

## 第四章 汙染量推估及 Vensim 模型建置

汙染量推估本研究主要分成三類，分別是住宅汙水、工業廢水及農田的非點源汙染。住宅區主要是因為人類生活用水造成水質汙染；工廠則是因為點源的汙染水排放；農田大多是因為施用過多農藥、肥料，導致降雨時將這些有機汙染沖刷流到河川，其因果關係如下表 4.1 所述。以下將針對每一汙染源及汙染推估做更詳細說明。

表 4.1 各類汙染之因果關係表

	因	果	關係描述	操作單元
住宅	人類之生活用水量	河川水質汙染、地下水汙染	單位負荷法	河川、污水處理場
工廠	點源汙染水排放	河川水質汙染、地下水汙染	單位負荷法	河川、下水道
農田	施肥、農藥、灌溉用水	河川水質汙染、地下水汙染	關係式、經驗公式	井群、農地、林地、埤塘、河川

### 4-1 家庭汙水量、水質推估

家庭汙水量推估是參考每人每日之用水量，因為每人每日汙水產生量與用水量成正比關係，可推估出每人每日之汙水產生量。所以本研究對於家庭汙水量推估方式是以每人每日隻用水量為基準乘以一適當係數而得，一般係數值約在 0.68-0.9 之間，如表 4.2 所示（環保署，88 及 89 年），而本研究將採用平均值 0.8 作為推估係數。

此外根據「台灣省自來水公司第七區管理處」資料，如表 4.3 顯示，民國 93 年高雄區自來水每人每日平均配水量為 238 公升。若將

每人每日平均配水量乘以產生污水量係數即可得到每人每日平均產生之污水量。

在汙染量推估方面，一般家庭汙水之 BOD 濃度介於 150-250 mg/L 間。參考高雄地區相關汙染整治及汙水下水道規劃報告，估計於民國 90 年時，排放汙水之 BOD 濃度約為 200 mg/L，將每人每日平均產生之汙水量乘上排放汙水之 BOD 濃度即能得到家庭用水所造成的汙染量。

目前因為高雄縣下水道普及率不高，所以本研究假設家庭汙水皆直接徑流至截流幹道進入灌排系統。將最終推估的家庭汙染排放量再乘上合理的流達率，極為流達量，如表 4.4 所示，而本研究則將流達率估計為 0.5。



表 4.2 台灣各地區汙水量與用水量之比值表

地區	比值	參考書籍或報告
台南市	0.8	台南市污水下水道系統規劃報告
台中港	0.8	台中市污水下水道系統規劃報告
中興新村內轆	0.8	內轆污水處理廠擴建工程設計報告
豐原鎮	0.8	豐原鎮雨水污水道系統規劃
高雄市	0.8	高雄區域污水下水道系統初步規劃報告
高雄市	0.8	高雄市污水下水道系統規劃
林口新市鎮	0.8	林口新市鎮自來水及下水道系統規劃報告
馬公鎮	0.8	馬公鎮雨水及污水道系統規劃報告
大台北區	0.9	CMD 台北區衛生下水道規劃綱要
民生東路	0.7	都市污水處理後再利用可行性研究
中興新村中正路	0.7-0.74	都市污水處理後再利用可行性研究
台灣地區	0.7-0.8	工業廢水處理之研究

表 4.3 歷年平均每年每人用水量及每日用水量

項目別	每人每年用水量 (立方公尺)	每人每日用水量 (立方公尺)
75 年	64.807	0.178
80 年	80.869	0.222
85 年	87.576	0.239
89 年	86.645	0.237
90 年	88.339	0.242
91 年	86.261	0.236
92 年	87.062	0.239
93 年	87.056	0.238

資料來源：台灣省自來水公司第七區管理處

表 4.4 BOD 一般流達率建議值

地區分別	流達率
農村地區	0.0-0.2
都市地區	0.2-0.6
郊區	0.1-0.6
都市中心區	0.6-1.0
公共下水道	1.0

資料來源：行政院環保署，水污染防治實施方案規劃作業手冊，民國 82 年。

#### 4-1-1 美濃鎮及湖內鄉人口推估

美濃鎮及湖內鄉人口推估為將該地區原人口數乘出生率減掉該地區原人口數乘死亡率最後加上原人口數及可得到該地區每年人口數。根據高雄縣政府主計處統計，美濃鎮在民國 92 年人口數為 45,538 人，湖內鄉則為 28,460 人，參考美濃鎮公所及湖內鄉公所統計每一村里的人口數資料，進而推估每一灌溉區內之人口數如表 4.5 及表 4.6 所示；高雄縣出生率為 0.013685 (1/年)，死亡率為 0.008363 (1/年)。

表 4.5 美濃鎮灌溉區人口數 (人)

灌溉區	1	2	3	4	5	6	7
人口數	1,989	9,550	2,816	1,750	511	2,807	2,445
灌溉區	8	9	10	11	12	13	14
人口數	3,650	3,597	8,788	949	2,759	1,897	949

表 4.6 湖內鄉灌溉區人口數 (人)

灌溉區	1	2	3	4	5	6	7
人口數	1,087	2,350	2,296	2,499	1,986	4,422	1,353

圖 4.1 為家庭汙水量推估之模型建置，模式中因為將美濃鎮及湖內鄉各分為十四個和七個區塊，因此家庭汙水的排放點也將其分成十四個及七個區塊。圖中 (a) 為人口數，其方程式為「原人口數」加「出生人數」減「死亡人數」；(b) 為排放汙水量，方程式為「人口數」乘以「每人每日用水量」乘以「產生汙水量比例」；(c) 為家庭

污水 BOD 濃度，方程式為「排放污水量」乘以「產生 BOD 比例」。

參數輸入參照附錄中之附表一。

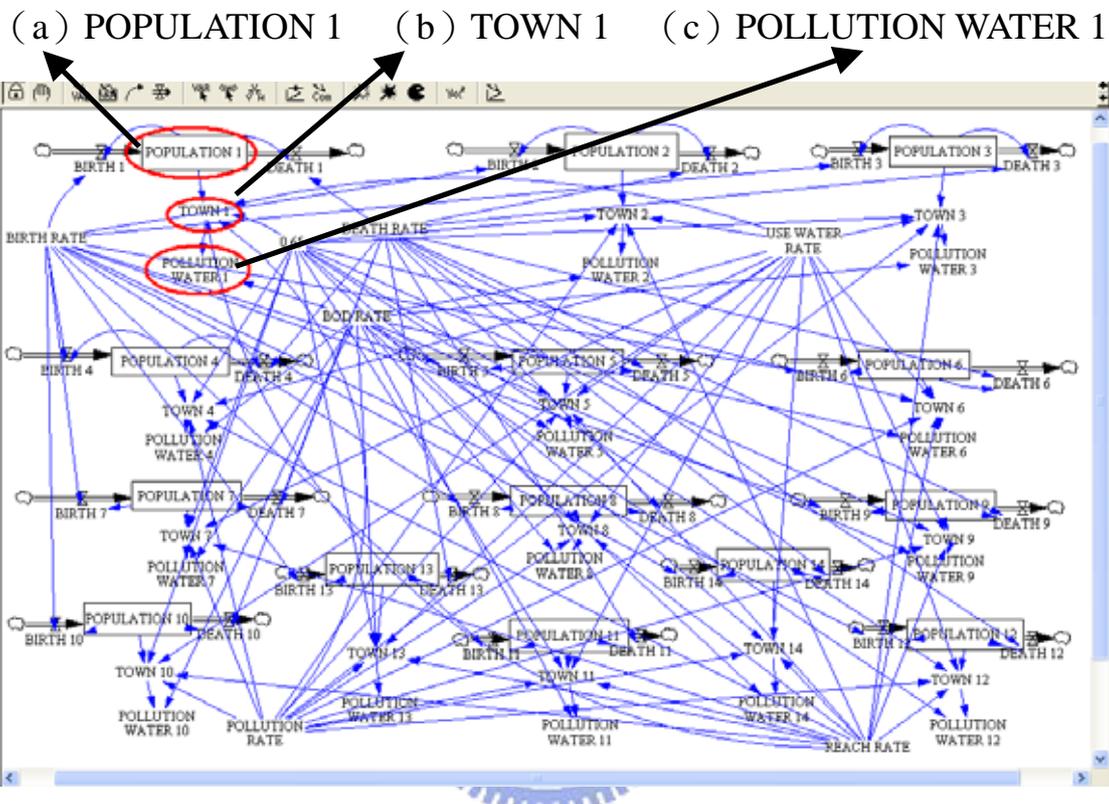


圖 4.1 家庭污水推估之模式建置

#### 4-2 工廠廢水量、水質推估

由於工業廢水及汙染量會因行業類別、使用原料、製造過程及產品的不同而有極大的差異，因此工業所產生的汙染量推估需要多方參考現況資料調查。

對於排放廢水到灌溉圳路的工廠，依照高雄水利會的定義，目前稽查到的工廠稱為排泄戶，而經申請許可搭排的排泄戶稱為搭排戶，

因此本研究推估工廠所產生廢水分成兩部分，申請許可之搭排戶採用高雄水利局複檢的水質濃度為進入灌排系統水質；另外對於未經許可的排泄戶由於欠缺水質資料，其污染量的推算本研究參照表 4.7 各行業廢水性質來計算污染量。

