

土壤中施用廢水污泥對土壤重金屬之影響

The effect of sewage sludge on heavy metals in the
sewage sludge-disposal soil.

國中教師組地球科學第三名

台南縣下營國民中學

作者：張振成

一、研究動機：

由於工業的發達，都市人口的集中，都市廢水的處理日趨重要，而其處理後的副產物—廢水污泥將形成環境污染成因之另一嚴重問題。廢水污泥含大量有機質、氮素和重金屬，一般認為將廢水污泥施用於農地為一種可行的減輕污泥堆積問題最經濟的方法，然污泥施用於農地，主要的問題可能導致於其所含重金屬對土壤性質和作物生長的影響。

重金屬之潛在毒性決定於許多因素如污泥中重金屬之濃度和有效性，污泥施用於土壤之處理方法，土壤水分，C.E.C溫度和pH以及作物對重金屬之感受性等 這些因素間相對的重要性又因時間、地點而異。

關於土壤施用污泥後，其重金屬含量及其對作物生長毒害方面的報告很多，大都以旱田為研究對象，不同作物對金屬感受性各異，結論不一。Lagerwerff等人在1976年指出污泥施用於農地後其重金屬之釋放，因污泥之來源及土壤環境不同而異，不同的污泥以水及0.1N HCl抽取，測得銅鋅均有增加，只是比例不同。King和Morris在1972年認為污泥處理，降低土壤pH，增加交換性及水溶性錳，交換性鋅和銅，致使裸麥生長不良。Lunt在1953年指出污泥若以65噸/公頃以上施用於酸性土壤則因銅、鋅之毒害而抑制大豆及燕麥生長。Mery在1959年則發現224噸/公頃的污泥施用量尚無毒害大麥的現象。Kelling等人在1977年以低於60噸/公頃的污泥施用量進行田間實驗，發現污泥的施用，增加土壤中DTPA—抽取的銅、鋅、鎘和鎳，且這四種金屬在裸麥、玉米、苧秣和玉蜀黍四種作物植體內的濃度也都增加，但都還低於對作物產生毒害的濃度範圍。可見污泥雖產生多量重

金屬，只要施用量適當，加以妥善管理以減低金屬的有效性，則可避免重金屬的堆積毒害現象。

本實驗即在探討土壤在水田與旱田之不同水分狀況下，施用廢水污泥後，土壤中重金屬之形態和有效性濃度的變化，此項探討結果，可做為污泥施用於農地時之施用量與管理上之參考，並期待能利用此廢水污泥在減低其重金屬毒害作用下，發揮其氮肥效果將有助於農產成本之降低。

各重金屬之測定值，經變方分析重覆間之變異係數約為 5 % (Ni 則為 10 %) 各處理間差異顯著性分析 $F(\frac{5.24}{0.01}) = 3.9$, $F(\frac{5.24}{0.05}) = 2.62$ 。

二、實驗材料及實驗方法：

1 供試土壤：

採自台南縣善化鎮亞洲蔬菜中心農場表土，屬砂質岩冲積土，質地為壤土，其一般理化性質及重金屬含量列於表——(A) 及(B)。

2 供試污泥：

採自大社工業區污水處理廠之乾燥污泥，其性質近似於消化污泥 (Digested sludge) 之性質，其一般理化性質及重金屬含量列於表——(a) 及(b)。

Table 1 —(A) General Properties of the soil and the sewage sludge.

Sample	pH	C.E.C	org	Nitrogen	Carbon	%N	Extractable (2N KCl)	
	1 : 1 H ₂ O	meg 100 g	matter Content%	%	%		(ppm) NH ₄ ⁺ — N	NO ₃ ⁻ — N
Soil	5.35	11.7	1.47	0.14	1.18	8.4	20	0
Sludge	5.7	30.5	37.86	2.36	21.20	8.9	2853	2020

Table 1 —(B) The mean Concentrations of metal in soil and the sewage sludge.

