都市廢棄物在有機農業之利用

林 鴻 淇
國立台灣大學農業化學系

摘 要

隨著都市化，大部分人口居住都市，生活的產物即所謂的都市廢棄物，是數量龐大的資源。其中可燃性物質可轉換成堆肥和污泥。其主要成分的有機質，基本上可做爲肥田料歸返於耕地土壤中。品質良好的垃圾堆肥和污泥以實行都市垃圾分類收集和區分下水道系統爲先決條件。目前的垃圾堆肥和污泥含有多量的重金屬等有害物質，故其累積使用量須受法定土壤容許量的限制。爲此必須不斷監測堆肥、污泥和土壤中的重金屬含量。另一方面，考慮堆肥和污泥施用到土壤中的分散性較差和污泥易迅速礦質化而降低土壤 pH 值，增加重金屬的活性；故單一次的施用量也須予限制，以避免作物大量吸收重金屬。

前 言

有機農業的通俗而簡單的定義可以說成：減少農場以外來的物質之衝激到最小而維持適當產值－產量和品質－的一種順應自然生態的栽培制度。尤其外來物質無論是有機的或無機的，假如對生產資源－土地、水、空氣－會造成污染性衝激時，都要避免。現行密集農業大量使用的，主要是無機的肥料和有機的農藥，都會對土壤和衛生環境，造成慢性的和急性的不良衝激，是很不自然的。所以我們要考慮儘量減少使用這些物質。

國際有機農業運動聯盟（IFOAM, International Federation of Organic Agriculture Movements）總部設在德國的「自然生態農業社」（Stiftung Oekologischer Landbau, Eisenbahnstrasse Z8-30, D-6750, Kaiserslautern）裡，隱指有機農業是順自然生態的農業。洪崑煌、王銀波在「有機農業」(4)一文中有詳細的說明。Lyon等在所著土壤學(10)中指出，土壤是一自然體；也就是有機體。有機農業一詞與有機質有別，不是必然和有機質或腐植質，堆肥等有關聯的。

都市廢棄物的性狀

都市廢棄物中可堆肥化和最後變成污泥的主要來自所消費的食品。食品的約三分之一爲直接廢棄物，約三分之二則經食道而排泄，後者中一部分經衛生下水道處理；大部分則經化糞池分解後排放到水道中。這些分解殘留的顆粒與附著其上的菌體絮聚而成爲污泥，可以大量回收的污泥來自衛生下水道處理廠。在台灣，大部分污泥則沈積於化糞池和排水溝中。都市衛生隊從溝渠中清除一部分污泥，這些污泥大部分和垃圾一起掩埋。鄉村溝渠的污泥有一部分可被散播到耕地中，大部分的污泥則任其由溝渠於大雨後沖洗到河流而最後漂流到海域。台灣地區受地形和氣候之賜，排放到溝渠的廢棄物所能造成的問題因此只極度局部化和輕微化，這是一種賴給老天爺的原始方式。但目前台灣人口密度極

高，消費的質和量也有很大的變化，因此這部分的廢棄物對河川附近農田以及台灣近岸海域環境品質之衝擊也漸漸對容忍髒亂最寬宏大量的中國人覺察到，使「有心人士」攪起「綠的」問題來。

所消費的食品中之三分之一以廚餘和一般的家庭垃圾被一起收集。如以都市人口每人每日廚餘乾物當量0.3Kg 估計，一年可得約二百萬噸腐熟堆肥。如果用於五十萬公頃耕地，則每年每公頃可分配約四噸良質的都市堆肥。但只有實行嚴格的垃圾分別收集處理的條件下才有獲得良質都市垃圾堆肥的可能。

原則上都市垃圾中可堆肥化的物質和都市污水處理所得的污泥，大部分是農場的產物轉變來的。這些產物從農場帶走的養分循環回到農場土壤中原本是有機農業的理想，但是現代都市的生活所產生的垃圾原本就很複雜，又和工商活動所產生的廢棄物混雜在一起；尤其是中國人的生活習慣和到處林立的缺乏環保意識的大小工廠的極度擴張的活動，使得垃圾和廢水中夾雜著很多重金屬等類的物質（表一）。

表一　都市垃圾的組成[5]

