

## 本期專題：水再生利用技術

# 市鎮污水處理水轉移為灌溉用水之探討

歐陽嶠暉\*

## 摘要

台灣地區主要用水可分為三大類：農業用水約 70%、生活用水約 15%、工業用水約 10% 及其他 5%，其中生活用水及工業用水由於對水質的要求較嚴格，在國民生活水準日漸提高的今天，對生活及工業用水的需求與日俱增而不會減少。農業用水佔台灣地區用水量的 70%，且其水質可較不似生活用水、工業用水般嚴格，因此，利用其他水源來替代農業用水便成為可研究的方向，其中，又以經都市污水處理廠處理後的放流水最具潛力。

市鎮污水二級處理水因含有氮、磷、鉀等微量物質，對水稻生長有助益，但總氮因高達  $20\text{mg/l}$ ，反有造成過肥之問題，則可透過放流水與灌溉水以不同稀釋水灌溉，亦可採調節水稻成長階段之氮肥施肥量以改善之。市鎮污水二級處理水因含有氮、磷、鉀等微量物質，對水稻生長有助益，但總氮因高達  $20\text{mg/l}$ ，反有造成過肥之問題，則可透過放流水與灌溉水以不同稀釋水灌溉，亦可採調節水稻成長階段之氮肥施肥量以改善之。

### 【關鍵字】

1. 市鎮污水處理水、總氮、灌溉

\*國立中央大學環境工程研究所教授

資料來源：聯合國世界衛生組織、聯合國環境規劃署、聯合國糧農組織

## 一、各國市鎮污水處理水供灌溉利用概況

世界上許多國家，其都市污水處理水回收再利用已成為一般趨勢，這種趨勢尤其以已開發國家或水資源缺乏之國家為最。都市污水處理水再利用的使用方式隨著國家的政策與發展屬性不同而有所不同，在高度開發且地小人稠的國家，其再利用的情形大多以工業或都市公共用水為主。

日本每年回收的污水處理水達 100 百萬噸，其中 41%用於工業用水，32%用於環境用水，而僅有 8%用於農業灌溉，這是由於日本為工業大國，工業用水需求較殷之故。反觀美國，以加州為例，其每年回收的污水量達 432 百萬噸，其中高達 60%的水用於農業灌溉，16%用於都市綠地的澆灌，此二項比例高達 76%，用於工業用途僅 2%。以色列位處乾燥地區，其平均年雨量由北部地區的 800 公厘到南部地區的 50 公厘不等，因此極度缺水，再加上以色列經濟活動以農業活動為主，所以大多數的都市污水處理水被再利用於農業用途上。

至於其他國家，如法國、西班牙、俄羅斯等亦有相當的使用量。由於都市污水再利用於灌溉用途的比例逐漸提高，因此各國皆訂定該國都市污水處理水回收再利用為灌溉用水的相關法令及水質標準，以確保水質不致影響作物生長或人體健康。此外，由於污水處理水回收再利用於灌溉用水的國家及灌溉面積日漸擴大，聯合國世界衛生組織更於 1989 年訂定相關標準，正式將此一再生水源加以規範。

由此看來，都市污水處理水被用於灌溉用水已成為一種趨勢，台灣地區用水已呈現不足，因此將都市污水處理水用於灌溉用水的可行性非常值得各界重視。

## 二、台灣地區都市及農田水利會分布狀況

台灣地區人口五萬以上之市鎮經統計共有五十四個都市，其不同規模之都市人口及都市數示如表 1。

表 1 台灣各都市規模之人口數統計(87 年行政院主計處統計資料)

人口(萬人)	都市數	都市
100 萬以上	2	台北市(2,639,939 人)、高雄市(1,462,302 人)
50-100 萬	3	板橋、台中、台南
30-50 萬	8	三重、中和、新莊、基隆、鳳山、中壢、桃園、新竹
10-30 萬	20	永和、新店、土城、蘆洲、樹林、淡水、汐止、大寮、屏東、豐原、大里、太平、彰化、永康、平鎮、八德、楊梅、龍潭、龜山、嘉義
5-10 萬	21	三峽、五股、泰山、鶯歌、大溪、蘆竹、竹北、竹東、潭子、大雅、烏日、大肚、龍井、霧峰、和美、水上、仁德、歸仁、新營、岡山、美濃

台灣地區長期以來以米食為主食，因此水稻之生產相當重要，為促進水稻生產必須要有充分的灌溉水源。長期以來各地區皆已成立地區性之農田水利會，推動灌溉供水之業務，以提供充分之水源。目前台灣地區共有十七處農田水利會，總共所屬面積為 386,080 公頃，而以嘉南農田水利會的 78,196 公頃最大，其他較大的農田水利會分別為雲林、彰化、台中、桃園、屏東及高雄等。

