

工廠排放廢水對水稻之為害

The adverse effect of industrial wasted water on rice cultivation

一、前言

水為農業必需之資源，農業用水佔臺灣地區總用水量之78%⁽⁴⁾。臺灣因受地型限制，山高水急，雨季、旱季相當明顯，水資源保存不易，為獲取更多水量供應灌溉所需，大部份灌溉系統皆採灌、排水合一方式。因而工廠廢水如未經處理或處理不當，除了造成環境污染外，亦可經由灌溉系統進入稻田，影響水稻生產。

臺灣灌區主要渠道中已有43.7% 圳路受到不同種類及不同程度之污染威脅，受污染之面積在20,514至45,472 公頃；作物受污染而損害之面積，因年度(水文狀況)而有差別，最低1,159 公頃，最高36,991 公頃，水稻年減產量在7,107至8,058 噸之間⁽⁴⁾。工廠不當排放廢水對水稻之危害，可分為：1.直接危害：水中溫度太高或酸、鹼、油脂含量過高，會破壞或阻礙稻株正常之生理作用。2.間接危害：水中之有毒物質如重金屬、鹽類與有機物等經由灌溉作用而累積於土壤中，當土壤中上述之毒物質過高時，即會改變水稻之生長環境，使毒物質經由水稻之吸收而轉移、累積至稻體上，破壞稻株之生理作用，引起稻作生長不良，稻米之品質變劣，甚至受毒物質污染。

二、工廠廢水之來源及特性⁽⁶⁾

工廠廢水中之有毒物質因原料、製程之不同而有所差別，較為常見之工廠廢水來源及特性示之於表一。表一中所列不可能包括所有工業類，其廢水之來源及廢水特性亦無法全部列出，僅作一般參考。在實務上，尚需依據工廠產品與製程去瞭解污染物之來源，依排放物質之不同，可將其分類如表二。

三、工廠廢水中毒物質對水稻之為害機制與為害症狀⁽¹⁾

表二中之毒物質大致歸納：具對水稻之為害機制與為害狀如下：

- 1.懸浮固體物：水中含過量之懸浮固體物，進入農田後會滲入土壤孔隙中，使土壤之透水、通氣等物理性惡化，造成地力減退、生長受阻，氮素吸收不足，葉色呈淡綠色，水稻根之分化數減少，水稻生長停滯等症狀。
- 2.有機物：有機物係指碳水化合物、蛋白質及動、植物體之分解物等，因有機物中往往含高量之氮，灌溉水中過量之有機物會造成水稻之氮素過剩障害，其症狀為：生長過分繁茂，葉色變濃，稻稈增

表一、常見工廠廢水之來源及廢水特性

工業類別	主要廢水來源	廢水特性
製紙	蒸煮、精製、纖維洗滌、紙漿、篩濾	酸、鹼、色度、懸浮固體物、膠體及溶解性固體物、有機物、鐵、鋁、鈉、鈣、氯等鹽類及硫酸根等
醱酵	醱酵母液、洗滌水	色度、鹽類、懸浮固體物、有機物
紡織染整	纖維蒸煮、織品去漿染色、整理	色度、懸浮固體物、有機物、次氯酸鈉、酸、鹼
化工	稀釋、洗滌、精製	酸、鹼、有機物、鹽類、油脂
屠宰	血液、毛、糞、尿、肉、油脂	有機物、油脂
製革	脫毛、浸水、浸灰、浸酸、脫灰	鹼、有機物、鹽類、重金屬、懸浮固體物、油脂
食品	原料洗滌、浸漬、壓榨、蒸餾、容器清洗	酸、鹼、有機物、鹽類、懸浮固體物、油脂
製糖	清洗、冷卻水	有機物、懸浮固體物
鋼鐵	冷卻水	重金屬、懸浮固體物
金屬表面處理及電鍍液	洗滌及處理液	油脂、酸、鹼、氰化物、重金屬、鹽類
石油化學	冷卻水、產品洗滌	酸、鹼、有機物、油脂