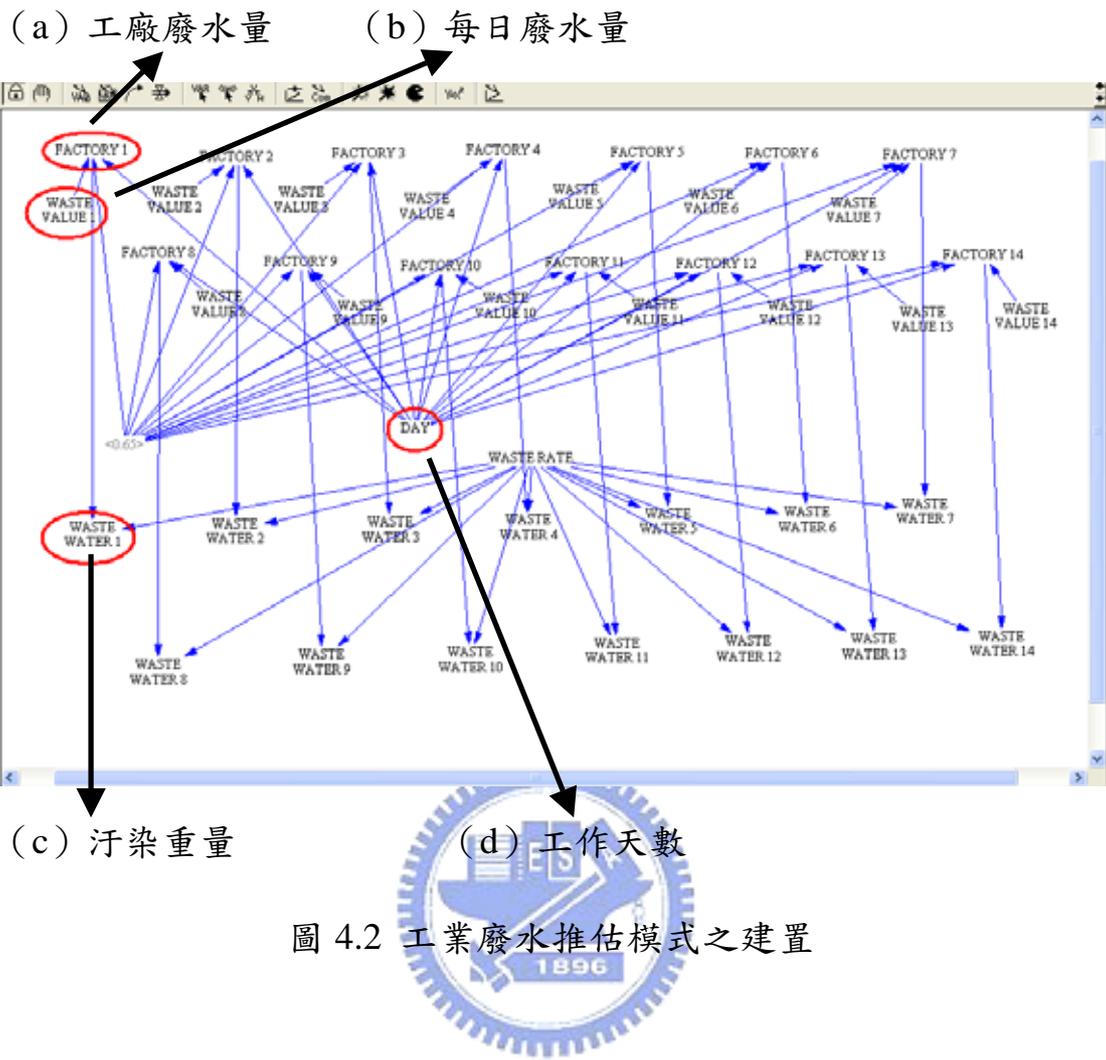
表 4.7 各行業廢水性質

行業別	BOD 濃度 (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N 濃度 (mg/L)	TN 濃度 (mg/L)	TP 濃度 (mg/L)
化工業	500	79	110	2
毛條業	3160	160	160	--
染整業	180	--	25	10
食品業	300	35	50	10
修車業	70	--	3	0.5
造紙業	400	--	85	3
製藥業	1270	--	90	15
紡織業	200	--	70	15
發酵業	300	114	125	35
石化業	523	100	165	0.9

資料來源：吳芳池，2003

註：--表示沒有實際資料

圖 4.2 為工業廢水水質水量推估模式，和生活污水分區塊一樣，美濃鎮及湖內鄉各分成十四和七個區塊，污染量的估算即將工廠每天「排放量」乘以「廢水濃度」得到污染重量。圖中 (a) 工業廢水量等於「每日廢水量」乘以「工作天數」；(b) 每日廢水量由統計資料得到；(c) 污染重量等於「工業廢水量」乘以「廢水濃度」。參數輸入參照附錄中之附表二。



### 4-3 農業污染推估

本研究為了探討灌溉水及回歸水水質變化情況，以及對農地產生之污染情況，因此以美濃鎮-獅子頭圳灌溉區及湖內鄉-二仁湖內灌溉區為案例。

#### 4-3-1 農田系統

在農田污染推估方面，首先需要了解農田污染機制、灌溉水來源和其水質水量。高雄縣因為下水道尚未普及，大部分工廠廢水、家庭污水都排放至灌溉排水路，導致影響河川水質，對農地的土壤污染也產生很嚴重危害。



如下圖 4.3 的農田系統圖，本研究將其分為水量流和水質流兩方面。在水量流方面，有河川灌溉水、雨水、工廠廢水、家庭污水進入農田，這些水有部分蒸發散至大氣，部分下滲成為地下水，多餘水量若超過稻作之田埂則成為回歸水回到河川；若是雜作則若有多餘水量都成為回歸水。

水質流方面，主要因為有工業廢水、家庭污水經灌溉排水路進入農田，還有耕作時的農藥、肥料施用在農地上，經降雨沖刷亦會影響水質。

這些污染源分成兩部分-重金屬及氮、磷肥。有部分重金屬會回歸至河川，部分則殘留在農田土壤表面，因重金屬陽離子受土壤表面

負電性吸引或吸附，移動性低，且農田之牛踏層土壤顆粒細，形成阻絕，大都殘留在土壤表面其餘則隨著回歸水流到河川。至於施肥產生的氮肥、磷肥有部分會在土壤層被細菌所分解，有些下滲至地下水位飽和層氧化形成硝酸鹽污染地下水，其餘則一樣隨著回歸水回到河川。



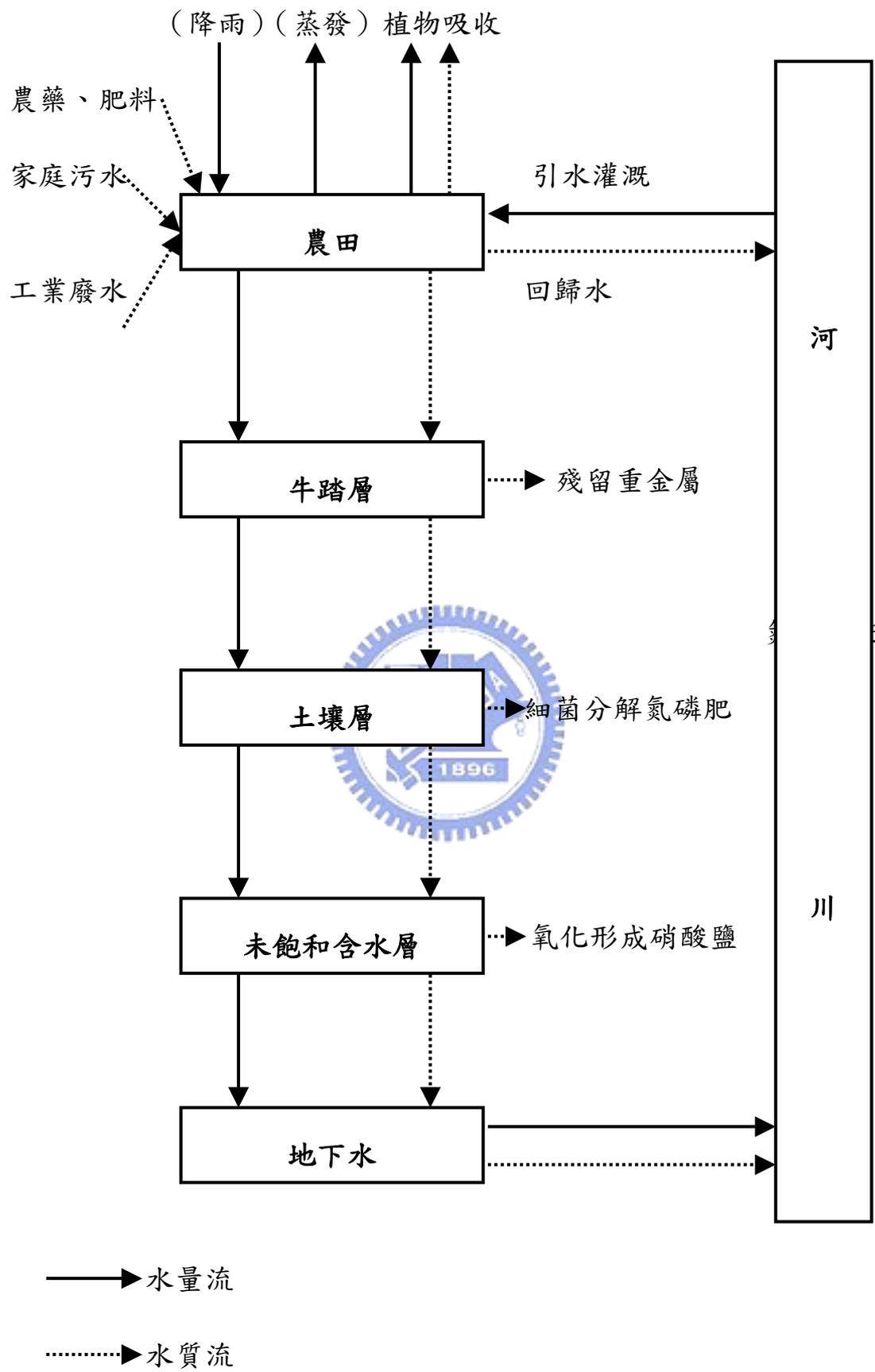


圖 4.3 農田系統圖

## 4-3-2 灌溉水流向

### 4-3-2-1 美濃鎮灌溉區

美濃鎮的灌溉水引自荖濃溪，將荖濃溪的水引至獅子頭圳再將灌溉水分配到每一個灌溉圳路，灌溉區域如圖 4.4 所示。本研究參考高雄水利會的灌溉圳路圖，依圳路圖把灌溉區域分成十四區塊，如圖 4.5，圖中可以知道灌區 3 的回歸水水質會影響灌區 4、5、6、7、8；灌區 4 之回歸水水質會對灌區 9、10 產生影響；灌區 9 則對灌區 11、12 造成影響；灌區 12 則對灌區 13、14 造成污染。

最後灌區 11、7 的回歸水回歸至旗山溪，將其排放點定為 1 和 7；而灌區 10、14、5、13、6 之排放點分別定為 2、3、4、5、6，這些回歸水排放至美濃溪，美濃溪最後則匯流進旗山溪，如圖 4.6 所示。





