

# 土壤肥力與合理化施肥

譚增偉、劉禎祺、陳桂暖

行政院農業委員會農業試驗所

## 前 言

為達成永續農業之目的，合理化施肥的概念與需要性乃是必要方法或途徑之一。當今為解決農業永續生產的問題，須重視土壤為資源而非農業可消耗之資材，既為資源即具不可破壞與污染之內涵；而適當耕作制度及土壤管理乃維護並充分發揮土壤肥力永續利用之先決條件。合理化施肥的目的不僅是在提高作物產量，並以生產優質安全農產品為目標，這其中涉及土壤肥力的診斷與對植物營養的認知及土壤肥力-植物營養間的關係。然土壤為一不斷變動之複雜有機體，故土壤肥力不能單以容量因子(capacity factor)判定，因植物營養料供給強度(intensity factor)尚隨土壤狀態之變動而變異，因此土壤肥力狀態之判定至少須為兩者相乘之二次函數。

另一方面，施肥所涉及對土壤環境之影響亦為重要個課題；全球環境變遷是近十數年來各國所關心之問題，其中有關農業方面的長期試驗，更就長期農業經營、管理等措施對產量、生態、土壤等方面所造成的衝擊，提供了極為有價值之參考資料，更提供了預測未來變化之基礎。基此重要性，世界上許多國家因此有無數的長期農業或生態試驗在進行<sup>(7-24)</sup>，以探討農業經營管理之長期效應，尤其是對土壤環境及生產方面的影響，以求農業永續經營的策略。我國相關之研究起步較晚，農業試驗所曾於日治時代進行長期之施肥管理對土壤物理、化學與生物之影響，持續之研究結果由張等人(1947)提出連續施用相同肥料二十三年對土壤理化性質與產量之影響<sup>(6)</sup>，而林等人(1973)則提出經四十年連用同樣肥料對於土壤化學性質之影響<sup>(1)</sup>，這些長期試驗皆因人為及社會變遷等因素而廢棄，殊為可惜。農業試驗所於中質地微酸性砂頁岩沖積土設有長期試驗田，在完全施用化學肥料下，以察察研究不同耕作制度與作物殘株利用方式下，土壤的肥力與永續生產力問題。所謂知己

知彼百戰百勝，實為合理化施肥的首要原則。

## 台灣耕地土壤一般肥力狀況

台灣的土壤可依海拔高低垂直分為四個區域，即：高山石礫土、坡地灰化土、紅壤台地及平地的沖積土。農耕地即均分布於紅壤及沖積土上；土壤亦因母質之不同，包括砂頁岩、粘板岩、片岩、火山灰、安山岩等，更顯示土壤的多元化與複雜性。

由於高溫多濕的氣候及土壤母質的關係，本省耕地土壤的一般特性為有機物含量低，陽離子交換能量低，多屬酸性。此等特性即顯示本省耕地土壤為肥力偏低而保肥力又弱的土壤。土壤性質中，與肥力關係較密切者包括土壤酸鹼度、有機質含量、土壤質地、陽離子交換能量、及土壤有效性磷、鉀含量等，茲將本省耕地土壤此等性質的一般狀況介紹如下：

### 土壤酸鹼度 (pH 值)

據台灣省農業試驗所近年的土壤肥力調查結果，本省耕地（不包括山坡地）土壤酸鹼度的分布情形如表 1。其中，耕地土壤中屬於強酸性（ $\text{pH} < 4.5$ ）者約佔 5%，酸性者約 33%，即 pH 在 5.5 以上者約佔耕地面積的 38%。

過去人們一直認為作物生長最適宜的土壤 pH 值在 6.5 — 7.0，近年來世界各地土壤研究者的試驗結果已證實此種觀念需要修正，如美國北卡羅來納洲在其高溫多濕區的紅壤及黃壤上施用石灰以提高其 pH 至 6.0—6.2 以上時，發現對作物生長不但無益，反而有害；本省一些土壤質地較粗的（砂質壤土至壤土）果園也發現由於施用石灰過量（施用後的土壤 pH 在 6.4—6.8 之間）而導致磷及微量要素的吸收受阻，發生落果及果實變形的現象。

故在強酸性土壤種植較不耐酸的作物時，施用石灰的量只需足以中和土壤中過多的交換性鋁，使其交換性鋁的含量在該土壤的總交換性能量中僅佔 10 % 以下即可，此時土壤的 pH 約在 5.6—5.7 之間。

### 有機質含量

有機質為土壤氮素的主要供給來源，其含量的高低可約略反映土壤

含氮量的多少；有機質又為土壤團粒構成的要件，因此密切關係看土壤水分的滲透及保持。

台灣由於處熱帶及亞熱帶，土壤中有機物較易分解，故一般含量較低。據農試所過去所作本省農田肥力調查，有機物含量在 2% 以下者，約佔耕地土壤的 65%，而含量在 3% 以上者，僅佔 8%，全省平均含量約為 2.3%，與韓國的平均含量 2.6% 相差不多，但卻遠低於日本的平均含量 5.7%。

### 土壤質地

土壤質地決定於土壤中所含砂粒、粉粒及粘粒的百分率。質地的鬆密可影響耕作的難易、空氣與水分的保持，以及水分的滲透與根群的伸展，並可反映土壤供應植物營養素的情形，普通作物多喜生長於中質地的土壤。本省農田土壤多屬中質地者（包括壤土、粉質壤土、粉土），約佔耕地面積的 44%。其他多屬中粗質地（36%）及中細質地（19%），而粗及細質地土壤所佔百分比均極低。

### 陽離子交換能量

土壤陽離子交換能量的大小，即代表其保肥力的大小。此種交換能量大小，係決定於土壤粘粒含量的多少與種類，及土壤有機質含量的高低。本省土壤由於多屬中質地，粘粒含量不高，又由於粘粒（粘土礦物）種類及有機物含量低的關係，故陽離子交換能量一般偏低，也即表示本省土壤保肥力較弱。據過去分析資料，本省水田土壤陽離子交換能量平均為  $8.9\text{me}/100\text{g soil}$ ，遠低於日本的平均  $20\text{me}/100\text{g soil}$ ，也較韓國的  $11.7\text{me}/100\text{g soil}$  為低。

陽離子交換能量在  $6\text{me}/100\text{g soil}$  以下者，即屬保肥力甚弱的土壤，已在土壤肥力上成為限制因子。據本省最近的肥力測定結果，陽離子交換能量在 6 以下者，約佔調查面積的 1/3，6—12 者約佔 54%，大於 12 者僅佔 12%。