長但植株軟弱，易倒伏及發生病蟲害，根毛減少，分蘗遲，稔實不良。微生物為了分解水中過量有機物會消耗水中氧氣，使呈還原狀態；有機物再經微生物還原分解後，產生硫化氫、二價鐵、甲烷、有機酸、醇類等為害水稻生理作用之毒物質，同時亦阻礙磷、鉀之吸收，水稻之生育因而受阻。

3.酸或鹼：水稻適合生長之土壤pH值界於

4.5~7.0 之間，澆灌水之pH值能間接影響土壤之pH值，土壤如pH值太低(酸化)，則土中非溶解性之鐵、鋁大量溶出，產生鐵、鋁毒害；磷之吸收亦受抑制，水稻葉面及稻穀產生斑點，葉先端捲曲，根呈暗褐色。土壤如pH值太高(鹼化)，則土中之鐵、錳、銅及鋅等微量元素形成不溶解化，不易被稻株吸收，引起微量元素缺乏及生育障害等症狀(圖一)。

表二、排放各類污染物質之工業

污染物質	工業
有機物	製糖、醱酵、食品、石化、製紙、紡織染整、屠宰、垃圾處理、農藥
懸浮固體	醱酵、食品、洗煤、煉焦、製紙、砂石、製革
油脂	金屬表面處理、石油化學、製革、屠宰、化工
高溫	火力發電、染整、電鍍、食品、化工
病原體	製革、屠宰、食品、醫院、垃圾處理
酸	採礦、冶煉、化工、石化、金屬表面處理及電鍍、紡織染整、製紙
鹼	化工、石化、金屬表面處理及電鍍、紡織染整、製紙、玻璃、食品、製革
重金屬	採礦、金屬表面處理及電鍍、化工、製革、鋼鐵、電子
鹽類	肥料、食品、化工、製革、金屬表面處理及電鍍、垃圾處理、醱酵、製紙、染整
氰化物	化工、金屬表面處理及電鍍、肥料、電子、農藥

4.油脂：油脂能直接浸入水稻體，形成半透明狀，水稻之生理作用受阻，葉端發生捲曲，數日後形成褐化，心葉先黃白化後枯萎；油脂如累積於土壤中，水稻會產生與有機物危害之相同症狀；油脂如覆蓋於土表，則會阻止土壤氣體之進出，造成土壤還原障害（圖二、三）。

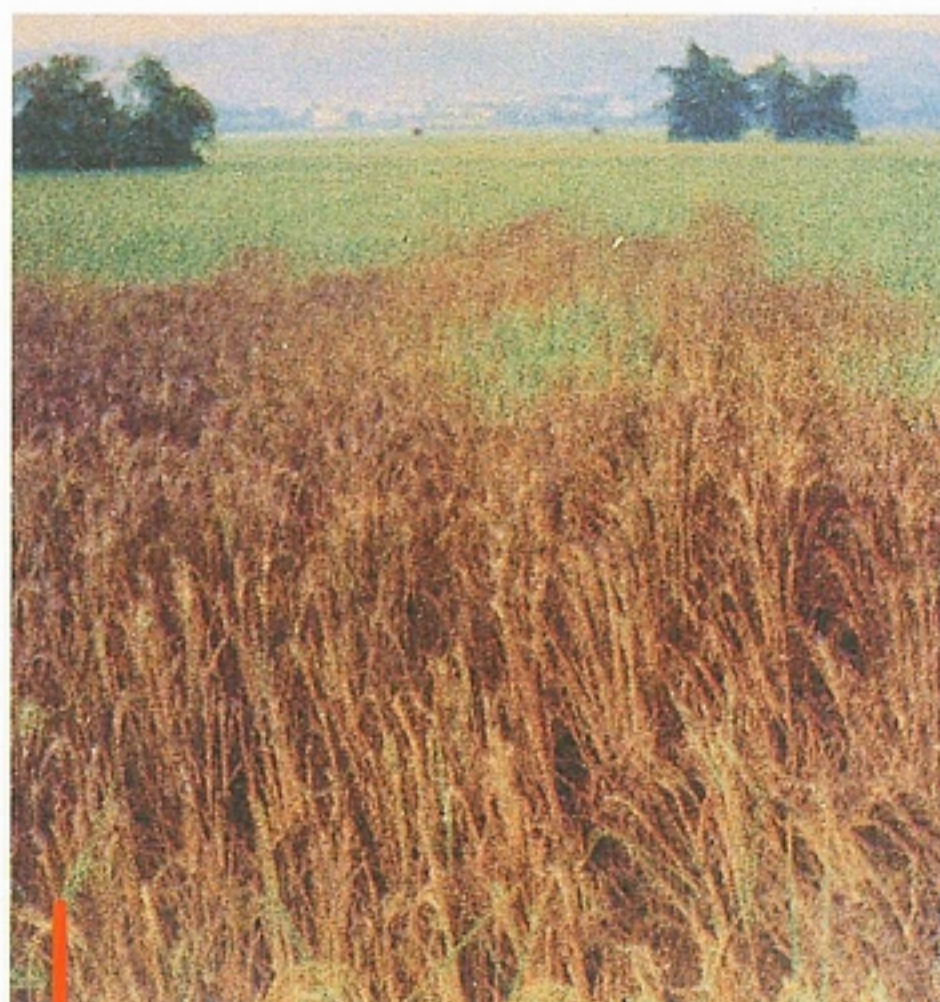
5.鹽類：鹽類係指銨鹽、氯、硫化物、氟化物、硫酸鹽及硝酸鹽等，灌溉水中鹽類離子過高，則產生高滲透壓，稻根之吸水作用受到抑制，高濃度短時間鹽害會引起稻株枯萎，低濃度長時期鹽害會引起稻根腐敗變黑，下葉枯萎，分蘖受抑制，而且被稻株吸收之鹽分會干擾植體之生理作用，除了葉部之碳素同化機能

