，已知 k_2 確較 k_1 或 k_0 豐產及 k_1 亦較 k_0 豐產，若表二十九中之各值均大於其相當之 LSD 即為顯著。如此倘吾人更就三項比較結果同時討論，則因表二十九中 $v_0 k_0$ 格內之數字為正值， $v_1 k_0$ 者反是，即示於一般言之， v_0 雖屬低產品種，但在缺鉀環境下，其低產之程度不若平常之甚；反之 v_1 雖屬高產品種，但在缺鉀環境下，其高產之程度亦不若平常之甚。又另在多鉀之環境下，情形恰恰相反，即 v_1 優於 v_0 之程度更甚，此等結論，由表二十三或二十四中之各值亦可隱約察知，但不夠具體而肯定，今經表二十七中品種與鉀肥施量交感實測 F 值之不顯著，遂證實此等相互關係，祇係一種傾向，仍未便確認其為事實也。

又表二十七中鉀肥用量直線關係之實測 F 值顯著，又 $k_2 - k_0 = 1994 - 1567 = 427$ 為一正值，且鉀肥用量二次線型關係之實測 F 值不顯著，可知鉀肥施量與小麥收量有正比例之趨勢。

繼此吾人亦可進而估算鉀肥用量與小麥產量之迴歸方程式及小麥最高產量之每公頃麥田之最適鉀肥施量等。

B. 2³ 複因子試驗及統計分析法

(1) 2³ 複因子試驗

設有 A、B、C 三個因子參加同一試驗，每因子各含兩個變級，A 因子為 a_0, a_1 ；B 因子的兩個變級為 b_0, b_1 ；C 因子的兩個變級為 c_0, c_1 。這三個因子的各個變級作完全組合，便構成下列八種試項：

$$a_0 b_0 c_0, a_0 b_0 c_1, a_0 b_1 c_0, a_0 b_1 c_1, a_1 b_0 c_0, a_1 b_0 c_1, a_1 b_1 c_0, a_1 b_1 c_1,$$

將這八個處理利用逢機區集或拉丁方格法設計等等試驗，這種試驗就叫 2³ 複因子試驗。

舉個實例來說，有一小麥肥料三要素試驗，氮肥因子分不施氮肥和每畝施氮素 5 斤兩個變級，磷肥因子也是分不施磷肥和每畝施磷酸 5 斤兩個變級，鉀肥因子同樣分為不施鉀肥和每畝施氧化鉀 5 斤兩變級，該試驗的八種處理便是：

$$(1) \dots \dots \dots \text{氮磷鉀均不施用區}, (1) = n_0 p_0 k_0$$

$$n \dots \dots \dots \text{單施氮肥區}, n = n_1 p_0 k_0$$

$$p \dots \dots \dots \text{單施磷肥區}, p = n_0 p_1 k_0$$

$$np \dots \dots \dots \text{氮磷同施區}, np = n_1 p_1 k_0$$

$$k \dots \dots \dots \text{單施鉀肥區}, k = n_0 p_0 k_1$$

$$nk \dots \dots \dots \text{氮磷同施區}, nk = n_1 p_0 k_1$$

pk..... 磷鉀同施區, $pk = n_0 p_1 k_1$

nPK..... 氮磷鉀同施區, $nPK = n_1 p_1 k_1$

利用逢機完全區集法設計試驗, 重複四次其種植圖及各地區的畝斤收量如下:

圖 8

I	np 150.9	(1) 102.9	nPK 164.9	k 112.4	p 114.1	np 128.0	k 103.4	nk 132.7	III
	nk 128.9	pk 115.6	n 104.9	p 139.7	(1) 108.5	nPK 160.0	pk 122.0	n 138.9	
II	nk 137.8	p 100.2	(1) 100.8	nPK 134.4	k 117.3	p 126.0	n 101.8	nPK 158.5	IV
	k 109.6	pk 122.2	np 126.1	n 101.5	np 154.7	pk 119.5	nk 125.3	(1) 102.3	

(2) 2^3 複因子試驗之統計分析

把上圖中所列的各個數字經初步整理, 即得下表三十:

表 三 十

區 集 處 理	I	II	III	IV	處 理 總 計
(1)	102.9	100.8	108.5	102.3	414.5
n	104.9	101.5	138.9	101.8	447.1
p	139.7	100.2	114.1	126.0	480.0
np	150.9	126.1	128.0	154.7	559.7
k	112.4	109.6	103.4	117.3	442.7
nk	123.9	137.8	132.7	125.3	524.7
pk	115.6	120.2	122.0	119.5	477.3
nPK	164.7	134.4	160.0	158.5	617.6
區 集 總 計	1020.0	930.6	1007.6	1005.6	3963.6

把上表三十的數字, 經逢機完全區集的變方分析, 得結果表三十一如下:

表 三 十 一

變異原因	自由 度	平 方 和	均 方	實 測 F 值	理 論 F 值	
					5 %	1 %
區 集	3	621.505	207.168	1.6193	2.49	3.65
處 理	7	8036.390	1148.056	8.9739 **		
機 差	21	2686.600	127.933			
總 計	31	11344.495				

這種分析結果表裡的處理變異量(包括平方和, 自由度和均方), 還可以再分析為下列七種詳細的項目, 每一項目各佔一個自由度:

- (1) N 氮肥施用與否的主效果
 (2) P 磷肥施用與否的主效果
- 三種主效應

- (3) K 鉀肥施用與否的主效果)
 (4) N × P 氮磷同施的交感作用
 (5) N × K 氮鉀同施的交感作用
 (6) P × K 磷鉀同施的交感作用
 (7) N × P × K 氮磷鉀同施的交感作用 (一種高次交感作用)
- } 三種初次交感作用

注意：大寫英文字母表示效果，小寫英文字母表示處理。

至其分析方法，是由以前所述各法引伸出來的。在進行分析之前，須先將各處理的總收量再經整理成下列的三個兩向表：

表 三 十 二

磷 氮	p ₀	p ₁	氮 級 總 計	鉀 氮	k ₀	k ₁	氮 級 總 計	鉀 磷	k ₀	k ₁	磷 級 總 計
n ₀	857.2	957.3	1814.5	n ₀	894.5	920.0	1814.5	p ₀	862.6	967.4	1829.0
n ₁	971.8	1177.3	2149.1	n ₁	1006.8	1142.3	2149.1	p ₁	1039.7	1094.9	2134.6
磷 級 總 計	1829.0	2134.6	3963.6	鉀 級 總 計	1901.3	2062.3	3963.6	鉀 級 總 計	1901.3	2062.8	3963.6

現在再分析如下：

$$SSN = \frac{1}{16} [(1814.5)^2 + (2149.1)^2] - \frac{1}{32} (3963.6)^2 = 3498.661$$

$$SSP = \frac{1}{16} [(1829.0)^2 + (2134.6)^2] - \frac{1}{32} (3963.6)^2 = 2918.480$$

$$SSK = \frac{1}{16} [(1901.3)^2 + (2062.3)^2] - \frac{1}{32} (3963.6)^2 = 810.031$$

$$SSN \times P = \frac{1}{8} [(857.2)^2 + (971.8)^2 + (957.3)^2 + (1177.3)^2] - \frac{1}{32} (3963.6)^2$$

$$- ss/N - ss/P = 347.161$$

$$SSN \times K = \frac{1}{8} [(894.5)^2 + (1006.8)^2 + (920.0)^2 + (1142.3)^2] - \frac{1}{32} (3963.6)^2$$

$$- ss/N - ss/K = 378.125$$

$$SSP \times K = \frac{1}{8} [(861.6)^2 + (1039.7)^2 + (967.4)^2 + (1094.9)^2] - \frac{1}{32} (3963.6)^2$$

$$- ss/P - ss/K = 80.011$$

$$SSN \times P \times K = \frac{1}{4} [(414.5)^2 + (447.1)^2 + \dots + (617.6)^2] - \frac{1}{32} (3963.6)^2 - ssN$$

$$- ssP - ssK - ssN \times P - ssN \times K - ssP \times K = 3.920$$

上分析結果另得一表如下表 33

又再分析所得七種平方和的總和必等於最初分析結果的處理平方和。因本試驗法的每種參試因子均各僅含兩個變級，試驗結果經再分析後把處理變因分成七種變因均各祇有一個自由度，所以平方和等於均方，均方顯著等於差異顯著，是無須乎進行個別測驗的。

表 三 十 三

磷機差因	自由度	平方和	均 方	實測 F 值	理 論 F 值	
					5 %	1 %
區 集	3	621.505	207.168	1.6193	4.32	8.02
N	1	3498.661	2498.661	27.3476 **	"	"
P	1	2918.480	2918.480	22.8261 **	"	"
K	1	810.031	810.031	6.3317 *	"	"
N × P	1	347.161	347.161	2.7136	"	"
N × K	1	378.126	378.126	2.9557	"	"
P × K	1	80.011	80.011	—	"	"
N × P × K	1	3.920	3.920	—		
機 差	21	2686.600	127.933			
總 計	31	11344.495				

5. 裂區試驗之設計及統計分析法

A 裂區試驗之統計分析

有某棉花品種及播期複式試驗，兩因子的各個變級如上所述，以播期為主試因，品種為副試因，用逢機完全區集法設計試驗，重複六次，其田間佈置和各區收量（原收量經各減假定平均值 100）如下圖 9 所示：

圖 9 種 植 圖

$d_2 \begin{cases} v_3 & 56 \\ v_1 & 40 \\ v_2 & 18 \\ v_0 & 5 \end{cases}$	$d_1 \begin{cases} v_1 & 8 \\ v_3 & 49 \\ v_2 & 26 \\ v_0 & 30 \end{cases}$	$d_2 \begin{cases} v_2 & 4 \\ v_1 & -11 \\ v_0 & -30 \\ v_3 & 17 \end{cases}$	$d_1 \begin{cases} v_3 & -4 \\ v_2 & -11 \\ v_0 & -40 \\ v_1 & 2 \end{cases}$	$d_2 \begin{cases} v_2 & 9 \\ v_0 & -37 \\ v_3 & -1 \\ v_1 & -30 \end{cases}$	$d_0 \begin{cases} v_2 & 18 \\ v_3 & 13 \\ v_0 & -47 \\ v_1 & -26 \end{cases}$
$d_0 \begin{cases} v_0 & 11 \\ v_3 & 75 \\ v_1 & 30 \\ v_2 & 57 \end{cases}$	$d_2 \begin{cases} v_3 & 40 \\ v_2 & 21 \\ v_1 & 24 \\ v_0 & -4 \end{cases}$	$d_0 \begin{cases} v_3 & 22 \\ v_1 & -11 \\ v_0 & -26 \\ v_2 & -19 \end{cases}$	$d_0 \begin{cases} v_2 & 12 \\ v_0 & -32 \\ v_3 & -14 \\ v_1 & -36 \end{cases}$	$d_1 \begin{cases} v_0 & -20 \\ v_3 & 26 \\ v_2 & -6 \\ v_1 & -18 \end{cases}$	$d_1 \begin{cases} v_3 & 4 \\ v_0 & -11 \\ v_2 & -14 \\ v_1 & -18 \end{cases}$
$d_1 \begin{cases} v_0 & 17 \\ v_2 & 61 \\ v_1 & 14 \\ v_3 & 41 \end{cases}$	$d_0 \begin{cases} v_0 & -39 \\ v_1 & -9 \\ v_3 & 0 \\ v_2 & -3 \end{cases}$	$d_1 \begin{cases} v_1 & 3 \\ v_2 & 32 \\ v_0 & -36 \\ v_3 & 33 \end{cases}$	$d_2 \begin{cases} v_2 & 32 \\ v_1 & 29 \\ v_3 & 24 \\ v_0 & -11 \end{cases}$	$d_0 \begin{cases} v_1 & -10 \\ v_3 & 16 \\ v_2 & 0 \\ v_0 & -38 \end{cases}$	$d_2 \begin{cases} v_0 & -3 \\ v_2 & 19 \\ v_1 & -1 \\ v_3 & 21 \end{cases}$