### 土壤有效磷含量

一般土壤之耕犁層表土（約 20 公分）中全磷含量每公頃約在 90 至 2225 公斤之間，但其中可被植物利用者僅為全量的 0.5—1%。至於本省農田磷肥力狀況，根據過去全省農田肥力詳測結果，顯示以砂

頁岩沖積土為主的台灣中南部土壤有效磷含量較高，北部桃園縣的紅壤有效磷的含量較低，其他地層含量居中。台灣耕地土壤有效磷含量及其分佈情形如表 2，此數值顯示台灣耕地土壤中的 69% 所含有效磷均在 20ppm 以下。據田間試驗結果，有效磷在 20ppm 以下者，施磷對水稻及早作，尤其旱作，即有增產效果。磷肥效果在水田一般均較旱田為低，其原因係由於浸水後，土壤因還原致無定型鐵含量增加，其對磷酸離子的吸附力大增，及部份無機磷之型態轉變之故。台灣水田的磷肥效果，除紅壤及較粗質地水田較高外，其餘多在 6—7% 之間。

磷肥施入土壤後，由於迅速與土壤中各種成分如鐵、鋁、鈣等化合物結合而降低其溶解度，故通常相提高土壤中有效性磷一單位，必須施入較此高數倍的磷肥量。此倍數又因土壤性質不同而異。據以本省代表性土壤之試驗結果，欲提高本省農田土壤有效磷 1ppm，需施磷肥 2 至 7ppm，或平均提高有效磷 1ppm，需施用磷肥 3ppm。

### 土壤有效鉀含量

土壤中鉀素係自礦物風化而來，全鉀含量約在 0.5—2.5%，遠高於平均僅 0.11% 之全磷含量，但與磷一樣，僅其中少部分可供作物吸收利用。本省耕地土壤所含有效性鉀及其分布如表 3。土壤有效性鉀含量在 35ppm 以下時，水稻即有鉀肥效果，台灣耕地土壤中約有 40% 含鉀量在 35ppm 以下。據過去本省肥料試驗結果，水稻對鉀肥的效果也不大，通常一期作每公頃施用 120 公斤氧化鉀的增產率 2.3—2.5%；二期作為 4.6—5.4%；對旱作的效果，除少數排水較差地區外，鉀肥增產效果也不明顯。

## 本省耕地土壤表底土肥力情形比較

過去本省農作物以水稻為主，水稻係淺根作物，故一般土壤工作者僅注意表土，甚少考慮底土的肥力情況。近年本省稻米過剩，政府提倡轉作，玉米、高粱、果樹等均係深根作物，故種植此等作物時，必須同時考慮底土的肥力狀況。

由於多雨及地形的關係，台灣土壤的 2/3 以上均無明顯化育層，但長期種植水稻的水田土壤，由於水稻的特殊種植方式，而使絕大部分

土壤中生成明顯的犁底層(Pressure pan)，其深度約在 15—20 公分，厚度約為 3—4 公分，兩層中營養分含量也大不相同，表 4 為遍佈全省之 42 處稻田表、底土測定結果之平均值。此表顯示本省水田中，有機質及有效性磷、鉀之含量，表土明顯高於底土，鈣、鎂、鐵、錳的含量則均為底土高於表土，其中尤以最易還原的錳相差最多。此項差異之原因係由於土壤長期種植水稻，鈣、鎂、鐵、錳因還原及淋洗而被洗至下層。有效磷、鉀則因施肥均在表土，而其在土壤中的移動又較困難，故多聚集於表土。果園土壤肥力調查結果也明顯的看出此種表、底土肥力的差異。一般果園施肥也多在表層，故通常有效磷含量均以 0—10 公分處最高，隨深度增加而急速減少。有效鉀也以表土最高，惟因鉀在土壤中的移動性較磷為高，故隨剖面加深而減低的趨勢較磷為小。

## 化學肥料與土壤生產力之關係

依據 92 年肥料手冊資料經統計結果如圖 1、2 所示，台灣最具普遍性的作物水稻在過去數十年間各年度的每公頃產量與每公頃化學肥料用量中的氮素量之間，有極顯著的直線相關( $r=0.8636^{**}$ )，亦即氮肥用量愈多的年度，其稻米產量愈高。民國 38 年到 75 的 38 年中間，每增加施用 10 公斤氮素，產量則增加 102 公斤。在這 38 年間，以民國 38 年氮素用量最少，每公頃用量祇有 23 公斤，民國 70 年用量最多，高達 175 公斤以上，在這期間糙米產量已從每公頃 1.6 噸左右提高到 3.6 噸。民國 75 以後至 90 年間產量還在增加，其間以 76 年產量最低為 3.8 噸，84 年產量最高達 4.7 噸，平均為 4.3 噸。再由本長期田間耕作制度試驗結果(圖 3)，每年施肥量一定下，民國 77 年以後的產量更可達 6 噸以上；當然化學肥料的增施並非耕地生產力提高的唯一理由，還有品種改良和各種栽培管理技術的進步亦均有關，但如化學肥料使地力衰退，便無論其他因子如何改進，產量也不會提高言麼多。因此從過去數十年來作物產量與化學肥料使用量的關係，我們有充分理由相信且證明，台灣土壤的生產力並沒有因長期施用化學肥料而衰退，可能反而提高。一般可作為影響土壤生產力或作為土壤肥力指標之若干土性質如表 5。

## 台灣地區歷年來肥料用量是否不當

據農委會統計臺灣地區民國八十三年農用化學肥料之三要總量分別為氮素26.3萬噸、磷酐7.4萬噸、氧化鉀10.5萬噸，如果平均分配於874,535公頃耕地面積，平均每公頃耕地之三要素施肥量如表6，三要素高達505公斤。另依民國92年肥料手冊資料資料，以歷年來(民國60-75年)稻作面積及其施肥量，計算每公頃平均三要素施肥量見表6，如此評估歷年來肥料用量是否不當的問題；若依耕地面積計算則每公頃肥料用量為301kg-N/ha、85kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha、120kg-K<sub>2</sub>O/ha，此值再以一年兩期作換算則每公頃肥料用量減半，恰與依稻作生產面積每公頃肥料用量相當(表6)，這些肥料用量一直在肥料手冊的推薦範圍內，並沒有過量的情形，故就稻作生產面積或耕地面積而言，歷年來肥料用量評估的結並沒有施肥過量的問題。如有的活則可能是蔬菜或果樹專業區。

