

稻棉輪種對土壤肥力的影響* * *

李實燁 姚承禎 馮志高

(浙江省農業科學研究所)

合理輪作是農業上提高地力與穩定高額產量的一種基本措施。廣大農民在生產實踐中，對土地的合理輪墾、輪種，已累積了相當豐富的經驗；但是限於小農經濟制度，這些優良的輪種經驗不可能發展為整套的輪作制度。合作化以後，在大面積農業生產規劃中，要求建立整套的合理的輪作制度，因此研究輪作問題將在今後農業生產措施上佔着迫切需要的地位。

1955 年著者在浙江餘姚稻棉輪作區對稻棉輪種問題作了初步的調查與研究，通過這些工作，希望能為系統研究稻田輪作問題做一開端。由於這一工作只作了一年，僅就稻田輪種一年棉花之後對水稻土壤肥力及水稻生育所起的影響進行了研究。

一、工作經過

餘姚稻棉輪作區位於該縣北部太古塘內的濱海地帶。土壤母質為淺海沉積，質地輕鬆，一般為粉砂壤土至粉砂粘壤土，反應呈微酸性。作物以雙季間作稻及連作稻為主，間隔一年或二年輪種棉花一次。稻棉輪種的方式有以下四個類型：

(1) 二年一輪制：雙季稻→大小麥(春花)→棉花→黃花苜蓿(綠肥)。這一輪種類型所佔比例不大，除貼近太古塘地區採用較多外，一般用得不多。

(2) 三年二輪制：雙季稻→黃花苜蓿(綠肥)→雙季稻→大小麥(春花)→棉花→黃花苜蓿(綠肥)。

這一類型為當地輪種的主要方式，大部地區普遍採用。

(3) 五年三輪制：雙季稻→黃花苜蓿(綠肥)→雙季稻→大小麥(春花)→棉花→黃花苜蓿(綠肥)→雙季稻→大小麥(春花)棉花→黃花苜蓿(綠肥)。

這一類型有部分地區採用。

(4) 不定期輪種制：羣衆根據不同情況及需要進行逐年或隔年輪種棉花及水稻。

羣衆一致反映，稻田輪種棉花後，土壤肥力有顯著提高。為了要求明確稻田輪種棉

* 本文承程學達、俞震豫同志詳予修閱，謹致謝忱。

** 參加調查工作者尚有周介方同志；參加化驗工作者有于文濤、徐綺壹、王希雲、胡靜炎、劉敏才等同志。

花後土壤性質的變化以及稻棉輪種對水稻生育的影響，以便進一步探索輪種對於提高土壤肥力的原因，除進行輪種效果的普遍調查訪問以外，並在該縣黃湖鄉第五村，選擇了典型田，進行棉後種稻與連年種稻的對比試驗。

典型田的土壤為粉砂粘壤土，俗稱“白粉泥”，排水優良，肥力中等。全田面積 2.25 畝，其中 1.09 畝於 1954 年首次種植棉花 1955 年種植水稻，為輪種區；另一部分 1.16 畝連年種稻為連種區。冬作物為黃花苜蓿，並在區內設小溝為區界。

1955 年種植水稻（連作稻）的過程中，除連種區施肥量較高於輪種區外¹⁾（見表 1），其他田間管理技術是完全一致的。

表 1 輪種區與連種區水稻施肥量

區 別	肥 料 種 類 及 用 量		三 要 素 含 量*		
	早 稻	晚 稻	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
輪 種 區	黃花苜蓿鮮草 500 斤/畝 石膏 8 斤/畝(插秧時用)	水草 2,500 斤/畝 硫酸銨 10 斤/畝	13.10	3.45	12.75
連 種 區	黃花苜蓿鮮草 900 斤/畝 硫酸銨 6 斤/畝(6/16 追肥)	水草 2,500 斤/畝 羊廐 1,000 斤/畝	23.40	6.31	20.85