下降外，亦可引起其它生理機能之衰退。鹽類濃度一般以電導度(EC)表示，灌溉水中之電導度值如在 1 mmho/cm 以上時，就可能對水稻產生鹽害⁽⁵⁾。

6.重金屬：工業上常用之重金屬為砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛及鋅等，其中銅及鋅為水稻生長所必需，但過量則會造成毒害。重金屬對水稻之毒害機制為：(1)改變細胞膜之通透性。(2)與稻體內酵素結合，改變酵素活性。(3)取代必需元素。(4)與氮、磷產生競爭作用⁽⁶⁾。水稻受重金屬為害常產生葉片黃化、褐化及壞疽(與缺鐵症狀相似)；或呈紅紫色條紋(與缺磷症狀相似)，根系生長受阻，呈刺鐵絲狀，稻實不稔（圖四）。重金屬對水



圖一：農田受含鹼工業廢水污染，引起稻作枯萎。（林浩潭）



圖二：農田受重油污染，引起稻作枯萎。（林浩潭）

稻之毒害以旱田較易發生，因旱田土壤呈氧化狀態，土壤中重金屬大多為硫酸鹽型態；而水田土壤呈還原狀態，土壤中之重金屬大都為硫化物型態，硫酸鹽型態之重金屬較硫化物型態者容易為稻株所吸收⁽⁹⁾，因此稻株之重金屬為害症狀以旱田較為明顯；但砷屬例外，因對水稻之毒性而言，三價砷（還原態）大於五價砷（氧化態）。值得注意的是重金屬中之鎘可經由稻株吸收而轉於稻穀中⁽¹⁰⁾，產生"鎘米"，"鎘米"經食用後，會為害人體健康，引起"痛痛症"⁽⁹⁾。近年來幾件"