在灌溉農田中，每年分有第一期作及第二期作之供水，而各期作之灌溉面積亦皆在 220,000 公頃左右，無論第一或第二期作，亦皆以較缺水之中南部之灌溉面積最大，包括嘉南、彰化、雲林、台中等，佔總面積的一半以上，顯示此等地區為台灣最重要的穀倉，因此滿足灌溉供水，以獲得充分的稻米生產，成為極重要的政策。

然而台灣地區可用的水源有限，在灌溉用水不能打折扣之下，未來水源穩定之都市污水處理廠放流水將是最重要的第二水資源。再者由於灌溉農田皆分布於平原，而各市鎮多座落於平原之中心，因此更有利於將都市污水經收集處理後，藉抽水系統以重力流或壓力系統就近抽入灌溉系統，以供應或補充灌溉用水。

### 三、農業灌溉用水之特性

農業用水以水田灌溉為主，而水田的灌溉用水，主要為被水稻所吸收，包括稻穗、葉、莖等所吸收，供生理需求後，由葉部蒸發，此一部分稱為「蒸散」，但不

.....

僅是葉部，水面也進行「蒸發」，而以水蒸氣消失於空氣中，包括前面的「蒸散」及「蒸發」，兩者合稱為「蒸發散」。此等蒸發散對於調節氣溫亦具極大效益。

其次一部份的灌溉用水滲入地下，此一部份除提供水稻之根部適當的氧量外，同時對水稻的生長作用非常重要，而滲入地下的水量，依土壤的性質而異，其中一部份則以橫向流出，注入水田附近的溝圳，回歸入河川，部分滲入地下深層成為深層地下水。此一水量為實際消耗水量。如圖 1。

水田灌溉用水的消費量，依氣候而異，而若要如自來水，依消費量調節供水，相當不容易估算，因此實際上皆供給較多餘的水量供灌溉，故有相當的水量呈剩餘水排出。

水田灌溉用水每日的消耗量約 1~1.5 公分，蒸發散量依地區而異，其量以水稻生長期為最大約每日 7mm，另約 8mm 則為滲入地下，因此也即約降低水位 1.5 公分，而每季水稻種植期約 100 天，由此可見其消耗用水量之大。另有部分剩餘水量流經水田或圳路者，則回歸入河川，回歸水約為灌溉水量的 30%。

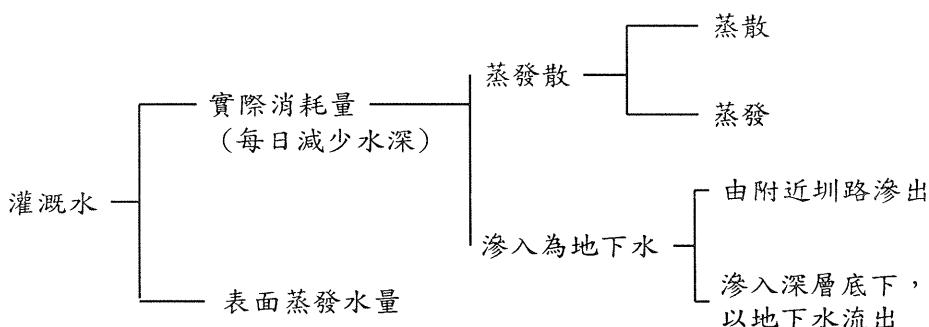


圖 1 水田灌溉用水流向

#### 1. 灌溉用水水質需求

任何一種作物皆需要在適當的水質條件下方能生長，如因水中有過多的鹽類、有機物或重金屬等，都會對農作物的生長造成危害，甚至可能由於食物鏈的關係間接的影響到人類的健康。

在污染物質中，像氮化合物之類的物質，是農作物的營養源。如果用含有適量營養源的水進行農田灌溉，對農作物的生長及產量有益。但如果營養源的含量超過了一定限度，則此營養源便可能引起危害，導致農作物生長、產量的下降。

水質污染對農作物的影響，會隨著土壤條件、施肥管理等因素而變化。土壤一般都具有緩衝能力，即使污水流入農田也能消除影響，有維持現狀的作用。施肥管理對農作物生長環境的影響是受人為制約的，即使污水流入農田，農作物也會按照最好的條件生長。由於這個作用，水污染的惡劣影響開始不直接表現在農作物上，但經過一定的時間以後，危害則表面化，進而減少產量、影響人類健康。