表 三 十 四

播 期	d ₀	d ₁	d ₂	區 集 總 計
I	172	133	119	424
II	-51	53	85	87
III	-34	32	-20	-22
IV	-70	-53	74	-49
V	-32	-18	-59	-109
VI	-42	-39	36	-45
播 期 總 計	-57	108	235	286

表三十五

區集 品種	v_0	v_1	v_2	v_3
I	33	84	136	171
II	- 73	23	44	93
III	- 92	- 19	17	72
IV	- 83	- 5	33	6
V	- 995	- 58	3	41
VI	- 61	- 45	23	38
品種總計	- 371	- 20	256	421

表三十六

品種 播期	d_0	d_1	d_3
v_0	- 171	- 120	- 80
v_1	- 62	- 9	51
v_2	65	88	103
v_3	111	149	161

裂區試驗紀錄分析法，大致與複因子者相仿，僅主區機差（ E_a ）及副區機差（ E_b ）的計算為前所未有，現在分求在下面：

$$C = \frac{(286)^2}{6 \times 3 \times 4} = 1136.06$$

$$SST = [(65)^2 + (40)^2 + (21)^2] - C = 51985.94$$

$$SSB = \frac{1}{3 \times 4} [(424)^2 + (87)^2 + \dots + (-45)^2] - C = 15875.27$$

$$SSD = \frac{1}{6 \times 4} [(-57)^2 + (108)^2 + (235)^2] - C = 1786.36$$

$$SSE_a = \frac{1}{4} [(172)^2 + (133)^2 + (36)^2] - C - SSB - SSD = 6013.31$$

$$SSV = \frac{1}{6 \times 3} [(-371)^2 + (-20)^2 + (256)^2 + (421)^2] - C = 20020.49$$

$$SSD \times V = \frac{1}{6} [(-171)^2 + (-62)^2 + \dots + (161)^2] - C - SSD - SSV = 321.76$$

$$SSE_b = SST - SSB - SSD - SSE_a - SSV - SSD \times V = 7968.75$$

把上面計算所得的各個數字列成變方分析結果表如下：

表三十七

變異致因	自由度	平方和	均方	實測F值	5 %	1 %
區集	5	15875.27	3175.054	—		
播期	2	1786.36	893.180	1.4854	4.10	7.56
主區機差	10	6013.31	601.331	—		

品 種	3	20020.49	6673.497	37.6857**	2.82	4.26
播期×品種	6	321.76	53.627	—		
副區機差	45	7968.75	177.083	—		
總 計	71	51985.94	—	—		

B 裂區試驗結果之差異比較：

各播期綜合比較總收量之差異顯著標準值：

$$LSD_1 = t_{.05}^{10} \times \sqrt{MSE_a} \times \sqrt{2 \times 6 \times 4} = 2.228 \times \sqrt{601.311 \times 48} = 378.52$$

$$LSD_2 = t_{.01}^{10} \times \sqrt{MSE_a} \times \sqrt{2 \times 6 \times 4} = 3.169 \times \sqrt{601.311 \times 48} = 538.39$$

表三十八

播 期	總 收 量	相 差	
d ₀	— 57	d ₀	
d ₁	108	165	d ₁
d ₂	235	292	127

各品種綜合比較總收的差量異顯著標準值：

$$LSD_1 = t_{.5\%} \times \sqrt{MSE_b} \times \sqrt{2 \times 6 \times 3} = 2.014 \times \sqrt{177.083 \times 36} = 161.67$$

$$LSD_2 = t_{.1\%} \times \sqrt{MSE_b} \times \sqrt{2 \times 6 \times 3} = 2.690 \times \sqrt{177.083 \times 36} = 215.91$$

表三十九

品 種	總 收 量	相 差		
v ₀	— 371	v ₀		
v ₁	— 20	351**	v ₁	
v ₂	256	627**	276**	v ₂
v ₃	421	792**	441**	165*

同播期各品種單獨比較總收量的差異顯著標準值：

$$LSD_1 = t_{.5\%} \times \sqrt{MSE_b} \times \sqrt{2 \times 6} = 2.014 \times \sqrt{177.083 \times 12} = 92.84$$

$$LSD_2 = t_{.1\%} \times \sqrt{MSE_b} \times \sqrt{2 \times 6} = 2.690 \times \sqrt{177.083 \times 12} = 124.01$$

同品種各播期單獨比較，或品種及播期均不相同之組合比較總收量的差異顯著標準值：

$$LSD_1 = t'_{.5\%} \times \sqrt{[(4-1)MSE_b + MSE_a] \times 2 \times 6 / 4} \cdot t'_{.5\%} = \frac{(4-1)MSE_b t_{.5\%}^{dfEb} + E_a t_{.5\%}^{dfEa}}{(4-1)E_b + E_a}$$

$$LSD_2 = t'_{.1\%} \times \sqrt{[(4-1)MSE_b + MSE_a] \times 2 \times 6 / 4} \cdot t'_{.1\%} = \frac{(4-1)MSE_b t_{.1\%}^{dfEb} + E_a t_{.1\%}^{dfEa}}{(4-1)MSE_b + MSE_a}$$

查表，dfE_b = 45，p = 5%，之 t 值為 2.014，p = 1% 為 2.690；dfE_a = 10，p = 5% 之 t 值為 2.228，P = 1% 為 3.169

$$t'_{.5\%} = \frac{[(4-1) \times 177.083 \times 2.014] + [601.33] \times 2.228}{(4-1) \times 177.083 + 601.331} = 2.1276$$

$$t'_{.1\%} = \frac{[(4-1) \times 177.083 \times 2.690] + [601.33] \times 3.169}{(4-1) \times 177.083 + 601.331} = 2.9443$$

$$LSD_1 = 2.1276 \times \sqrt{[(4-1) \times 177.083 + 601.331] \times \frac{2 \times 6}{4}} = 124.0181$$

$$LSD_2 = 2.9443 \times \sqrt{[(4-1) \times 177.083 + 601.331] \times \frac{2 \times 6}{4}} = 171.6236$$

表四十

組 合	總收量	同 播 期 各 品 種 單 獨 比 較 之 相 差											
$v_0 d_0$	- 171	$v_0 d_0$			109*			236**			282**		
$v_0 d_1$	- 120	51	$v_0 d_1$			111**			208**			269**	
$v_0 d_2$	- 80	91	40	$v_0 d_2$			131**			183**			241**
$v_1 d_0$	- 62		58	18	$v_1 d_0$			127**			173**		
$v_1 d_1$	- 9	162*		71	53	$v_1 d_1$			97*			158**	110*
$v_1 d_2$	51	222**	171*		113	60	$v_1 d_2$			52			
$v_2 d_0$	65		185**	145*		74	14	$v_2 d_0$			46		
$v_2 d_1$	88	259**		168*	150		37	23	$v_2 d_1$			61	
$v_2 d_2$	103	274**	223**		165*	112		38	15	$v_2 d_2$			58
$v_3 d_0$	111		231**	191**		120	52		23	8	$v_3 d_0$		
$v_3 d_1$	149	320**		229**	211**		60	84		46	38	$v_3 d_1$	
$v_3 d_2$	161	332**	281**		223**	170*		96	73		50	12	$v_3 d_2$
同 品 種 各 播 期 單 獨 比 較 及 播 期 均 不 同 之 相 差													

交感作用平均收量的差異顯著標準值：

$$LSD_1 = t_{.5\%} \times \sqrt{MSE_b} \times \sqrt{\frac{(3-1)(4-1)}{6 \times 3 \times 4}} = 2.016 \times \sqrt{177.083 \times \frac{1}{12}} = 7.7367$$

$$LSD_2 = t_{.1\%} \times \sqrt{MSE_b} \times \sqrt{\frac{(3-1)(4-1)}{6 \times 3 \times 4}} = 2.690 \times \sqrt{177.083 \times \frac{1}{12}} = 10.3336$$

表四十一

播 期 \ 品 種	v_0	v_1	v_2	v_3	總 計
d_0	- 1.54	- 2.88	+ 2.96	+ 1.46	0.00
d_1	+ 0.08	- 0.92	- 0.08	+ 0.92	0.00
d_2	+ 1.46	+ 3.80	- 2.88	- 2.38	0.00
總 計	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

參 考 資 料

1. 張魯智 1976 試驗技術講義
2. 俞其海 1970 現代統計學 台灣中華書局
3. 郭祖超 1945 醫學與生物統計方法 正中書局
4. 水島宇三郎 1965 農學實驗の統計分析入門 養賢堂
5. 寺田一彦 統計データのまとめ方
6. 三留三千男 1960 農學實驗計劃法 朝倉書局
7. Cochran, W. G. and G. M. Cox 1957 Experiment Design 2nd Edition, John Wiley and Sons.
8. Fisher R. A. 1959 Statistical Method and Scientific Inference, Oliver and Bayd Limited.
9. Snedecor, G. W. 1956 Statistical Methods 5th Edition, The Iowa State university Prers.
10. Kempthorne, O. 1969 The Design and Analysis of Experiment.