圖 4.4 美濃鎮研究區域圖

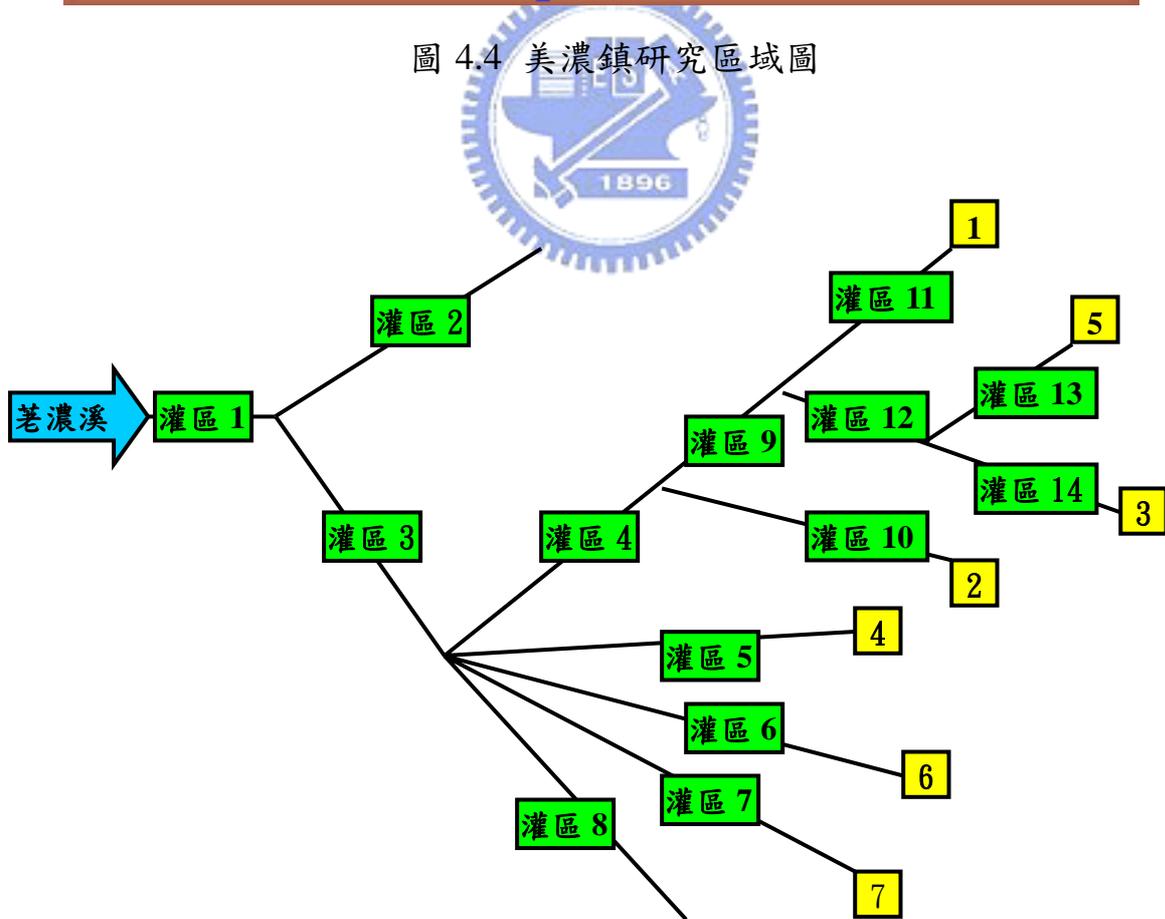


圖 4.5 美濃鎮灌溉區示意圖

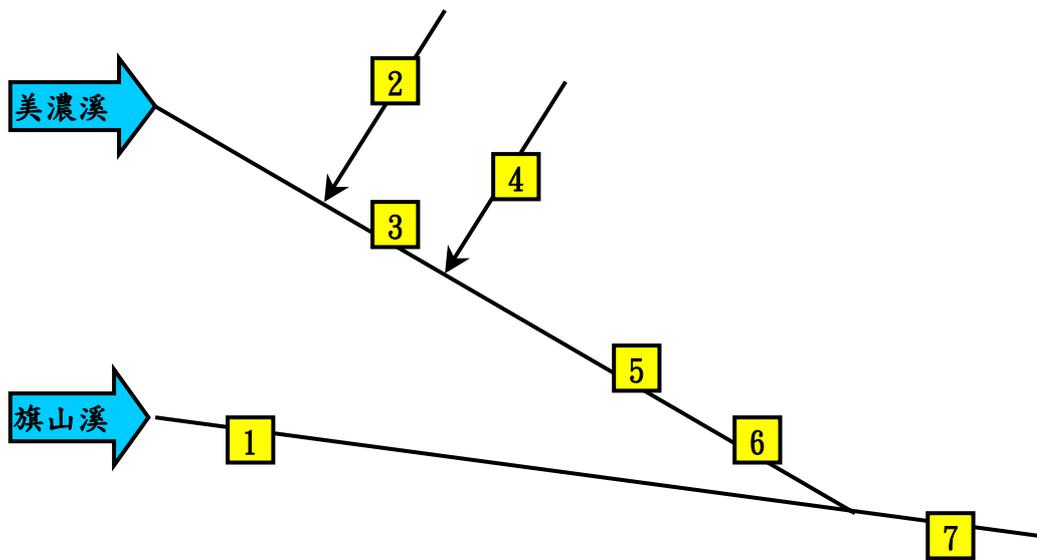


圖 4.6 美濃鎮回歸水排放點示意圖

#### 4-3-2-2 湖內鄉灌溉區

湖內鄉的灌溉水引自二仁溪，回歸水亦排放到二仁溪，研究區域如圖 4.7。本研究將湖內鄉之灌溉區分成七個區域，灌區 2、3 的水質會受灌區 1 影響；灌區 4、7 的水質則受灌區 2 影響；灌區 6、7 的水質則受灌區 3 影響，如圖 4.8 所示。最後灌區 4、5、6 的回歸水會回到二仁溪，由上由至下游排放點別為 1、2、3，如圖 4.9 所示。

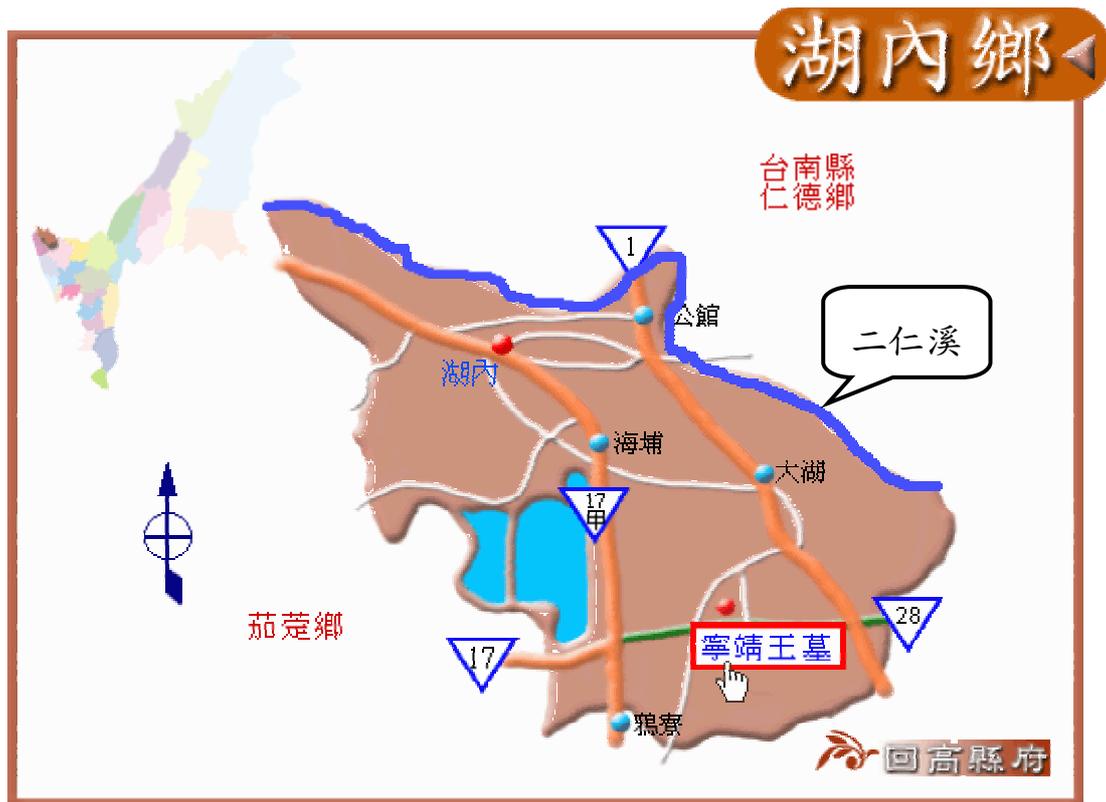


圖 4.7 湖內鄉研究區域圖

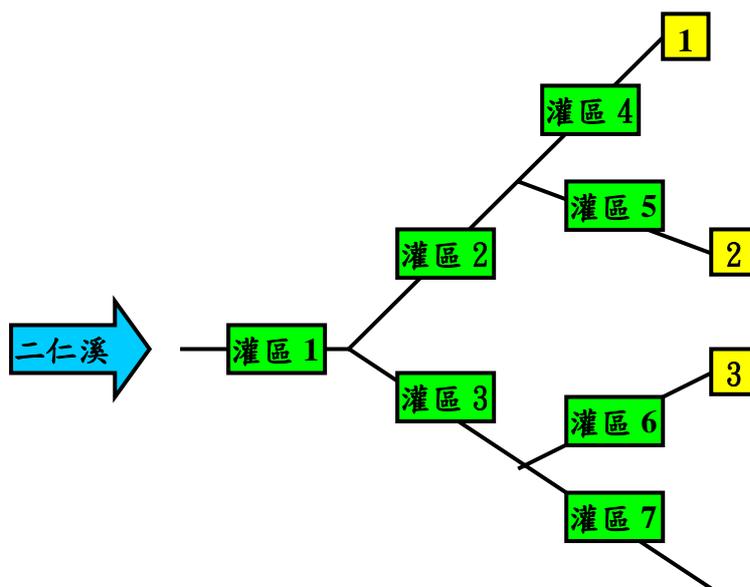


圖 4.8 湖內鄉灌溉區示意圖

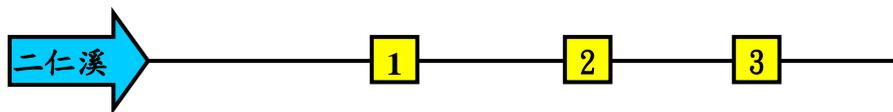


圖 4.9 湖內鄉回歸水排放點示意圖

#### 4-3-2-3 美濃溪、旗山溪及二仁溪汙染推估

由於回歸水排放至美濃溪、旗山溪或二仁溪時，為了要探討回歸水對原本河川的水質影響，所以將這些河川的流量資料列在表 4.8。水質重量計算方法為各「河川水質濃度」乘以「河川流量」再乘以「時間」，加上「回歸水汙染重量」，推估模式如圖 4.10 所示，最後除以「河川水量」（河川流量乘以時間）加「回歸水水量」，即得到該汙染濃度。參數輸入參照附錄之附表三。