根據調查，水質污染使農作物受害大體上可分為下列三類型。

(1) 在葉片等部位可看見受害症狀或作物產量下降：

市鎮生活污水流入稻田使水稻貪青、鹽害引起的危害，都屬於這一類型。這也是最常見的一種類型。水質污染使水稻受害的臨界濃度，由於土壤、栽培管理和其他因素的不同其受害濃度差別很大，因此很難得到精確的標準。但日本經研究歸納後得到一般標準如表 2 所示。

(2) 農產品中有殘毒累積不能食用：

多氯聯苯(PCB)等有毒物質被作物吸著或吸收、吸附後，農產品就不宜作為食物。這種受害類型對人類的危害比對作物產生的危害更大。

(3) 對農民衛生健康的危害超過對農產品品質影響：

農民在從事水田等農活中手腳受到污染便屬於這種類型。

以上農作物受害通常並不是污染物一流入農田就立即發生危害，而是經幾個月有時甚至是經幾年後才發生危害，因此，必須管制灌溉用水的水質。

表 2 水質污染對水稻生長的允許臨界濃度

污染物	允許濃度	污染物	允許濃度
酸鹼值	6.0-7.5	油份	2-3 l 公噸以下
氯化物	500-700ppm 以下	化學需氧量	15ppm 以下
電導度	1mΩ/cm 以下	生化需氧量	5-8ppm 以下
總氮	5ppm 以下	溶氧	5ppm 以下
氨氮	3ppm 以下	懸浮固體物	100ppm 以下
清潔劑	3ppm 以下	總固體物	1000ppm 以下

\* 日本 COD 測定法為高錳酸鉀法

## 2. 氮化物對灌溉水稻影響

### (1) 影響原因

都市污水、食品工業廢水及畜牧廢水等，皆含有氨氮、硝酸鹽氮等無機性氮及有機污染物。有機污染物主要為碳水化合物、蛋白質，為動植物性比較容易分解之物質。蛋白質等有機污染物被分解為銨氮及硝酸鹽氮，此等物質會影響水稻之生長。

### (2) 影響特徵

即使污水經二級生物處理，但無機態氮並不能完全去除，經調查流入水田之氨氮濃度在 2mg/l，則水稻將呈過肥現象，甚至有伏倒之受害狀況。一般水稻發現被害之臨界濃度，依灌溉水量而異，難有一定標準，但一般皆認定為氨氮 2mg/l，總氮 4mg/l，就會造成影響。

一般水稻受氮化物影響之特徵，通常為水稻過分繁茂、稻桿過長、遲結穗、葉部過寬、生育後期葉色仍濃，且因桿節軟弱而容易伏倒，根部之根毛較少，活力較弱，而呈腐爛狀。稻殼粗大、米粒重量減少、米質因遲結穗之影響而降低品質。

### (3) 受害狀況

使用氮化物濃度過高之灌溉水，自結穗期呈軟弱生育，稻桿徒長，而於出穗期後伏倒，且受害的水稻容易遭受紋枯病。而一般受害以各區水田灌溉水之流入

口處較顯著嚴重。水稻灌溉受害程度，依水質濃度、土壤及栽培條件而異，一般濃度氮化物之受害，以黏質土壤較砂質土壤為重，而水田較旱田容易發生。

#### (4) 受害過程

含氮灌溉水受害過程，可分為直接吸收含氮化物之直接受害及氮化物蓄積於土壤間接受害。土壤長期接受放流水，土壤將蓄積氮化物，水稻田吸收此等物質，因而在植栽播種後就受其影響。因此若水田長期流入高濃度含氮之灌溉水，即使在低溫，有機氮仍含無機化之氮，將蓄積於土壤中，此乃水稻過分吸收原因之一。

#### (5) 灌溉水水質評估

影響水稻生育之水質項目應包括氮(T-N)、總凱氏氮(TKN)、氨氮、COD 及總磷(TP)，對於水稻灌溉用水之判斷可依表 3 所示。總磷仍可視為污染指標，若濃度高於 0.5mg/l 以上，對水稻仍為過肥，而污染程度為 2、3 者，則可採下述避免受害對策因應之。

#### (6) 避免受害對策

為減輕高氮濃度放流水對水稻作物之影響(表 4)，其可採取之措施包括：

- a. 培育耐伏倒性之水稻種。
- b. 為減少灌溉水帶進多量的氮，應採節水栽培，僅取所需要的水量灌溉，而避免採連續進流之灌溉。
- c. 減少使用氮肥，可依灌溉用水之氮化物含量及總灌溉水量推估。
- d. 增加磷酸鉀肥。
- e. 徹底防治蟲害。
- f. 非灌溉期進行休耕，使土壤乾燥。

$$\text{氮流入量(kg/a)} = (\text{灌溉水氮濃度(mg/l)} * \text{灌溉水量(m}^3/\text{a})) / 1000$$

表 3 灌溉用水水質評價(單位 mg/l)