相關分析在試驗上的應用

李 蘭 帝

一 引 言

相關研究在農業試驗上扮演很重要的角色。其目的在求原資料所含的相互關係。所得的結果可做推測之用，或試驗結果之解釋用。其應用是多方面的，尚待研究者多開發這門。

二 單 相 關

單相關為大家所熟悉最簡單的相關分析法。現有兩種觀測值，互成一對時可做單相關分析。在做相關分析前我們應先考慮所用的數學模式。最簡單的模式為直線型，其式如下

$$\hat{Y} = a + b X$$

將兩種觀測值分為X與Y。把Y視為隨變數，把X視為自變數。其意為Y隨X而變。究竟將那一個觀測值視為隨變數或自變數，應由試驗者決定。 $\hat{Y}$ 稱為Y的理論值，應該視為Y的最理想推測值。a及b各為常數。b有個特別稱呼叫迴歸係數。相關分析的第一步在求a及b。有了a及b之後，我們即可代入所得X而求 $\hat{Y}$ 。

$$b = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}, \quad a = \frac{\sum Y - b \sum X}{N}$$

a及b 可由上述兩個公式求得。現舉例說明。設有十五個地，測得株數與產量，資料如下。

株 數 (X)	產 量 (Y)	X ²	Y ²	XY
12	15	144	225	180
14	11	196	121	154
14	12	196	144	168
15	8	225	64	120
17	6	289	36	102
10	5	100	25	50
11	6	121	36	66
8	10	64	100	80
8	9	64	81	72
12	4	144	16	48
7	4	49	16	28
5	7	25	49	35
5	6	25	36	30
8	3	64	9	24
7	4	49	16	28
合 計	153	1755	974	1185

$$b = \frac{1185 - \frac{(153 \times 110)}{15}}{1755 - \frac{(153)^2}{15}} = 0.3241 \quad a = \frac{110 - (0.3241)(153)}{15} = 4.0275$$

$$Y = 4.0275 + 0.3241(X)$$

上式雖然表示 X 與 Y 之關係，但這關係的密切程度應該由相關係數來表示。其公式如下。

$$r = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{N}}{\sqrt{(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N})(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N})}}$$

以同資料為例

$$r = \frac{1185 - \frac{(153 \times 110)}{15}}{\sqrt{(1755 - \frac{(153)^2}{15})(974 - \frac{(110)^2}{15})}} = 0.352$$

相關係數的範圍在 -1 至 +1 之間。此性質可做計算錯誤之判斷根據。當 r 之絕對值為 1 時，Y 與 $\hat{Y}$ 完全符合，可稱完全相關。相關的程度最好用 r 之平方表示，因 r^2 有如下意義。

$$r^2 = \frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2}$$

$\bar{Y}$ 為 Y 的平均值。分母顯然為總平方和，而分子為理論值的平方和。由此可見 r^2 表示相關所產生的平方和在總平方和所佔的比率。相關係數的顯著性測定可用 F 測驗，其公式如下。

$$F = \frac{r^2}{1 - r^2} \times (N - 2)$$

以同資料為例

$$F = \frac{(0.352)^2}{1 - (0.352)^2} \times (15 - 2) = 1.83$$

由 F 表查看機差自由度 13，相關自由度為 1 時，5% 的顯著標準為 4.67。故該相關顯然不顯著。

以上所述最簡單的直線型單相關的分析方法。如果試驗者認為該數學模式並不理想，可另設模式。這些模式如果仍屬直線型計算並不難。例如試驗者認為相關直線必須經過坐標的原點，那麼模式應該採用 $\hat{Y} = bX$ 。如果試驗者發現 Y 與 X 之間的關係並非簡單的直線關係，而有凸或凹的曲線關係，可以將 X 或 Y 轉換成 $\sqrt{X}$ 或 $\sqrt{Y}$ ，或者取對數如 $\log X$ 或 $\log Y$ 等。這樣轉換的結果這個數學模式仍屬直線型，因為模式的直線型是針對迴歸係數講，並非對變數講。例如 $\hat{Y} = a + b\sqrt{X}$ ， $\hat{Y} = a + b \log X$ ， $\log \hat{Y} = a + bX$ 等均為直線型，所以可以用上述的方法做相關分析。有些數學模式雖只含兩個變數（這裡講的所謂兩種觀測值），但非屬直線型，故叫非直線型。例如 $\hat{Y} = A(1 - e^{-BX})$ ，雖然試驗者覺得這模式有用，但因為它是非直線型，所以相關分析較困難。遇到這種問題，通常需借用電腦，在此不便詳述。

當試驗者所得觀測值不只兩種而有兩種以上時，試驗者可以考慮每兩種觀測值互相間之關係。如果試驗者只考慮一種觀測值與其他兩種以上的觀測值的關係時，即所謂複相關。做複相關分析時同樣須先設數學模式。複相關與單相關一樣以直線型為最簡單。

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_P X_P$$

雖然複相關分析，如果變數數目不多（四個以下）時可用筆算（當然用電算機來幫忙），通常都用電腦來幫忙（筆者在後面附電腦程式供參考）。因此詳細的計算方法從略。

複相關係數的意義與單相關相同，現以 R 來代表時，

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} \quad \text{其 } F \text{ 值則 } F = \frac{R^2}{1 - R^2} \times \frac{N - P - 1}{P}$$

N 為觀測值的點數。 P 為 X 變數數目，在此即為複相關的自由度。故複相關的顯著性測定與單相關相同。

在複相關還可以對每一個 X 做顯著性測定。測定仍然可用 F 測定。但其 F 值計算較難，還是借用電腦吧。由這些 F 值可以看出每一個 X 對複相關的重要性。在這裡要特別注意的是，這樣看一個 X 對相關的重要程度並非絕對的。只能說在這樣 X 的組合裡它的重要性有多大而已。同一個 X ，在另一種組合裡它的重要性也會改變。所以複相關的解釋常須小心。

如果試驗者做複相關分析時，對 Y 及 X 都有預先安排的話，上述的分析應該大致可以滿足試驗者的要求。如果試驗者對 Y 雖有安排，但對 X 都沒有安排，目的只在求得最好相關的 X 組合的話，這問題並不簡單。還是到電腦中心去吧。

複相關的分析仍然與單相關一樣。如果發現所設模式不理想可另設模式，包括 X 或 Y 的轉換等（參閱單相關）。在複相關裡還可以考慮 X 之間的交感，而增設 $X_i X_j$ 等項。應採用那一樣的模式最好哪？這問題電腦是無法答覆的。電腦只能告訴您，當您採用那樣模式時，其結果如何而已。所以試驗者對試驗性質的了解，加上他在這方面的造詣是解決這問題不可缺的因素。

四 結 論

以上簡單介紹相關分析的概略，筆者覺得還是說了一些廢話，因為到了緊要關頭都建議試驗者到電腦中心去，不就等於說了廢話了嗎？最後筆者要強調，相關分析很重要，但千萬要小心以免導致錯誤的結論如下面的笑話：死亡與床在相關分析上應該很密切，因人大都死在床上。但不能說床是死亡的原因，人因病而躺在床上，也因病而死亡的緣故。

五 補 充

筆者在本文一再強調電腦在相關分析上的重要。現在以複相關為例說明電腦如何處理這些繁雜的工作。複相關分析的計算方法以矩陣來表示最簡單。我們將 X 及 Y 的原始資料以如下矩陣來表示。

$$\begin{array}{c} 1 \quad X_1 \quad X_2 \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 \\ 1 & 6 & 3 \\ 1 & 8 & 9 \\ 1 & 7 & 8 \\ 1 & 5 & 4 \end{bmatrix} = X \end{array} \quad \begin{array}{c} Y \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \begin{bmatrix} 9 \\ 6 \\ 7 \\ 4 \\ 3 \end{bmatrix} = Y \end{array}$$

為了簡單起見我們假設 X 變數有 2 個。在 X 矩陣最左的一行全部為 1，其餘為原資料，假定有 5 個點。這樣矩陣有 5 列及 3 行（橫為列，直為行的緣故）。最簡單的矩陣演算為倒轉，即行與列掉換的意思。

$$\begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \begin{matrix} 1 \\ X_1 \\ X_2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 4 & 6 & 8 & 7 & 5 \\ 2 & 3 & 9 & 8 & 4 \end{bmatrix} \end{matrix} = X'$$

此為X矩陣的倒轉通常以X'代表。下面為矩陣相乘。如A及B各代表矩陣，AB即為兩個矩陣的相乘。現在假定A有3列5行，B有5列2行，相乘所得的矩陣為3列2行的矩陣。在矩陣的相乘前面的矩陣的列的數目決定積的列的數目，而後面矩陣的行的數目決定行的數目。前面的矩陣的列數必與後面矩陣的行數相同。

$$\begin{bmatrix} 3 & 7 & 1 & 7 & 2 \\ 4 & 6 & 5 & 3 & 6 \\ 8 & 9 & 4 & 6 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5 & 7 \\ 3 & 8 \\ 2 & 6 \\ 4 & 4 \\ 8 & 9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 72 & 129 \\ 108 & 172 \\ 131 & 212 \end{bmatrix} \quad AB = C$$

如果矩陣是方矩陣（即列數與行數相同）求反矩陣。反矩陣的結果還是方矩陣陣，行列數與原來矩陣相同。反矩陣通常以A⁻¹來代表A的反矩陣。

現在假定我們所用的數學模式為

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$$

目的在求b₀，b₁，b₂等。這三個數可寫成矩陣

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = B$$

那麼由矩陣數學可得

$$B = (X' X)^{-1} (X' Y)$$

由上式可知電腦只要處理矩陣的倒轉，相乘及反矩陣即可完成這任務。所以下面分三部份加以說明。以下所用電腦語言為BASIC語言。

設有矩陣X(M, N)。括弧內M為列數，N為行數，倒轉結果為T(N, M)，注意M與N已掉換)。其程式如下。

```

1  FOR I = 1 TO M           4  NEXT J
2  FOR J = 1 TO N           5  NEXT I
3  T(I, J) = X(J, I)

```

設有矩陣A(M, L)及B(L, N)相乘積為C(M, N)(注意行列數的關係)。其程式如下。

```

1  FOR I = 1 TO M           5  C(I, J) = C(I, J) + A(I, K) + B(K, J)
2  FOR J = 1 TO N           6  NEXT K
3  C(I, J) = 0              7  NEXT J
4  FOR K = 1 TO L           8  NEXT I

```

設有矩陣A(N, N)，將它反矩陣之後仍在A矩陣的位置，其程式如下。

```

1  FOR K = 1 TO N           9  S = A(I, K)
2  S = A(K, K)             10 A(I, K) = 0

```



```
3  A( K, K ) = 1           11  FOR J = 1 TO N
4  FOR J = 1 TO N          12  A( I, J ) = A( I, J ) - S * A( K, J )
5  A( K, J ) = A( K, J ) / S  13  NEXT J
6  NEXT J                  14  NEXT I
7  FOR I = 1 TO N          15  NEXT K
8  IF I = K THEN 14
```