#### 4-3-2-4 回歸水影響原灌溉水水質推估

灌溉水部分會被引進單一區塊農田灌溉，當這些被引進農田灌溉的水再變成回歸水流回圳路時，回歸水水質會與原灌溉水水質混合，改變原來灌溉水質後再進入下一區塊農田，所以每一農田所引進的灌溉水質會不一樣，其灌溉水質推估模式如圖 4.11 所示。模式中分別

計算「CONCENTRATION 1」、「CONCENTRATION 3」、「CONCENTRATION 4」、「CONCENTRATION 9」、「CONCENTRATION 12」是由於之前所述，第1、3、4、9、12區塊的農田回歸水會影響較下游農田灌溉水質。參數輸入參照附錄之附表四。

推估方法分兩部分，水污染重量為「回歸水水質」乘以「回歸水水量」加上「原灌溉水水質」乘以「原灌溉水量減引水灌溉水量」。水量部分為「原灌溉水量減引水灌溉水量」加「回歸水量」，將水污染重除以水量即得到下一個灌溉水水質，關係式為疊加的方式，如式子 4.1 所示，式中 C3 為新的灌溉水水質，C1 為原灌溉水質，C2 為回歸水水質，V1 為原灌溉水量，V2 為回歸水水量。

$$C3=(C1*V1+C2*V2)/(V1+V2) \dots \dots \dots (4.1)$$

表 4.8 美濃溪、旗山溪、二仁溪流量 單位：cms

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
美濃溪	0.03	0.02	0.02	0.09	0.52	3.98	5.72	6.54	3.83	0.79	0.18	0.05
旗山溪	2.49	3.17	4.4	6.54	35.17	114.08	85.67	121.81	73.82	23.41	7.64	3.29
二仁溪	1.61	1.47	1.89	2.8	7.29	18.71	23.11	31.56	16.88	5.87	2.58	1.59

資料來源：台灣地區河川流量資料庫水文分析

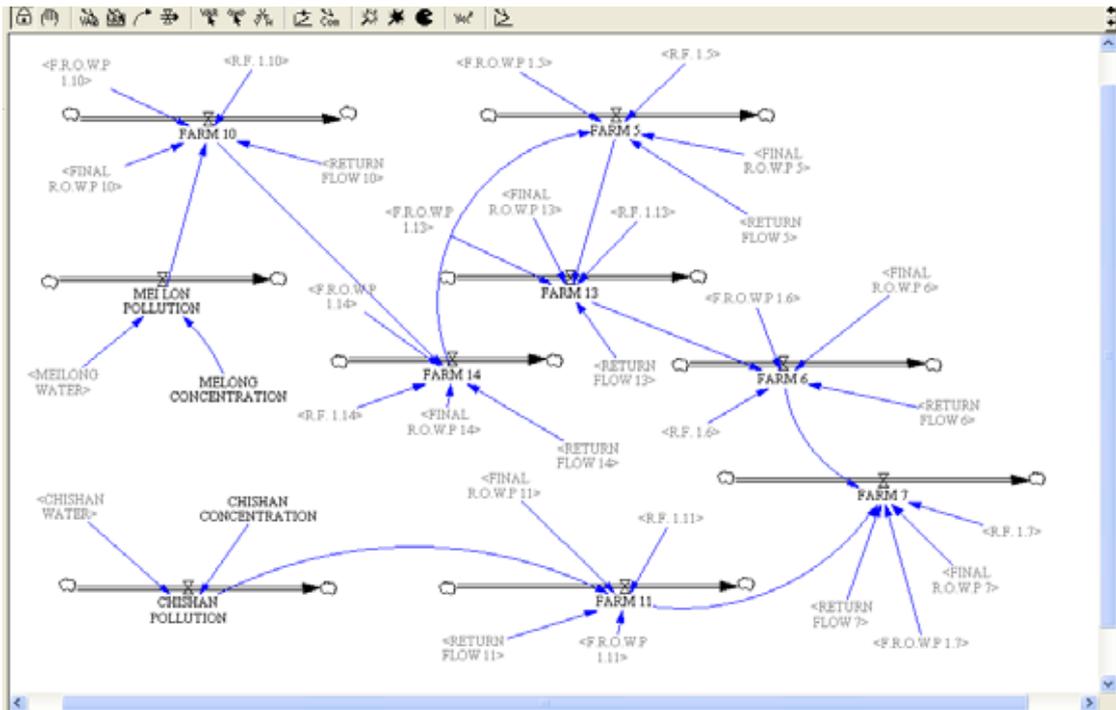


圖 4.10 美濃回歸水排至河川污染量推估模式

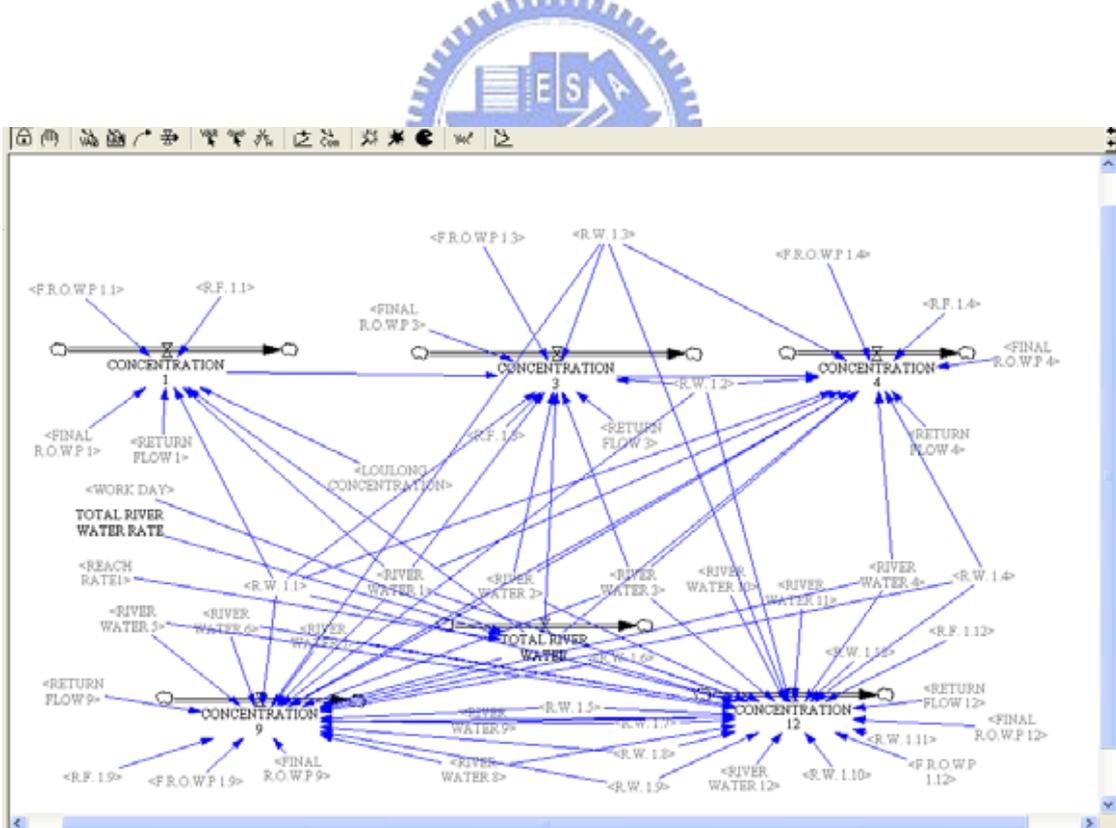


圖 4.11 美濃灌溉水汙染量推估模式

### 4-3-3 農田相關資料、參數收集

#### 4-3-3-1 灌溉區面積

表 4.9 及表 4.10 分別為美濃鎮及湖內鄉各個灌區面積，面積劃分依比例將每個灌溉區平分；其中每一灌區又分成稻作和雜作，面積比例參考高雄水利會灌溉計畫書推估而得，再將這些數據一一代入模式中稻作之「FARM AREA」變數及雜作之「F.A.」變數。

表 4.9 美濃鎮灌溉區面積

農作類別 灌溉區	稻作 (平方公尺)	雜作 (平方公尺)
1	2,112,000	2,750,000
2	4,925,000	6,411,000
3	765,000	1,005,000
4	1,177,000	1,555,000
5	288,000	380,000
6	896,000	1,162,000
7	1,053,000	1,382,000
8	1,812,000	2,370,000
9	1,642,000	2,145,000
10	2,276,000	3,006,000
11	603,000	787,000
12	609,000	794,000
13	1,210,000	1,578,000
14	1,282,000	1,675,000
TOTAL	20,650,000	27,000,000

整理自：高雄水利會灌溉計畫書（高雄農田水利會，2004）

表 4.10 湖內鄉灌溉區面積

農作類別 灌溉區	稻作 (平方公尺)	雜作 (平方公尺)
1	27,500	759,200
2	29,900	825,600
3	33,300	961,800
4	24,100	663,300
5	31,900	880,400
6	128,300	3,537,400
7	77,000	2,122,400
TOTAL	352,000	9,750,100

整理自：高雄水利會灌溉計畫書（高雄農田水利會，2004）

#### 4-3-3-2 田間水量

田間水量進出有以下六種形式，在此分別介紹其推估、操作方法。

1.降雨：參考中央氣象局統計高雄縣的每月降雨量，算出每月降雨量平均值後，將降雨數據輸入到 EXEL 檔中，當 Vensim 開始模擬時，可以將 EXEL 檔的資料叫出來進行模擬。

