

第三章 枯旱分析

3-1 研究區域概況

3-1-1 地理位置

新竹縣市位居台灣海峽地理瓶頸，距海峽對岸泉州僅 170 公里，是台灣海域的最窄處。本地區位於北緯 24.5° 的副熱帶高壓帶，北與桃園縣毗鄰、南與苗栗縣相接、東以玉山山脈北部之雪山分水嶺與宜蘭縣及台中縣為界，如圖 3-1 所示。

3-1-2 地形特性（黃炳煌、葉克家，2001）

新竹地區大部分為平地，屬新竹平原，東南地區部分屬丘陵地帶，地形較為陡峻，新竹平原東側為寬闊之頭前溪沖積河床，餘為低矮之丘陵地形，屬西部麓山帶之最西緣，北隔竹東斷層與竹東丘陵相接。

新竹地區範圍內包括三個地形分區，分別為新竹沖積平原、竹南沖積平原、竹東丘陵，茲分述如下：

1. 新竹沖積平原

由鳳山溪與頭前溪之下游所搬運之泥沙及礫石堆積而成，其北緣為湖口台地和鳳飛山丘陵，南緣為竹東丘陵。

2. 竹南沖積平原

形成於中港溪與其支流之南港溪下游，竹東丘陵與竹南丘陵之間砂丘發達，高度約為 50 公尺。

3. 竹東丘陵

為頭前溪與中港溪間之切割台地，地勢由東向西逐漸降低，其西端以直線狀之陡崖臨海，樹枝狀水系甚密，向源侵蝕頗為盛行，許多河谷、河溝均由小侵蝕溝所形成，其坡度陡峻，平時乾涸，雨季或豪雨時聚水成流。

3-1-3 地質特性（黃炳煌、葉克家，2001）

頭前溪流域中、上游地區屬於山岳丘陵地區，竹北至橫山段大多位於頭前溪及鳳山溪流域之新竹河谷平原上，下游為沖積而成的新竹平原。流域南部及東南部，由於地勢陡峻，造成本流域之鞍型低地，南部多為 2,500 公尺以上高山，多溪谷、峽谷，北部山勢較低，在 1,000 至 1,500 公尺之間，可知向下游西北方向緩坡下降。

地層分屬漸新世、中新世及上新世等，上坪溪上游為漸新世，中新世位於頭前溪流域中游及下游。其中，中新世地層都受到來自東南方及東北之造山壓力向西北擠壓，造成流域中游一帶岩層部段重複或折疊，且斷層頗多；一般而言，地形大部分為北東走向，以中高度向東南傾斜。

本流域地質分佈自東南向西北為澳底層、大桶山層、野柳群、瑞芳群、三峽群、卓蘭層及頭嵙山層等之砂岩、頁岩及泥岩，而河谷地區大多由沖積層之礫石、土和砂等組成。頭前溪流域山坡地之土壤分布有黃棕壤石質土，灰黃色灰化土石質土及石質土灰棕色灰化土，河谷地區則大多為沖積土。頭前溪流域之地質圖，如圖 3-2 所示。

3-1-4 河川水系

新竹地區重要之河川包括頭前溪、鳳山溪及客雅溪，排水路則有三姓公溪；海水圳溝、牛車路溝及頂寮溝等其流向大致均沿地勢自東向西流入台灣海峽。其他次要水系包括海水川溝及三姓公溪等排水路，河溪之流向大致為由東向西流，水系呈樹枝狀。

1. 頭前溪

頭前溪位在新竹以南列為中央管河川，南支流為上坪溪，發源於雪山山脈鹿場大山（標高 2,616 公尺），北支流油羅溪，發源於李棟山（標高 1,913 公尺），主流長度 63.03 公里，二溪於竹東合流，

後流經竹東筏、橫山鄉、芎林鄉、竹北市、新竹市等行政區域。流域地形由東南山嶽地帶，向西北傾斜而至沿海，並於新竹市南寮附近注入台灣海峽。河床平均坡降 1/190，流域面積 56.94 平方公里，灌溉面積 5,400 公頃，每年灌溉農業水量約 10,600 萬立方公尺。