以上三種程式加以組合起來就可得所要的程式。

以上簡單說明電腦程式的寫法。目的在鼓勵大家對這門的興趣。

附 錄

(一)土壤採樣須知

1. 採樣工具：土鏟或移植鋤，塑膠盆或桶，塑膠袋，紙盒及土壤資料表。

2. 採樣時間：在前作收穫前後，或下作施肥整地種植前一個月採樣。

3. 採樣深度：採取表土層，0—15公分。

4. 採樣方法：

(1)採樣位置：勿在田埂邊沿，堆廐肥或草堆放置處所，或菇舍、農舍、畜舍附近等特殊位置採取，如屬平地農田，其大小約0.1公頃，則可依圖1各點採取。

(2)採取方法：依圖1所繪5點，除去土表作物殘株或蘗桿，用土鏟或移植鋤將表土掘成V形空穴，深約15公分，取出約1.5公分厚，上下齊寬的土片如圖2。

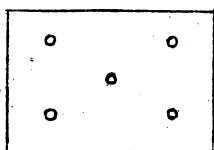


圖1 採取地位

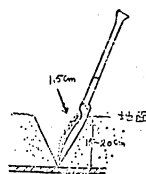


圖2 採取方法

(3)混合樣本：由前述每點所採土樣，稱為小樣本，將此等小樣本，置于塑膠盆或桶中，充分混合均勻後稱為混合樣本，約取出500公克，先裝于塑膠袋中用橡皮筋紮緊，再轉置于紙盒內如圖3、4、5及6。



圖3 用土鏟採取土壤樣本



圖4 土壤樣本之混合



圖5 土壤樣本之裝袋

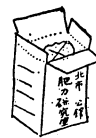


圖6 土壤樣本之裝盒

(4)採取數目：依個別農戶擁有的農田為採樣單位，若同一農戶擁有數塊農田，緊靠一起，前作相同，施肥相同，收量相若，則可合併採取一個混合樣本，每個混合樣本依農田面積大小，採取小樣本的個數如下：

農田面積(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
小樣本個數	5	8	11	13	15	16	17	18	19	20

反之，若同一農戶，即使數塊農田，極為接近，由于過去施肥不同，作物不同，收量不同，面積雖小，仍應分別採樣。

5. 土壤編號：每一混合樣本，裝入紙盒後，盒上必須註明農戶姓名，住址與號碼，該號碼必須與該樣本之土壤資料表上所印之號碼相同，紙盒內樣本必須妥為包裝，以免運搬時散失。

6. 填寫土壤資料表與寄送：每一混合樣本，必須附土壤資料表，表中各欄請採樣人詳實填寫，若有不明之處，可先請教轄區內農業改良場有關人員，該表採取一式三聯，悉數隨同土壤樣本一併寄送該轄區農業改良場土壤肥料股收。

田間土壤號碼

Nº 019971

農業改良場填寫

簽收日期： 年 月 日

土樣室內編號： _____

負責人： _____

(二) 土壤樣本資料與分析報告表

採樣日期 年 月 日 寄樣日期 年 月 日 採樣人 _____

農戶姓名： _____ 通訊處： _____ 縣 _____ 鄉、鎮 _____ 村、里 _____ 號

採樣地點： _____ 縣 _____ 鄉、鎮 _____ 村、里 _____ 地號： _____

一、地勢：1. 平坦 ☐ 2. 山谷 ☐ 3. 坡地 ☐ 二、排水：1. 良 ☐ 2. 中 ☐ 3. 劣 ☐

三、灌水：1. 方便 ☐ 2. 困難 ☐ 3. 易乾 ☐ 四、天害：1. 冷風 ☐ 2. 季風 ☐ 3. 洪害 ☐

五、作物：1. 梗稻 ☐ 2. 秈稻 ☐ 3. 早熟稻 ☐ 4. 甘藷 ☐ 5. 玉米 ☐ 6. 大豆 ☐ 7. 落花生 ☐

8. 高粱 ☐ 9. 小麥 ☐ 10. 紅豆 ☐ 11. 其他 _____

六、過去作物經常產量與施肥

期作	栽 培 作 物			施 用 肥 料 量							
	種 類	面 積 分	總收量 公斤	硫 安 包	尿 素 包	過 石 包	氯化鉀 包	堆肥 公斤	石灰 公斤	複 合 肥 料 號 包	

七、預定栽培作物種類施肥與收量

期作	栽 培 作 物			預 定 施 用 肥 料 量							
	種 類	面 積 分	預計收量 公斤	硫 安 包	尿 素 包	過 石 包	氯化鉀 包	堆肥 公斤	石灰 公斤	複 合 肥 料 號 包	

註：以上各欄請採樣人詳實填寫，同一農戶採取二個以上混合樣本時，應特別注意區分。

八、土壤分析結果（土壤質地：1. 粗 ☐ 2. 中粗 ☐ 3. 中 ☐ 4. 中細 ☐ 5. 細 ☐）

分 析 項 目	極低	低	中	高	分 析 項 目	極低	低	中	高
酸 鹼 度 pH					有效鎂 MgO kg/ha				
有 機 質 %					塩 分 mm hos/cm				
有效磷 P ₂ O ₅ kg/ha					有效矽 SiO ₂ ppm				
有效鉀 K ₂ O kg/ha					有效鋅 ZnO ppm				
有效鈣 CaO kg/ha									

九、施肥建議

期 作	作 物	三要素推荐量公斤/公頃			肥 料 推 荐 量 (0.1公頃)									
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	硫安包	尿素包	過石包	氯化鉀包	堆肥公斤	厩渣公斤	石灰粉公斤	白雲石粉公斤	鋅肥公斤	複合肥料號包

註：八、九各欄請農改場負責人，待土樣分析後填寫并將第一聯寄採樣人或委託農戶
土樣分析負責人 _____ 施肥推荐負責人 _____ 主管人 _____ 寄出日期 年 月 日

十、追蹤農民採用施肥推荐成果（請各區農業改良場用通訊或訪問方式調查後填寫，並將第二聯整表寄台中霧峰農業試驗所土壤肥力室，第三聯由各農改場保存）。

農民反應：1. 滿 意 ☐：增產 ☐ a. 氮肥適量 ☐ b. 磷肥適量 ☐ c. 鉀肥適量 ☐

d. 厩渣有效 ☐ e. 石灰有效 ☐ f. 鋅肥有效 ☐

2. 不滿意 ☐：減產 ☐ a. 氮肥過多 ☐ b. 磷肥過多 ☐ c. 鉀肥過多 ☐

d. 厩渣無效 ☐ e. 石灰無效 ☐ f. 鋅肥無效 ☐

g. 氮肥過少 ☐ h. 磷肥過少 ☐ i. 鉀肥過少 ☐

3. 尚 可 ☐

(三)本省土壤磷鉀速測值與各種作物施肥推薦量

	磷 酐 (P ₂ O ₅ kg /ha)		氧化鉀 (K ₂ O kg /ha)		備 註		
	速 測 值	推 荐 量	速 測 值	推 荐 量			
水 稻		一期作 70-80	二期作 50-60	0-45	一期作 60-70	二期作 80-90	磷用白雷氏第 1 法，鉀用孟立克氏 法測定
	0-25						
	26-60	60-70	40-50	46-90	50-60	60-80	
	61-115	40-60	30-40	91-150	30-50	40-60	
	116-290	20-40	0-30	> 150	0-30	0-40	
	> 290	0-30	0-20				
甘 藷	< 20	90		< 60	240		全 上
	21-50	60		61-90	180		
	51-180	30		91-120	120		
	> 180	0-30		121-180	60		
				> 180	0-60		
大 豆		40-90		< 45	60-90		鉀用葉格諾氏法
				46-105 105	30-60 0-30		
玉 米	90	60-90		< 100	50-70		測定法與水稻者同
	91-180	30-60		100-200	25-50		
	181-290	30		> 200	0-25		
	290	0-30					
小 麥				< 75	60-90		磷以白雷氏第 2 法，鉀以葉格諾 氏法測定
	100	45-90		75-125 > 125	30-60 30		
鳳 梨				0-100	600-750		鉀爲交換性鉀
				101-200	450-600		
		100-120		201-300	300-450		
				301-400	150-300		
				> 401	0-150		

註：本表及以下之蔗作施肥推薦量表均摘自：台灣省政府農林廳編印之“作物施肥手冊”。

(四)蔗作土壤磷鉀速測值及其施肥推薦量

1. 磷酐* (依土類、土壤水分情況及其有效磷素含量而定)：

土 類	土壤水分情況	土 壤 有 效 磷 含 量 (p ppm)				
低腐植灰粘化土 (看天田)	a ₂ c	—	< 20	21-30	31-40	> 41
石灰性砂頁岩冲積土	a ₁ b	—	< 25	26-40	41-50	> 51
	a ₂	< 25	26-40	41-50	> 51	
	a ₀ c					
非石灰性砂頁岩冲積土	a ₁ b a ₂ a ₁ c	—	< 20	21-30	31-40	> 41
粘板岩砂頁岩冲積土	a ₁ b	—	< 15	16-25	26-35	> 36
	a ₂ a ₁					
	a ₂					
	a ₀ b a ₀ c	< 15	16-25	26-35	> 35	—
紅 黃 灰 化 壤	a ₂	—	< 15	16-25	26-35	> 36
紅 壤	a ₂	< 20	21-35	36-40	> 41	
磷酐推薦量 (P ₂ O ₅ kg/ha)		125-100	100-75	75-50	50-25	< 25

2. 氧化鉀 (依土類及其交換性鉀含量而定)：

土 類	土 壤 交 換 性 鉀 含 量 (k ppm)			
紅黃灰化壤、粘板岩冲積土	< 25	25-40	41-55	> 56
看天田、砂頁岩冲積土	< 40	41-70	71-95	> 96
氧化鉀推薦量 (K ₂ O kg/ha)	200-150	150-100	100-75	75-50