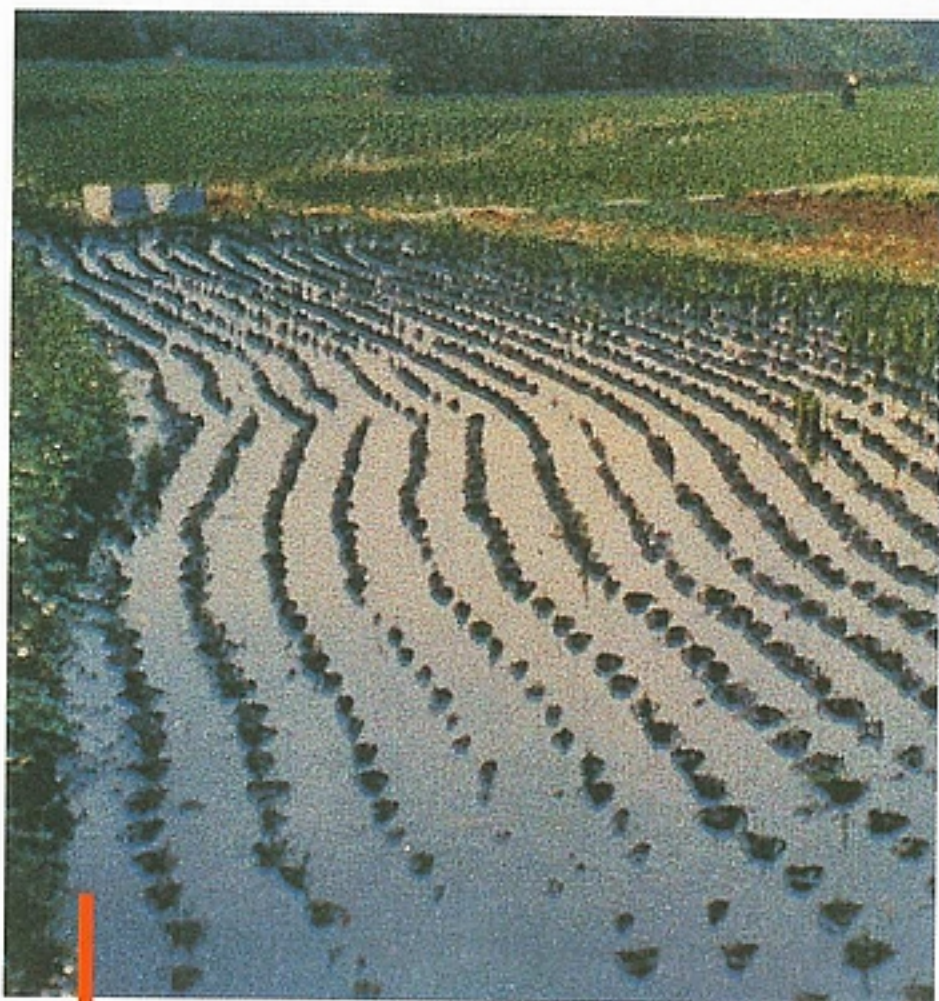
鎘米"事件之發生，即由於稻田受化工廠、電鍍廠含鎘廢水污染所引起⁽²⁾。

7. 其它：(1)溫度：水稻在 15 至 35℃ 為最適生長溫度，假如溫度上升至 50℃ 以上，往往產生生育障害。(2)清潔劑：清潔劑一般可分為軟性及硬性二種，硬性由烷基苯硫酸鹽(alkylbenzene sulfone) 簡稱 ABS 所合成。在環境中不易被微生物所分解。軟性清潔劑由鈉多脂烴磺酸鹽(SAS)或硫化腺性環基化合物(UAS)合成，為較易分解之產品。ABS 會脫附土壤吸著之銨態氮，造成銨態氮流失，使

水稻缺氮。ABS 低濃度之為害症狀為根之發育受阻，根老化，稻米產量減退；高濃度為害症狀為老葉呈條狀赤褐色壞疽。影響水稻生育之 ABS 濃度約在 3 ppm 以上⁶⁾。

四、防治工廠排放廢水對水稻為害之方法

「水污染防治法」及「灌溉水水質標準」(如表三)⁶⁾雖已訂定並執行，但近年來工廠廢水因處理不良或不當排放而引起農作物損失之案件仍層出不窮，究其原因為：1. 監測水質之人力及物力不足。2. 放流水標準未能包含所有之有毒物質。3. 工廠廢水中有毒



圖三：輸油管破裂，油脂污染灌溉水，導致秧苗枯死。(林浩潭)