* 三要素含量按本所對一般肥料成分分析結果折算。羊廐含氮 0.83% 係實際分析結果，並以鮮樣為基數。

春耕前及早、晚稻收穫時，分次在兩區採集耕作層土樣，分析 pH 值、有機質、全量氮、代換性鹽基總量、速效銨態氮、硝態氮、磷等項目。

分析方法，pH 值乃以混合指示劑比色測定；有機質用 A. Walkley 法測定；全量氮用凱達爾法測定；代換性鹽基總量採用 Williams 法；速效銨態氮乃以 10% 氯化鈉溶液浸出後加入納氏試劑與標準液比色測定；硝態氮以水浸出後加入 α -氨基萘試劑與標準液比色測定；速效磷乃以 0.1 N 鹽酸浸出後用鉬藍法與標準液比色測定。

在水稻生育過程中，每隔 15 天左右分區採土樣一次，分析其中銨態氮含量，至晚稻收穫為止。此外每隔 7—10 天記載水稻株高及分蘖的變化情況。

二、研究結果

(一) 稻田輪種棉花後土壤化學性質的變化

1. 稻棉輪種區土壤有機質含量較水稻連種區有顯明減低的趨勢（見表 2）。稻田種植棉花過程中土壤有機質的減低是和稻田水分的狀況有關的。田間排水而種植旱作（棉花）時土壤通氣條件得到了改善，使土壤有機質的礦物化作用必然加速進行，因此土壤有機質含量減低較快。在水稻連種區由於長期積水，有機質的分解較慢，故積累較多。

1) 根據羣衆經驗，在肥力基礎接近的條件下，輪種田施肥量必須低於連種田，這樣才能防止水稻徒長倒伏，影響歉收。試驗設計主要按照羣衆習慣進行。

2. 輪種後土壤代換性鹽基總量及 pH 值則均較高。代換性鹽基總量增高的原因有以下二種可能：首先，由於栽培棉花期間，稻田土壤水分的移動，必然由以往的向下滲透為主的狀況轉變為不斷受到蒸發作用的影響，而由毛細管引力所促成的一種上升現象。這種現象繼續不斷的進行結果，土壤底層可溶性的鹽基離子¹⁾便能逐漸上升而積聚於耕作層因而使土壤中代換性鹽基總量有所增高；其次，根據前人研究結果，土壤在長期風乾狀態下，吸着性陽離子不易代換而釋放¹⁾，因而代換性鹽基總量有增高現象。稻田輪作旱作過程中土壤雖未完全風乾，但比灌水狀況下的土壤含水量顯然要低，因此就有可能使代換性鹽基總量增加。代換性鹽基總量增加，從而使 pH 值升高。

3. 輪種區土壤速效磷含量比連種區高。這可能由於輪種區在土壤有機質礦物化作用趨強的同時，土壤中磷的分解也隨着加強，使有效磷含量增加。另一種可能是因為土壤中有有效磷的含量，常與土壤反應有關，輪種區 pH 值高於連種區，其反應接近於土壤有效磷增加的反應範圍內²⁾，從而使磷的有效程度提高。

表 2 稻棉輪種區與水稻連種區土壤化學性質的比較

對比組	區 別	對比區面積(畝)	播種前田間作物	pH	有機質(%)	代換性鹽基總量(毫克當量/百克土)	速效養分(百萬分數)			備 註
							NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	
(1)	連種區	1.16	水稻	6.0	2.592	14.760	12.5	1.5	20	此二田原屬一丘，54年作田埂分開黃湖鄉五村鄒長根耕種
	輪種區	1.09	棉花	6.2	2.481	16.290	12.5	1.5	25	
(2)	連種區	2.43	水稻	6.0	3.493	17.643	31	3	17.5	此二田靠磷，原有肥力狀況相同黃湖鄉五村星火社三大隊三小隊耕種
	輪種區	2.90	棉花	6.5	2.993	19.252	12.5	2	22.75	