* 註：1. 土壤有效磷以修正白雷氏第 1 法測定。

2. 土壤水分情況代號說明：

a₂：旱雨季排水均良好，但地下水位太低，供應不佳。

a₂a₁：旱雨季排水均良好，旱季地下水供應不佳，但雨季地下水供應中等。

a₁b：旱季排水良好，地下水供應中等，但雨季排水欠佳。

a₁c：旱季排水良好，地下水供應中等，但雨季排水不良。

a₂c：旱季排水良好，但地下水位太低供應不良，雨季排水不良。

a₀c：旱季排水良好，地下水供應良好，雨季排水不良。

a₀b：旱季排水良好，地下水供應良好，雨季排水欠佳。

(五)美國各州常用之土壤磷測定法及其平準

方 法	州 別	磷 平 準			作 物	建 議 者
		低 ppm	中 ppm	高 ppm		
<i>Acetate methods</i> Sodium acetate-acetic acid pH 4.8; 1:5; 5 min.	Pennsylvania	5	6-10	11+	Agronomic crops	R. J. Thomas Pennsylvania State University State College, Pennsylvania
Sodium acetate-acetic acid pH 4.8; 1:5; 30 min.	New York	2	3-4	5+	Small grains, corn, and forage	D. J. Lathwell Cornell University Ithaca, New York
Sodium acetate-acetic acid pH 4.8; 1:2; 3 min.	Connecticut	10	11-25	26+	Potatoes, lettuce, alfalfa, etc.	D. E. Peaslee Connecticut Agr. Expt. Sta. New Haven, Connecticut
Sodium acetate-acetic acid pH 4.8; 1:2; 1 min.	New Hampshire	10	11-50	51+	Lawns, tobacco, certain vegetables	D. P. Percival University of New Hampshire Durham, New Hampshire
Sodium acetate-acetic acid pH 4.8; 1:2; 15 min.	Vermont	5	6-15	16+	All crops	R. J. Bartlett University of Vermont Burlington, Vermont
Sodium acetate-acetic acid pH 3.0; 1:2; 5 min.	Maine	2	3-5	6+	Forage and silage crops, lawns, and vegetables	P. N. Carpenter University of Maine Orono, Maine
Sodium acetate-acetic acid pH 4.8; 1:4; 30 min.	Alaska	12	13-50	51+	All crops	W. M. Laughlin Alaska Expt. Sta. Palmer, Alaska
Ammonium acetate-hydrochloric acid pH 4.2; 1:5; 30 min.	Texas	2	3-4	5+	All crops	W. F. Bennett Texas A & M College Station, Texas
Ammonium acetate-acetic acid pH 4.8; 1:5; 30 min.	Florida	9	10-18	19+	Agronomic crops	J. NeSmith University of Florida Gainesville, Florida
Acetate-lactate-sulfate-fluoride pH 4.2; 1:4; 10 min.	Mississippi	2	3-4	5+	Field crops	W. C. Wright Mississippi State University State College, Mississippi
<i>Hydrochloric-sulfuric acid methods</i> .65N hydrochloric acid-.025N sulfuric acid pH 1.2; 1:4; 5 min.	North Carolina	4	5-9	10+	Vegetables	E. J. Kamprath North Carolina Dept. Agr. Raleigh, North Carolina
		9	10-22	23+	Grains, soybeans, and grasses	
		13	14-35	36+	Cotton, alfalfa	
		10	11-31	32+	Agronomic crops on coastal plain and yellow Piedmont soils	
		7	8-14	15+	Agronomic crops on red Piedmont and mountain soils	
.05N hydrochloric acid-.025N sulfuric acid pH 1.2; 1:4; 5 min.	South Carolina	12	13-30	31+	All crops	N. R. Page Clemson College Clemson, South Carolina
.05N hydrochloric acid-.025N sulfuric acid pH 1.2; 1:4; 5 min.	Georgia	8	9-18	19+	Agronomic crops	H. F. Perkins University of Georgia Athens, Georgia

.05N hydrochloric acid-.025N sulfuric acid pH 1.2; 1.4; 5 min.	Virginia	5	6-19	20+	Corn, small grains (higher levels for tobacco, vegetables, alfalfa, etc.)	C. I. Rich Virginia Polytechnic Institute Blacksburg, Virginia
.05N hydrochloric acid-.025N sulfuric acid pH 1.2; 1.4; 5 min.	Maryland	10	11-29	30+	Corn, grains, legumes, tobacco, etc.	J. R. Miller University of Maryland College Park, Maryland
.05N hydrochloric acid-.025N sulfuric acid pH 1.2; 1.4; 5 min.	Alabama (Acid soils):	10	11-23	24+	Sandy soils: all crops	L. E. Easominger Auburn University Auburn, Alabama
.05N sulfuric acid- 1% ammonium sulfate 1.4; 5 min.	Tennessee	6	7-13	14+	Clay soils: all crops	W. L. Parks University of Tennessee Knoxville, Tennessee
.03N hydrochloric acid 3.7; 5 min.	Wisconsin	7	8-12	13+	All crops	R. B. Corey University of Wisconsin Madison, Wisconsin
.075N hydrochloric acid 1.3; 2 min.	Indiana	8	9-25	26+	Corn and soybeans	S. A. Barber Purdue University Lafayette, Indiana
<i>Fluoride methods</i> .03N ammonium fluoride-.025N hydrochloric acid pH 3.5; 1.10; 1 min.	Illinois	4	5-8	9+	Soybeans and corn	L. T. Kurtz University of Illinois Urbana, Illinois
.03N ammonium fluoride-.025N hydrochloric acid pH 3.5; 1.10; 1 min.	Ohio	6	7-20	21+	Wheat, oats, alfalfa, and clover Vegetables: higher levels	O. L. Musgrave Ohio State University Columbus, Ohio
.03N ammonium fluoride-.025N hydrochloric acid pH 3.5; 1.10; 1 min.	Minnesota	5	6-17	18+	Field crops	J. Grava University of Minnesota St. Paul, Minnesota
.03N ammonium fluoride-.025N hydrochloric acid pH 3.5; 1.8; 1 min.	Michigan	10	11-35	36+	Vegetables	J. C. Shickluna Michigan State University East Lansing, Michigan
		15	16-51	52+	Greenhouse crops	
		5	6-10	11+	Small grains, forage crops, and corn	
		5	6-15	16+	Potatoes, sugar beets, etc.	
		10	11-17	18+	Pastures, hay, barley, oats, rye, soybeans, etc.	
		15	16-25	26+	Corn, wheat, field beans, alfalfa, peas, etc.	
		20	21-35	36+	Sugar beets, potatoes, and most vegetables	
		<i>Organic soils.</i> (Values are multiplied by four.)				
.03N ammonium fluoride-.025N hydrochloric acid pH 3.5; 1.7; 1 min.	Missouri	1	2-3	4+	Soybeans	T. R. Fisher University of Missouri Columbia, Missouri
		4	5-7	8+	Small grains, alfalfa, corn, clovers, etc.	
		5	6-10	11+	Cotton, potatoes, tobacco, etc.	
.03N ammonium fluoride-.025N hydrochloric acid pH 3.5; 1.10; 45 sec.	Kansas	12	13-25	26+	Agronomic crops	R. A. Bohannon Kansas State University Manhattan, Kansas

* All figures, such as 1:10, 1:5, etc., refer to the soil-solution ratio. The time given relates to the length of time the soil is in contact with the extraction solution. The pH value in column 1 is for the specific extraction solution.
† Soil-test levels of "low," "medium," and "high" indicate responses to fertilizer of strong, likely, and none, respectively. (Levels are calculated as ppm. of phosphorus, soil basis, in all cases.)

TABLE 4 (Continued)

Method	State	Phosphorus level			Crops	Reference
		Low (ppm.)	Medium (ppm.)	High (ppm.)		
<i>Fluoride methods (Continued)</i> .03N ammonium fluoride-.025N hydrochloric acid pH 3.5; 1:7; 5 min.	Iowa	3	4-9	10+	Small grains, legumes, corn, etc.	J. Hanway Iowa State University Ames, Iowa
.03N ammonium fluoride-.025N hydrochloric acid pH 3.5; 1:7; 2 min.	South Dakota	7	8-17	18+	Small grains, corn, legume seedlings, etc.	P. L. Carson South Dakota State College Brookings, South Dakota
.03N ammonium fluoride-.025N hydrochloric acid pH 3.5; 1:10; 40 sec.	Arkansas	<1	1-5	6+	Rice	L. Thompson University of Arkansas Fayetteville, Arkansas
		11	11-33	34+	Soybeans, small grains, etc.	
		22	23-44	45+	Cotton, corn, alfalfa, etc.	
		20	21-34	35+	Dryland spring grain	
.03N ammonium fluoride-.025N hydrochloric acid pH 3.5; 1:50; 5 min.	Montana	40	41-59	60+	Dryland alfalfa and winter wheat; irrigated grain	M. Klages Montana State College Bozeman, Montana
		65	66-89	90+	Sugar beets and potatoes; irrigated alfalfa	
		20	21-60	61+	Field crops (higher values for clay soils)	
.03N ammonium fluoride-0.1N hydrochloric acid pH 1.0; 1:20; 20 min.	Louisiana	50	51-99	100+	Sugar cane	M. B. Sturgis Louisiana State University Baton Rouge, Louisiana
		10	11-25	26+	Most cultivated crops	
.03N ammonium fluoride-0.1N hydrochloric acid pH 1.0; 1:20; 20 min.	Missouri					T. R. Fisher University of Missouri Columbia, Missouri
<i>Sodium bicarbonate methods</i> 0.5M; pH 8.5; 1:4; 5 min.	Alabama (Alkaline soils):	10	11-27	28+	All crops	L. E. Ensminger Auburn University Auburn, Alabama
		5	6-10	11+	Wheat, oats, and alfalfa Corn, lower values (?) Potatoes: higher values (?)	
0.5M; pH 8.5; 1:20; 30 min.	Colorado					W. R. Schmehl Colorado State University Fort Collins, Colorado
0.5M; pH 8.5; 1:20; 30 min.	Utah	3	4-6	7+	Small grains, corn, cotton, and dry beans	J. P. Thorne Utah State University Logan, Utah
		7	8-11	12+	Alfalfa, clover, pastures, peas, and potatoes	
		14	15-21	22+	Sugar beets, vegetable crops (lower values for sandy soils)	
0.5M; pH 8.5; 1:20; 30 min.	Nevada	5	6-15	16+	Alfalfa	L. E. Dunn University of Nevada Reno, Nevada
0.5M; pH 8.5; 1:20; 30 min.	North Dakota	7	8-13	14+	Small grains (slightly higher values for acid soils)	A. Bauer North Dakota Agricultural College Fargo, North Dakota

0.5M; pH 8.5; 1:20; 30 min.	California	4	5-7	8+	Irrigated pastures	W. E. Martin University of California Davis, California
		6	7-10	11+	Small grains	
		6	7-10	11+	Cotton	
		6	7-13	14+	Tomatoes	
		11	12-26	27+	Potatoes	
0.5M; pH 8.5; 1:20; 30 min.	Idaho (Acid soils):	2	3-6	7+	Small grains, grasses, and tree crops	C. G. Lewis University of Idaho Moscow, Idaho
		5	6-12	13+	Beets, potatoes, and alfalfa	
		<1	1-2	3+	Irrigated small grains	
		2	3-4	5+	Beans	
		4	5-10	11+	Alfalfa, beets, and potatoes	
0.5M; pH 8.5; 1:10; 30 min.	Oregon	5	6-10	11+	Bent grass (Willamette Valley)	L. A. Alban Oregon State University Corvallis, Oregon
		10	11-20	21+	Subterranean clover, spring grain, and alfalfa (Willamette Valley)	
		10	11-40	41+	Pole beans (Willamette Valley)	
		7	8-12	13+	Alfalfa (eastern Oregon)	
		2	3-5	6+	Small grains, fruit crops, grapes, grasses	
0.5M; pH 8.5; 1:10; 30 min.	Washington (Neutral and alkaline soils):	3	4-8	9+	Field corn, grain, sorghum, small fruits, soybeans, asparagus, etc.	A. R. Halvorson Washington State University Pullman, Washington
		5	6-10	11+	Alfalfa, field beans, potatoes, sweet corn, beets, melons, peas, onions, etc.	
		2	3-4	5+	Small grains, grasses, and tree crops	
		4	5-9	10+	Alfalfa, beets, potatoes, etc.	
		3	4-7	8+	Small grains (higher levels for vegetables)	
Carbonic acid method Carbonic acid 1:10; 20 min.	Idaho (Alkaline soils):	2	3-4	5+	Small grains, grasses, and tree crops	C. G. Lewis Idaho Agr. Expt. Sta. Moscow, Idaho
		4	5-9	10+	Alfalfa, beets, potatoes, etc.	
Carbonic acid 1:10; 20 min.	Arizona	3	4-7	8+	Small grains (higher levels for vegetables)	H. V. Smith and T. C. Tucker University of Arizona Tucson, Arizona
Water method Water 1:10; 15 min.	California	0.3	0.4-1.5	1.6+	Cereals	F. T. Bingham and W. E. Martin University of California Riverside and Davis, California