2. 鳳山溪

鳳山溪位在新竹以北亦為中央管河川，發源地為新竹縣尖石姆那結山（標高 1,320 公尺）。主流長度 45.45 公里，流域面積 250.1 平方公里，向西流經間尖石、關西、新埔、湖口與竹北鄉，於新埔附匯入支流霄裡溪，並於嵌子腳附近注入台灣海峽。支流霄裡溪發源於上游店子湖附近（標高 380 公尺），經三洽水、下伯公、大茅埔、照門、四座屋等村落，於新埔附近匯入鳳山溪。入海口為竹北嵌子腳附近，河床平均坡降 1/300，出海口附近大約 1/1,000。主要支流有牛攔河、馬武督溪、霄裡溪、太平窩溪。年逕流量 376 百萬立方公尺，灌溉面積 1,300 多公頃，主要用水標的以農業灌溉用水為主。

3. 客雅溪

客雅溪發源於溪油山，沿丘陵地蜿蜒流經新竹舊市區西南隅，於新竹市楊寮、浸水兩裏間入海，河川全長約 24 公里，其中流經市區一段長約 12.3 公里。河床平均坡降 1/94，流域面積 47 平方公里，流域平均年雨量約 1,738 公釐。客雅溪下游港北溝與客雅溪匯流口附近垃圾淤積情形較為嚴重，偶有阻滯洪水宣洩之情形發生。該溪集水面積 4,273 公頃（區域外上游之山區為 3,750 公頃，都市計畫區域內為 523 公頃，經市區一段溪底平均坡度約 0.32%，河床寬度約 36~43 公尺，平時流量甚小，河床幾呈乾涸，目前屬中央管排水河川。

3-1-5 地下水特性（黃炳煌、葉克家，2001）

新竹地區於民國 59 年至 61 年辦理地下水位觀測，依觀測紀錄，以最低枯水位繪製地下水位圖，可知頭前溪流域地下水之含水層薄，水量儲存量少，且大都為自由地下水，其利用率所佔比例遠較地面水小，依地下水等水位線可確定地下水之流向，本流域自由含水層地下水流特性如下：

1. 地下水流向大致與地面水河流相同。
2. 地下水流坡降上游陡急，中游較緩，原因與含水層透水性有關。
3. 頭前溪流域地下水在竹北與鳳山溪水系地下水合流。

新竹地區地下水蘊藏量經推估約 1,850 萬立方公尺，地下水流量在上坪溪與油羅溪合流處約 $150\text{m}^3/\text{min}$ ，在中下游處約 200 至 $400\text{m}^3/\text{min}$ 。通常地下水安全出水量之決定，主要原則為避免發生不良後果，考慮之原則有地下水補助量、經濟效益、水質與公害、水權等。

目前頭前溪流域之地下水位站有新庄、中斗、白地、草厝、湳雅、東園、南勢、南寮、六家等九站，如圖 3-3 所示。其中仍繼續觀測者僅新庄、中斗、草厝、湳雅、南寮五站。根據經濟部水利處提供之資料，新庄站民國 70 年至 89 年歷年平均水位為 16.46 公尺，最高水位為 18.51 公尺，最低水位為 12.95 公尺；中斗站民國 76 年至 89 年歷年平均水位 20.08 公尺，最高水位 22.66 公尺，最低水位 17.46 公尺；草厝站民國 70 年至 89 年歷年平均水位為 1.95 公尺，最高水位為 2.5 公尺，最低水位為 0.51 公尺；湳雅站民國 75 年至 89 年歷年平均水位為 9.36 公尺，最高水位為 12.03 公尺，最低水位為 5.25 公尺；南寮站民國 72 年至 89 年歷年平均水位為 1.14 公尺，最高水位為 3.35 公尺，最低水位為 -1.61 公尺。

3-1-6 用水需求

隨著工商業發展，以及加入世界貿易組織（WTO）之影響，耕種面積減少農用用水需求減少，然而地區內人口增加生活用水需求增加，且區域內主要工業用水為新竹工業區與新竹科學園區，皆為高用水需求之工業，故用水需求仍遽增加中。

