

## 有機農業系統的營養循環

鄭 双 福

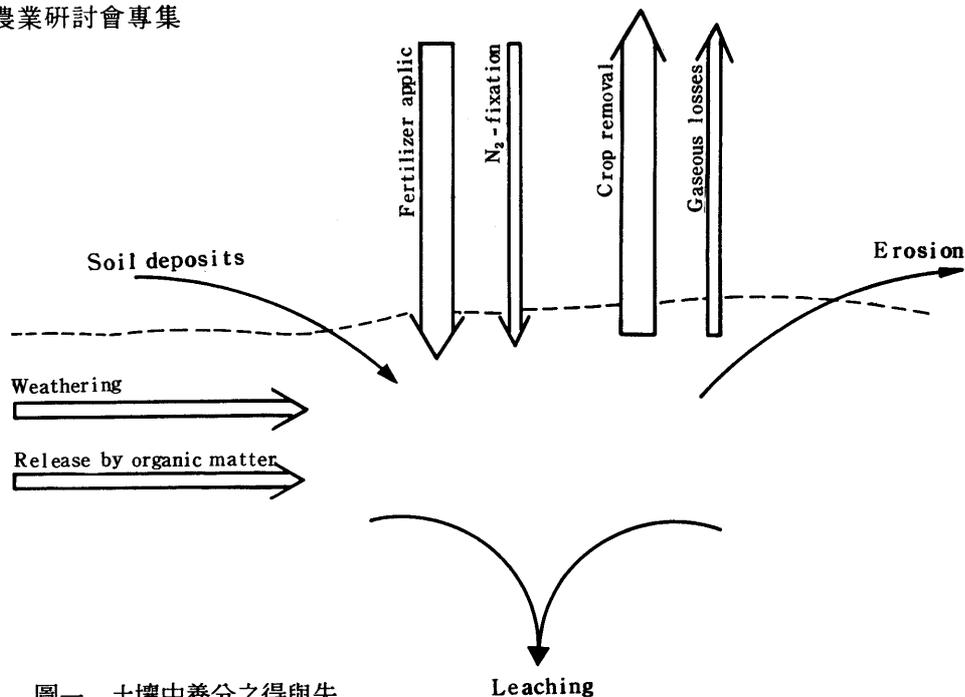
國立屏東農專農化科

### 摘 要

有機農業系統的養分循環，主要包括三種方式：1)施用來自系統外的營養資材如都市廢棄物及天然礦物，使其所含養分在系統內進行循環；2)系統內營養物質之循環利用，即作物做為飼料或作物殘株做堆肥，再將厩肥與堆肥回歸土壤；及3)經由適當的土壤管理促使土壤母質風化及難溶性養分之溶解釋放而加入循環。妥切利用養分循環方法，可使農場達成養分自給自足。

### 前 言

隨著人口之快速增加，近半世紀以來，各國農業均逐漸放棄老式之生產方式，而代之以所謂的化學式農業(chemical or conventional farming)，以冀求單位面積之增產，以滿足大量糧食的需求。這種工業化農耕制度的特色是：農場面積擴大、機械化、集約化以及專業化<sup>(1,2)</sup>。但由於大量化學肥料及農藥的施用，而忽略了基本土壤保育工作，卻導致土壤有機質含量降低、理化性變差、表土沖蝕、養分流失、土壤生產力衰退等諸多缺失。化學農業的生產方式下，土壤生產力能否持久不變，實令人疑慮。於是有機農業制度(organic farming system)，再度受到各國的重視，而加以重新探討、研究與推展。實際上，有機農耕法，自有人類就有這種方法，但隨著社會的變遷，經濟的發展，智慧的累積及科技的進步，其生產方式也不斷在改進，且有了不同的詮釋，因此它並不是一種復古的農耕制度<sup>(3)</sup>。有機農業是無機或化學農業的相對名詞，USDA Study Team on Organic Farming 的報告<sup>(4)</sup>。對有機農業做如下的界說與定義：“Organic farming is a production system which avoids or largely excludes the use of synthetically compounded fertilizers, pesticides, growth regulators, and livestock feed additives. To the maximum extent feasible, organic farming systems rely upon crop rotations, crop residues, animal manures, legumes, green manures, off-farm organic wastes, mechanical cultivation, mineral-bearing rocks, and aspects of biological pest control to maintain soil productivity and tilth, to supply plant nutrients, and to control insects, weeds, and other pests.” 有機農業強調土壤是一有機體<sup>(5)</sup>，對土壤的管理應以生物的機制取代化學的或物理的參與，且重視生態系的穩定與平衡<sup>(3)</sup>。因此有機農業制度實際上就是生物的農業制度(biological farming system)，這種制度鼓勵利用輪作，施用有機肥料或有機資材再循環利用，以活化或回復土壤生機，促進養分循環利用，並加上適當的耕犁與沖蝕控制，減少養分下移及流失，來保持土壤肥力，維護土壤的永恆生產力。