2.蒸發：其操作方法亦跟降雨一樣，先把中央氣象局在高雄縣的蒸發量資料統計後，輸入 EXEL 檔中，在 Vensim 模式中設定一變數來呼叫該蒸發的資料。但如果農田中水量不足蒸發量加入滲量時，則將依蒸發量與入滲量之比例去分配農田中的水。

3.引水灌溉：高雄縣耕作大多為二期作，第一期耕作供水時間為國曆一、二、三、四、五月，六月上、中旬不供水；第二期作供水時間為國曆六月下旬及七、八、九月以及十月上旬，十一、十二月不供



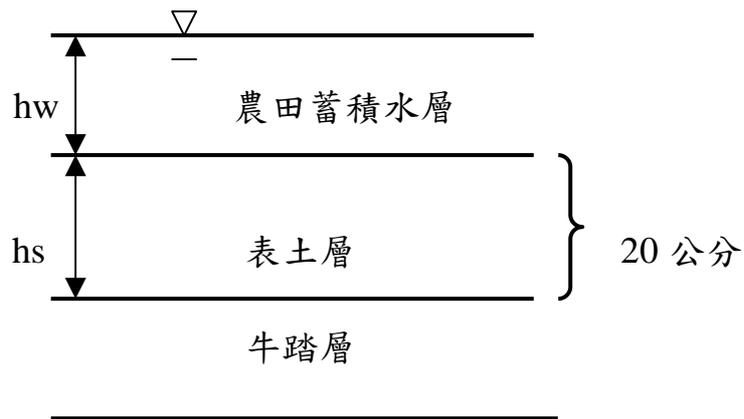


圖 4.12 土壤剖面示意圖

雜作之土壤入滲率則保守估計，採用（劉，1991）統計之土壤最終入滲率，如表 4.11 所示，因為雜作並沒有蓄積水影響入滲率問題，且根據高雄縣土壤屬砂質壤土，所以本研究定雜作土壤入滲率為 0.225 in/hr。由於不考慮原先地下水量，故只針對補助地下水量作探討。

6. 回歸水：因本研究區域為地勢較平坦地區，所以田間水量經側向滲流最後回歸到河川的比例相當小，故在此則假定當田間水量高度超過田埂高時，這些超過田埂高的水即成為回歸水流回河川。

表 4.11 土壤最終入滲率（劉，1991）

土壤情形	最小入滲率 (in/hr)
深層砂土、深層黃土、集合沉泥	0.30~0.45
淺層黃土、砂質壤土	0.15~0.30
黏質壤土、淺層壤土、低有機含量壤土、高黏土含量壤土	0.05~0.15
潮濕層膨脹土壤、高塑性黏土、鹹土	0~0.05

### 4-3-3-3 田間水污染來源與流失

#### 1. 灌溉水及回歸水水質

美濃鎮的灌溉水引自荖濃溪，湖內鄉的灌溉水則引自二仁溪，將引水圳路位置與環保署水質監測站位置作比對，以最接近圳路位置的水質監測站監測數據為灌溉水水質依據，荖濃溪水質就依新寮吊橋監測站水質為灌溉水水質之初始值，見表 4.12，至於流經農田的回歸水部份回歸到美濃溪，部分回歸到旗山溪，在靠近回歸水排放點之上游監測站為該河川初始水質，分別為西門大橋和新旗尾橋監測站，見表 4.13 和表 4.14，回歸水污染量加上美濃溪或旗山溪初始水質污染量，再除以總水量即得到回歸水進入該河川的水質；二仁溪灌溉水質則是以二層行橋的監測水質為初始值，見表 4.15。

至於重金屬濃度監測值小於監測極限值時，僅以小於極限監測值來表示，故本研究將這些小於極限監測值的濃度假定為零。

本研究將系統動態模式一開始先分成水量流及水質流分別作模擬，最後再將污染重量除以水量得到水質，所以在污染重量的推估上，是將灌溉水污染濃度乘以灌溉水量來求得污染的重量。

表 4.12 美濃鎮灌溉水-荖濃溪

單位：mg/L

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
BOD	1.2	2.1	2.2	1.5	2	1	1.5	1.1	0.5	2.7	1.2	2.3
TN	--	--	0.47	--	--	1.65	--	--	3.07	--	--	0.77
鎘	--	--	<0.001	--	--	<0.001	--	--	<0.001	--	--	<0.001
鉛	--	--	<0.03	--	--	<0.03	--	--	<0.03	--	--	<0.03
銅	--	--	<0.005	--	--	<0.005	--	--	<0.005	--	--	<0.005
汞	--	--	<0.6	--	--	<0.6	--	--	<0.6	--	--	<0.6
鋅	--	--	0.018	--	--	0.016	--	--	0.016	--	--	0.0125

資料來源：行政院環保署環境資料庫-新寮吊橋監測站，民國 93 年

--：無監測值

表 4.13 美濃鎮回歸水-美濃溪

單位：mg/L

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
BOD	1.8	3.5	2.1	1.95	1.8	1.4	1.75	2.7	2.35	2.6	0.5	1.65
TN	--	--	1.29	--	--	2.04	--	--	2.35	--	--	1.34
鎘	--	--	<0.001	--	--	<0.001	--	--	<0.001	--	--	<0.001
鉛	--	--	<0.03	--	--	<0.03	--	--	<0.03	--	--	<0.03
銅	--	--	<0.005	--	--	<0.005	--	--	<0.005	--	--	<0.005
汞	--	--	<0.6	--	--	<0.6	--	--	<0.6	--	--	<0.6
鋅	--	--	0.009	--	--	0.009	--	--	0.02	--	--	0.009

資料來源：行政院環保署環境資料庫-西門大橋監測站，民國 93 年

--：無監測值

表 4.14 美濃鎮回歸水-旗山溪

單位：mg/L

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
BOD	1.5	1.95	1.6	2.45	1.35	1.4	2	1.55	2.2	1.75	2.3	1.7
TN	--	--	0.94	--	--	2.46	--	--	1.67	--	--	1.12
鎘	--	--	<0.001	--	--	<0.001	--	--	<0.001	--	--	<0.001
鉛	--	--	<0.03	--	--	<0.03	--	--	<0.03	--	--	<0.03
銅	--	--	0.008	--	--	0.012	--	--	0.0025	--	--	0.0104
汞	--	--	<0.6	--	--	<0.6	--	--	<0.6	--	--	<0.6
鋅	--	--	0.018	--	--	0.055	--	--	0.024	--	--	0.0149

資料來源：行政院環保署環境資料庫-新旗尾橋監測站，民國 93 年

--：無監測值

表 4.15 湖內鄉灌溉水-二仁溪

單位：mg/L

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
BOD	17.95	99.15	26.9	33.7	14.65	6.85	11.6	5.55	3.5	9.1	12	5.25
TN	--	--	21.8	--	--	8.3	--	--	8.36	--	--	13.6
鎘	--	--	<0.001	--	--	<0.001	--	--	<0.001	--	--	<0.001
鉛	--	--	<0.03	--	--	<0.03	--	--	<0.03	--	--	<0.03
銅	--	--	<0.05	--	--	<0.014	--	--	<0.01	--	--	<0.015
汞	--	--	<0.6	--	--	<0.6	--	--	<0.6	--	--	<0.6
鋅	--	--	0.94	--	--	0.065	--	--	0.04	--	--	0.133

資料來源：行政院環保署環境資料庫-二層行橋監測站，民國 93 年

--：無監測值

## 2. 農藥、肥料

由於農藥及肥料種類繁多，每一種類所產生的總磷、總氮量沒有一定數據可以估算，所以污染量將依照表 4.16 歸納出每年單位面積推估的污染量來計算，在稻作方面採取 BOD 單位面積污染量為 3.2 (kg/ha-yr)，雜作方面將統一為蔬菜園，BOD 單位面積污染量為 18.0 (kg/ha-yr)。總氮的污染量，稻作以 0.63 (kg/ha-yr)：雜作以 26.0 (kg/ha-yr) 代入模式中的「FERTILIZE」肥料、「AGRICHEMICAL」農藥變數。

表 4.16 各類土地污染物之單位面積污染量

單位：kg/ha-yr

土地利用型態	BOD	TP	TN	NH3	SS
果園	18.00	4.0	26.0	13	129.40
檳榔園	59.53 (COD)	0.318	14.92	--	100.09
茶園	5.50	4.0	26.0	--	104.60

稻作	3.2	0.40	0.63	--	129.4
蔬菜園	18.0	8.0	26.0	--	450.00
林地	5.00	0.2	3.0	1.5	85.0
施工工地	602	--	36.9	--	110,954
草地	2.70	0.2	0.74	--	58.60
遊憩	4.18	1.03	5.08	2.54	--
社區	50.0	5.0	8.5	--	460.00
其他	--	0.4	1.00	--	--

註：BOD：生化需養量；TP：總磷；TN：總氮；NH<sub>3</sub>：氨氮；SS：懸浮固體  
資料來源：

1. 「台灣非點源污染管理與控制現況」，溫清光，中美非點源污染控制管理與技術合作研討會。
2. 水利處南區水資源局，「曾文水庫水質調查及改善計畫」，溫清光，郭振泰，2001。
3. 行政院環保署，「淡水河流域基隆河非點源污染分析調查與整治規劃」，勇興台，1999。
4. 「德基水庫集水區非點源污染負荷之研究」，張尊國等人，第九屆環境規劃與管理研討會論文集，1996。



### 3. 工廠廢水

本研究除討論水質 BOD 外，亦模擬農地重金屬污染狀況。重金屬來源主要來自工業廢水，工業所排放之廢水往往夾帶許多重金屬，在經搭排系統後，部分會進入農田造成農地重金屬污染，也有許多污染案例發生，下表 4.17 即為各類型工廠所產生之各種重金屬種類。