Sample	Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Mn	Cd
	p.p.m							
Soil	4590.0	40	7.6	17.4	15.3	30.2	46.2	Ns
Sludge	13656.0	1241.2	198.3	52.7	62.4	187.9	192.0	11

3. 實驗處理：

30 克土壤加入適量之污泥混合，使污泥施用率為土壤之 0，4，8 及 16 % (乾重)。分別置於 50 ml 燒杯中，各加蒸餾水，使成一為浸水狀態及一為含 30% 水分之田間容水量狀態。每處理二重覆。在 25 °C 溫度培育，每隔一段時間以下列抽出液萃取 Whatman No. 42 濾紙過濾，以原子吸光分光儀 (Atom absorption Spectrophotometer perkin-Elmer Modst No. 305) 測定 Fe、Mn、Cu、Ni、Cd、Cr 及 Pb 等重金屬之含量，同時測 pH (1 : 1 水)。

4. 抽出液及萃取方法：

- (1) 0.1N HCl：稱 25 g 樣品，加 25 ml 0.1N HCl 室溫振盪 2 小時過濾。
- (2) DTPA—TEA—CaCl₂ (pH 7.0)：稱 10 克樣品，0.005M 上液 20 ml，室溫振盪 2 小時過濾。[Lindsay⁽¹³⁾]。
- (3) 1M NH₄OAc (pH 7.0)：稱 2.5 克樣品加入 25 ml 1M NH₄OAc 振盪，過濾。
- (4) H₂O：稱 10 克樣品，加 100 ml H₂O 振盪，過濾。

三、結果與討論：

1. pH 之變化：

在 30 % 水分狀態下，施加污泥使土壤之 pH 隨時間之經過而降低 [King and morris 1972⁽⁹⁾]，由原來的 5.3 降至 4.2 ~ 4.4；在浸水處理下，pH 則由 5.3 升高到 7.2，但未施加污泥者，含 30 % 水分的土壤其 pH 不變，浸水者之 pH 升高情形較慢，至第四週時始較顯著。據此可以窺出，由 pH 之變化模式因土壤水分狀況而異，故對重金屬有效性所予影響很大。

2. Mn 土壤在含 30 % 水分情況下，由於施用污泥所導致之 pH 降低，可使錳的溶解度增加，在第四週後之 pH 低於 5 時，水溶性，交換性和 OTPA — extractable Mn 均逐漸增加，且其增加的比率均隨污泥施用率增高而增加 [圖二—(a)，(b)，(c)]，各種施用率之間 pH 值雖僅有 0.2 的差異，但在錳的溶解度上即見有差

別，可見高施用率的土壤，可處於有利於錳還原的嫌氣狀態（ $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ ）根據 Hsieh（1976）之研究，砂壤土在旱田狀態下，消化污泥施用 8 % 以上可造成輕微之嫌氣性。由圖 2 顯示在第四週後，施用率 4 % 以上即有輕度的還原狀態 16 % 施用率者嫌氣狀態相當顯著，在實驗進行中污泥施用 8 % 以上的土壤常有惡臭發生，此為嫌氣性分解產物聚積現象。0.1N HCl 可抽取之錳在培養期間較為穩定。對照土壤則因其 pH 維持不變，同時又因在氧化狀態下，其可抽取的錳沒有明顯變化。顯然的，在旱田狀態下，污泥中的錳可隨時間的進展而增加其有效性及移動性。