圖一 土壤中養分之得與失

Fig.1. Nutrient gains and losses in soils (Mengel and Kirkby, 1982)

### 養分循環

土壤中養分的收支平衡關係如圖一所示<sup>(6)</sup>，土壤養分的獲得主要來自土壤礦物的風化溶出與有機質的礦質化釋放，有機與化學肥料的施用，以及經由空氣、灌溉水與雨水的加入。養分的移出則主要是由於作物的攝取，滲漏淋失、氣化、脫氮以及地表逕流與表土沖蝕等。充分認識土壤養分得失與循環關係，而採取適當的土壤管理方法，可促使天然養分供給量的增加，且減少土壤養分的損失與人工施肥量。

有機農業基本上避免使用化學肥料來平衡或補充土壤養分的損失。因為化學肥料逐年增施的結果，不但提高生產成本，且破壞土壤生態平衡與污染地下水<sup>(7)</sup>。有機農耕法其土壤養分的獲得，肥力的維持或增進，主要是依靠生物固氮，各種有機資材的循環利用，天然礦物的施用，並經由適當的土壤管理的方法，促進有機質之礦化，難溶性養分的溶解與礦物的風化釋放來達成。對有機農業來講，施肥的著眼點是「肥田」或「養田」，而不是單純供給植物養分。因此“Feed the soil, not the plant”<sup>(7)</sup>是引導有機農業，發展營養管理原則的基本哲學。有肥沃而健康的土壤，才有量豐質富的作物。在這種觀念的引導下，有機農業特別重視有機質之養分循環利用與其對土壤物理、化學及生物性質之改善效果，其本做法是利用適當的土壤管理，促進作物殘株、綠肥、厩肥等有機營養資材，儘速分解礦化使各種養分進入土壤生質(soil mass)，然後再循環進入土壤溶液，供植物吸收利用。換言之，各種養分元素在被植物吸收之前，均經由一或多次有機相(organic phase)之循環。這與化學農業直接施化學肥料溶入土壤溶液，在速率上與時間上，儘速滿足植物養分需求的做法，顯然不同。

Harwood<sup>(8)</sup>認為一般有機農業經營者，採取三種養分循環方式來維持土壤肥力，使養分達到自給自足：

- (I) the cycling of nutrients from sources outside the farm to its fields.
- (II) the on-farm nutrient flow from crops to animals or from crops to compost and back to the fields.
- (III) nutrient flows within a field over time.

除非土壤養分每年被大量移出，或土壤天生特別貧瘠，或土壤需大規模進行改良，或有機肥料價廉且容易取得，有機農業者較少採用第一種方式，亦即較少利用來自農場以外的有機或無機營養資材。而特別注重自己農場內營養資源的循環利用，以及經由適當土壤管理，提高土壤微生物活性，整形化合及有機酸的釋出，來促進土壤礦物風化，有機物無機化及難溶性養分有效化，而達到養分自給自足。

各種有機物在有機農場的循環利用方式，保田茂<sup>(9)</sup>列舉了三種方式：

- (一)農場內的循環，包括(i)同一耕地內的循環，如稻草回歸土壤，輪作、裡作與間作的利用，(ii)不同地目間的循環，如水田與旱田輪換，農牧間作物供做飼料，再將厩肥回歸農田等，及(iii)農家生活內循環，如家庭垃圾及糞尿的利用。
- (二)同一地域內的循環，包括(i)不同農地與地目間循環，如山草、野草的利用，牧草與休耕的輪作，森林與樹木的利用，(ii)不同農家間的循環，如厩肥與稻草交換等。
- (三)不同地域間的循環，包括(i)農業地域間循環，如農產與畜產部門間有機物交換利用，(ii)農業與工業間的循環，如有機廢棄物的堆肥化，鋸木屑與樹皮的利用，及(iii)農村與都市間的循環，如家庭產生的垃圾與都市廢棄物的堆肥化後的利用。