成分	污 染 程 度			
	0	1	2	3
T-N	2 以下	2-4	4-8	8 以上
TKN	1 以下	1-3	3-7	7 以上
NH <sub>4</sub> -N	0.5 以下	0.5-2	2-5	5 以上
COD	7 以下	7-10	10-17	17 以上
T-P	0.2 以下	0.2-0.5	0.5 以上	

#### 四、灌溉用水及放流水水質標準之差異

台灣灌溉用水水質標準早在民國 67 年由省政府公告頒行，至於放流水標準，經修正後亦於民國 87 年 1 月 1 日起實施。比較兩種標準，可知灌溉用水項目共 28 項，其中有 16 項放流水標準內有規定，但濃度限值，兩者之間有數種差異頗大，有的灌溉水質有規範，但放流水卻沒有，反之，有的放流水有規範，但灌溉水卻沒有。此差異的最大原因是政府訂定工廠放流水標準時是基於公共衛生的立場，而灌溉用水是產業用水，其水質必須符合產業的要求，換言之，灌溉用水所考慮者，是施灌後不致損害作物及農田土壤為準，目標並不相同。

表 4 氮流入量、水稻生育收成量及施用氮肥法

每作氮流入量	水稻生育生成	氮肥使用法
3 (Kg/10 acre) 以下	不會有太大變化	通常使用法
3-5 (Kg/10 acre)	過於繁茂、成熟較慢、收成有減少傾向	基肥全量使用 穗肥半量使用 實肥不使用
5-11 (Kg/10 acre)	過於繁茂、伏倒、欠耐病性、成熟較慢、極端欠收	基肥全量使用 穗肥半量使用 實肥不使用

因此，台灣省政府環境保護處於民國八十三年，基於灌溉之立場並參考其他國家的相關標準及國內之實際現況後，對灌溉用水水質標準及放流水標準中差異較大的數點，如銅、鉛，錳……等提出修正值，並建議修改灌溉用水水質標準如表五所示。

由於台灣地區正操作中或興建中之都市污水廠，其污水處理程序多為活性污泥法，若以傳統二級處理標準活性污泥法之民生污水廠放流水水質為案例，比較其放流水若直接作為灌溉用水水質時之差異性，並與臺灣省灌溉用水水質標準修改建議值予以逐項比較，其結果如表五所示，可看出除油脂及總氮兩項超過長期使用限值外，餘均在限值內。而其他未檢測項目為都市污水中不可能有高濃度存在之水質項目，因此可不予考慮。

由於油脂濃度對於農作物影響較少，且可達自行分解，因此在此不予檢討，而放流水中總氮為  $22.5\text{ mg/l}$ ，較長期使用限值  $1.0\text{ mg/l}$  或短期使用限值  $10\text{ mg/l}$  為高，過高濃度的氮化物流入水田中將對一般水稻造成影響，如水稻過分繁茂、稻桿過長、遲結穗、葉部過寬、生育後期葉色仍濃，且因桿節軟弱而容易伏倒，根部之根毛較少，活力較弱，而呈腐爛狀。稻殼粗大、米粒重量減少、米質因遲結穗之影響而降低品質。因此如何降低都市污水廠放流水中總氮的濃度或如何適當的調配灌溉用水中原灌溉用水與污水放流水的比例便成為研究放流水再利用為灌溉水之主要課題。

## 五、污水處理水轉移灌溉之調節措施

一般水稻一期作，約需氮肥  $9\text{ kg/a}$ ，其成長期約 100 天，總灌溉用水量約  $120\text{ m}^3/\text{a}$ ，合總氮濃度  $8\text{ mg/l}$ ，若成長前期 50 天，吸收量  $6\text{ kg/a}$ ，用水量  $60\text{ m}^3/\text{a}$ ，則灌溉水總氮濃度可為  $10\text{ mg/l}$ ，其後期需氮肥  $3\text{ kg/a}$ ，用水量  $60\text{ m}^3/\text{a}$ ，則總氮濃度可為  $5\text{ mg/l}$ 。因此灌溉用水以污水處理放流水時，可視污水處理放流水總氮濃度調整灌溉稀釋水倍數。但污水處理若能採去氮系統，使總氮濃度降至  $5\text{ mg/l}$  以下，其放流水就可直接使用。