## 耕作制度與作物產量的關係

長期試驗田自民國76年至92年間完全施用化學肥料下之作物產量如圖3、4所示；顯然水稻之自耐性極強，可連作而不致減產(圖3)，但如在與旱作輪作的情形下，亦發現輪作區的產量不論一、二期作均較連作區為高，其中一期作水旱田輪作區水稻平均增產15%，二期作則增產18%。但旱作玉米(台農351號)連作數年(民國76至89年)後即產量陡降並嚴重至無法發芽幾無產量可言(圖4)，致雜草叢生。此時旱作連作區，肥料所導致的土壤酸化，已從pH 5.8下降至4以下，但民國90年開始換種不同品系時(台農1號)，玉米卻生長良好，此時連作的障礙應不在土壤性質之改變即嚴重土壤酸化，而可能與作物自毒作用有關。尤其在嚴重至無法發芽下，此時已少灌溉，而作物自毒作用或微生物代謝毒質的持續性竟如此之久，頗值得注意。事實上對旱作而言，每年在水稻-玉米輪作系統下，90年以前輪作玉米之產量仍呈逐年遞減趨勢，表示玉米需較長之輪作週期，同時更顯示自毒作用對同一品系之專一性。上述結果更進一步證明了化學肥料的連用並沒有使台灣土壤的生產力衰退，反而充分反應出台灣土壤之生產潛力。

## 有機肥料與糧食生產

根據農業年報資料，統計我國每年禽畜糞尿產出量-以 83 年為準，估計其中-N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 含量與化學肥料之比較結果如圖 5，可見每年禽畜糞尿產出量中磷與鉀含量遠超過每年之需要量，唯氮之產出量與每年化肥使用量相比遠不夠每年所需。當然，有機農業系統下，有機肥料的使用自有其重要性，但不能把有機肥料的需要性和土壤衰退混為一談。有機肥料的好處是眾人所知道的事，祇是因為有機肥料的來源不足，價格昂貴，祇能利用在高價作物，而在一般糧食生產無法普遍使用。對整個農業來說，還是要以化學肥料來供給作物所需的養分。又有機肥料雖然好，但它的好處中的最重要一點—緩效性氮肥的供給，對某些作物長年連作後所引起的真正土壤衰退，沒有明顯改進效果。真正的土壤衰退，其原因並不是化學肥料的連用，亦非藉有機肥料及微量要素的施用可以挽回。因為土壤衰退（或稱土壤疲憊）通常是由長期連作後的植物毒質，作物自毒作用或微生物代謝毒質所引起，需要用輪作或長期浸水的方式來改進土壤環境才能解決<sup>(2,3,4,5.)</sup>。

## 耕作制度與 pH、有機質、交換性鈣鎂含量等土壤性質之關係

長期不同耕作制度試驗結果，土壤 pH 及交換性鈣鎂含量已有明顯差異；在連續數年間以水稻連作區的 pH 及交換性鈣鎂含量最高，且保持穩定狀態沒有逐年升高或下降的趨勢；水旱田輪作不論一期水田二期旱作或一期旱作、二期水田則居中；旱作連作區者最低且呈逐年下降趨勢，且影響已達底土(圖 6)，此為肥料所導致之土壤酸化，而下降的速度如此之快則與原土壤為非石灰性致對 pH 的緩衝作用較小有關。又對水旱田輪作而言，旱作後的 pH 必較水田後的 pH 為低，旱作後再經種水稻，pH 又上升，但仍較水稻連作區為低，且隨時間呈下降趨勢，顯然水田作用是較能穩定土壤 pH 的最佳耕作方式。交換性鈣鎂含量的高低是與 pH 相一致，對於旱作連作區交換性鈣鎂含量明顯低於水稻連作區且呈逐年下降趨勢，此結果值得吾人注意。

至於土壤有機質含量的變化，比較本長期試驗田水稻一、二期作歷連年的溫度分佈情形，一期作是由低溫至高溫，二期作相反(圖 7)；但

比較歷年來一期與二期的平均溫度，則二期作略低(圖 8)，顯然此微小溫度差異亦影響有機質之分解，故歷年來二期作後之有機質含量略低於一期作者(圖 9)，。不同耕作制之間，不論水田連作或水旱田輪作(一期水田二期旱作或一期旱作、二期水田)，土壤有機質含量並無明顯差異，且年度間亦無增加或減少趨勢而呈一穩定狀態。但旱作連作區之有機質含量明顯比水稻連作或水旱田輪者為高，且呈逐年增加趨勢(圖 10)，這是因旱作連作區已不適作物生長，致雜草較多，生育中亦無培土等耕犁作業以加速有機質之分解，故有機質含量較高。雜草一般被認為較能維持土壤略高之有機質含量，應與其根系分佈有關。

## 作物殘株利用與 pH、有機質、交換性鈣鎂含量等土壤性質之關係

在一年二作制度及完全施用化學肥料情況下，就水稻而言，本長期試驗其稻草產量約 5 至 7 噸，若迴歸土壤，純以量計初始約增加土壤 0.2 至 0.28% 的有機質含量；此時無論每期作將稻草與犁入土中或拿走，土壤不論表底土有機質含量並無明顯差異，亦無差距逐年擴大的趨勢(圖 12)。這表示在固定的土壤環境及耕作條件下，土壤有機質的含量有一平衡點，人為的大幅改變不容易，施用有機質多，分解也多。台灣氣候溫度高，微生物活動旺盛，有機質分解快，故不論是加入大量作物生質量或有機肥料，要想提高土壤中有機質含量是很不容易的，除非每期作大量投入，這又是非常不合理且不符經濟效益，因還有其它土壤管理措施可提高土壤生產力。又有機質的加入，確可提高土壤水田狀態下的還原作用，而消耗氫離子，但並不會因此改變土壤 pH，因水田土壤中原有的有機質如根系等，一般即可充分提供碳源，進行水田的還原作用，故加入植株與否並不影響土壤 pH 的改變(圖 11)。

若將頃 5 噸稻草施入土中，根據稻草中各元素含量則可迴歸土壤中各元素估計量如表 7。顯然因稻草中磷含量很低，故不論將稻草桿移去、燒掉或增入土中、並不影響土壤中有效磷含量，且在每年施磷肥下，即使將稻草移走，土壤中磷含量亦不會逐年減少(圖 13)。但稻草中鉀含量高，可迴歸土壤中者自亦遠大於磷，故將稻草移除，則土壤中有效鉀