4. 輪種區的土壤在種植水稻的過程中，化學性質發生轉變。根據分析結果（見表 3），證明輪種過棉花的稻田土壤，在恢復水稻栽培後，其主要化學性質，又有恢復稻田原

表 3 輪種區與連種區栽培水稻過程中土壤化學性質的變化

分 次	pH		有機質(%)		全量氮(%)		代換性鹽基總量(毫克當量/百克土)		速效養分(百萬分數)					
									NH ₄ -N		NO ₃ -N		P	
	採樣日期	輪種區	連種區	輪種區	連種區	輪種區	連種區	輪種區	連種區	輪種區	連種區	輪種區	連種區	
春耕前	6.2	6.0	2.481	2.592	—	0.1787	16.290	14.760	12.5	12.5	1.5	1.5	25	20
早稻收穫	6.0	6.0	2.607	2.856	0.1708	0.1872	13.823	14.615	13.75	10	1.0	0.8	12.5	10
晚稻收穫	6.0	6.0	2.736	3.010	0.1761	0.1886	13.399	13.372	20	8.75	6.0	1.5	7.5	17.5

1) 棉稻輪作區底層土壤代換性鹽基總量顯然比表層高，我們分析方橋鄉萬石橋村，稻田土壤 0—20 厘米代換性鹽基總量為 10.995 毫克當量/百克土，20—70 厘米為 18.255 毫克當量/百克土，分析方法乃按照彼堅布爾斯基“農業化學分析法”進行。

有狀態的趨向,主要有下列三方面:第一,土壤有機質含量自春耕至水稻收穫有逐漸得到了增加的趨勢,此趨向與水稻連種區的趨向是一致的;第二,代換性鹽基總量及速效磷含量均逐步下降,亦與水稻連種區相一致;第三,土壤 pH 值亦稍有減低,而恢復到連作區的土壤反應狀況。