由於各種有機物質之循環利用，使得被作物攝取之養分得以重回土壤，而且有機質增加土壤之滲透容量、水分保持力、水分含量、通氣性、團粒、作物根群發育，且減低土表結皮、總體密度、表面逕流及沖蝕<sup>(10)</sup>。這些物理性質之改善，因而防止養分因表土沖失、逕流及淋洗之損失。

氮素是作物最重要且需求量最多的養分。有機農業平衡土壤氮素的方法除了上述各種有機資材之利用外，則特別重視生物固氮及豆科與非豆科作物之輪作。豆科作物實際固氮量則因作物、生長期及環境等因子而異<sup>(11)</sup>，美國密尼蘇達州大豆固氮量因地區及土壤含NO<sub>3</sub>-N量而不同，每年每公頃約可固氮達90~140公斤，而苜蓿則達190公斤左右。豆科作物收穫物處理情形，也影響供氮量，如只有莖葉根等歸還土壤，氮素平衡呈赤字<sup>(11)</sup>。苜蓿每次收割如均當做飼料，不但土壤氮素增加有限，且會造成土壤磷鉀之缺乏<sup>(12)</sup>。採取適當的輪作制度，是有機農耕法用以控制病蟲害與雜草，改善土壤性質，及供應土壤氮素的重要方法，輪作非豆科作物，同樣可獲得如輪作豆科作物的效益，美國密尼蘇達州六年的玉米試驗顯示小麥之後種植玉米，收穫量一如其種植於大豆或小麥混植苜蓿之後，玉米連作，每公頃收穫6.85噸需施氮肥135公斤/公頃，而大豆或小麥之後種植玉米，同樣的收穫量則不需氮肥<sup>(13)</sup>。美國Iowa州1971-1981年的玉米輪作試驗，同樣指出牧草豆科作物之後氮肥對玉米產量幾乎無效應<sup>(12)</sup>。豆科與非豆科作物間作，非豆科作物可由豆科作物獲得氮素，Agboola及Fayemi<sup>(14)</sup>的試驗結果則指出玉米與mungbean間作，玉米可由mungbean獲得相當於45kgN/ha，生物固氮量在有機農業耕作法下比化學農業要多，因施用化學氮肥會減少氮素固定量<sup>(7,15)</sup>。因此經由豆科作物固氮，適當的作物輪作，有機廢棄物循環的利用，以及有效的沖蝕控制，有機農業制度顯然能保持土壤氮素平衡，甚至增加土壤氮素含量。

有機農業依二種方法來供給作物所需的磷與鉀<sup>(4)</sup>，第一種方法稱為deficit approach，即作物所需的磷鉀，由土壤礦物風化與難溶性磷鉀轉化為有效性而來，所能供應的量，視土壤原有磷鉀含量，水分狀況、溫度、土壤化學與生物諸性質，以及土壤管理方法來決定。第二種方法稱為importation approach，這種方法適用於天生含磷鉀量特別低的土壤，以及固定磷的能力特別強的土壤。這類土壤通常需施用大量難溶性天然礦物，如磷礦石及海綠石(glaucinite)，或施用來自農場以外的有機資材，以維持或增進土壤磷鉀量，有機物的利用，同時可增加土壤有機質及微生物活性，且因而加速礦物性養分的釋放。

表一 有機管理與傳統管理農田若干土壤成分比較

Table 1. Soil measurements on matched organically managed and conventionally managed fields (Lockeretz *et al.* 1980)<sup>1)</sup>

Soil property	Organic		Conventional		Differ- ence	P
	Mean	Range	Mean	Range		
Organic C(%)	2.35	0.97 to 4.41	2.21	0.76 to 6.30	0.14	95%
Total N(%)	0.233	0.109 to 0.422	0.221	0.080 to 0.588	0.012	90%
C/N	10.25	8.45 to 12.37	10.28	8.41 to 11.73	-0.03	NS <sup>1)</sup>
Available P						
P1(mg/kg)	25.2	5.9 to 72.1	33.8	2.2 to 121.0	-8.6	90%
P2(mg/kg)	69.8	12.7 to 185.4	69.7	16.2 to 195.0	0.2	NS <sup>2)</sup>
Exchangeable K (mg/kg)	137.0	21.9 to 436.6	148.2	58.3 to 322.8	-11.2	NS <sup>2)</sup>
Cation exchange capacity(meq/100g)	27.8	9.9 to 45.1	27.2	10.7 to 49.2	0.6	NS <sup>2)</sup>
pH	6.50	5.77 to 7.90	6.38	5.33 to 7.95	0.12	NS <sup>2)</sup>

1)The measurements were conducted on 30 pairs of fields, except in the case of organic carbon which was measured on 35 pairs.