含量，明顯低於稻草掩入土壤中或燒成灰者，由於鉀在土壤易移動，故此種差異之影響可至底土，但即使每年移除稻草，土壤中有效鉀含量並未逐年減少(圖 14、15)，因每年仍有施鉀肥。

為防止台灣土壤之過度酸化，應儘可能採用包含水稻在內之輪作制度；多肥作物應避免氮肥之濫用；酸性過強土壤可適量施用石灰或爐渣，以利改良，並以有機物之供應配合之。

表 1.本省耕地（不包括山坡地）土壤 pH 的分布百分比

等級	pH	土壤樣本數	%
強酸性	<4.5	274	4.7
酸性	4.5-5.5	1914	33.4
微酸性	5.5-6.5	1367	23.9
中性	6.5-7.5	875	15.3
微鹼性	7.5-8.5	1262	22.0
鹼性]	>8.5	38	0.7

表 2.台灣耕地土壤有效磷含量及其分佈情形

有效磷含量-Bray P ppm	等級	所佔面積-%
0-4	極低	7
5-10	低	30
11-20	中	32
>20	高	31

表 3.台灣耕地土壤有效性鉀含量及其分佈情形

有效磷含量-Mehlich K ppm	等級	所佔面積-%
0-4	極低	7
5-10	低	30
11-20	中	32
>20	高	31

表 4.台灣水田土壤表、底土肥力狀況比較

pH	有機質 %	陽離子交 換能量 me/100g	交換及水溶性 鈣 鎂 鉀 me/100g			有效 性磷 pppm	游離鐵 %	易還原 性錳 ppm
表土 6.1	2.21	8.84	9.04	1.83	0.22	18.0	0.78	58
底土 6.7	1.27	8.24	10.96	2.24	0.14	5.0	1.08	110
底土/表土 1.1	57.5	93.2	93.20	122.4	64.00	27.8	138.5	190

表 5.可作為影響土壤生產力或作為土壤肥力指標之若干土壤特性

一、土壤之質地	粗質地,C (Coarse texture)
	中粗質地,MC (Moderately coarse texture)
	中質地,M (Medium texture)
	中細質地,MF (Moderately fine texture)
二、土壤酸鹼度	強酸性 (Strongly acid, <5.6)
	酸性 (Acid, 5.6-6.5)
	中性 (Neutral, 6.6-7.3)
	微鹼性 (Moderately alkaline, 7.4-8.0)
	鹼性 (Alkaline, >8.0)
三、土壤有機質 (g/kg)	極低,VL (Very low,<10g/kg)
	低,L (Low,10-20g/kg)
	中,M (Medium,20-30g/kg)
	高,H (High, >30g/kg)
四、土壤有效磷 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	極低,VL (Very low,0-23g/kg)
	低,L (Low,24-58g/kg)
	中,M (Medium,59-115g/kg)
	高,H (High, >115g/kg)
五、土壤有效鉀 (K <sub>2</sub> O)	極低,VL (Very low 0-45g/kg)
	低,L (low,46-105g/kg)
	中,M (Medium,106-240g/kg)
	高,H (High, >240g/kg)

表 6.台灣地區歷年肥料三要素估計用量

計算基準	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
耕地面積(農用化學肥料 民國 83 年)	301	85	120
稻作面積(稻作施肥量 民國 60-75 年)	152	38	59

表 7.稻草犁入土中各元素迴歸土壤之估計值(ton/ha)