<i>Water method (Continued)</i> Water 1:5; 15 min.	New Mexico	1.0	1.1-2.4	2.5+	Field crops	V. H. Gledhill New Mexico State University University Park, New Mexico
		New Jersey	5 10 15	6-10 11-20 16-30		
	Small grains, corn, alfalfa, forage crops.					
	Asparagus, beans, beets, cucurbits, etc.					
<i>Electroanalysis method</i> 0.05 <i>N</i> boric acid 1:15; 20 min.	New Jersey	15	16-30	31+	Celery, eggplant, onions, peas, sweet corn, leafy vegetables	W. J. Hanna Rutgers University New Brunswick, New Jersey

* All figures, such as 1:10, 1:5, etc., refer to the soil-solution ratio. The time given relates to the length of time the soil is in contact with the extraction solution. (The pH value in column 1 is for the specific extraction solution.)

† Soil-test levels of "low," "medium," and "high" indicate responses to fertilizer of strong, likely, and none, respectively. (Levels are calculated as ppm. of phosphorus, soil basis, in all cases.)

資料來源: Chapman, H.D. (1966) Diagnostic Criteria for Plants and Soils. University of California, Division of Agricultural Science.

(六)施用鉀肥有效之土壤交換性鉀臨界濃度

作物	土壤中交換性鉀 (K) 磅/英畝	建議者
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	80	Bear and Wallace (1950)
	160	Winters (1946)
	180	Seay <i>et al.</i> (1950)
Corn (<i>Zea mays</i>)	155	Winters (1946)
	83	Krantz (1949)
	200	Ellis <i>et al.</i> (1956)
	150	Barber (1959)
Cotton (<i>Gossypium</i> spp.)	185	Winters (1946)
	120	Stromberg (1960)
Field crops (various)	200	Bray (1948)
Grape (<i>Vitis</i> spp.)	200	Ulrich (1942)
	136	Larsen <i>et al.</i> (1956b)
Pineapple (<i>Ananas comosus</i>)	156	Magistad (1934)
Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	140-375	Nelson and Hawkins (1947)
	220	Winters (1946)
Sugar cane (<i>Saccharum officinarum</i>)	150	Ayres and Hagihara (1955)
	180	Baver and Moir (1952)
	200	Humbert (1958)
Tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i>)	190	Winters (1946)

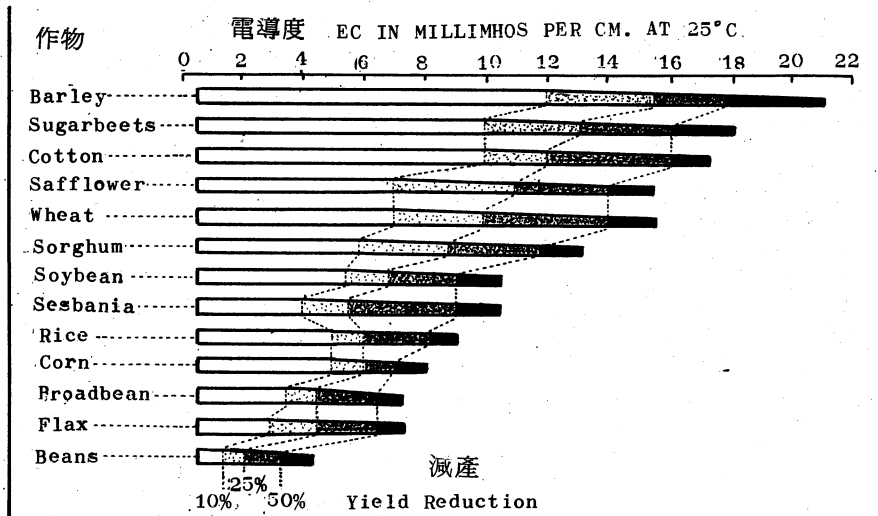
* Critical levels shown are in terms of exchangeable potassium in soils.

† Basis: 2,000,000 pounds of soil per acre.

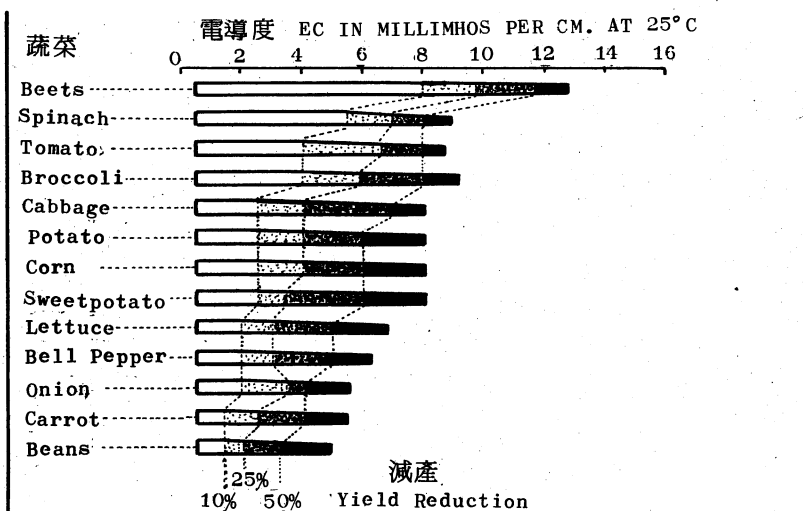
資料來源: Chapman, H. D. (1966). *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. University of California, Division of Agricultural Science.

(七)土壤飽和液鹽分濃度與作物生長

1 作物對於鹽分忍耐度



2 蔬菜對於鹽分忍耐度



資料來源：Soil and Plant-Tissue Testing in California. Division of Agricultural Science, University of California. Bulletin 1879

(八)葉片採樣須知

(本須知專供柑桔類果樹施肥推薦採樣之用)

- 一、採取部位：不具結果枝及分枝之春稍枝條，採取其頂端生長5~7個月的葉片(圖1)。
- 二、採取時間：多在7~10月間。
- 三、採取方法：普通0.5~1.0公頃生長均勻的果園為一採樣單位，採樣型式很多，若依U字型採取，採樣者在循着U字形行走果園時，可選定左右兩邊可代表性的果樹各一棵，在其離地1~1.5公尺處採取相隔90°的葉片各兩枚，務須樹冠四方的葉片有均等機會被採取到(圖2)。

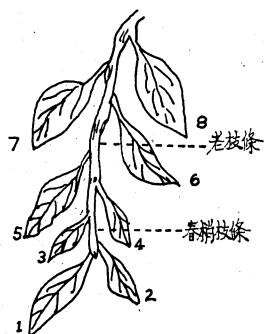


圖1 1 2 3 係春稍枝條頂端葉片，任何一葉均可採為樣本，4 5 6 7 及 8 係屬老葉，不宜採取。

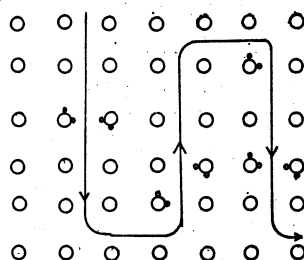


圖2 循着U字形採取葉片的方法

- 四、採取數量：每一樣本最少含有50枚，依上述方法採取之葉片，可先裝入塑膠袋或布袋中後，再裝入紙盒中。
- 五、樣本編號：每一樣本，裝入紙盒後，盒上必須註明農戶姓名、住址與號碼，該號碼必須與葉片樣本資料表上所印之號碼相同。
- 六、填寫葉片樣本資料表與寄送：每一葉片樣本，必須附葉片樣本資料表，表中各欄請採樣人詳實填寫，若有不明之處，可先請教轄區內農業改良場有關人員，該表採取一式三聯，悉數隨同葉片樣本一併寄送該轄區農業改良場土壤肥料股收。
- 七、注意事項：
 - (1)選定採取葉片之果樹，必須可代表該果園者。
 - (2)同一果園內，生長不齊，樹型大小不一，土壤性質不同，均應分別採樣。
 - (3)為免邊際影響，邊緣果樹不予採樣。
 - (4)每一樣本所採葉片，必須樹齡相近，品種與砧木相同。
 - (5)所採之葉片應無機械損傷，或病蟲害侵襲者，若有黃化葉片或葉端燒灼應予分別採樣。

田間樣本號碼

No 004903

農業改良場填寫

簽收日期： 年 月 日

樣本室內編號：_____

負責人：_____

(九)葉片樣本資料與分析報告表

採樣日期____年____月____日 寄樣日期____年____月____日 採樣人____

採取部位：不具結果枝及分枝之 採樣地點：____縣 市____鄉 鎮____村 里____號

農戶姓名：____ 通訊處：____縣 市____鄉 鎮____村 里____號

一、柑桔種類：1. 椪 柑 ☐ 2. 桶 柑 ☐ 3. 雪 柑 ☐ 4. 麻豆文旦 ☐ 5. 白 柚 ☐
 6. 甜 柳 橙 ☐ 7. 晚崙夏橙 ☐ 8. 檸檬 ☐ 9. 葡萄柚 ☐ 10. 其他 ☐

二、砧木種類：1. 酸 桔 ☐ 2. 廣東檸檬 ☐ 3. 苦 柚 ☐ 4. 枳 殼 ☐ 5. 美人桔 ☐
 6. 中 間 砧 ☐ 7. 其他 ☐

三、樹 齡：____年生 四、生長情形：1. 良 ☐ 2. 中 ☐ 3. 劣 ☐

五、葉狀及葉色：1. 正 常 ☐ 2. 老葉異常 ☐ 3. 新葉異常 ☐ 4. 黃 化 ☐

六、病害情形：1. 立 枯 病 ☐ 2. 毒 素 病 ☐ 3. 潰 瘍 病 ☐ 4. 黑 星 病 ☐ 5. 瘡 痂 病 ☐
 6. 流 膠 病 ☐ 7. 根 腐 病 ☐ 8. 線 蟲 病 ☐ 9. 其 他 ☐