此外,輪種區在栽培水稻過程中,土壤中銨態氮含量始終高於連種區(見圖 1)。

由此亦可說明,稻田輪種棉花後,在一定程度上改變了土壤的化學性質和生物化學性質。

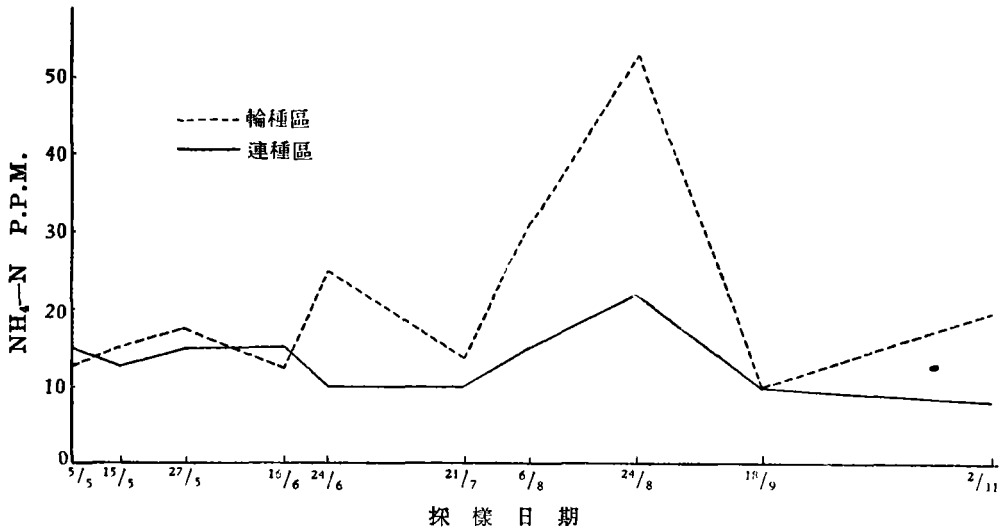


圖 1 輪種區與連種區栽培水稻過程中土壤銨態氮變化情況

(二) 稻棉輪種對水稻生育及產量上的影響

根據典型田的對比觀察,輪種區水稻生長勢較為旺盛,不論其分蘗與株高,均比連種區為優(見圖 2、3)。

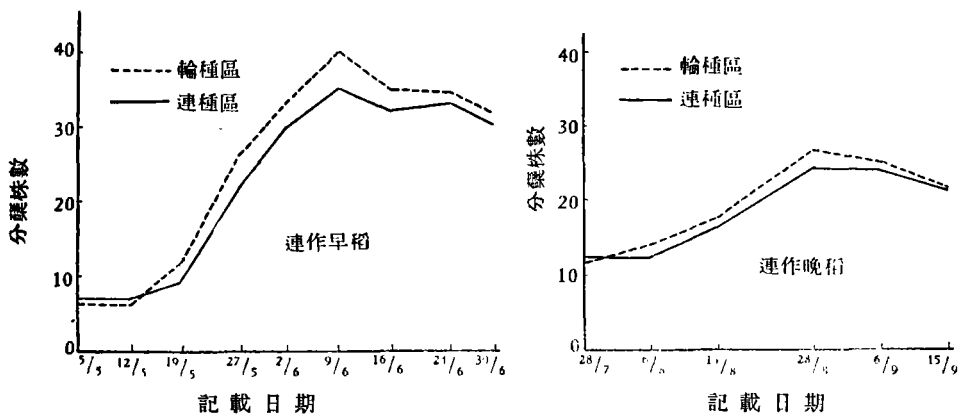


圖 2 輪種區與連種區早晚稻分蘗發育曲綫

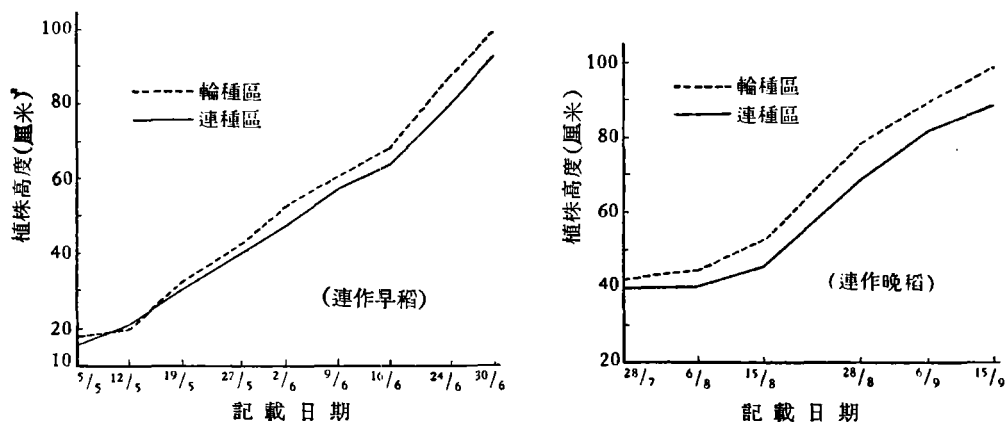


圖3 輪種區與連種區早晚稻株高發育曲線

其次,在產量方面,輪種區雖在施肥量上稍低於連種區,但不論早稻或晚稻的產量,均高於連種區,早稻高出 8.04% 晚稻高出 10.03% (見表 4)。這說明稻棉輪作可提高水稻產量。

表 4 輪種區與連種區水稻生育狀況及其產量

水稻	品種	處理	株高 (厘米)	有效藥	短穗數*	平均穗長 (厘米)	着粒數	秕穀率 (%)	千粒重 (克)	產量 (斤/畝)	%
早稻	羅江尖	輪種區	110.8	25.00	3.20	17.90	47.38	16.93	29.21	541.04	108.04
		連種區	105.8	23.03	3.53	17.73	46.89	18.32	28.60	499.31	100
晚稻	紅鬚粳	輪種區	116.7	16.93	3.00	19.86	64.50	12.40	27.60	466.30	110.03
		連種區	112.0	16.56	3.90	18.37	53.27	11.60	27.10	423.80	100