Table 1. Composition of municipal refuse

	Taipei 1985	Kaoshiung 1985	Kyoto 1981	Europe 1976
Composition (%)*				
Combustibles	81.5	85.4	88.3	78
Cellulosics	33.5	35.7	31.9	43
Rubbish	28.5	20.5	43.4	18
Plastics	19.6	29.2	13.0	17
Incombustibles	18.5	14.6	11.7	22
Metals	8.2	1.8	4.9	11
Sands,ceramics	10.3	12.9	6.8	11
Chemical composition (wet basis)%				
Moisture	55.3	57.8	48.0	25
Ash	14.5	16.1	17.6	20
Combustibles	30.2	26.1	16.4	55
C/N ratio	39.0	43.0		
Heat of combustion (Kcal/kg)	1290.0	981.0	1372.0	2340

* Of Taipei and Kaoshiung calculated from drybasis.

雖然用都市廢棄物做成的堆肥和污泥是一種資源；但無可避免的，也是一種污染源（表二）。因此垃圾堆肥和污泥予以利用或予以廢棄掩埋，是兩難的事。只有嚴格實行垃圾分類和工業廢水分別處理所得的堆肥和污泥做爲農用肥田料才可以免卻顧慮。

如必欲使用都市垃圾堆肥和污泥於農地時，則必須做下述的考慮。

表二　污泥和垃圾堆肥樣品*的理化性狀

Table 2. Some physical-chemical characteristics of sludges and composts

	Sludge				Compost	
	I	II	III	IV	V	VI
pH	8.50	7.40	4.20	6.10	7.30	7.50
(dry basis) (%)						
Organic substance	28.80	25.30	12.10	26.30	16.40	22.00
N	3.87	4.24	3.61	2.03	1.08	0.91
P	1.05	0.84	0.76	0.81	0.96	0.74
K	2.02	1.01	6.10	0.10	1.72	0.16
Mg	1.37				1.20	
Fe	2.42	2.20			2.74	
(dry basis)(ppm)						
Mn	576.00	239.00	295.00	755.00	950.00	437.00
Cu	1089.00	135.00	443.00	505.00	1053.00	1038.00
Zn	993.00	1947.00	3160.00	2431.00	1039.00	485.00
Pb	86.00	79.00	169.00	119.00	79.00	65.00
Cd	18.00	16.00	7.00	8.00	15.00	8.00
Cr	54.00		37.00	71.00	56.00	194.00
Ni	76.00	77.00	72.00	89.00	76.00	
C/N ratio	4.30	3.50	2.00	8.20	8.80	14.00

*I.II.V from Ref. [1,2], sewage sludge, same heat-treated, and compost from Kaoshiung, respectively; III. IV.VI from Ref. [3], sewage sludge, municipal sludge and compost from Taipei, respectively.

嚴格控制土壤重金屬容許量

自然界土壤中本身就含有各種重金屬。一些問題土壤大量含有一種或多種重金屬。大部分良好的耕地只含有微量。微量的重金屬被作物吸收的機會很小。但濃度越高，被吸收的機會倍增，如（表三）所示，Kloke [7] 添加1.4 和2.8mg Cd/kg 土的鍋到一種土壤中栽培多種蔬菜。所得結果爲：從含2.8ppm Cd 土壤收穫的蔬菜中Cd含量比從含1.4ppm Cd土壤收穫者要大5 到12倍。由此可得一結論：要抑制作物中重金屬含量必須控制土壤中重金屬含量在一定限度以下。雖然要精確制訂一個合理的臨界濃渡受土壤的物理化學性質、作物種類和地理、氣候等參數條件的影響，是很難的。但經衆多的試驗統計結果，德國頒訂有一種大家認爲安全的臨界值如（表四）所示 [6]。任何耕地土壤施入重金屬的量不能使最後濃渡超越此一臨界值。因此，施用垃圾堆肥或污泥的總量繫於土壤原來的某一種重金屬的含量和稀釋的土壤容量以及垃圾堆肥或污泥中的該種重金屬的含量。而且爲安全的考慮，目前限定土壤重金屬蓄積量最大限爲臨界值的70%，故，可依下式計算堆肥或污泥的最大用量極限 [8]。

$$Amax = \frac{C}{Swk}(0.7Bw - Swb)$$

在此

Amax：最大用量極限(ton/ha)