七、蟲害情形：1. 介 殼 蟲 ☐ 2. 粉介殼蟲 ☐ 3. 蚜 蟲 ☐ 4. 柑桔粉蝨 ☐ 5. 木 蝨 ☐
 6. 角肩椿象 ☐ 7. 潛 葉 蛾 ☐ 8. 紅 蜘蛛 ☐ 9. 天 牛 ☐ 10. 東方果蠅 ☐
 11. 銹 蟎 ☐ 12. 葉 蟎 ☐ 13. 其 他 ☐

八、過去經常收量與施肥情形：

年 別	面 積 公 頃	株 量	收 量 公 斤	一 般 施 肥 用 量 公克/棵				複合肥料用量 公克/棵		微量要素使用情形			
				硫安	尿素	過石	氯化鉀	號	用量	種類	施法	次數	用量
去 年													
前 年													
大前年													

以上各欄請採樣人員詳實填寫

九、樣本分析結果

分析項目	極 低	低	中	高	分析項目	極 低	低	中	高
N %					B ppm				
P %					Cu ppm				
K %					Fe ppm				
Ca %					Mn ppm				
Mg %					Zn ppm				

十、施肥建議

要 素 用 量 公克/棵					折算複合 肥 料 量		折算肥料用量 公克/棵			石 灰 公克/棵		微量要素用量	
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	號	用量 公克/棵	硫安	尿素	過石	氯化 鉀	石灰 石粉	白雲 石粉	種類 施法 次數 用量

以上九、十各欄請農改場負責人，待樣本分析後填寫，並將第一聯寄採樣人或委託農戶。

葉片分析負責人____ 施肥推薦負責人____ 主管人____ 寄出日期____

十一、追蹤農民採用施肥推薦成果（請各區農改場用通訊或訪問方式調查後填寫，並將第二聯整表寄臺中霧峰省農業試驗所，植物營養研究室，第三聯由農改場保存）

農民反應：1. 滿意 ☐：a 增 產 ☐ b 氮 肥 適 量 ☐ c 磷 肥 適 量 ☐
 d 鉀肥適量 ☐ e 白雲石粉有效 ☐ f 石灰石粉有效 ☐
 g 噴施微量要素有效 ☐ h 土施微量要素有效 ☐

2. 不滿意 ☐：a 減 產 ☐ b 氮肥過多 ☐ c 磷肥過多 ☐ d 鉀肥過多 ☐
 e 白雲石粉無效 ☐ f 石灰石粉無效 ☐ g 微量要素無效 ☐

3. 尚 可 ☐

(十)各種作物採樣技術

本附錄係摘譯自 H. D. Chapman (1966) 所著之 "Diagnostic Criteria for Plants and Soils" 一書 (pp 738 ~ 744) 中之部份資料，並將其中常見于台灣者區分為農藝及園藝作物兩類加以敘述。除禾本科外，其他作物如未註明，其葉片均包括葉身及葉柄。文中(1)指採樣部位及時期，(2)指採樣方法及數量。

(一)農藝作物：

1. 穀類作物 (Cereals)：包括水稻 (rice, Oryza sativa)、大麥 (barley, Hordeum vulgare)、小麥 (wheat, Triticum spp)、燕麥 (oats, Avena sativa)、黑麥 (rye, secale cereals)、及小米 (millet, Panicum spp)。

(1)於抽穗開花時，採取植株頂端算起前兩葉或前四葉 (包括葉舌)。

(2)選定一或數個面積為 1 英畝或更大之永久採樣區，沿對角線逢機採取 200 個以上之葉片。

2. 玉米 (corn, Zea mays)

(1)當雄穗完全抽出時 (full tasseling stage)，採取較靠近莖基部之穗下面且與穗相對之第一片葉，將之三等分，只取中段分析。

(2)選定一個或數個面積為 1 英畝或更大之永久採樣區，沿對角線或沿直行逢機採取 50 棵植株以上之葉片。

3. 高粱 (蜀黍) (sorghum, Sorghum vulgare)

(1)當穗完全抽出時，採取植株頂端算起第二葉。

(2)同玉米。

4. 大豆 (soybean, Glycine soja)

(1)開花後，當莖基部之莢已長至全長，而莖頂尚為幼莢時，採取植株上端葉片之葉身。

(2)採樣株數須為取樣區內總株數的 5% 以上，且每一樣本需由 50—100 片葉組成。

5. 花生 (peanut, Arachis hypogaea)

(1)於開花期採取植株頂端剛成熟葉或僅取其葉身。

(2)逢機採取均勻分布于取樣區內之植株，採樣株數需在 50 株以上。

6. 甘蔗 (sugar cane, Saccharum officinarum)

(1)於植株生長四個月時，採取自莖頂算起第 3 或第 4 葉，截取中央 20 公分長度，去其中肋。

(2)同玉米。

7. 茶 (tea, Camellia sinensis) 林氏 (1963)

(1)於夏茶季節，當茶芽發育達一心三葉，取其嫩枝中之第二葉。

(2)取樣株數為取樣區總茶株之 15% 以上，每樣茶樹採取兩枚。

(二)園藝作物：

1. 蘋果 (apple, Malus spp)

(1)於 6 月 15 日至 8 月 15 日間，採取短果枝上或當季生長之枝條基部之成熟葉。其葉片大小及生長情況需能代表取樣區之平均生長情況。

(2)選定面積為 1 至 5 英畝之永久採樣區。每棵樹在腰高至肩高的位置按東、西、南、北方位各取 1 到 2 葉，每一枝條僅取一葉。沿對角線或每隔 5 至 10 棵樹逢機採取 100 個以上之葉片，取樣

株數不得少於25株。

2. 梨 (pear, Pyrus communis)

(1) 於夏季中期，採取短果枝上之成熟葉。

(2) 同蘋果。

3. 桃 (peach, Pyrus persica)

(1) 於盛花期後 12~14 週，採取當季生長之枝條頂梢中段或基部之成熟葉。

(2) 同蘋果。

4. 梅、李 (plum and prune, Pyrus domestica)

(1) 於盛花期後 8~12 週，採取新梢中段之成熟葉。

(2) 同蘋果。

5. 甜橙 (orange, Citrus sinensis)

(1) 採取四至七個月葉齡之春梢結果枝上之葉片 (見柑桔葉片採樣須知) ; Reuther & Smith (1954) 則主張自同時期之非結果枝採取葉片。兩種取樣法之葉片診斷標準稍有不同。

(2) 選定 1 至 5 英畝大小之永久採樣區，沿對角線或每隔五棵樹逢機採樣。每棵樹按東、西、南、北方位各採一葉；取樣株數為取樣區內總株樹之 10~20%，且每一樣本至少需合採自 25~50 棵樹之 100~200 片葉。

6. 檸檬 (lemon, Citrus limon) 及萊姆 (lime, Citrus aurantifolia)

(1) 在枝梢已停止生長且新梢未萌芽之前，採取非結果枝中段之成熟葉。

(2) 同甜橙。

7. 芒果 (mango, Mangifera indica)

(1) 於盛花期，採取最近成熟之頂梢中段之葉片。此枝條須是不開花且尚未萌發新梢者。在兩次花開之地區，於第一次花期採樣。

(2) 同蘋果。

8. 鳳梨 (pineapple, Ananas Comosus)

(1) 自種植後 3 至 4 個月開始，至開花或荷爾蒙處理時為止，每隔一個月，採取最後發育完成之 " D " 葉 (D 葉係指基部為方形之葉，通常是最長之葉)，將 D 葉基部白色部分作三等分，取其中段分析，或將此部分除外之葉片組織合併為另一樣本分析。每株樹不可重覆取樣。

(2) 取樣方法同蘋果；取樣株數則視取樣部位而定，若只取白色部份之 $\frac{1}{3}$ ，需採取 200 株以上，但就其他作物之結果及實用性而言，50 株至 100 株已足夠。若分析整個葉片則每英畝採取 20 片葉已足夠。

9. 香蕉 (banana, Musa spp)

(1) 未長吸芽之植株，若以最近剛完全展開之葉為第一葉，則採第一葉或第三葉，或兩者均分別採取。已長吸芽之植株則採第二葉。將蕉葉中段之葉片組織沿葉脈撕開取中肋兩邊之葉身合併分析。亦有建議將取下之葉身從接近中肋至葉緣方向作三等分，逐段加以分析。Prevel 氏則認為靠中肋之部分較為敏感。

(2) 選定面積為 1 英畝或更大之永久取樣區，若區內植株年齡較均勻 (均為第一作)，則沿對角線逢機採取總株數之 5%~10%。若植株年齡不均 (再生作)，則採取 25 株均勻分布於取樣區內且發育階段相同者 (具同數之成熟葉或同時期開花之植株)。如果可能的話選擇商業上之收穫

期或萌發吸芽之時期採樣。

10. 草莓 (strawberry, Fragaria spp)

(1) 於六月末或八月初採取剛成熟葉之葉身 (去掉葉柄) 。

(2) 自取樣區內採取 50~100 葉，每株僅取一葉。

11. 蕃茄 (tomato, Lycopersicon esculentum)

(1) 於始花期採取自植株頂端算起第四葉之葉柄，亦有主張採取第三葉或第四葉之葉身。

(2) 選擇一可代表栽培區平均情況之永久取樣區，每株採一葉，採取取樣區內總株數之 5~10% 之植株且株數不得少於 50 株。

12. 菜豆 (snap bean, Phaseolus spp)

(1) 當 10% 植株在開花時，採取最靠莖頂之成熟葉之葉身。

(2) 同大豆。

13. 菜豆 (皇帝豆) (lima bean, Phaseolus spp)

(1) 當 10% 植株在開花時，採取莖頂算起第 2 側葉之葉柄。

(2) 同大豆。

14. 豌豆 (pea, Pisum sativum)

(1) 當植株長至具 8~9 個節間時，採取自莖頂算起第三節之葉身或葉柄。

(2) 同花生。

15. 胡蘿蔔 (carrot, Daucus Carota sativa)

(1) 當根部開始膨大時，採取剛成熟葉。

(2) 同蕃茄。

16. 馬鈴薯 (potato, Solanum tuberosum)

(1) 於始花期，採取主莖頂端算起第四或第五葉，或於發芽後 35~45 天採取第四葉之葉柄，亦或採取自地面算起第三節至第八節之莖部分分析。

(2) 同蕃茄。

17. 甘藍 (cabbage, Brassica oleracea capitata)

(1) 當甘藍開始結球時，採取包葉之中肋。

(2) 同蕃茄。

18. 芹菜 (celery, Apium graveolens dulce)

(1) 於生育中期，當植株長至 10~15 英吋高時，採取完全伸長之葉片中最年輕者，取其葉柄分析。

(2) 同蕃茄。

19. 萵苣 (lettuce, Lactuca Sativa)

