



桃園市智慧節水管理系統研發與
水資源多元應用計畫

Development of Smart Water-saving Management System and
Multiple Application of Water Resources in Taoyuan City



委託單位：經濟部水利署
代辦單位：桃園市政府水務局
執行單位：財團法人農業工程研究中心

中華民國 108 年 12 月

桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫

中華民國
108
年
12
月

經濟部水利署

摘要

一、計畫緣起

臺灣降雨豐枯比懸殊、坡短流急，氣候變遷現象使農業水資源短缺問題更顯嚴峻，因應缺水危機下，研擬氣候變遷下水資源多元開發及有效利用為重要課題。近年來智慧化水資源利用之推動亦為國際趨勢，農業占整體水資源的大宗約 70~73%，如何由農業生產過程導入智慧化管理，達成節水且同時兼顧農業生產本質的目標是為本計畫之重點所在。本計畫今年度以桃園市為研究區域，擬整合物聯網(IoT)感測技術、智慧環控管理技術初步建立智慧節水管理系統，並以 2 次現地示範區省水試驗進行驗證，配合作物栽培管理分析平台，建立前瞻智慧節水管理系統，可作為氣候變遷下提升水資源韌性重要調適策略方案。

二、計畫基本資料盤點

計畫資料蒐集包含桃園水源利用、農作資料、智慧農業案例蒐集；桃園市水源利用以地面水為主，以 2017 年水權量為例，用水標的運用依序為家用及公共給水(76%)；農業用水(22%)；工業用水(2%)，桃園市境內可供糧食生產地為 34,885.7 ha，位於桃園及石門水利會灌區內之比例為 63.5%、灌區外為 36.5%。桃園市作物以水稻為主(約 63.1%)，蔬菜類次之(28.6%)，其餘 8.3%為雜糧、特用作物、水果類及花卉。智慧農業案例已初步完成國際案例(美國、日本、西班牙、印度)及國內案例之蒐。

三、標的作物篩選暨灌溉管理方法探討

臺灣地區對於作物分類以農委會(2006)編撰之台灣農家要覽分類最為詳盡；本計畫針對短期旱作物、長年作物、稻作之特性說明。短期旱作物以蔬菜而言就有 47 種之多，桃園市 2018 年種植各類蔬菜之面積情形中其他葉菜類 2,596.25 ha，其餘栽培面積前 6 高者分別為不結球白菜、竹筍、莧菜、蕓菜、西瓜、菠菜。長年作物一般係指長年種植果樹類作物，茶(樹)雖為長年作物，但因具有特定用途可作工業原料及具高經濟價值，因此可被歸類為特用作物(又稱工藝或商用作物)栽培。桃園市 2018 年長年作物種