一般污水二級生物處理放流水總氮約 20mg/l，若原灌溉圳道有 4 倍水稀釋，則其總氮濃度可降至 5mg/l 以下，全期作可不必施氮肥，合乎前述日本 4mg/l 之標準。若灌溉稀釋水未能達 4 倍，而在 2~4 倍之間，則原基肥施肥量可減少為四分之三到二分之一左右，穗肥可減為二分之一，就可適用，不至於有過肥問題。

表 5 台灣省灌溉用水水質標準修改建議值及台北民生污水處理廠放流水水質\*

項目	灌 溼 用 水		民生污水 廠放流水
	長期使用值**	短期使用值***	
pH 值	6.0-9.0	5.5-9.0	7.5
電導度	750	1200	640
懸浮固體物	100	250	18
氯化物 (Cl)	175	280	26
硫酸鹽 (SO <sub>4</sub> )	200	300	15
總氮	1.0	10	17
清潔劑 (ABS)	5.0	10	
油脂	5.0	10	22.5
Al	5.0	20	0.144
As	1.0	2.0	
Be	0.50	0.5	
B	0.75	2.0	N.D.
Cr	0.10	0.5	N.D.
Cd	0.01	0.02	
Co	0.05	1.0	N.D.
Cu	0.20	0.40	N.D.
Pb	0.10	1.0	
Li	2.5	2.5	0.078
Mn	2.0	2.0	N.D.
Hg	0.005	0.005	
Mo	0.01	0.01	N.D.
Ni	0.50	0.50	
Se	0.02	0.02	
V	10	10	0.089
Zn	2.0	4.0	
鈉吸收率 (SAR)	6.0	6.0	28-30
水溫	35	35	
殘餘碳酸鈉 (RSC)	2.5	2.5	

\*除水溫 (°C)、pH 值、電導度 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$  25°C)、鈉吸收率、殘餘碳酸鈉 (meq/l)、大腸桿菌 (千 3.0 個/毫升) 外，其餘單位皆為 mg/l。

\*\*長期使用係指可連續使用於各種土壤，以現行灌溉水標準為依據。

\*\*\*短期使用係指緊急灌溉救旱，施灌水量不超過單期作總用水之 15%。

## 六、都市污水廠處理水轉移為灌溉用水之策略

為防止都市污水處理水轉移為灌溉用水對農地和作物造成影響，並充分發揮水資源有效利用，在應用的同時可依下列策略配套因應：

- 1.管制工業廢水有害物流入污水下水道系統，尤其對於可能排出重金屬的工業，應加以嚴格管制。
- 2.污水處理程序採用可降低氨氮及總氮之程序，以避免處理水中殘留氮化物，使其濃度盡量降低。
- 3.都市污水處理廠處理水以能就近排入灌溉圳道以供灌溉之用。
- 4.放流水轉移為灌溉用水，可視放流水中氮化物之濃度，與原來灌溉原水以一定比率混合、甚至全部利用以替代原灌溉水水源，達到避免過肥及滿足用水量等兩大需求，並轉移部份或全部用水量之原灌溉用水為自來水或工業用水水源。
- 5.配合農作物生長季節以及施灌用水量，調節用水種類及比率，並輔導農民調節施肥量，以避免農作物過肥，達到農作物之正常成長。
- 6.乾旱季節，可全部抽入灌溉系統，補充水源之不足。

## 七、結語

台灣地區由於用水量漸呈短缺，影響都市用水及工業用水至大，尤其中南部缺水更為嚴重，而都市污水下水道漸形計畫興建，籌建污水下水道除可改善生活環境，防治河川水質污染，更可將處理水轉移供灌溉用水，可謂一石三鳥。都市污水廠若能加強除氮功能，並與原灌溉用水配合農作物生長季節依部份或全部之比率就近排入灌溉圳道內，即可使農作物正常生長，並可將原灌溉用水轉移為民生或工業用水，以滿足日益增加之民生、工業用水量。因此，未來水資源之規劃，應整體考慮將都市污水廠之放流水，成為第二水資源，以共同調度利用，充分發揮水資源有效利用。

## 參考文獻

- 1.歐陽嶠暉，都市污水廠放流水再利用為灌溉用水推廣計畫(研究報告)，中央大學環工所，民國 88 年 6 月。
- 2.台灣省政府水利處，加強灌溉水質管理推廣計畫八十七年度成果報告，民國 87 年 7 月。
- 3.經濟部水資源局，研擬合理農業灌溉用水標準(III)及農業用水調配之可行性方案研究，民國 86 年 6 月。
- 4.台灣省政府環境保護處，灌溉水質管理策略之研究，民國 83 年 6 月。
- 5.日本千葉縣農業研究所，研究年報，1996 年。