2)NS, not significant at 90% level.

Lockeretz等<sup>(16)</sup>分析平均經七年有機管理的土壤成分，而與無機管理的土壤做比較，由表一的結果可知，有機管理下的土壤，其有機碳及全氮略有增加，磷則增減互見，交換性鉀的差異則未達顯著水準。雖然缺乏長期有機管理下土壤各種成分的變化資料，但由表一的粗略養分收支關係，Lockeretz等認為土壤磷鉀，在有機農耕制度下，終將缺乏。但Papendick與Elliott<sup>(7)</sup>以美國華盛頓州施行「休耕—小麥—豌豆—綠肥—小麥—豌豆」輪作之有機農田為例，計算小麥每年只移出8.8kgP/ha，但180cm土層（亦即小麥根能深入的土層深度）中含總磷量則達13t/ha，如無土壤沖蝕情形發生，這個數量應可供給小麥磷需要量達1450年之久，如將農場之厩肥回歸土壤，磷從土壤被移出的量更少，則土壤磷充足供應作物所需的時間將更長。這也就是Harwood<sup>(8)</sup>所說：“an efficient within-field nutrient flow system is crucial to organic agriculture”，而認為實行有機栽培系統的農場，能使土壤、底土及岩石釋放足夠的養分達到自給自足的程度。

### 耕犁與養分循環

土壤中的養分除了被作物攝取而被移出外，表土沖蝕、逕流與淋洗也是養分損失的途徑。大部分歐美有機農業者，使用鑿犁(chisel plow)或圓盤犁(disk plow)淺耕土壤約6-10公分深，而避免使用板犁(moldboard plow)進行深耕<sup>(7)</sup>。淺耕的好處是可將作物殘株、堆肥、厩肥或其他有機廢棄物與表土充分混合而聚積於表土層，因而有助於改善土壤的滲透作用，減少表土的結皮，進而減少逕流，防止沖蝕與養分向下移動或淋失。同時由於促進有機質分解的好氣性微生物及昆蟲，均集中分佈於表土

層約10公分處。淺耕實有助於有機質礦質化作用，而加速養分之釋放。

淺耕而儘速讓有機質分解成爲土壤微生物及昆蟲生質，再配合種植覆蓋作物及輪栽深淺根作物，是有機農業用以使養分由土壤深層向上移動，而聚積於土壤表層處的方法<sup>(7,8)</sup>。這種管理方法，可減少養分流失及地下水之被污染。目前已有些短期試驗，證實採取有機耕種法之土壤，其表層磷鉀分佈量與耕犁深度有成反比之關係<sup>(7,17)</sup>。

## 結 語

肥沃的土壤是農業生產的根本，化學式的農耕法，土壤肥力逐漸衰退，且造成環境污染，破壞農業生態平衡。相反的，有機農業卻是一種持久性、永續性的耕種制度，而特別強調保持土壤肥力，對維護土壤永恆生產力的重要性。因此「肥田」或「養土」，是引導有機農業發展營養管理的重要觀念。

有機農業基本上避免施用化學肥料，土壤肥力的維持藉諸適當的輪作制度，以及作物殘株的回歸土壤，堆肥、厩肥、綠肥、都市與工業有機廢棄物的施用，加上適當的耕犁與沖蝕控制來達成。

淺耕使有機物充分與表土混合，一方面改善土壤物理性，因而減少表面逕流與表土沖蝕，另一方面因活化土壤微生物群，而促進有機物分解與養分釋放。淺耕配合覆蓋作物栽培與深淺根作物輪栽，可使深層養分上移而聚積表土層，此舉有助於減少養分之流失及地下水之遭受污染。