* 短穗指穗長在 14 厘米以下者

(三) 稻棉輪種對水稻施肥量的關係

稻田輪種棉花後,一方面能增加冬季綠肥的產量,另一方面由於土壤肥力提高,並可減少對水稻的施肥,而仍能保證水稻的增產。主要表現在以下二方面:

1. 稻田輪種棉花後,其冬作綠肥(黃花苜蓿)的生長普遍良好,鮮草量顯著的高於水

表 5 輪種區與連種區綠肥產量比較

社 名	地 點	輪種區面積 (畝)	黃花苜蓿 鮮草產量 (斤/畝)	連種區面積 (畝)	黃花苜蓿 鮮草產量 (斤/畝)	輪種稻田比連種 稻田綠肥增產 (%)
烏 山 一 社	餘姚烏山鄉	68.624	1387	72.111	731	89.83
方 橋 八 社	餘姚方橋鄉	31.677	1543	86.637	899	71.64
方 橋 一 社	餘姚方橋鄉	11.540	1867	42.36	1080	72.87
合計與平均數		111.831	1599	201.108	903.3	77.30

稻連種區。如烏山鄉第一社、方橋鄉第八社和第一社等三個合作社 111.8 畝輪種區的黃花苜蓿鮮草產量比連種區高出 71—89% (見表 5)。

2. 輪種棉花後的稻田,在輪種水稻時,其施肥量比水稻連種區少,但產量却比連種稻田高。根據我們調查前述三個農業生產合作社的材料,其輪種區的基肥(綠肥)用量,一般比連種區減低 37—46% (見表 6),而早稻產量則平均高出 9.83% (見表 7)。

表 6 輪種稻田與連種稻田綠肥用量比較

社 名	輪種區統計面積 (畝)	綠肥用量平均 (斤/畝)	連種區統計面積 (畝)	綠肥平均用量 (斤/畝)	輪種稻田綠 肥用基節省 (%)
烏 山 一 社	79.73	668	73.34	1255	46.78
方 橋 一 社	11.54	743	42.36	1350	44.96
黃 山 社	26.58	727	32.05	1162.5	37.50
合計及平均數	117.85	712.7	147.75	1255.3	43.08

表 7 輪種稻田與連種稻田早稻產量比較

社 名	輪種區統計面積 (畝)	水稻平均產量 (斤/畝)	連種區統計面積 (畝)	水稻平均產量 (斤/畝)	輪種區水稻增產 (%)
方 橋 社	11.54	556.0	42.36	485.0	14.64
黃 山 社	21.66	504.2	16.11	445.7	13.10
烏 山 一 社	21.23	533.4	18.55	524.2	1.76
合計及平均數	54.43	531.2	77.02	484.9	9.83

從以上大面積調查研究結果說明稻田輪種棉花後,不僅增產的綠肥鮮草可以刈出用入其他稻田為肥料,同時輪種田由於土壤肥力提高後,在去除增產綠肥鮮草的基礎上,還可減低施用量,這樣又能刈出部分綠肥鮮草用入其他稻田為肥料。這一現象充分證實農民所謂“輪種一畝,肥田三畝”的論點,完全有它實踐中的科學意義。

三、 討 論

關於稻棉輪種所以能提高土壤肥力增加水稻產量的原因,我們根據初步掌握的材料,作如下的分析:

(1) 一般稻田土壤經常處於積水狀態下,使土壤有機質的礦物化受到一定限制,因此土壤內的有機質較易積累。前述資料已指出:不論稻棉輪種田或連種田,在栽培水稻過程中,土壤有機質含量都有積累的趨向,可以說明這一點。同時我們分析了餘姚縣水稻連作區與稻棉輪作區大量土樣的有機質含量也看出連作區比輪作地區的土壤,含有更高的有機質(見表 8)。