如表 3-1 所示，新竹地區年總用水量民國 91 年 3 月用水量為 4.64 億立方公尺（含生活用水 0.84 億立方公尺、工業用水 0.9 億立方公尺及農業用水 2.90 億立方公尺），至各目標年民國 95、100 及 110 年趨勢中成長之用水量分別為每年 5.32、5.42、5.54 億立方公尺，而在節約成長各目標年下，則為每年 4.87、4.89、4.98 億立方公尺。另需增供水量在各目標年民國 95、100 及 110 年趨勢中成長分別 0.68、0.78、0.90 億立方公尺，而節約成長則為 0.23、0.25、0.34 億立方公尺（水利處，2000）。



3-2 資料收集與處理

為求提高分析結果之可靠性，雨量、流量站之紀錄長度至少有 20 年，故首先刪除未達 20 年紀錄之水文站，另由於求得實際發生乾旱之情況，對缺失資料不予補遺，故對不連續資料，取其連續部分紀錄年數較大者，若能仍不大於 20 年，則刪除之，經整理後所選取之雨量站為太閣南、清泉、梅花、烏嘴山 4 站及流量站分別為上坪、內灣、竹林大橋、新埔（2）等 4 站，如表 3-2 及表 3-3 所示，其相關位置如圖 3-4 所示。

3-3 枯旱分析

3-3-1 聯程理論（theory of runs；蕭政宗，2001）

Yevjevich (1967) 建議以聯程理論作為客觀定義乾旱的工具。聯程理論可以圖 3-5 來表示，利用切割水準（圖 3-5 中之 Q_0 ，可為固定值或隨時間而變化）可將所選定之變數（圖 3-5 中之 Q_i ）切割成二狀態，乾旱研究則專注於負聯程，即低於切割水準的部分。前後皆為正聯程所包夾之負聯程為一乾旱事件。對每一乾旱事件而言，重要的乾旱特性除低於切割水準的連續時段稱為乾旱延時外，累積乾旱量，即在乾旱延時內低於切割水準的累積量，代表乾旱事件的嚴重程度亦是重要的乾旱特性之一。此外，乾旱事件的發生頻率亦是乾旱分析的重要項目。由於聯程理論可清楚的定義出乾旱何時發生、何時結束及嚴重性，因此許多的乾旱特研究均藉助聯程理論作為乾旱分析的工具。

3-3-2 趨勢分析（經濟部，2001）

趨勢分析主要是瞭解長期水文時間序列是否有明顯的趨勢變化，進而探究水文環境是否有所變遷。為了解資料是否長期趨勢，本研究就採用簡單線性迴歸方程式，分析新竹地區長期連續不降雨日之趨勢，並藉由統計檢定方法判別其趨勢否顯著。茲簡述方法之理論基礎如下：

假設線性迴歸方程式為

$$Y = a + bX \quad (3-1)$$

若已知 $(X_i, Y_i), i=1, 2, \dots, n$ ， X_i 為分析的年數， Y_i 為歷年最長連續不降雨日數，其參數 a 與 b 可利用最小二乘方法推估如下：

$$\hat{a} = \frac{\begin{vmatrix} \sum Y_i & \sum X_i \\ \sum X_i Y_i & \sum X_i^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum X_i \\ \sum X_i & \sum X_i^2 \end{vmatrix}} \quad \hat{b} = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum Y_i \\ \sum X_i & \sum X_i Y_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum X_i \\ \sum X_i & \sum X_i^2 \end{vmatrix}} \quad (3-2)$$

然而，Y 是否與 X 存在關係，可藉由統計檢定探討 b 值是否為零，其假說檢定如下：

$$\begin{aligned}
 H_0 : b = 0 & (\text{不存在關係}) \\
 H_1 : b \neq 0 & (\text{存在關係})
 \end{aligned}
 \tag{3-3}$$