浸水處理可造成嫌氣狀態，pH 增加，錳可進行還原作用故對照土壤的交換性錳和 DTPA — extractable Mn 隨培養時間大量釋放出來，約在第 12 週達最高量 0.1N HCl extractable Mn 則在第 8 週才逐漸增加〔圖 2 — (a)、(b)、(c)、(d)〕。然施用污泥後可使還原狀態更趨加重，故在第二週 pH 激增高到 6.6 ~ 7.0，土壤中交換性錳和 DTPA — extractable Mn 則示有顯著增加，幾達最高重。唯施用率愈大，pH 值增加愈快，對 MnO_2 的還原不利，故施用率愈大，其增加的比率反而愈小。在第二週，4，8，16 % 各施用率土壤中交換性錳增加的倍數分別為 9，4，2。0.1N HCl extractable Mn 在第二週略有增加，隨後即無變化，但在高 pH 值的還原狀態下，因錳可能由 MnO_2 轉變成 MnOOH 再還原成 Mn^{2+} ，而 Mn^{2+} 隨即被土壤吸著或與有機質等形成鉗合物（Chelates），而不以游離態存在，因此污泥施加與否，均無法測得水溶性錳。污泥施用於水田亦增加錳的有效性濃度，但未超過 50 ppm。

3. 鐵

一般酸性氧化狀態的土壤，鐵主要以穩定鐵氧化物（ Fe_2O_3 ）和鐵的有機錯化物（Complexes）存在，pH 愈低， Fe_2O_3 愈穩定，因此自表二污泥施用率 8 % 以上的土壤，其 0.1N HCl 抽取的鐵含量變化小，而 4 % 施用率及對照的土壤

其 0.1N HCl 抽取的鐵在第八週後示有漸增（表二）之情形，此可能由於鐵氧化物結晶粒子逐漸減少容易抽取之故。施加污泥土壤，其 DTPA—extractable Fe 在初期稍降至第八週又稍增，此可能因污泥之有機質在初期之短時間內被分解，游離出之鐵立刻被固定，延至第八週時始再增加其溶解度。對照土壤則無明顯變化。前此所提及之污泥施用率在 4 % 以上時可造成輕微嫌氣性，雖能使錳還原，但尚不能使鐵還原，因由 Stability diagram 推論，土壤之 Eh 約為 0.30 olt，對 Fe 而言仍屬氧化狀態。

表二、施用污泥對土壤中鐵的影響

Extractant	Treatment	sludge %	Time of incubations (Weeks)						
			p.p.m						
0.1N HCl	30% H ₂ O	0	457.1	406.3	361.2	577.2	592.5	666.5	
		4	625.0	669.4	627.1	737.4	769.7	917.4	
		8	990.0	914.4	754.5	850.0	810.6	887.9	
		16	1006.6	1066.0	1016.9	987.6	933.5	1156.3	
	submerged	0	457.1	312.6	284.3	1162.9	1451.0	1494.5	
		4	625.0	1954.4	2288.7	1956.2	2665.0	2624.3	
		8	990.0	2705.3	3255.5	2885.1	3463.5	3182.9	
		16	1006.6	3282.7	4431.8	3543.8	3676.7	3389.4	
DTPA	30% H ₂ O	0	183.6	189.0	165.0	167.8	185.0	172.6	
		4	204.8	206.2	199.0	246.3	257.2	233.3	
		8	241.5	228.8	233.2	270.1	305.8	258.0	
		16	280.2	271.8	260.5	302.1	294.7	290.2	
	submerged	0	183.6	101.6	135.9	258.8	452.1	375.7	
		4	204.8	350.1	442.2	332.9	452.3	399.2	
		8	241.5	372.7	421.6	362.9	524.7	409.1	
		16	280.2	405.5	447.1	440.3	552.3	441.8	

浸水處理之土壤，交換性及水溶性鐵亦無法測得。施加污泥之土壤其 0.1N HCl 及 DTPA 抽取的鐵在第二週即顯著增加，第四週達高量後一度減少，至 12 週又增加，此因浸水下，污泥造成高度嫌氣狀態，鐵還原為 Fe_3O_4 及亞鐵化合物如 FeS ， FeCO_3 ， FeSiO_3 。還原過程中，鐵的溶解性增加，待還原產物穩定下來之後，其溶解度則稍減，至於第 12 週濃度增加，可能因 pH 在第 12 週降低，增加鐵的溶解度。對照土壤的鐵則在第 8 週才顯著增加。如利用前揭之 Stability diagram 推論，浸水處理的土壤 Eh 時則約為 -0.1 Volt，對 Fe 應示為強還原狀態。