## 參考文獻

1. Youngberg, I.G. and F.H. Buttel. 1984. Public policy and sociopolitical factors affecting the future of sustainable farming systems. In D.F. Bezdicsek (ed.) organic farming current technology and its role in a sustainable agriculture. Am. Soc. of Agron., Crop Sci. Soc. of Am. and Soil Sci. Soc. of Am. Spec. Pub. No. 46, Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.
2. Vogtman, H. 1984. Organic farming practices and research in Europe. In ASA Spec. Pub. No. 46, Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.
3. Bezdicsek, D. F. and J. F. Power. 1984. Preface. In ASA Spec. Pub. No. 46, Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.
4. U.S. Department of Agriculture. 1980. Report and recommendations on organic farming. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
5. 雷通明 1987 美國農業的危機與轉機(上,下), 農業周刊:第13卷第21,22期。
6. Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition, Chapter 6, Fertilizer Application, Int. Potash Inst, P. O. Box, CH-3048 Warblaufen-Bern/Switzerland.
7. Papendick, R. I. and L. F. Elliotte. 1984. Tillage and cropping systems for erosion control and efficient nutrient utilization. In ASA Spec. Pub. No.46, Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.
8. Harwood, R.R. 1980. Organic nutrient cycling. The New Farm, Vol 2 July/August. Rodale Press Inc. Emmaus, Pa.
9. 保田茂 1978 有機農業論 背景 論理(2), 神戶大學農業經濟第14號。
10. U. S. Department of Agriculture (USDA). 1957. Soil-Yearbook of Agriculture. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.
11. Heichel, G. H. and D. K. Barnes. 1984. Opportunities for meeting crop nitrogen needs from symbiotic nitrogen fixation. In ASA Spec. Pub. No 46, Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.
12. Voss, R. D. and W. D. Shrader. 1984. Rotation effects and legume sources of nitrogen for corn.

- In ASA Spec. Pub. No. 46, Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.
13. Langaer, D. K. and G. W. Randall. 1981. Corn production as influenced by previous crop and N rate. Agron., Abstr. Am. Soc. of Agron. Madison, Wis.
  14. Agboola, A. A. and A. A. A. Fayemi. 1972. Fixation and excretion of nitrogen by tropical legumes. Agron. J. 64:409-412.
  15. Raggio, M. and N. Raggio. 1962. Root nodules. Ann. Rev. Plant Physiol. 13:109-128.
  16. Lockerekz, W. G., G. Shearer, S. Sweeney, G. Kuepper, D. Wanner, and D. H. Kohl. 1980. Maize yields and soil nutrient levels with and without pesticides and standard commercial fertilizers. Agron. J. 72:65-72.
  17. Harwood, R. R. 1984. Organic farming research at the Rodale Research Center. In ASA Spec. Pub. No. 46, Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.

## 討 論

### 陸之琳問：

非洲研究報告指出，在花生田內種玉米時，玉米螟即不危害玉米，因花生葉部發出一種氣味，為玉米螟所不喜歡，不知是否確實，請證實。

### 許福星答：

本人未見過此報告，如果確實的話，更可應用於有機農業之栽培管理方面。

### 余增廷問：

1. 銀合歡及克育草對林地雜草之抑制主要為其化學成分如mimosine等之作用。請問對於生長環境因素之競爭，如陽光、水分、空間、養分等是否也有關係？
2. 銀合歡之mimosine是否與含羞草之mimosine相同，如果是，則含羞草是否也具有相似的抑制雜草的作用？

### 許福星答：

1. 植物間的生長競爭當然與環境因素如日光、水分及養分等也有關，除了對環境因素之競爭作用之外，其他一部分之生長競爭則來自相剋作用，由實驗室及溫室的試驗結果得悉，銀合歡的萃取液及克育草的淋洗液對植物或雜草的生長均有抑制作用，顯示該等植物對他種植物或雜草之生長有抑制效果，且萃取液或淋洗液的濃度愈高，其抑制生長之效果也愈高。
2. 銀合歡與含羞草均含有含羞草素（mimosine），因此，含羞草也會抑制其他雜草之生長，但其本身也是一種很頑劣之雜草，其生長及侵佔性均很強，很難去除。

## **Nutrient Cycling in Organic Farming System**

Shuang-Fu Cheng

Dept. of Agricultural Chemistry

National Pingtung Institute of Agriculture

### **Summary**

Nutrient cycling in organic farming system mainly consists of three types : 1) the cycling of nutrients within the farm from off-farm sources such as urban wastes and natural minerals; 2) the cycling of on-farm sources of nutrients, from crops to animals, or crop residues to compost and finally return to the soil; and 3) through proper soil management to release nutrients from parent material and insoluble compounds to the soil. An appropriate utilization of nutrient cycling methods may make farms almost self-sufficient in nutrients.