其檢定統計量 (T) 可推得如下：

$$T = \frac{\hat{b}}{\sqrt{\frac{MSE}{S_{xx}}}}
 \tag{3-4}$$

其中：

$$\begin{aligned}
 S_{xx} &= \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \\
 MSE &= \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2
 \end{aligned}
 \tag{3-5}$$

且此統計量屬於 t 分佈具自由度 n-3，因此於顯著水準 (significance levels) α 下，為 $|T| > t_{\frac{\alpha}{2}(n-3)}$ 時，則虛無假設 H_0 不成立，即可判定 Y 與

X 存在一線性關係；反之，則不存在一線性關係。藉由此方法分析是否具有長期趨勢，則當統計量 T 檢定出具有線性關係時 (即判定推估值 b 是否不為零)，即表示具長期趨勢，當 $\hat{b} < 0$ 時，表示此站於長期連續不降雨日之趨勢具逐年下降之趨勢；反之，當 $\hat{b} > 0$ 時，表示此站於長期連續不降雨日之趨勢具逐年上昇之趨勢，即其乾旱情況逐年嚴重。

3-3-3 最長連續不降雨日數頻率分析 (虞國興、莊明德，1992)

為探討乾旱特性中之最長連續不降雨日數之型態，引用對數皮爾遜第 III 類分布法推求降雨量 $R=0.0\text{mm}$ 、 $R<0.6\text{mm}$ 、 $R<2.0\text{mm}$ 、 $R<5.0\text{mm}$ 等四種情況重現期距為 2 年、5 年、10 年、20 年等之頻率，其機率分布公式如下：

$$P(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left[\frac{\ln x - \theta}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{\ln x - \theta}{\alpha} \right) \right]
 \tag{3-6}$$

上式中 x 為水文量大小， α 為偏差量， θ 為水文量均數， β 為偏度參數。

3-3-4 連續數月最小累積流量統計及頻率分析（水資會，1991）

為探討乾旱特性中最小入流量，統計新竹地區境內 4 個流量站歷年 11-1 月、11-1 月、11-2 月、11-3 月、11-4 月、1-2 月、1-3 月、1-4 月、1-5 月、1-6 月等十組累積流量資料，引用極端值第Ⅲ類分布法進行低流量頻率分析，推求出重現期距為 2 年、5 年、10 年、25 年、50 年及 100 年之乾旱事件。其機率分佈公式如下：

$$P(x) = \exp\left[-\left[\frac{x-\gamma}{\beta-\gamma}\right]^\alpha\right] \quad (3-7)$$

上式中 α 為形狀參數， β 為特徵乾涸， γ 為極小乾涸量。

3-3-5 流量超越機率（張東興，1999）

利用流量超越機率曲線建立新竹地區流量站入流量分佈之關係，可作河川流量季節性分佈之特徵。在水文現況豐枯分析應用，以觀測流量所對應超越機率，可了解當期水文豐枯情況。若水文超越機率值小於 40%，其水文條件約屬豐水年，介於 40%~60% 則屬平水年，介於 60%~80%，則屬枯水年，若水文超越機率值大於 80% 即屬乾旱年。因此透過現況各期別觀測紀錄，利用流量超越機率可了解水文豐枯狀況。

3-4 分析結果

3-4-1 最長連續不降雨日數之統計特性分析結果

如表 3-4 至表 3-7 所示，統計新竹地區境內雨量站歷年最長連續不降雨之日數。由圖 3-6 至圖 3-9 得知，太閣南雨量站 $R=0.0\text{mm}$ 及 $R<0.6\text{mm}$ 之情況，其歷年最長連續不降雨日數分佈於 13-52 天之間， $R<2.0\text{mm}$ 者其值分佈在 13-57 天之間， $R<5.0\text{mm}$ 者其值分佈在 26-72 天之間。清泉雨量站 $R=0.0\text{mm}$ 及 $R<0.6\text{mm}$ 之情況，其歷年最長連續不降雨日數分佈於 15-52 天之間， $R<2.0\text{mm}$ 者其值分佈在 18-66 天之