錳的還原在鐵之前，在 30 % 水分狀態下，錳在第四週後即發生還原，而鐵延至第八週後才稍有增加，且施用率愈大其增加比率愈小，因此 HCl extractable Fe/Mn 之比值將隨施用率增加反而減少（HCl extractable Fe/Mn 比見表三）浸水情況下，Fe/Mn 比在第二週即增至 75 以上，對照土壤則在第 8 週才提到 59，可見污泥可導致水田土壤成為嚴重的還原狀態，而帶入大量的鐵，以 4 % 施用率土壤為例其可抽取之鐵含量觀之即高達 2600 ppm 之多。

表三 0.1 N HCl Extractable Fe/Mn Ratio.

Treatment	Sludge %	Time (Weeks)					
		0	2	4	8	12	18
30% H ₂ O	0	39.1	35.6	29.4	39.0	41.0	45.0
	4	26.2	28.2	27.5	29.0	34.0	41.0
	8	31.9	31.2	25.7	26.7	27.7	28.4
	16	25.1	26.0	23.4	22.1	23.7	25.2
Submerged	0	39.1	26.4	24.7	59.0	72.2	65.0
	4	26.2	77.9	80.3	68.6	90.0	83.8
	8	31.9	75.6	88.3	85.0	98.0	82.0
	16	25.1	75.5	99.8	80.4	80.6	79.0

4. Zn

在酸性土壤溶液中鋅主要以陽離子 Zn^{2+} 存在，其中約有 60

% 爲錯化合物形態存在，因此施用污泥於旱田時，pH 降低，增加鋅的溶解度，交換性及水溶性鋅在第二週起即顯著增加。污泥施用率愈高，增加的比率亦愈大，在第 18 週，施用率 4 %，8 % 16 % 土壤中水溶性鋅增加的倍數分別爲 5，10 %。（16 % 者含量高達 74.2 ppm。在 4 % 施用率土壤中 DTPA — extractable Z_n 隨時間稍有增加，18 % 和 16 % 者則反而減少，此種情形可能因 Z_n — Chelates 在酸性下沒有 Cu Chelates 穩定，易爲鐵所取代所致。因而更增加水溶性鋅的含量。對照土壤無明顯變化。施加污泥土壤其 0.1N HCl — extractable Z_n 在第二週略有減少，可能由於鋅被細粒狀土壤成分（如鐵氧化物），緊密吸著或取代 Mg^{++} 而成黏土礦物構造的成分。在二週以後則趨於穩定。

浸水狀態者，四種抽取法之鋅的濃度在第二週即顯著減低，在第 18 週，各施用率之交換性鋅均低於 1.5 ppm，而水溶性鋅則低於 0.5 ppm。pH 大於 6 時 Zn 因水合作用形成 $Zn(OH)_2$ 沉澱且牢固地附著在 MnO_2 結晶核表面上，因此降低 Zn^{2+} 的濃度， Z_n — Chelates 的穩定度亦減低，因而可抽取性鋅顯著減少。水田土壤容易缺鋅。

5. 銅

銅在土壤中和鋅的行爲相類似，一般主要以 Cu^{2+} 存在，其中高達 98 % 以上爲錯化合物形態。在 30 % 水分狀況下，對照土壤其可抽取性銅沒有變化，土壤中之銅形態穩定。加入污泥後，污泥中之銅因 pH 降低而增加其濃度，因此 DTPA — extractable Cu 增加，即增加可溶性銅錯化合物 8 % 以上施用率之土壤在 12 週其 Cu — DTPA 含量減少，可能因嫌氣狀態，有些 Cu^+ 之形成，因此減少 Cu — Chelates，但在酸性下， Cu^{2+} 佔優勢，18 週又漸增。施用污泥 8 % 以上之土壤，形成嫌氣狀態，銅可能以 Cu_2S 及 Native Cu 之形態存在，或取代 Mg^{2+} 成爲礦物之成分，因此 0.1N HCl 抽取的銅有減少的趨勢，且無交換性及水溶性銅之存在。