表三、臺灣省灌溉用水水質標準

項目	限值
鈷(Co)	0.05 mg/L
酸鹼值(pH)	6.0 - 9.0
銅(Cu)	0.2 mg/L
電導度(EC)	750 μ mho/cm
鉛(Pb)	0.1 mg/L
懸浮固體物	100 mg/L
鋰(Li)	2.5 mg/L
氯化物(Cl ⁻)	175 mg/L
錳(Mn)	2.0 mg/L
硫酸鹽(SO ₄ ⁻²)	200 mg/L
汞(Hg)	0.005 mg/L
總氮量(Total-N)	1.0 mg/L
鉬(Mo)	0.01 mg/L
清潔劑(以 ABS 表示)	5.0 mg/L
鎳(Ni)	0.5 mg/L
油脂	5.0 mg/L
硒(Se)	0.02 mg/L
鋁(Al)	5.0 mg/L
釩(V)	10.0 mg/L
砷(As)	1.0 mg/L
鋅(Zn)	2.0 mg/L
鈹(Be)	0.5 mg/L
鈉吸著率(SAR)	6.0
硼(B)	0.75 mg/L
殘餘碳酸鈉(RSC)	2.5 meq/L
鎘(Cd)	0.01 mg/L
水溫	35°C
總鉻(Cr)	0.1 mg/L

物質成分並不單純，各因子間可因「協力作用」而對作物產生毒害。4. 灌水及排水不分。



圖四：水稻成熟期農田受電鍍廢水污染，稻作稔實不良。（林浩潭）

針對上述種種原因，各有關主管機關應做到：

1. 灌水及排水分開。
2. 確實執行「水污染防治法」及「灌溉水質監測」。
3. 對排放水中各種污染物採取總量管制措施。
4. 設立專業區，將污染性較大之工廠集中管理，並將廢水集中處理，防止工廠廢水對水稻之為害。

受懸浮固體物害之土壤可利用翻耕改

良透氣性、透水性；有機物、油脂、清潔劑為害之土壤須連續進行灌水、曬田、翻耕等步驟，利用土壤微生物分解毒物質；酸土須施用石灰改良；鹼土或含鹽類過高之土壤須長期以淡水灌溉、洗滌與排水，去除對水稻為害之物質；受重金屬為害之土壤須以排土、客土或翻土等方法降低或去除重金屬，但進行上述各種改良對策前，除了必須考量其經濟性外，尚須考量如何防止二次污染之發生。

五、引用文獻

- 1.李國欽、林浩潭、賴七仙。1990。硬脂酸鎘製造工廠排放渠道灌區土壤水稻中重金屬含量調查與相關關係探討。pp.227-242。第二屆土壤污染防治研討會論文集。國立臺灣大學農業化學系編印。
- 2.林浩潭、李國欽、賴七仙。1991。臺灣地區不同作物對土壤中重金屬吸收之探討。pp.293-308。第三屆土壤污染防治研討會論文集。國立中興大學土壤系編印。
- 3.張尊國、徐玉標。1992。第四章 水污染與農業。pp.55-75。農業與環境保育。楊盛行編，華香園出版社。臺北。300p。
- 4.郭魁士。1980。土壤學。中國書局。臺北。801p。
- 5.臺灣省水利局。1981。灌溉水質監視處理手冊。臺灣省水利區編印。120p。
- 6.白鳥孝治。1974。第2編 水質污濁。pp.53-104。農業公害ハンドブック。阪井弘編，地人書館。東京。372p。
- 7.Chino, M. 1981. Metal stress in rice plants. pp.65-80 in: Heavy metal pollution in soil of Japan. K. Kakuzo and I. Yamane eds. Japan Scientific Societies Press, Tokyo, 302p.
- 8.Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 1986. Trace elements in soil and plants. CRC Press. Boca Raton, Florida, 315p.
- 9.Kobayashi, T. 1978. Pollution by cadmium and the Itai-Itai disease in Japan. pp199-260. in: Toxicity of Heavy Metals in the Environment. Part I. J.W. Oehme ed. Marcel Dekker, New York, 516p.
- 10.Li, G. C., H. T. Lin, and C. S. Lai. 1994. Uptake of heavy metals by plants in Taiwan. Biogeochemistry of Trace Elements. Environmental Geochemistry and Health 16:153-160.

(作者：林浩潭)