表 4.17 台灣地區重金屬污染來源說明表

重金屬種類	污染來源	說明
Cu	工業	電線、電子、印刷電路板與金屬電鍍工業
	農業	殺蟲劑（硫酸銅、鹼性碳酸銅等無機化合物）

Cr	工業	金屬鍍鉻、顏料、染料、油漆、墨水、媒染劑、玻璃及皮革
Cd	工業	電鍍材料、油漆材料、電池、汽油及輪胎
	農業	磷肥中含有鎘
Pb	工礦業	開採及冶煉過程中產生
	交通	汽車燃燒排放含鉛廢氣
Zn	電鍍	例：鍍鋅管
	印刷	油墨、油漆及影印紙等皆使用到鋅
Ni	工業	製造銅鐵與合金，塗料、色素、化妝品及電池等

資料來源：羅良慧，1997

#### 4. 農地原本含有之重金屬汙染

行政院環保署的前身衛生署環保局自民國七十一年至民國七十六年曾進行「台灣地區土壤汙染概況調查」。調查的方式是以 1600 公頃為單位，每單位取 20 點之土壤混合成一個樣品加以分析，並分為表土（0-15 公分）及裏土（15-30 公分）兩部份，分析項目則以八種金屬元素為主。本研究模式中原本農地土壤重金屬含量的初始值依照其調查結果中土壤品質數據分別代入不同種類重金屬汙染，土壤中重金屬含量數據採綜合統計（即表土和裏土重金屬含量最多者），將美濃鎮和湖內鄉土壤重金屬汙染數據整理成表 4.18 及表 4.19。

表 4.18 美濃鎮農地重金屬汙染濃度

單位：mg/kg

重金屬 農地	砷	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	鋅
1	5.95	0.13	0	5.89	0.11	2	8.38	7.6
2	2.98	0.07	0	2.95	0.06	1	4.19	3.8

3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	8.75	0.11	0.43	6.91	0.11	1.69	9.29	9.25
5	4.38	0.06	0.22	3.46	0.06	0.85	4.65	4.63
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	6.34	0.15	0.22	6.16	0.15	1.32	8.87	8.77
10	6.86	0.13	0	9.86	0.13	1.74	9.36	10.73
11	3.93	0.18	0	5.4	0.18	0.95	8.44	8.28
12	3.93	0.18	0	5.4	0.18	0.95	8.44	8.28
13	6.86	0.13	0	9.86	0.13	1.74	9.36	10.73
14	3.93	0.18	0	5.4	0.18	0.95	8.44	8.28
土壤汙染管制標準	60	20 (5)	250	400 (200)	20 (5)	200	2000 (500)	2000 (600)

整理自：行政院環保署環境資料庫

( ) 內表示食用作物農地之管制標準

表 4.19 湖內鄉農地重金屬汙染濃度

單位：mg/kg

重金屬 農地	砷	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	鋅
1	5.08	0	0	3.19	0.03	1.1	3.49	4.88
2	5.08	0	0	3.19	0.03	1.1	3.49	4.88
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	8.66	0.48	0	1.06	0.27	1.31	9.19	15.1
5	8.66	0.48	0	1.06	0.27	1.31	9.19	15.1
6	8.66	0.48	0	1.06	0.27	1.31	9.19	15.1
7	0	0	0	0	0	0	0	0
土壤汙染管制標準	60	20 (5)	250	400 (200)	20 (5)	200	2000 (500)	2000 (600)

整理自：行政院環保署環境資料庫

## 5.家庭污水

家庭污水的推估已於 4-1 節詳盡敘述。

## 6.地下水水質

因為本研究不考慮美濃鎮及湖內鄉的地下水位、地下水量，所以難以估計地下水的污染濃度，在此僅推估地下水增加之污染量有多少。農作物施肥所用的氮肥在入滲至土壤中時，部分被植物吸收，部分被土壤中細菌分解，部分則繼續往下滲，在地下水未飽和層氧化形成硝酸鹽氮，是本研究探討地下水污染之項目。

數據輸入方面，一樣參照表 4.16 稻作和蔬菜園的總氮 (TN) 單位面積污染量，分別為 0.63 kg/ha-yr 和 26.0 kg/ha-yr，並假定土壤中原本氮含量為零。因為氮入滲到未飽和層氧化形成硝酸鹽氮的比例沒有相關數據，所以本研究以調整養化比例的比例參數，使地下水硝酸鹽氮濃度與原本大致差不多，經調整後假定該比例參數為 0.01。

## 7.植物吸收及入滲

植物對氮的吸收率推估上，本研究參照吳致良，(2004) 作實驗所歸納出的數據，將植物對氮吸收率為 30 %，而入滲至地底下的比例為總氮量的 20 %，其餘 50 % 則部分殘留在表土或隨回歸水流回河川。

## 4-4 動態系統模式敘述

### 4-4-1 農田因果回饋圖

在建立模式之前，須先清楚問題定義和系統描述，其次就是系統的因果回饋圖，以因果回饋之觀念建置模式。圖 4.13 為因果回饋示意圖，在內環會有內部變數的影響，當產出的成效與標準值有一差異值時，模式會自動啟動內部策略來影響產出成效，使差異值變小或在可接受範圍內；外環則是當內部策略無法將差異值縮小時，產生壓力，使決策者調整策略之容量擴張來影響成效、產出。

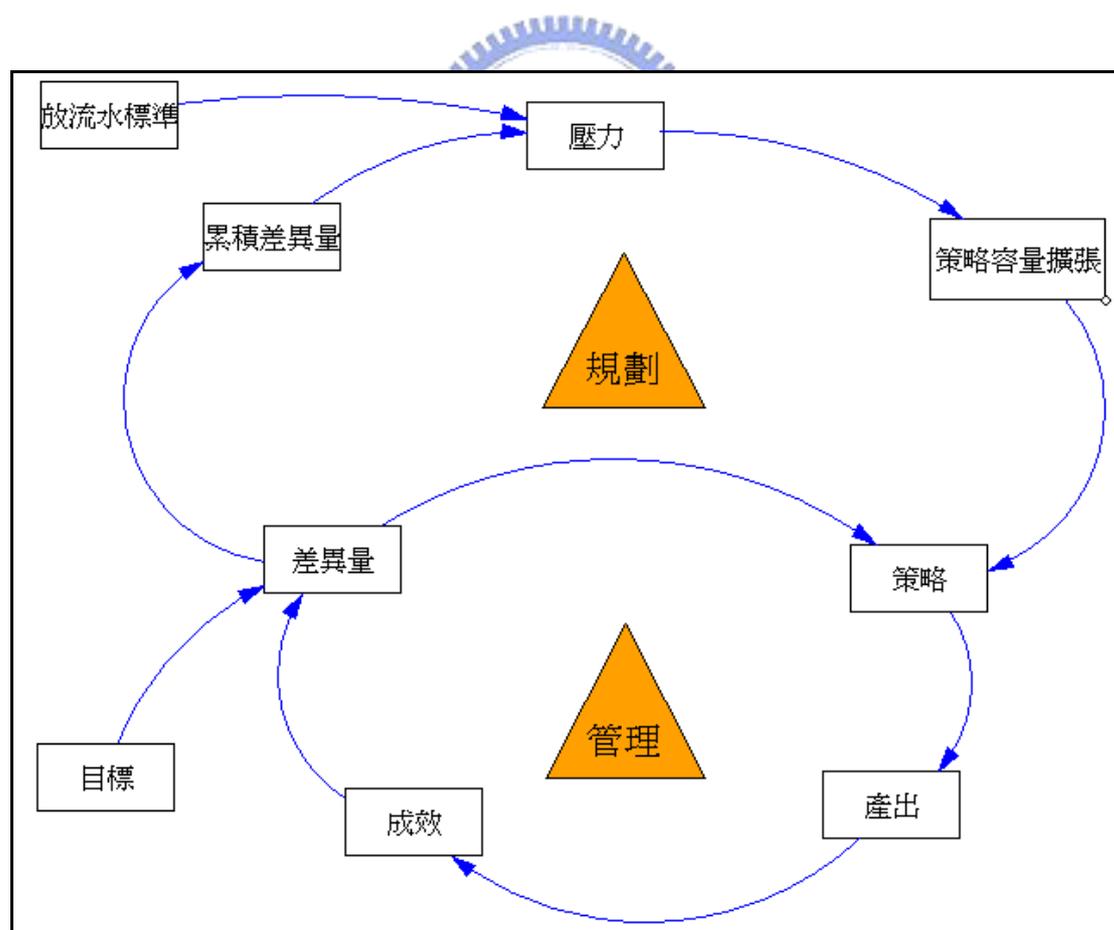


圖 4.13 因果回饋示意圖

從圖 4.14 看出，各污染物進入農田後，分別會對農地土壤、河川水及地下水造成汙染，在此將每一汙染給定標準值，農地汙染參考「土壤重金屬含量標準」；河川汙染參考「放流水標準」；地下水汙染參考「灌溉用水標準」。每當汙染源超過這些標準值時，則模式會啟動策略來改善汙染值，農地重金屬汙染策略是在農田沒有耕作時期，種植「非實用性植物」來吸附重金屬；河川水汙染策略是在工廠、家庭之廢污水流經農田至河川這中途，讓水流進「草溝」這結構性策略以改善水質；地下水汙染則是希望藉由「下滲溝」使入滲至地下水的水質可以變的比較好，值得注意的是，這些策略的存在使模式構成循環迴圈，無論哪一項水質超過預設標準即會馬上啟動策略改善現況，讓本研究可以立即發現問題的變化情況。

另一觀察重點即是每一個迴圈內均為負迴圈，表示對問題的產生會有收斂效果；若迴圈為正，則表示問題會發散變的越來越嚴重，因此從迴圈的正負即能判斷 Vensim 是否能夠改善問題，不過改善程度如何則要從模擬結果得知。