在浸水情況下，各施用率土壤在第二週即顯著減少其 DTPA 及 0.1N HCl 抽取的銅含量，其施用率愈大者，其降低比例亦愈

大，16%施用率者，在第二週其0.1N HCl—extractable Cu由25 ppm降至0.85 ppm，DTPA—extractable Cu由10.2 ppm降至零。pH增高，在形成高度還原狀態下，銅常以 Cu_2S ， CuS ， CuFeS_2 等形態存在之。

6.土壤中鉛含量少，又非常難溶，常與有機物形成穩定的鉍合物（Pb—Chélates）或以硫酸鹽，磷酸鹽等沉澱物存在，pH增高時活性更低。在兩種不同水分處理下水溶液及交換性鉛均無法測得。0.1N HCl及DTPA抽取的鉛含量均隨時間而減少，浸水者降低的比例更大（表四）。在30%水分之低pH值土壤中鉛可能主要以 PbSO_4 形態存在，在浸水高pH值之下，鉛可能以水合聚物 $\text{Pb}_3(\text{OH})(\text{CO}_3)_2$ 及 PbS 等形態存在。

表四 施用污泥對土壤中Pb、Ni、Cd、Cr之影響

Treatment	Sludge %	0.1N HCl extractable						DTPA extractable											
		Time of incubations (Weeks)						Time of incubations (Weeks)											
		0	2	4	8	12	18	0	2	4	8	12	18						
30 % H ₂ O Submerged	0	8.1	7.6	0.1	8.8	8.9	9.6	n.p.m						5.1	5.5	4.8	4.8	4.8	4.8
	4	13.4	13.7	12.7	13.2	11.0	11.8	Pb						5.9	5.8	5.7	7.1	6.0	5.7
	8	18.1	17.8	15.4	15.5	14.7	14.7							6.7	6.3	6.4	7.3	7.3	5.8
	16	23.7	23.8	23.0	22.8	18.5	22.3							8.6	7.6	7.2	8.0	7.2	6.3
	0	8.1	5.6	6.4	7.9	9.4	8.8							5.1	2.8	3.8	2.9	4.1	2.1
	4	13.4	10.3	11.8	8.7	10.3	11.8							5.9	2.0	3.1	2.5	4.3	3.0
	8	18.1	15.3	14.9	9.6	12.3	13.0							6.7	2.0	2.7	2.2	5.3	2.5
	16	23.7	14.4	14.4	15.1	14.2	15.0							8.6	2.0	2.4	2.5	3.6	1.4
30 % H ₂ O Submerged	0	1.2	1.3	1.1	1.3	1.4	1.4	Ni						0.9	0.9	0.8	0.7	1.1	1.2
	4	2.8	2.4	3.1	2.1	3.2	3.2							2.6	2.6	2.0	2.4	2.7	3.3
	8	4.8	4.2	5.3	3.7	5.9	5.7							4.2	3.9	3.7	3.4	4.0	3.8
	16	8.6	9.8	8.2	10.1	8.3	12.1							5.6	4.9	4.9	7.1	6.4	7.4
	0	1.2	0.3	0.5	1.4	1.2	0.7							0.9	0.6	0.8	0.4	0.4	0.4
	4	2.8	3.4	2.3	2.9	3.2	3.2							2.6	0.6	0.7	0.7	0.9	0.9
	8	4.8	5.6	5.2	5.3	5.6	5.1							4.2	1.2	1.2	1.4	1.7	1.3
	16	8.6	8.1	8.8	7.9	8.6	7.5							5.6	2.8	3.0	2.4	2.8	2.6
30 % H ₂ O Submerged	0	0	0	0	0	0	0	Cd						0	0	0	0	0	0
	4	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1							0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	8	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2							0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
	16	0.4	0.4	0.4	0.6	0.2	0.4							0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5
	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	0	0	0
	4	0.1	<0.1	0	0	0	0							0.1	0	0	0	0	0
	8	0.2	0.2	0.2	<0.1	0	0							0.2	0	0	0	0	0
	16	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2							0.3	0.1	<0.1	<0.1	0	0