間， $R < 5.0\text{mm}$ 者其值分佈在 26-87 天之間。梅花雨量站 $R = 0.0\text{mm}$ 及 $R < 0.6\text{mm}$ 之情況，其歷年最長連續不降雨日數分佈於 13-52 天之間， $R < 2.0\text{mm}$ 者其值分佈在 16-65 天之間， $R < 5.0\text{mm}$ 者其值分佈在 18-80 天之間。烏嘴山雨量站 $R = 0.0\text{mm}$ 之情況，其歷年最長連續不降雨日數分佈於 13-44 天之間， $R < 0.6\text{mm}$ 者其值分佈在 14-44 天之間， $R < 2.0\text{mm}$ 者其值分佈在 14-51 天之間， $R < 5.0\text{mm}$ 者其值分佈在 22-64 天之間。若以 $R < 5.0\text{mm}$ 所計算得之最長連續不降雨日數來看，以清泉雨量站持續最長，太閣南、梅花站次之，持續最短則為烏嘴山雨量站。

另將 4 個雨量站以算數平均法分析統計出 $R = 0.0\text{mm}$ 時，歷年最長連續不降雨日數分佈於 14-50 天；當 $R < 0.6\text{mm}$ 歷年最長連續不降雨日數分佈於 14-50 天；當 $R < 2.0\text{mm}$ 歷年最長連續不降雨日數分佈於 15-60 天；當 $R < 5.0\text{mm}$ 歷年最長連續不降雨日數分佈於 26-76 天。

3-4-2 最長連續不降雨日數之趨勢分析結果

利用歷年最長連續不降雨日數之統計結果，經簡單線性方程式迴歸後，如表 3-8 所示。圖 3-10 至圖 3-25 為各雨量站於不同的切割水準下歷年最長連續不降雨日數趨勢分析圖，並藉由統計檢定方法判別其趨勢（如表 3-9），結果顯示新竹地區境內雨量站之歷年長期連續不降雨日數似無明顯之趨勢。

3-4-3 最長連續不降雨日數頻率分析結果

根據所得歷年最長連續不降雨日數資料，引用對數皮爾遜第 III 類分布法進行頻率分析，可得重現期距為 2、5、10、20 年其可能出現之最長連續不降雨日數，由圖 3-26 至圖 3-41 所示可推知新竹地區境內雨量站連續幾天不降雨日數時，其重現期距究竟是幾年出現一次，若重現期距愈大，則表示該段期距內之乾旱情況可能愈趨嚴重，可供

公共給水、灌溉及水資源調度方面等作為操作運作之參考。

3-4-4 連續數月最小累積流量統計及頻率分析結果

統計新竹地區境內流量站歷年 11-12 月、11-1 月、11-2 月、11-3 月、11-4 月、1-2 月、1-3 月、1-4 月、1-5 月、1-6 月等十組累積流量資料，引用極端值第Ⅲ類分布法進行低流量頻率分析，以求出枯水期於不同重現期距 2、5、10、25、50、100 年時之低流量值，如圖 3-42 至圖 3-49 所示，根據所繪之頻率圖可得知在某種重現期距時，河川可能出現之累積流量。

新竹地區曾發生乾旱之年份，如民國 66 年、72-73 年、80 年、82-83 年、85 年及 91-92 年，歷年流量站所呈現之 11-12 月、11-1 月、11-2 月、11-3 月、11-4 月、1-2 月、1-3 月、1-4 月、1-5 月、1-6 月等十組累積流量資料均相當低，故進行低流量頻率分析亦可作為乾旱預警之參考。

3-4-5 旬流量超越機率

利用新竹地區境內流量站歷年流量資料，繪製旬流量超越機率曲線（圖 3-50 至圖 3-97），應用觀測流量對應超越機率值，進行水文豐枯評估。另進行統計流量站年之排序如表 3-10，結果顯示各個流量站水文狀況為乾旱或嚴重乾旱者不外乎是 79-80 年、82 年、85 年與 90-91 年等，回顧新竹地區曾發生於民國 66 年、72-73 年、80 年、82-83 年、85 年及 91-92 年發生嚴重乾旱，故可由入流量對應超越機率可進行水文豐枯評估。