Bw ：土壤容許值，ppm

Swb ：土壤原有重金屬濃度，ppm

Swk ：堆肥或污泥中重金屬濃渡，ppm

C ：常數，依耕作層深度(cm)而定，設土壤容重爲1.5 ton/m^3 ，

則C值如下所列：

耕作層深度，cm	C值
20	2250
30	3750
40	5250
50	6750
60	8250
80	11250

表三　蔬菜中鎘濃度和土壤含Cd量的關係(mg Cd/kg) [1)]

Table 3. Relationship between concentration of cadmium in vegetables and soil (mg Cd/kg soil)

Vegetables	Cd in dry soil, ppm	
	1.4	2.8
Pea	0.05	0.96
Cabbage, savoy	0.11	0.59
Cabbage, green	0.13	0.42
Cabbage	0.17	1.13
Fennel	0.28	1.70
Green onion	0.30	1.75
Beet, red	0.31	1.23
Black salcify	0.37	3.25
Carrot	0.42	2.00
Lettuce	0.59	7.44
Celery, tuber	1.04	5.23

1)Kloke, 1984, Biologischen Bundesanstalt Berlin [(7)]

表四　德國*耕地，污泥及中國垃圾堆肥**重金屬臨界值

Table 4. Critical concentration of heavy metals in soils and sludge in Germany and in compost in China

	Soil	Sludge	Compost
	ppm		
Pb	100	1200	150
Cd	3	20	5
Cr	100	1200	150
Cu	100	1200	150
Ni	50	200	25
Hg	2	25	2
Zn	200	3000	500

*After LAG-Abffall, Gemany, 1982, [(8)] and
**Chinese National Standard.

每年用量的限制

由於堆肥或污泥施用時土壤中的分散度不很均勻，故，假如一次大量使用時，作物根可能從濃度

高的堆肥附近大量吸收重金屬。另一方面，尤其污泥含氮很多，經礦質化，硝酸化的結果很快使污泥周圍變酸，因而增大重金屬的生物有效性（bioavailability ）。使用（表二）所列污泥 I 和苗栗造橋系的酸性土壤盆栽大豆的結果（表五）所示[1,2] 。施用污泥後土壤pH值隨時間降低，且隨用量而降幅增大。錳的吸收量也因pH值降低和因用量增加而大幅增加。用污泥IV、III 和垃圾堆肥做大豆盆栽也得類似的結果（表六）[3]，pH值隨污泥用量增加而降低，鋅的吸收也隨污泥用量增加而增加。堆肥含氮少而礦質化慢，故，大豆吸收的鋅量也較少。

表五　下水道污泥施用量，經時變化及盆栽大豆錳吸收量（mg/株）之關係

Table 5. Relationship between sludge application rate and amount of manganese uptake (mg /plant) by soybean plant at various growth stage

Application rate	30day		50day		70day		90day	
(%) of soil	pH	Mn	pH	Mn	pH	Mn	pH	Mn
0	5.56	215	5.13	555	5.17	657	5.23	1665
5	5.94	222	4.64	994	4.29	2575	4.31	2126
10	6.42	227	4.67	1358	4.25	3501	4.15	2947
20	6.58	658	4.78	2345	4.53	3270	4.08	3444

Refer to table 2, sewage sludge (I),from (2).

表六　施用污泥對土壤反應，大豆根系和植株的生長和鋅含量之影響

Table 6. Influence of sludge application on the soil reaction, root system and growth of soybean plant and the content of zinc in plant[1)]

Application rate %	pH	Growth, g/plant.		Zn Content, ppm.	
		Root	Whole plant	Root	Whole plant
Check 0	5.85	0.81	16.98	252	141
Municipal sludge(IV)					
10	5.38	0.89	21.48	289	372
20	5.19	1.16	24.28	526	536
30	5.02	1.00	25.09	829	591
Sewage sludge(Ⅲ)					
10	5.38	0.63	16.00	199	244
20	5.18	0.56	13.97	383	325
30	5.57	0.56	15.55	326	347
Refuse compost(VI)					
5	6.93	0.82	18.04	219	162

1) Soybean plant analysed after 120 day pot culture[3], sludge & compost rf. tab. 2.