7. Ni (鎳)

鎳在土壤中含不多，主要以Ni - Chelates 存在之。在30 %水分情況下，DTPA及0.1N HCl 抽取之Ni 隨時間之變化小，只有16 %施用率者始示有較為明顯的增加趨勢(表四)。在浸水情形下，Ni - Chelates 穩定度降低，故DTPA-extractable Ni 在第二週即減少。0.1N HCl extractable Ni 則無變化。Ni 可能以Ni S 形態存在之，而無交換性及水溶性Ni 之存在。

8. Cd

Cd 含量極少，又非常難溶，DTPA - extractable 及0.1 N HCl extractable Cd 量很少，浸水處理者又較30 %水分者少。

綜合以上觀察，窺知土壤在30 %水分狀態下，污泥可使土壤pH降低，以4 %以上之施用率即可造成嫌氣狀態，可導致土壤中水溶性、交換性和DTPA - extractable Mn，交換性和水溶性鋅等的顯著增加，DTPA - extractable Cu 亦形增多，但鉛的抽取率則降低，其他金屬Cd、Ni 等則無明顯變化。

在浸水狀態下，污泥可使土壤pH升高，而形成高度嫌氣性。其DTPA - extractable Mn 和Fe，0.1N HCl extractable Mn 和Fe 等均示有大量增加，Cr 則略增，有效性鋅和銅則大為減低，Pb、Cd、Ni 等之含量亦形減少。

污泥之施用於農地，吾人所重視者主要為引進多量之可溶性錳、鐵、鋅、銅等重金屬之加入土壤。若土壤之排水情形良好，則此等重金屬將快速的向下移動，雖不會聚積在根圈土壤內，但可能引起地下水之污染。土壤中重金屬的增加與污泥施用量成正比，若能施以適當量(如4 %以下)，再加以妥善的管理，當可避免重金屬的毒害。4 %施用率土壤所含主要重金屬在第十八週時之濃度列於表五，與表六對照在旱田狀態下，鋅、銅、錳的有效量尚在適量範圍，僅鐵含量示有過高之慮，若以石灰中和土壤酸度，不使土壤過酸，且在4 %以下施用率

不會造成還原狀態或許可以減低鐵的溶解度而避免鐵的毒害。在水田狀態下亦示有Fe過量之慮，惟鐵以溶解性之化合物及難交換性形態存在者為主。溶解性之鉗合物易隨灌溉水向下移動，又由於0.1N HCl extractable Fe不會即速溶出，又一般水田土壤易缺鋅，故污泥可代鋅肥之用。基於低用量（如4%合80公噸／噸）污泥中的若干重金屬之濃度尚不致造成重金屬毒害，以及污泥中其他化學組織成分諸如有機物，有效性氮均有利於農田土壤，概可增加其利用價值。但此項推論尚有待進一步及更多之田間試驗予以證實。

表五 4%以下施用率土壤中主要重屬在第十八週之含量

Treatment	Sludge %	DTPA - extractable				Exchangeable			
		Mn	Fe	Cu	Zn	Mn	Fe	Cu	Zn
30 % H ₂ O	0	4.5	172.6	2.0	3.8	1.0	0	0	1.1
	4	8.7	233.3	5.0	21.8	55.4	0	0	9.3
Submerged	0	12.7	375.7	0.6	1.0	10.4	0	0	0.8
	4	11.2	399.2	0.5	2.1	9.9	0	0	0.9
Treatment	Sludge %	0.1N HCl extractable				Water - Soluble			
		Mn	Fe	Cu	Zn	Mn	Fe	Cu	Zn
30 % H ₂ O	0	14.7	666.5	4.2	8.4	0	0	0	0.3
	4	21.9	917.4	9.3	44.4	5.9	0	0	12.9
Submerged	0	22.9	1494.5	3.8	5.6	0	0	0	0
	4	31.3	2624.3	1.9	36.1	0	0	0	0