N	P	k	Ca	Mg
30	3.5	76	10	7.5

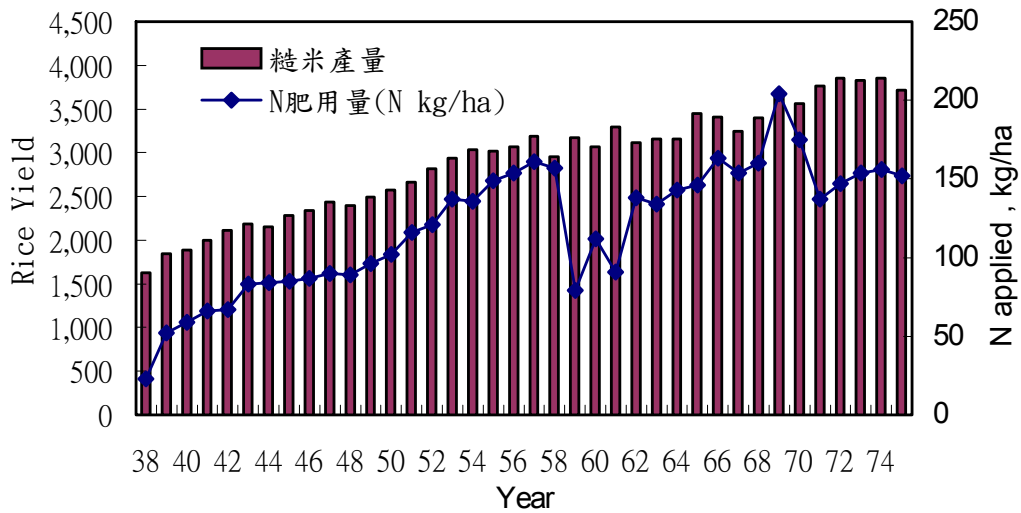


圖 1.台灣地區歷年來稻米產量與氮肥用量

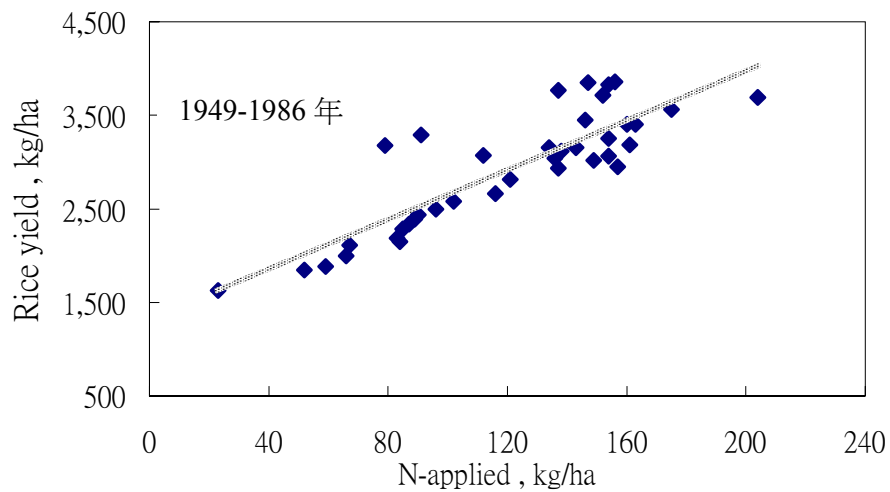


圖 2.台灣地區歷年來稻米產量與氮肥用量的關係

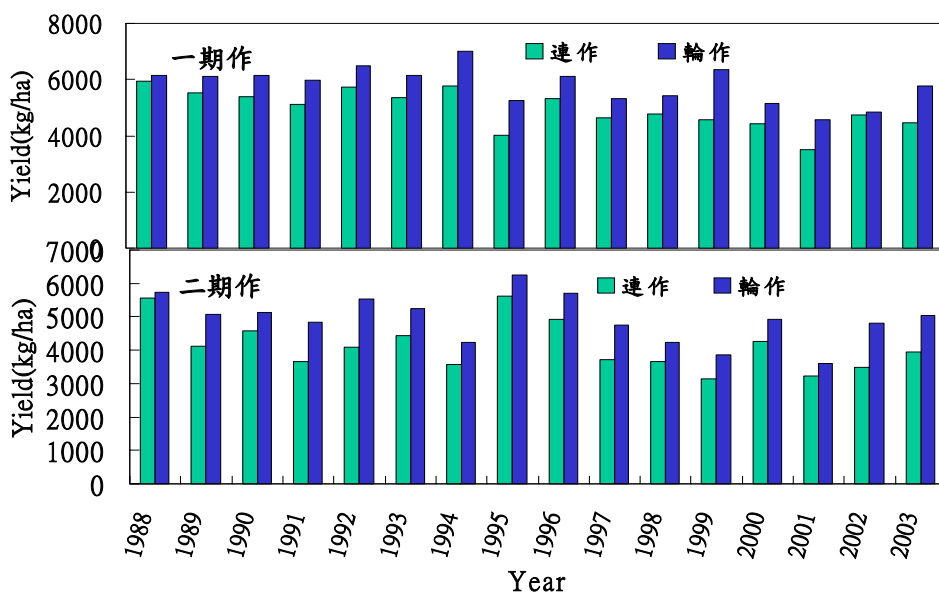


圖 3.長期連輪作對水稻產量的影響

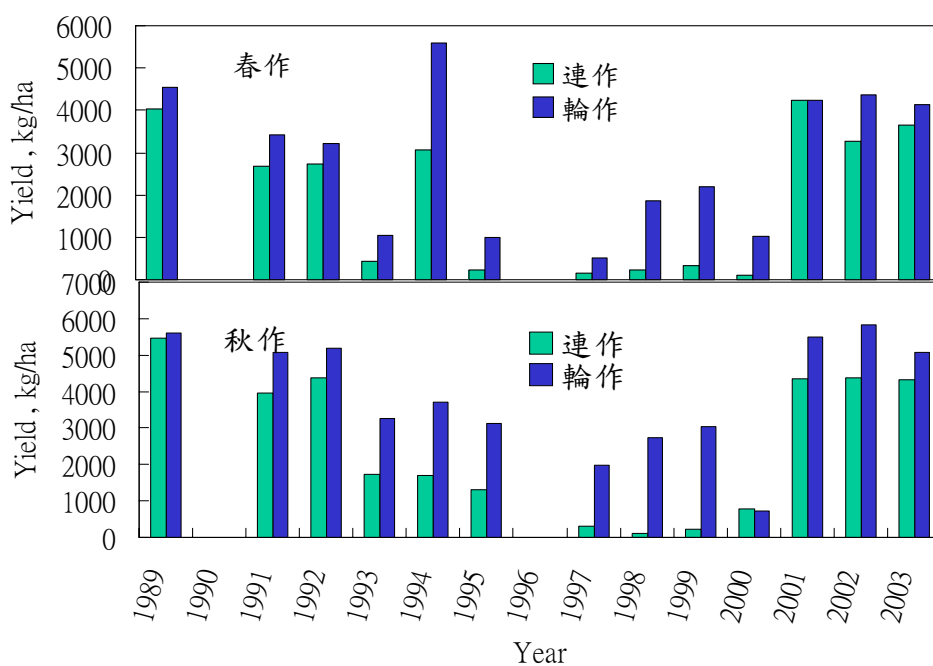


圖 4.長期連輪作對玉米產量的影響

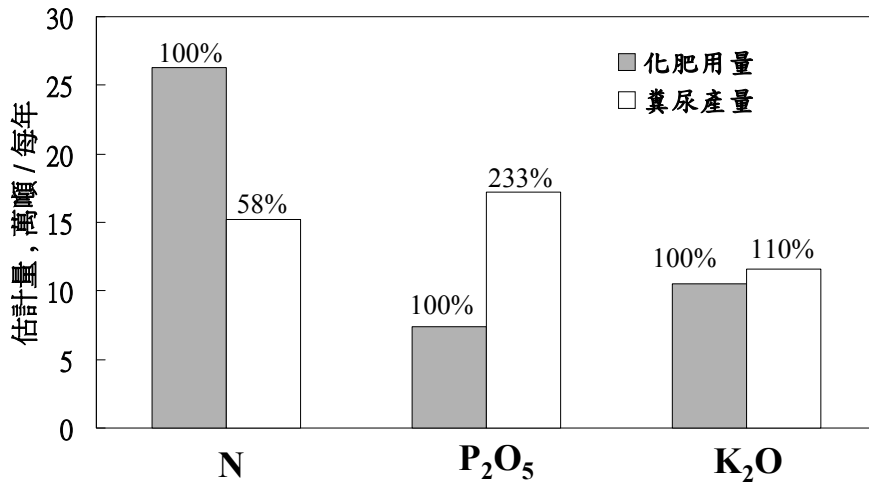


圖5. 台灣地區每年化學肥料使用量與禽畜糞尿排泄量之三要素概估計量比較

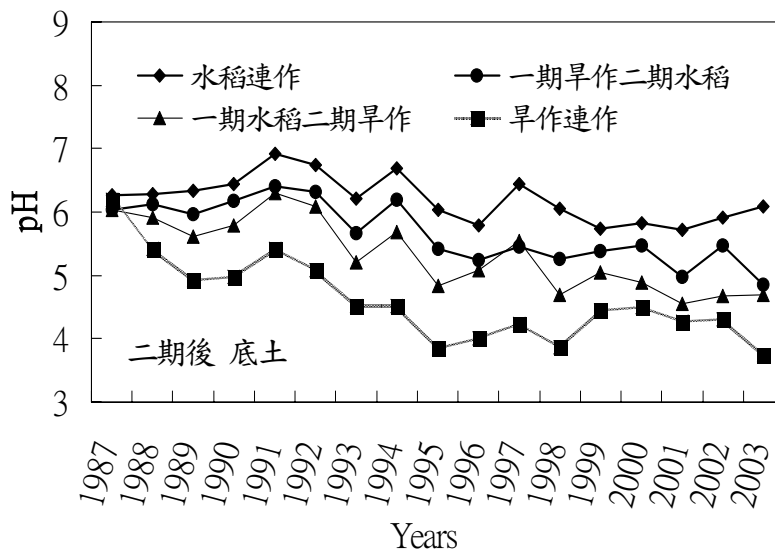


圖6. 長期不同耕作制度對土壤 pH 的影響

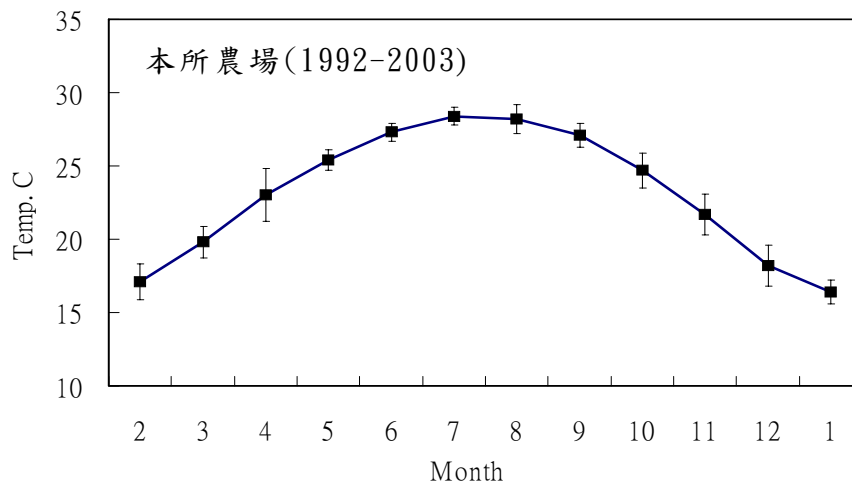


圖 7.水稻期作別之月平均溫度分佈

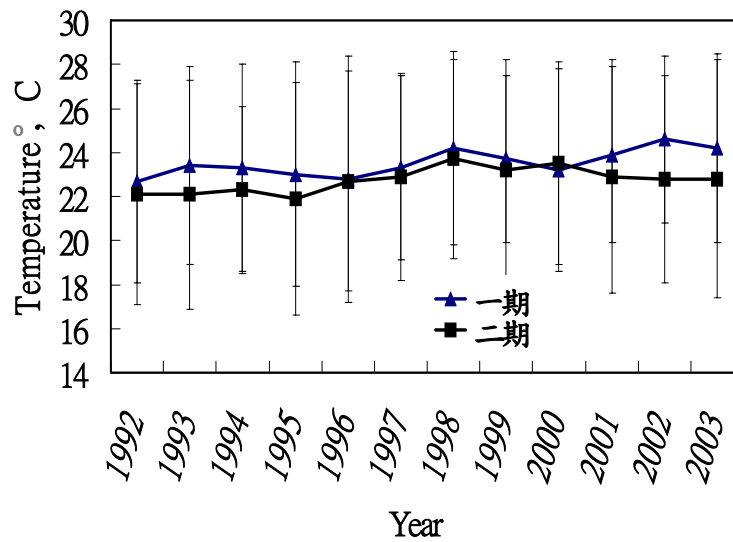


圖 8.水稻歷年來期作別之平均溫度分佈

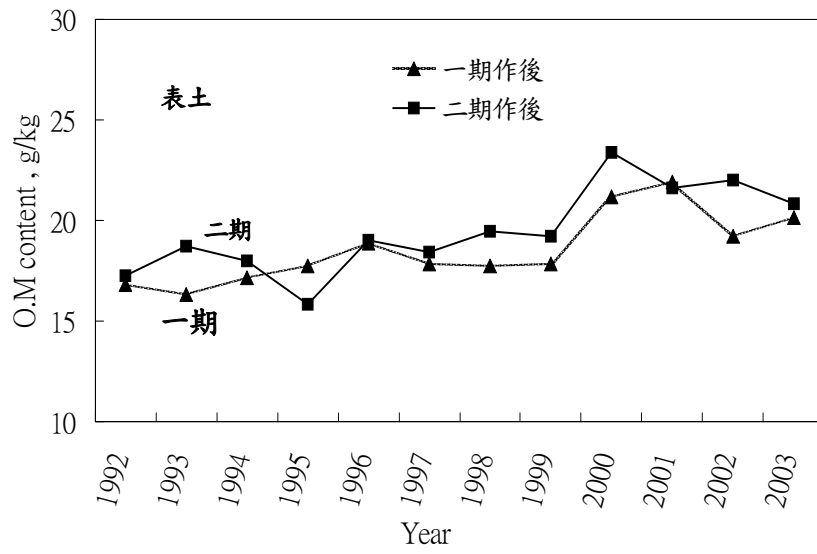


圖 9. 期作別土壤有機質含量差異

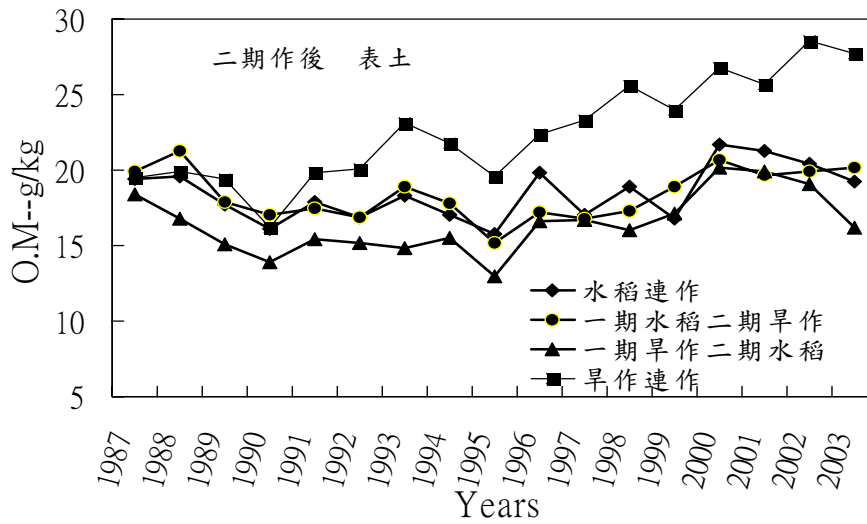


圖 10. 長期不同耕作制度對表土有機質含量的影響

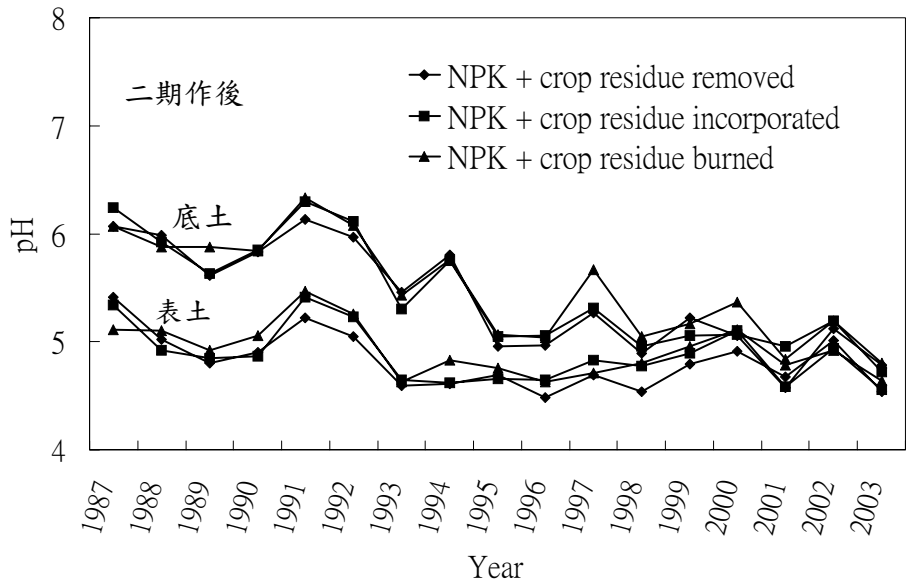


圖 11. 長期作物殘株處理方式對土壤 pH 的影響

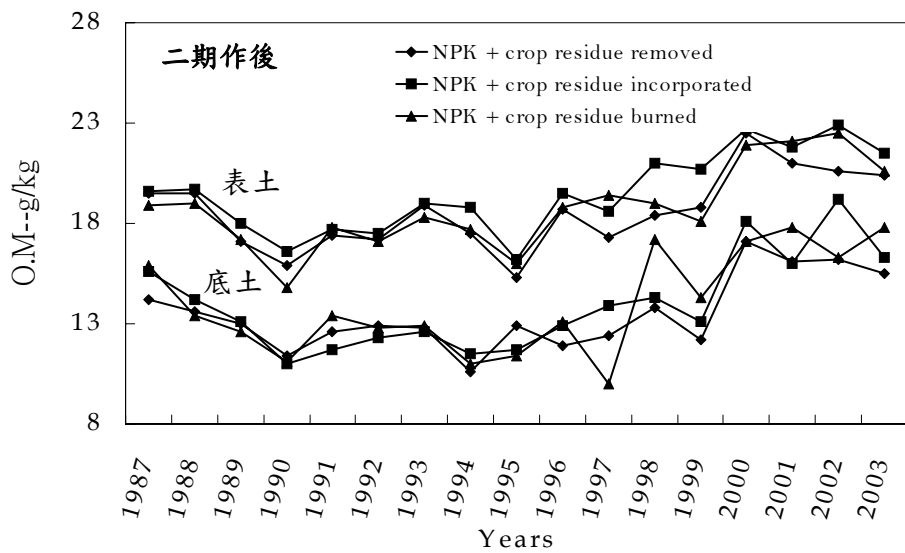


圖 12. 長期作物殘株處理方式對土壤有機質含量的影響



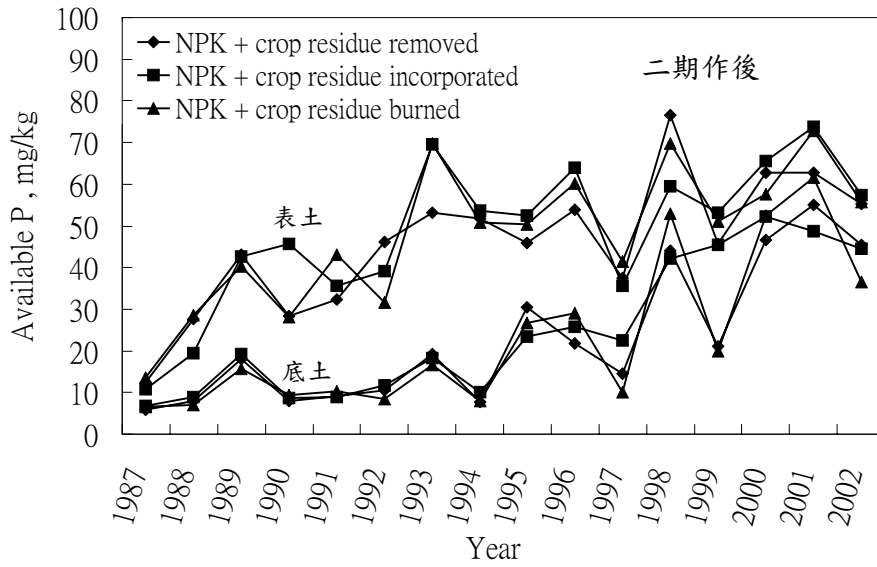


圖 13.長期作物殘株處理方式對土壤有效性磷含量的影響

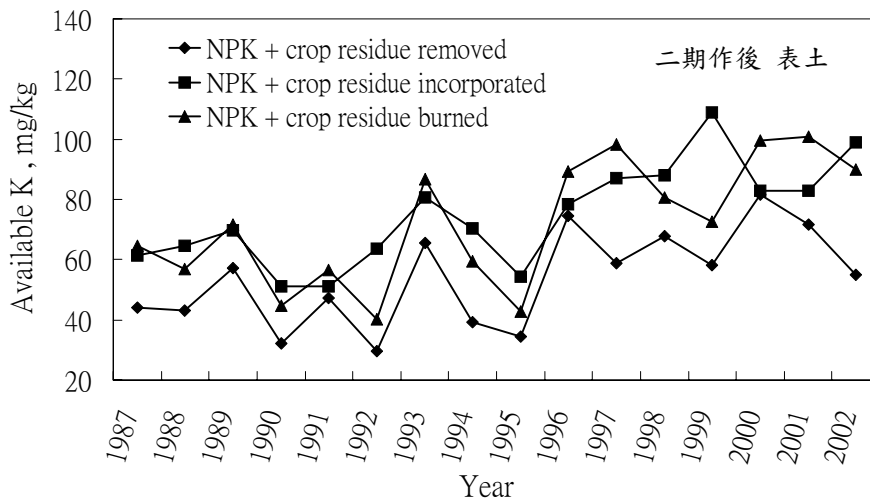


圖 14.長期作物殘株處理方式對表土有效性鉀含量的影響

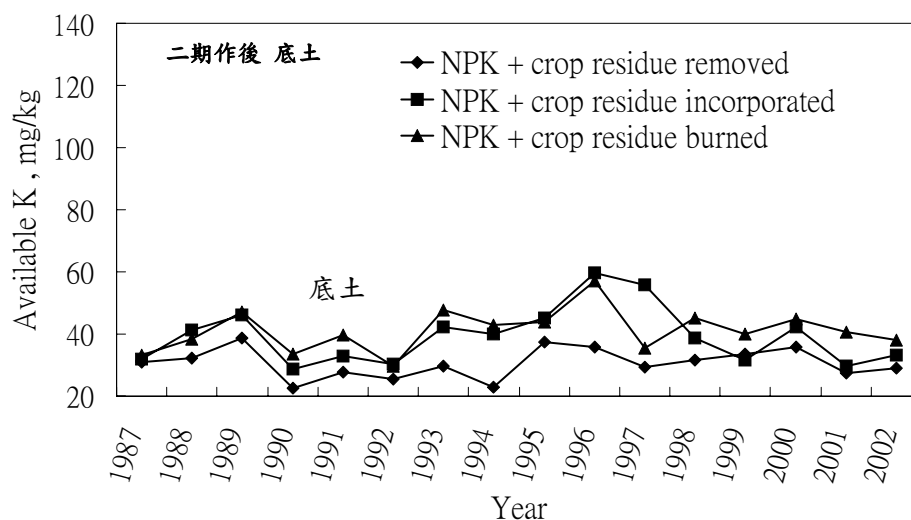


圖 15.長期作物殘株處理方式對底土有效性鉀含量的影響

## 引用文獻

- 1.林家茶、李子純、張愛華、陳卿英。1973。長期連用同樣肥料對於土壤化學性質與稻穀收量之影響。農業研究，22：241-292。
- 2.高銘木。1986。輪作系統中前後作順序對作物生育之影響。興農 215:89-93。