表 8 餘姚縣稻棉輪作地區與水稻連作地區土壤有機質含量之比較

採 集 地 點	稻 棉 輪 作 地 區				水 稻 連 作 地 區			
	黃湖鄉	烏山鄉	冷江鄉	方橋鄉	南雷鄉	文亭鄉	五馬鄉	妙山鄉
土 樣 數	7	2	11	8	1	4	2	4
有機質平均含量 (%)	2.871	2.101	2.134	2.780	3.587	5.213	4.245	3.109
1954 年水稻平均產量 (斤/畝)	742	728	693	690	507	495	453	446

這些材料都能充分說明稻田的積水是土壤積累有機物質的有利條件之一。相反的，稻田土壤經過排水耕作，種植旱作如棉花，由於改變了土壤的水濕條件，能促進有機質的分解。

1954 年華東農業科學研究所調查江蘇太倉縣稻棉輪作區土壤有機質含量是順着連續栽培棉花年限的增長而逐漸遞減的^[3]也說明了這一點。然而稻田土壤有機質的大量積累不一定是提高肥力增加產量的指標，而祇有在有機質的積累與分解，處於適宜的協調的狀況下，方能發揮其肥力作用。從表 8 的產量統計數字中，也可看出水稻連作地區稻田土壤有機質含量雖高出輪作地區的稻田，但水稻產量反而較低。

根據以上推論，我們認為輪種所以能提高稻田土壤肥力、增加水稻產量的原因，首先可以解釋為稻田土壤的通氣與壓氣環境，得到了周期性的互換過程，使土壤有機質的腐植化與礦物化作用相互消長的關係，得到了適當的調節。

(2) 棉稻輪種影響土壤肥力的另一個原因，可能與輪種後土壤中代換性鹽基總量得到了增加的情況有關。土壤代換性鹽基總量的多少支配着土壤的鹽基飽和度與土壤緩衝容量，同時亦直接影響土壤微生物分解有機質的能力^[4]。土壤代換性鹽基總量較高，是有利於土壤微生物的活動，因此土壤有機物的分解作用亦能相對地增強，這對水稻生育能產生良好影響。這裏亦說明了輪種田土壤在水稻生育過程中含有較豐富的銨態氮素的原因。銨態氮含量之增加，除與土壤通氣條件一度有所改變的情況有關以外，也和土壤代換性鹽基總量的提高有關。

(3) 輪種稻田速效磷含量有所提高的現象，是否在一定程度上滿足了水稻磷素營養的需要，因而成爲土壤肥力得到改善的另一原因，當然還需要通過進一步研究。但由於磷素在水田中被固定的原因較複雜，所以一般土壤的速效磷含量可能經常不會滿足水稻生育的需要。輪種既然能够改變土壤中磷素的有效程度，這就有可能是提高稻田土壤肥力的增加產量原因之一。此外，輪種田綠肥生長較好與土壤中存在着較多的速效磷不無關係。因此棉稻輪作提高了土壤速效磷可直接和間接地提高土壤肥力。

(4) 稻田輪種棉花，土壤通氣條件得到改善，對水稻前作綠肥的生長肯定是有利

的。從輪作稻田綠肥鮮草產量的提高(見表5),以及綠肥根系及根瘤在土壤中分佈情況的擴張^[6](連作稻田黃花苜蓿的根系比較不發達,根瘤一般集中分佈在自地面向下3厘米的土層以內,前作為棉花的根系比較發達,根瘤分佈範圍擴張達10厘米),都可以充分說明正因為輪作田綠肥生長較好,土壤肥力也象徵的得到了提高。

根據上面的討論,我們以為稻田土壤肥力,必須在發展土壤有機質的積累與分解的消長過程中獲得提高。而促進這一發展過程的各種適當的措施,都是農業技術上的重要問題。如果在耕作培肥方面,我們祇抱着增加土壤有機物質含量的單純觀點,那就是片面的,不完整的觀點。餘姚縣稻棉輪作區土壤有機質的平均含量,比水稻連作區低得多,然而水稻平均產量,却比連作區高,這一事實就可以證明上述觀點。土壤有機質累積與分解的消長過程是增加土壤中新生的活性的腐殖質^[5]與礦物養分的重要途徑。這是決定土壤肥力的一個重要的指標,它在生產實踐上具有重要意義。