表六 Micronutrient Concentration in a specific plant that may be classified as deficient, sufficient, and excessive or toxic for interpreting plant analysis of several crops after Jones (1972)

Crops	Plant part and sampling time	Micronutrient Concentration (ppm)				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Alfalfa	Top 15 cm of the plant at $\frac{1}{10}$ bloom	30-200	10-30	30-400	30-250	20-100
Corn	Ear leaf taken at initial silk	4-25	5-30	20-350	20-200	20-50
Cotton	Upper recently mature leaves taken at early bloom	20-100	8-20	50-350	50-350	20-60
Pecans	Leaves from terminal shoots 6 to 8 Weeks after recently mature	**	50-200	20-500	50-100	
Soybeans	Upper recently mature leaves at early pod set	20-100	10-30	50-200	20-250	20-75

* Values denote sufficiency range; levels below this range are as deficient and those above this range are excessive or toxic**. sufficiency range not reported.

四、結 論

綜合討論結果，吾人概可確認污泥施用於土壤，可使土壤pH值及土壤氧化還原狀態有所改變，而此兩項土壤性質之改變又可影響各種重金屬之溶解度。惟自污泥在農地的有效利用觀點，如能以適當用量並併行妥善的管理，似可避免其所含各種重金屬之爲害，而利用其適量之有用重金屬要素供爲作物所需微量元素之給源，再配合其所含豐富之有機質及多量之有效性氮素，作爲適量氮素化肥之代用肥料；或在缺鋅之水田土壤中作爲鋅素肥料，不無獲得降低農產成本之益的可能。

五、參考文獻

- 1 Berrow, M. L. and J. Webber, 1972. Trace elements in sewage sludge, J. Sai Food Agric. 23:93-100。
- 2 Garrels and Christ 1970 Solittions, Minesals and Equilibria. P. 210-240。
- 3 Elgabaly M.M 1950. Mechanism of zinc fixation by Colloidal clay and related mimerals. Soil Sci 69:167-174.
- 4 Hinesly, T.D. and B. Sosewitz. 1969. Digested sludge disposal on cropland. J. Water Pollut. Control Fed. 4:822-831。
- 5 Hodgson J.F.W. L. Lindsay. and J. F. Trierweier. 1966. Micronutrient Cation Comlexing in soil solution: II. Complexing

- of zinc and copper in displaced solution from calcareous
soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:723-726 .
6. Hsieh, Y. O. 1976. A quantitative study of organic carbon
decomposition and nitrogen transformations in sewage
sludge-soil systems. Ph. D. Thesis. Rutgers University New
Brunswick. New Jersey; U. S. A.
 7. Jones, J. B. 1972. Plant tissue analysis for micronutrients.
P. 337 In, Micronutrients in Agriculture, Soil Science Society
of America, Inc. Madison, Wisconsin U. S. A.
 8. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1969. Equilibrium
relationships of Zn^{2+} , Fe^{3+} , Ca^{3+} , and H^{+} With EDTA and
DTPA soils. Soil Sci. Amer. Proc. 33:62-68 .
 9. Mery, R. C. 1959. Utilization of liquid sludge, Water,
Sewage Works 106:489-493 .
 10. Norvell, W. A. and W. L. Lindsay. 1972. Reaction of DTPA
Chelates of iron, zinc, Copper, and manganese With soils,
Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36:778-783 .

評語：具有廢物利用之觀念，惟對污泥中之有害物質，應作適當之考慮。