- 3.高銘木、王世中、劉文徽、李松伍、薛鎮江。1983。三十年來台糖自營農場連作蔗田生產力低減之理論與改進。台灣糖業研究所研究彙報 100:25-43。
- 4.高銘木、謝德上。1985。菌真菌與甘蔗生長關係之研究 I.真菌代謝毒質對甘蔗生長之抑制現象。台灣糖業研究所研彙報 108:11-24。
- 5.高銘木、謝德上。1988。甘蔗殘體對甘蔗根菌真菌及甘蔗生育之影響。台灣糖業研究所研究彙報 118:1-13。
- 6.張守敬、林家茶、步焱昇。1947。同種肥料連用對於水稻田產量及土壤理化性之影響。臺灣省農業試驗所彙報第三號。
- 7.Griffith, D.R., J.E. Kladvko, J.V. Mannering, and S.D. West .1988. Long-term tillage and rotaion effects on corn growth and yield on high and low organic poorly drained soils. Agron.J.80,599-605.

8. Havlin, J.L., D.E. Kissel, L.E. Maddus, M.M. Claassen, and J.H. Long. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 448-452.
9. Karlen, D.L., E.C. Berry, T.S. Colvin, and R.S. Kanwar. 1991. Twelve-year tillage and crop rotation effects on yields and soil chemical properties in northeast Iowa. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22, 1985-2003.
10. Karlen, D.L., G.E. Varvel, D.G. Bullock, and R.M. Cruse. 1994. Crop rotations for the 21st century. *Adv. Agron.* 53:1-45.
11. Karlen, D.L., W.R. Berti, P.G. Hunt, and T.A. Matheny. 1989. Soil-test values after eight years of tillage research on a Norfolk loamy sand. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20, 1413-1426.