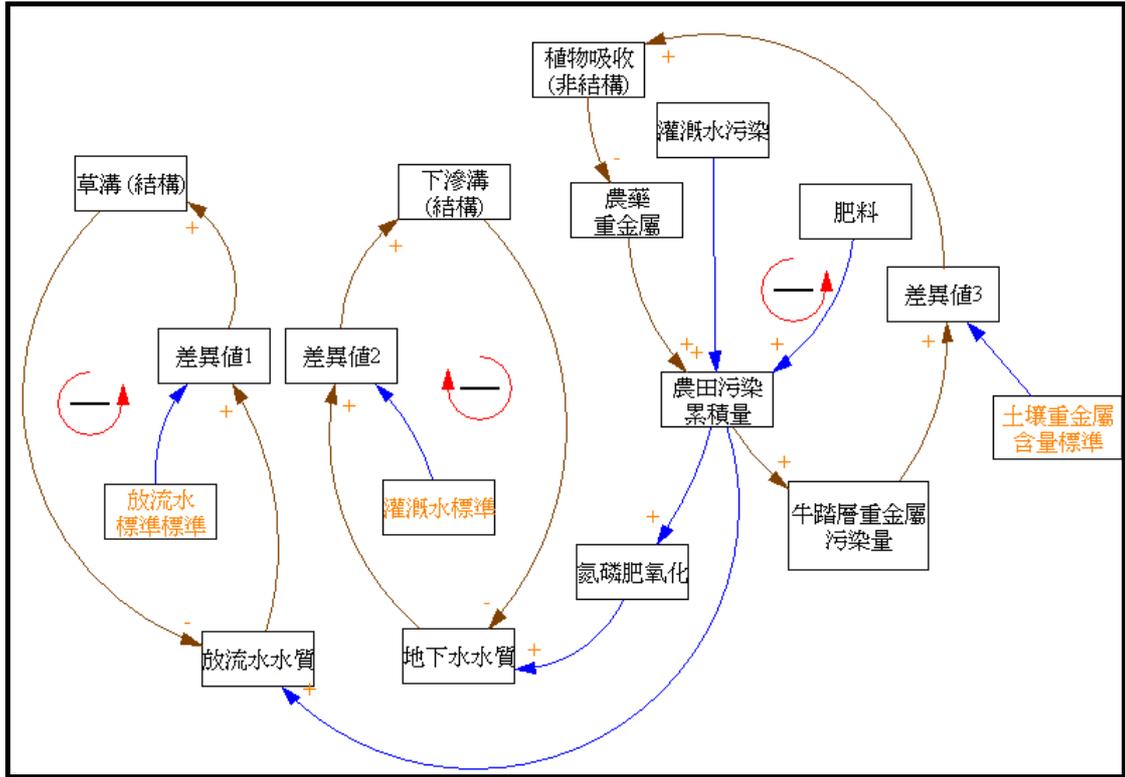


圖 4.14 農田因果回饋圖

#### 4-4-2 實際模擬模式

在介紹實際模擬模式之前，為了使模式較容易了解，在此先介紹模式的流圖，也是建立模式前的事先準備，圖 4.15 為動態系統模式的流圖，透過流圖可以看出模式分成兩部分，上部為水量流，下部為水質流，而策略的實施都是針對水質流來改善水質，從流圖中也能看到主要迴圈的位置及影響之變數。

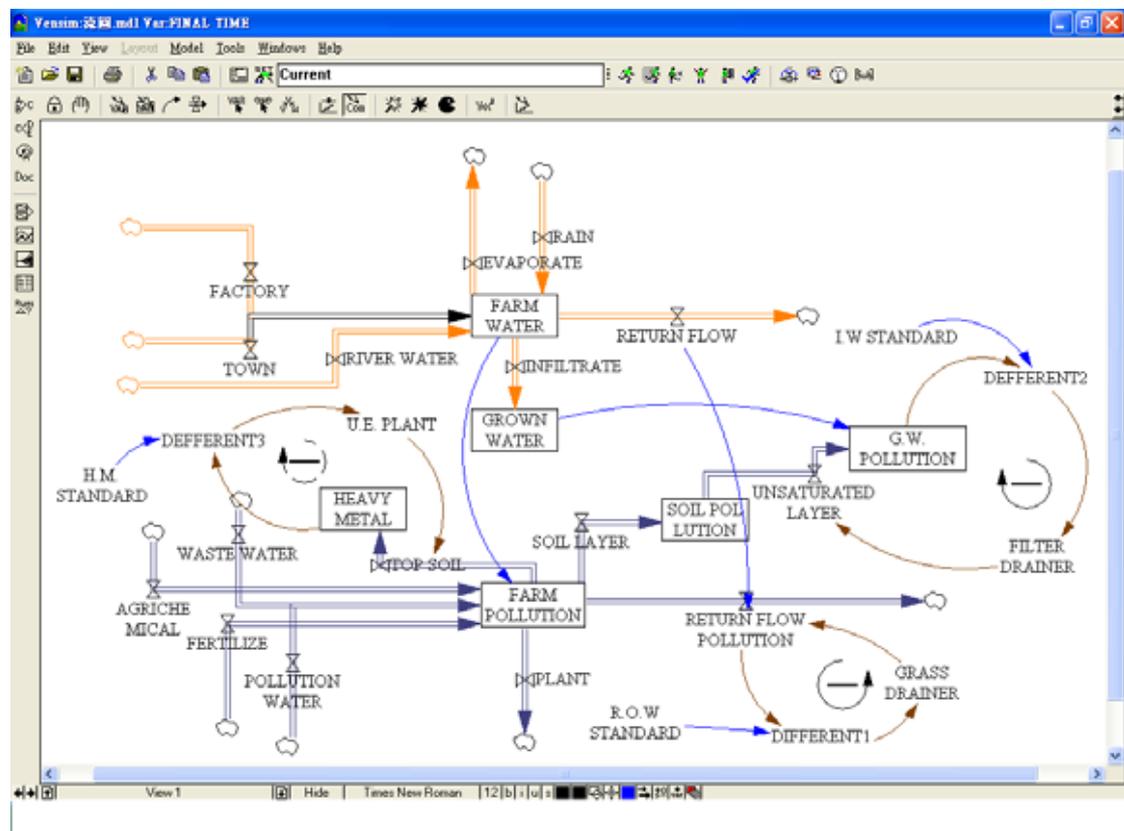


圖 4.15 模式流圖

圖 4.16 為實際模擬之 Vensim 模式，上部水量流有灌溉水、雨水、工業用水、家庭生活用水進入，蒸發散、回歸水、入滲為流出農田；下部水質流有農藥、肥料、工業廢水、家庭污水、灌溉水質進入農田，這些污染物則會經植物吸收、牛踏層吸附、入滲至土壤由細菌分解，其餘繼續下滲至未飽和層氧化，還有隨著回歸水流回河川。研究中將美濃鎮依灌溉圳路分成十四個區塊，每一區塊中又有稻作跟雜作，因此模式將這單一農田模式複製成二十八個頁面，稻作、雜作各半，彼此模式互相影響，湖內鄉則分成十四個相同模式的頁面。參數輸入參照附錄中之附表五。

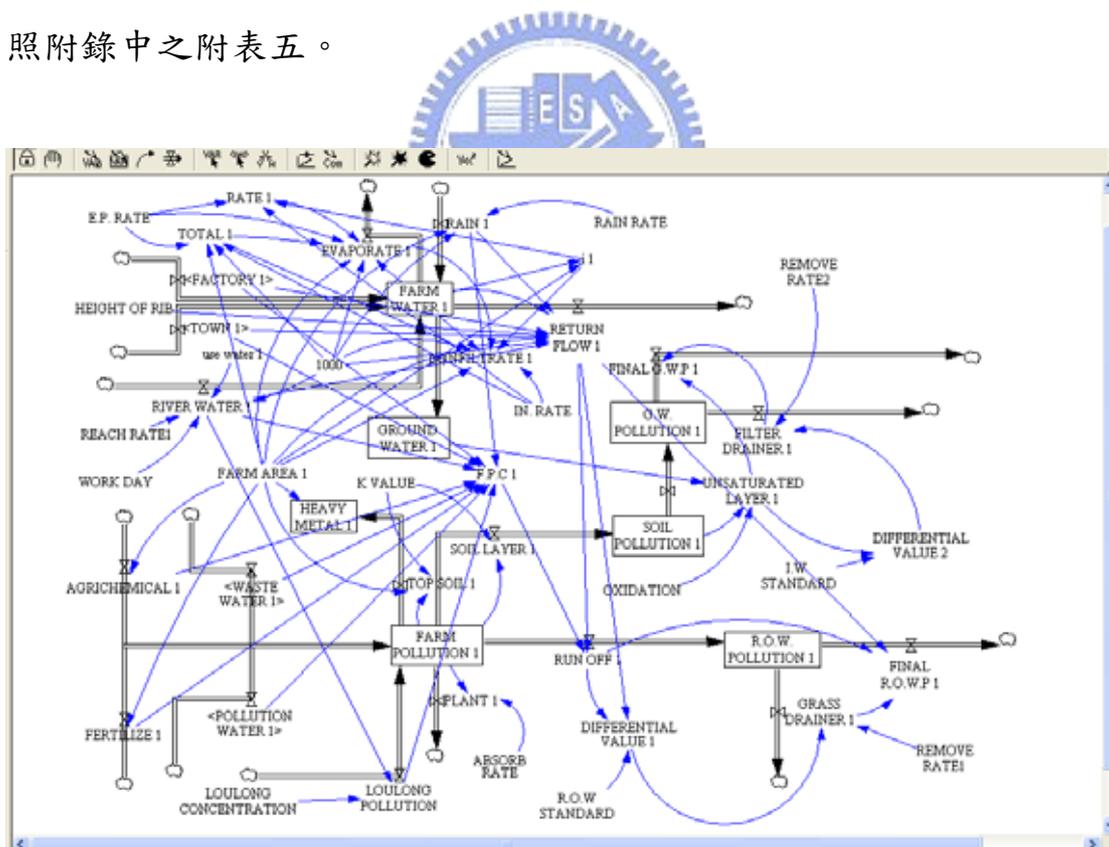


圖 4.16 農田實際模擬之模式

## 4-5 手算例介紹與模擬

### 4-5-1 手算例介紹

在實際進行模擬案例前，為了要確定模式的邏輯性與正確性，本研究先將各個參數簡單化，以便能掌握模擬出的結果，判斷模式正確性，重要參數輸入參照附錄中的附表七；由圖 4.14 的因果回饋圖可以發現，當施行「植物吸收」這策略時，不但會改善農地重金屬汙染，應當也會對地表水水質及地下水水質產生影響，不過當施行「草溝」或「下滲溝」策略時，並不會影響到農地重金屬的汙染濃度，因此接下來模擬將針對這邏輯來探討。