其次就浙江省而言,除稻棉輪作制外,尚有水稻——番茄,水稻——甘蔗和水稻——菸草等各種水旱輪作制度,它們在生產實踐上,均證明有提高土壤肥力的意義。因此稻田輪作旱作物,在一定程度上能提高和發展稻田土壤的肥力,這是值得我們重視和研究的問題。

四、摘 要

(1) 稻田輪種棉花期間,土壤有機質含量有減低的趨勢,但土壤代換性鹽基總量及速效磷的含量均增高。輪種水稻期間,土壤有機質又有增加的趨向,而代換性鹽基總量及速效磷則漸次減低。此外,土壤中銨態氮則有增多的趨勢。

(2) 稻棉輪種能增強水稻的生長勢,提高水稻的產量。根據對比試驗及統計資料,一般比連種區增產9%左右。

(3) 稻田輪種棉花後,冬作綠肥生長良好,鮮草產量比一般連種稻田增加70%以上。

(4) 在保證增產的前提下,輪種區的水稻基肥用量,一般可比連作稻區節省40%左右,而輪種區的綠肥產量又能增加,因此可自輪種田內劃出60%的綠肥鮮草,作為其他稻田的基肥,而達到全面增產的目的,這在目前肥料普遍不足的情況下有其重要意義。

參 考 文 獻

- [1] 青峯重範, 1949. “暗渠排水と乾土效果” 11 頁。
- [2] 孫鏡, 1955. 浙江農學院農業化學講義第 123 頁。
- [3] 華東農業科學研究所等編, 1955. “江蘇太倉棉稻輪作地區稻後植棉低產問題調查”, 華東農業科學通報, 1955, 11 期。
- [4] 費多羅夫(М. В. Федоров), 1956. “土壤微生物學” 下冊, 99—101 頁(尹崇仁譯)。
- [5] 陳華癸, 1955. “水稻土特性的發展和水稻田的綠肥耕作制”, 土壤學報, 三卷二期, 101 頁。
- [6] 浙江省農業科學研究所, 1955 年餘姚縣黃花苜蓿調查報告(未刊稿)。

EFFECT OF RICE-COTTON ROTATION ON THE FERTILITY OF PADDY SOILS

(Abstract)

S. Y. LEE, Z. C. YAO and T. K. VONG

(Institute of Agriculture, Chekiang Province)

The scientific application of an ideal rotation system on paddy fields, has now been considered as a very important problem for ensuring higher grain yields and promoting soil fertility. As the commencing work on rotation researches, authors had selected to study the Rice-Cotton rotation system in Yuyao, Chekiang Province. A series of investigations and experiments were conducted in the year of 1955, in order to realize the variations of soil chemical properties and rice growth on those rotated paddy fields. The results obtained are summerized as follows:

(1) During the period of Cotton rotation in paddy fields, the organic contents in the soil tend to decrease, while the total exchangeable bases and available phosphorus show an apparant increase. By cultivating rice in such fields, a reversible tendency appears, namely manifesting an increase of soil organic matter content and a decrease of both total exchangeable bases and available phosphorus contents. Besides, the formation of more ammonical nitrogen is found in the later case.

(2) The Rice-Cotton rotation will assuredly increase the rate of rice growth as well as the yields of grains. Comparing with the unrotated plot, paddy fields so rotated show an average increase of 9% in grain yeilds, as confirmed by field experiments.

(3) In those rotated paddy fields, winter crop-green manure (*Medicago denticulata* wild) grew vigorously and showed an increase of 70% in yields (based on fresh weight) as compared with unrotated paddy fields.

(4) Rice-Cotton rotation may adjust the rate of the alternation of accumulating and decomposing of soil organic matter, which we know will markedly promote soil fertility in paddy fields. Therefore, to save the application of manure and solve the shortage of fertilizers in grain production, the use of Rice-Cotton rotation system in certain district, is of paramount importance at present time.