12. Mallarino A.P. and M. Ul-Haq. 1997. Topsoil and subsoil potassium as affected by long-term potassium fertilization of corn-soybean rotations. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28:1537-1547.
13. Bauer A. and A.L. Black. 1981. Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 Years and in virgin grassland. *Soil Sci. Soc. Am J.* 45 : 1166-1170.
14. Bhat A.K., V. Beri. and B.S. Sidhu. 1991. Effect of long-term recycling of crop residues on soil productivity. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 39:380-382.
15. Jenkinson D.S. 1991. The Rothamsted long-term experiments: Are they still of use? *Agron. J.* 83:2-10.
16. Jolley von D. and W.H. Pierre. 1977. Soil acidigy from long-term use of nitrogen fertilizer and its relationship to recovery of the nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:369-37.
17. Matowo P.R., G.M. Pierzynski, D. Whitney, and R.E. Lamond. 1999. Soil chemical properties as influences by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. *Soil Till. Res.* 50:11-19.
18. McCoy D.A. and G.R. Webster. 1977. Acidification of a Luvisolic soil

- caused by low-rate, long-term application of fertilizer and its effects on growth of alfalfa. *Can. J. soil Sci.* 57:119-127.
- 19.Rasmussem P.E. and H.P. Collins. 1991. Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic mater in temperature semiarid regions. *Adv. Agron.* 45:93-134.
- 20.Riley H.C.F. 1998. Soil mineral-N and N-fertilizer requirements of spring cereals in two long-term tillage trials on loam soil in southeast Norway. *Soil Till. Res.* 48:265-274.
- 21.Schwab A.P., M.D. Ransom, and C.E. Owesby. 1986. Exchange properties of an Argiustoll: Effects of long-term ammonium nitrate fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1412-1417.
- 22.Schwab A.P., C.E. Owensby, and S. Kulyingyong. 1990. Changes in soil chemical properties due to 40 years of fertilization. *Soil Sci.* 149:35-43.
- 23.Unger P.W. 1968. Soil organic matter and nitrogen changes during 24 years of dryland wheat tillage and cropping practices. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32:427-429. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32:427-429.
- 24.Znang T.Q., and A.F. MacKenzie. 1997. Changes of soil phosphours fractions under long-term corn monoculture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:485-483.