### 4-5-2 手算例模擬

將模式中所有參數簡單化後模擬一百個月，其模擬結果與自己手算的結果一樣，證明了模式的正確性。而邏輯性方面，在只有施行草溝、下滲溝策略時，從圖 4.17 可以發現對於農地的重金屬濃度並沒有改善情況，僅僅只改善了地表水及地下水的狀況；但在只施行非食用性植物策略時，不僅發現對於圖 4.17 的農地重金屬有改善效果，對於圖 4.18、圖 4.19、圖 4.20 的地下水、回歸水、地表水都有減少其汙染量的現象，證明了因果回饋圖的邏輯性。

模擬結果亦發現，當執行非食用性植物策略時，地下水重金屬濃度改善效果比施行下滲溝時還要好，但對於地表水質及回歸水質的感

善效果並沒有比施行草溝策略還的好。

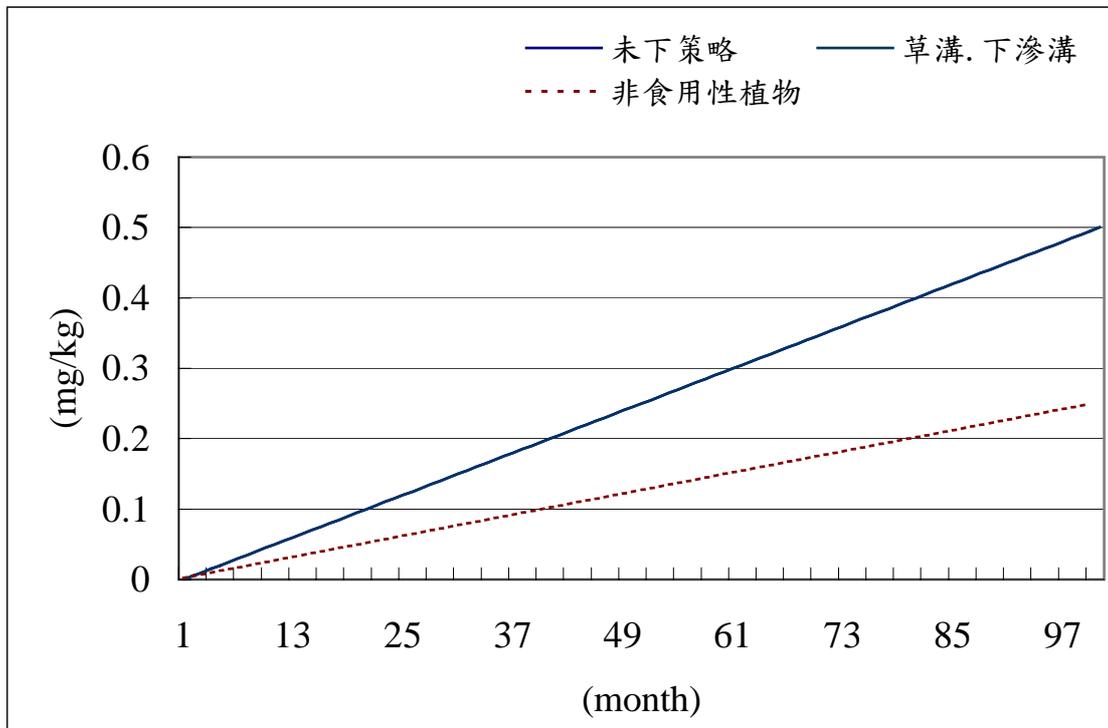


圖 4.17 手算例農地重金屬濃度

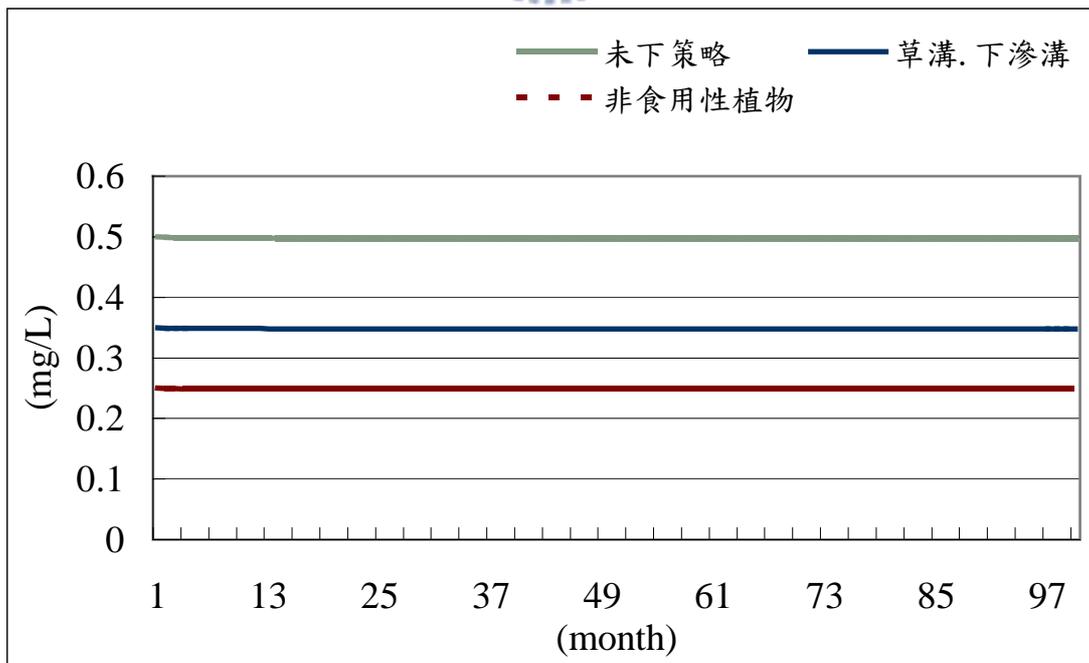


圖 4.18 手算例地下水重金屬濃度

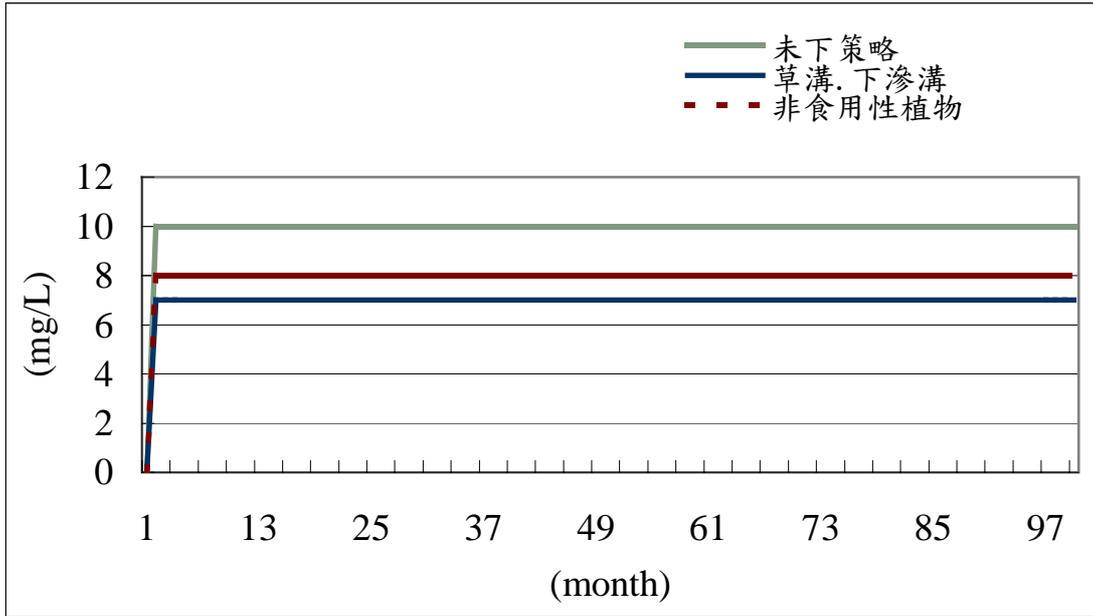


圖 4.19 手算例回歸水濃度

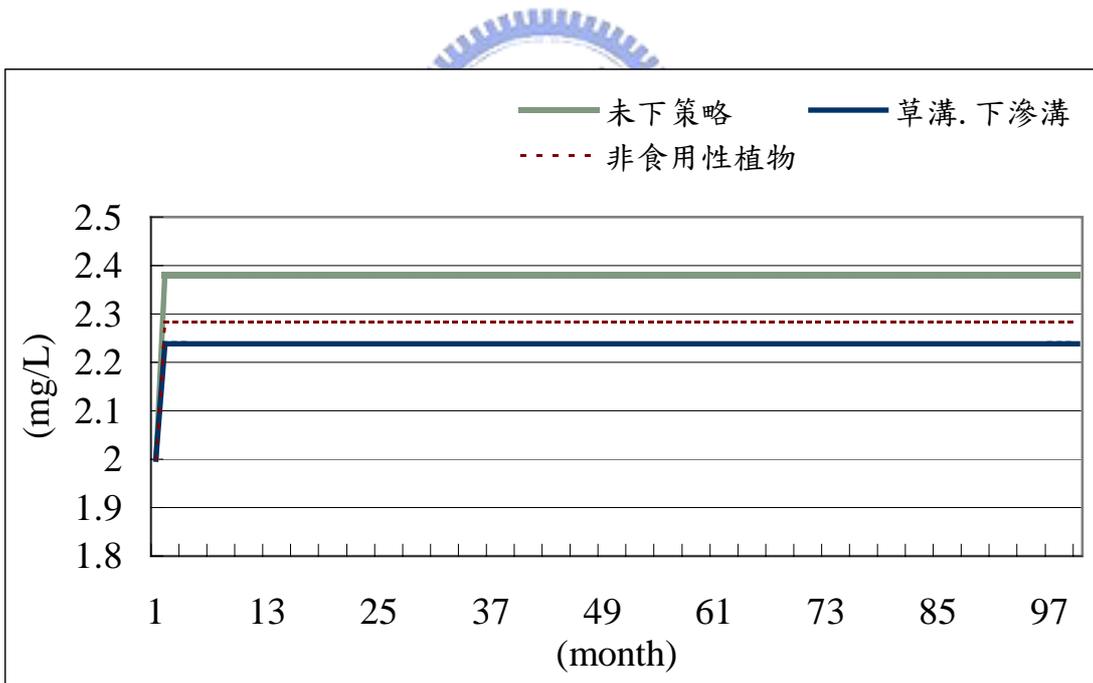


圖 4.20 手算例地表水水質濃度