由此可推知，農地每年由污泥或堆肥引入土壤中的重金屬當量也須予限制。德國的規定[8]爲：每年每公頃最大施入限量(g)爲：Pb 2000, Cd 33, Cr 2000, Cu 2000, Ni 330, Hg 42, Zn 5000。

污泥和堆肥品質的規定

假定污泥或堆肥中重金屬濃度很高，則可施用於單位面積的耕地之限量會很少，因而失去利用這些物料的意義和價值。另一方面爲免除誤用之虞，故，污泥和堆肥的品質也須予規定，以保障消費者的利益和提高使用的安全性。（表四）列示德國對污泥重金屬臨界濃度的規定和我國中央標準局頒訂的垃圾堆肥國家標準。由（表二）可以明顯看出台灣都市污泥和垃圾堆肥之污染程度都很高，基本上不宜做爲農業的肥田物料使用。

污泥性狀的改進

污泥很大部分爲菌體黏結的細粒。乾燥後成爲輕細的粉末。故，使用時極易飛揚。同時因含氮很濃，也不能大量使用。如大量使用時，因礦質化，硝酸化很快，使土壤pH值迅速降低，也增大土壤中重金屬的有效性。故，污泥宜設法改變性狀以利實用。例如用以製造垃圾堆肥，或與石灰材料等做成顆粒，並且要深層施入土壤中或與土壤充分混合。

都市廢棄物利用之展望

台灣都市之廚餘如用以做成堆肥，每年估計可得二百萬噸腐熟堆肥。通常也有二百萬噸的污泥會產生。如果能嚴格實行分類收集處理，則有數量龐大的良質堆肥和污泥可用。但是，目前社會的生活行爲模式和公共設施都不甚理想，短期之內不可能有很大的改變。也許到廿一世紀時情況能獲得改進。到那時，都市廢棄物一部分又可以輪迴循環，發揮它在有機農業上所具的角色功能。

參考文獻

1.林學正　1988　下水道污泥對大豆生長及組成之影響　國立台灣大學　農業化學研究所碩士論文。
2.林學正　鍾仁賜　林鴻淇　1988　下水道污泥對大豆生長及組成之影響　中國農業化學會　26次年會手册, p. 63.
3.林鴻淇　王一雄　鍾仁賜　1987　水肥廠及污水處理污泥再用之研究　行政院衛生署研究報告。
4.洪崑煌　王銀波　1987　「有機農業」農業新興科技初步評估報告　行政院農委會　pp181～194。
5.袁紹英　1988　廢棄物生物處理技術　文翔圖書公司　台北市　p. 41。
6.Brucker, G. 1988. "Lebensraum Boden", Franksche Verlasshandlune,Stuttgart, p. 12.
7.Kloke, A. 1984. Problematik von Orientierungs-, Richt-und Grenzwerten fuer Schwermetalle in biologischen Substanzen, Loccumer Protokolle.
8.LAGH. 1985. Mitteilungen der Landerarbeitsgemeinschaft Abfall, Nr.8, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
9.Liebhart, W. and R. Harwood. 1985. Organic Farming Technology. U. S. Office of Technology Assessment, Washington.
10.Lyon, T. L. and H. O. Buckman. 1922. 〝 The Nature and Properties of Soils 〞 Macmillan, N. Y. N.Y.

Utilization of Municipal Refuse in Organic Agriculture

Hong-Chi Lin
Department of Agricultural Chemistry
National Taiwan University

Summary

As a consequence of urbanization, most of the population is concentrated in the cities. Their product of living, known as municipal refuse, is in fact a tremendous resource. Combustible component of the municipal refuse can be transformed into compost and/or sludge. The compost and sludge obtained from municipal refuse is fundamentally useable as soil fertility amending material. To return these material to the field is logically the reasonable way of municipal refuse disposal,but only under such presumption that compost and sludge are of reasonable quality apt for agricultural purpose. Only with strictly classified garbage collection system and separated sewage system can fulfill this demand. At present time,the municipal refuse compost and sludge contain quite concentrated heavy metals,so that the amount of compost and/or sludge to be used should be restricted,not to surpass the allowance limit of the concerned soil. For this reason,the quality of compost and sludge and the soil analysis have to be constantly supervised. On the other hand, the dispersability of compost and sludge in the soil is poor and the sludge can be easily decomposed in the soil which can usually cause extreme acidity in the vicinity of sludge particle resulted from nitrification, and the acidification promotes the bioavailability of heavy metals. To avoid the crops from absorbing excess amount of heavy metals, the application rate of sludge has also to be restricted.