(1) 當萵苣結球時，採取包葉之中肋。

(2) 同蕃茄。

(±)常用單位及其換算

一、單位：

在土壤化學分析中，溶液的濃度，試劑的重量及分析結果的表示常用不同的單位。茲將常用單位的定義簡述如下：

(一)克原子量

某元素的克原子量即等於其原子量以克為單位。如氮的克原子量為 14.008 克，磷為 30.975 克，鉀為 39.100 克，鐵為 55.850 克。

(二)克離子量

某元素的克離子量即為其克原子量，因當原子失去或獲得電子而成離子態時，對其重量並無多大改變。故 Fe^{3+} 及 Fe^{2+} 的克離子量均為 55.85 克。

(三)克分子量

某元素或化合物的克分子量即其分子量的克數。如氮 (N_2) 的克分子量為 28.016 克，硫酸 (H_2SO_4) 為 98.082 克。

(四)克當量

在某一化學反應中，某物質與一克離子作用所需之重量，即該物質之當量。有些物質在不同反應中有不同克當量數。

(五)毫克原子量

即克原子量的千分之一。

(六)毫克離子量

即克離子量的千分之一。

(七)毫克分子量

即克分子量的千分之一。

(八)毫克當量

即克當量之千分之一，也即 1 N 溶液之 1 ml 內所含溶質之量。

(九)當量溶液

1 N (當量) 溶液即在 1 公升 (ℓ) 溶液中含溶質 1 克當量。

(十) 100 克土壤中含有之毫克當量 (me/100 gm)

土壤的交換性鹽基、酸、陽離子交換能量及石膏含量常以此單位表示。

(十一) 1 公升含有之毫克當量 (me/ℓ)

此單位常用以表示土壤飽和抽出液及灌溉水中陰、陽離子之濃度。

(十二)克分子溶液

1 克分子溶液 (1 M) 即在 1 L 溶液中含溶質 1 克分子。

(十三)濃度百分率

1 % 即 100 份重量溶液中含有溶質 1 份。如 1 % 的溶液即 1 公升溶液中含溶質 10 公克。

(十四)濃度以 ppm 表示

1 ppm 表示 $1/10^6$ 。1 ppm 的溶液即在 1 公升 (ℓ) 溶液中含溶質 1 毫克 (mg)，即 mg/ℓ ，或 1000 克土壤中所含某物質之 mg 數。

(十五) kg/ha

由於耕犁層深度及土壤密度之不同，耕犁層土壤之重量算法不一。英美各國多以每公頃 2×10^6 。

公斤計算。本省土壤肥力速測則向以 2.5×10^6 公斤計算。如土壤中含某物質 1 ppm，則其在每公頃耕犁層表土所含之量即 2.5 公斤。

二、單位換算公式：

(一)自一種濃度換算為另一種濃度：

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

此處 C_1 及 C_2 表換算前後的濃度， C_1 及 C_2 為同一單位， V_1 及 V_2 也為同一單位。

(二)自溶液的容積換算為溶質的重量：

$$me = ml \times N \quad \text{或} \quad mg = ml \times N \times \text{溶質之當量}$$

此處 ml 及 N 分別代表溶液的容積及當量濃度如 10 ml 0.1 N NaOH 溶液中所含 NaOH 之重量為： $mg(\text{NaOH}) = 10 \times 0.1 \times 40 = 40$ NaOH 的當量 = 40

(三)自 ppm 換算為 $me/100 \text{ gm}$ 土壤或 me/l 溶液

$$1. \quad me/100 \text{ gm} = ppm / (\text{當量} \times 10)$$

如：39.1 ppm 的 K 換算為 $K me/100 \text{ gm}$

$$\text{爲：} K (me/100 \text{ gm}) = 39.1 / (39.1 \times 10) = 0.1 \quad \text{鉀的當量即等於其原子量 39.1}$$

$$2. \quad me/l = ppm / \text{當量}$$

如：400 ppm 的 Ca 換算為 $Ca me/l$

$$\text{爲：} Ca (me/l) = 400 / 20 = 20 \quad \text{鈣的當量爲其原子量的 } \frac{1}{2} \text{ 即 } 20$$

(四)自濕物%換算為乾物%：

$$\% \text{ On Oven dry basis} = \% \text{ On Wet basis} / (100 + PW)$$

此處 PW = 樣本水分含量

(三)常用換算因子

變換單位	乘	以	得
	毫克當量數(me)	當量值	毫克數
毫克當量(me)	Ca	20.04	Ca
→ 毫克(mg)	Mg	12.16	Mg
	Na	23.00	Na
	K	39.10	K
	Cl	35.46	Cl
	SO ₄	48.03	SO ₄
	CO ₃	30.00	CO ₃
	HCO ₃	61.01	HCO ₃
	PO ₄	31.65	PO ₄
	CaSO ₄ · 2H ₂ O	86.09	CaSO ₄ · 2H ₂ O
	CaCO ₃	50.04	CaCO ₃
	S	16.03	S
	H ₂ SO ₄	49.04	H ₂ SO ₄
	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	111.07	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O
	FeSO ₄ · 7H ₂ O	139.01	FeSO ₄ · 7H ₂ O

變換單位	乘	以	得
毫克當量／公升 (me/L) → ppm	毫克當量／公升(me/ℓ)	當量值	ppm
	Ca	20.04	Ca
	Mg	12.16	Mg
	Na	23.00	Na
	K	39.10	K
	Cl	35.46	Cl
	SO ₄	48.03	SO ₄
	CO ₃	30.00	CO ₃
	HCO ₃	61.01	HCO ₃
	PO ₄	31.65	PO ₄
	CaSO ₄ · 2H ₂ O	86.09	CaSO ₄ · 2H ₂ O
	CaCO ₃	50.04	CaCO ₃
	S	16.03	S
	H ₂ SO ₄	49.04	H ₂ SO ₄
	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	111.07	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O
	FeSO ₄ · 7H ₂ O	139.01	FeSO ₄ · 7H ₂ O

(三) 常用强酸鹼液濃度

酸 或 碱	%	比重 $\frac{20^\circ}{4}$ C	gm/ℓ	規定濃度 * (N)
Acetic acid	99.0	1.052	1042.0	17.45
Ammonium hydroxide	28.33	0.900	255.0(NH ₃)	15.0
Hydrochloric acid	38.0	1.189	451.6	12.4
Hydrofluoric acid	50.0	1.158	577.5	28.8
Nitric acid	72.0	1.422	1024.0	16.2
"	67.0	1.400	—	14.0
Phosphoric acid	85.0	1.689	1436.0	44.0
Perchloric acid	70.0	1.664	1165.0	11.6
Sodium hydroxide (飽和溶液)	50.0	1.525	762.7	19.0
Sulfuric acid	95.0	1.834	1742.0	35.5

*註：此規定濃度僅為大約數值。

(四) 國際原子量表

Name	Symbol	Atomic number	Atomic weight ^{a/}	Name	Symbol	Atomic number	Atomic weight ^{a/}
Actinium	Ac	89	227	Hydrogen	H	1	1.0080
Aluminum	Al	13	26.98	Indium	In	49	114.76
Americium	Am	95	[243]	Iodine	I	53	126.91
Antimony	Sb	51	121.76	Iridium	Ir	77	192.2
Argon	Ar	18	39.944	Iron	Fe	26	55.85
Arsenic	As	33	74.91	Krypton	Kr	36	83.80
Astatine	At	85	[210]	Lanthanum	La	57	138.92
Barium	Ba	56	137.36	Lead	Pb	82	207.21
Berkelium	Bk	97	[249]	Lithium	Li	3	6.940
Beryllium	Be	4	9.013	Lutetium	Lu	71	174.99
Bismuth	Bi	83	209.00	Magnesium	Mg	12	24.32
Boron	B	5	10.82	Manganese	Mn	25	54.94
Bromine	Br	35	79.916	Mendelevium	Md	101	[256]
Cadmium	Cd	48	112.41	Mercury	Hg	80	200.61
Calcium	Ca	20	40.08	Molybdenum	Mo	42	95.95
Californium	Cf	98	[249]	Neodymium	Nd	60	144.27
Carbon	C	6	12.010	Neon	Ne	10	20.183
Cerium	Ce	58	140.13	Neptunium	Np	93	[237]
Cesium	Cs	55	132.91	Nickel	Ni	28	58.69
Chlorine	Cl	17	35.457	Niobium			
Chromium	Cr	24	52.01	(Columbium)	Nb	41	92.91
Cobalt	Co	27	58.94	Nitrogen	N	7	14.008
Columbium (see Niobium)				Nobelium	No	102	[253]
Copper	Cu	29	63.54	Osmium	Os	76	190.2
Curium	Cm	96	[245]	Oxygen	O	8	16.000
Dysprosium	Dy	66	162.46	Palladium	Pd	46	106.7
Einsteinium	Es	99	[254]	Phosphorus	P	15	30.975
Erbium	Er	68	168.94	Platinum	Pt	78	195.23
Europium	Eu	63	152.0	Plutonium	Pu	94	[242]
Fermium	Fm	100	[255]	Polonium	Po	84	210
Fluorine	F	9	19.00	Potassium	K	19	39.100
Francium	Fr	87	[223]	Praseodymium	Pr	59	140.92
Gadolinium	Gd	64	156.9	Promethium	Pm	61	[145]
Gallium	Ga	31	69.72	Protactinium	Pa	91	231
Germanium	Ge	32	72.60	Radium	Ra	88	226.05
Gold	Au	79	197.0	Radon	Rn	86	222
Hafnium	Hf	72	178.6	Rhenium	Re	75	186.31
Helium	He	2	4.003	Rhodium	Rh	45	102.91
Holmium	Ho	67	164.94	Rubidium	Rb	37	85.48
Ruthenium	Ru	44	101.1	Thallium	Tl	81	204.39
Samarium	Sm	62	150.43	Thorium	Th	90	232.05
Scandium	Sc	21	44.96	Thulium	Tm	69	169.4
Selenium	Se	34	78.96	Tin	Sn	50	118.70
Silicon	Si	14	28.09	Titanium	Ti	22	47.90
Silver	Ag	47	107.880	Tungsten	W	74	183.92
Sodium	Na	11	22.991	Uranium	U	92	238.07
Strontium	Sr	38	87.63	Vanadium	V	23	50.95
Sulfur	S	16	32.066 ^{b/}	Xenon	Xe	54	131.3
Tantalum	Ta	73	180.95	Ytterbium	Yb	70	173.04
Technetium	Tc	43	[99]	Yttrium	Y	39	88.92
Tellurium	Te	52	127.61	Zinc	Zn	30	65.38
Terbium	Tb	65	158.93	Zirconium	Zr	40	91.22

^{a/} A value given in brackets denotes the mass number of the isotope of longest known half-life.

^{b/} Because of natural variations in relative abundance of the sulfur isotopes, its atomic weight has a range of ± 0.003 .