植面積前 6 高者分別為桃、柿、香蕉、桶柑、紅龍果、文旦柚。桃園市所種植的稻米品種以台梗 14 號和桃園 3 號最多。

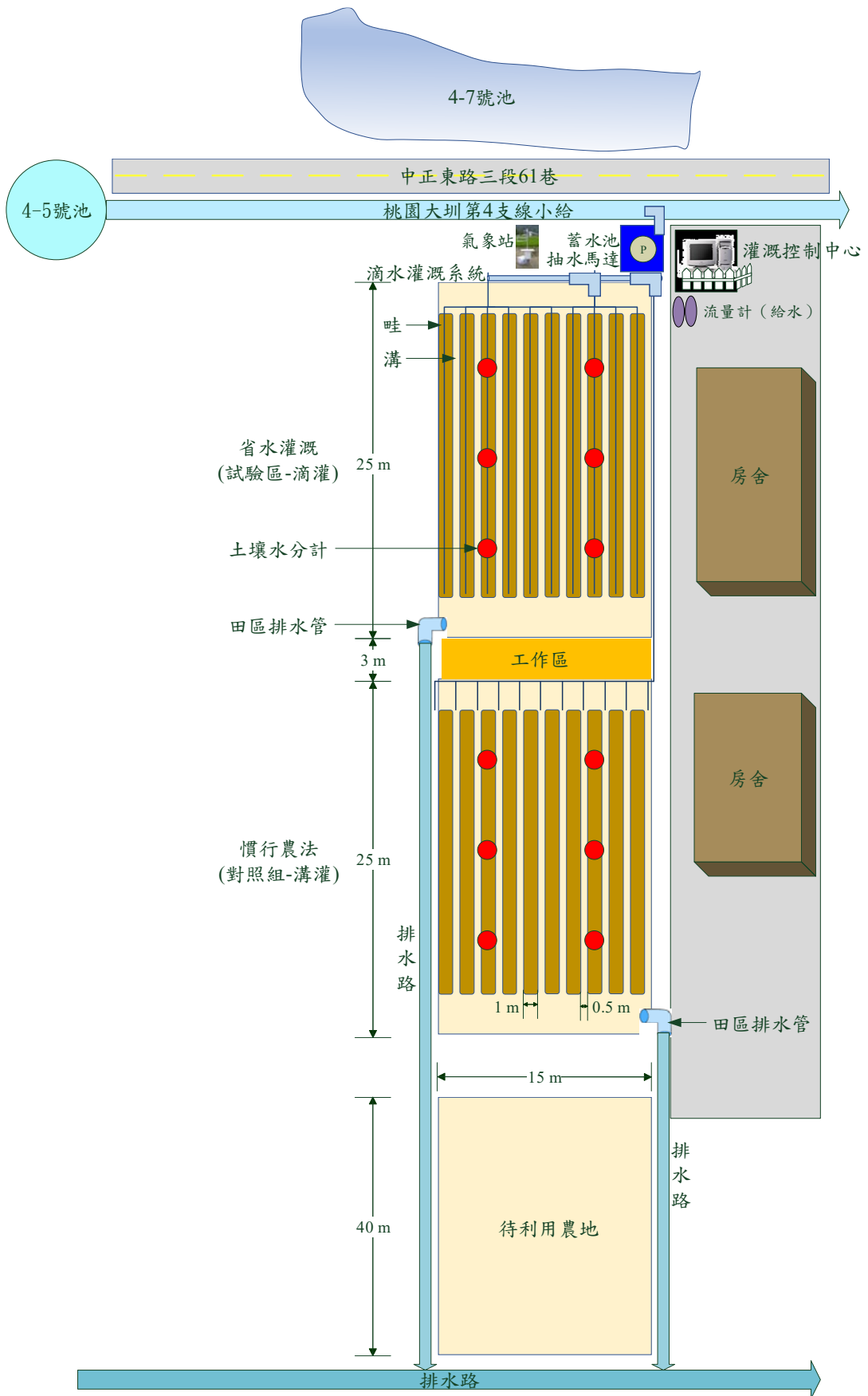
農業灌溉用水標準依作物種類及灌溉方法而有差異，分水田及旱田用水。以北部地區為例，實施續灌及輪灌制度下之水稻灌溉用水量分別為 3,594 mm/yr、2,851 mm/yr。不同灌溉方式會影響期作單位面積用水量，其中輪灌較續灌方式可節水 19.51~29.08 % (一期作)、22.02~31.12 % (二期作)。另不同土壤亦有不同之水田計畫用水深，依臺灣省水利局(1977)所列：黏土(8 mm/day)、粉質壤土(10 mm/day)、壤土(12 mm/day)、砂質壤土(15 mm/day)、砂土(20 mm/day)，可依此迅速計算水田每期作或每年需水量。

本計畫標的作物篩選考量(1).作物需水特性、(2).用水來源、(3).作物代表性、(4).國土規劃適宜性、(5).是否地方重點發展作物等篩選原則綜合評析，進行本計畫本年度與後續推動之標的作物篩選，本年度標的作物以短期旱作物為主，分別為葉菜類蔬菜的小白菜及萵苣等 2 種；後續 2 年度標的作物篩選建議分別為 2020 年的(1).果菜類蔬菜(胡瓜或蕃茄)、(2).常綠果樹(紅龍果)；2021 年的(1).水稻、(2).根莖類蔬菜(馬鈴薯或芋頭)。

四、智慧節水管理系統之先期規劃

智慧節水管理系統建置主要是建立田區微氣候監測站，構建環境監測系統，感測元件包含(1).溫度、(2).濕度、(3).風速風向計、(4).日輻射計、(5).大氣壓力計、(6).雨量計、(7).土壤水分張力計、(8).自記水位計、(9).自動資料蒐集記錄器；智慧灌溉系統採用以色列 Netafim 滴灌設備作；透過 NMC PRO 灌溉控制器及網路傳輸裝置(4G)進行資料紀錄及傳輸整合。

本計畫並開發一個管理平台供管理者及用戶共同使用，完整架構包括用戶使用介面(前臺)及管理者查詢及管理介面(後臺)。本計畫今年度以完成前臺開發為主。系統功能主要為環境監控、作物生長紀錄、用水分析、耕地地理資訊儲存、用戶耕地管理等。



摘圖-2 示範場域(試驗田區)之感測元件及灌溉設備布置示意圖

2 次試驗作物依序為小白菜及萵苣，試驗期間為 7~9 月，示範場域包含試驗組(滴灌區)及對照組(溝灌區)，每一區試驗田長 25 m、寬 15 m(面積 375 m²)，試驗水源為桃園大圳灌溉原水，各試驗田區設置 10 畦，每畦種植 400 株，每 1 試驗田區 4,000 株，總計第 1 次試驗蔬菜總株數為 8,000 株，第 2 次試驗根據第 1 次試驗進行株距調整，每一畦種植 300 株(共 75 排，每一排種植 4 株)，每一試驗區種植 3,000 株，總株數為 6,000 株。

六、智慧節水管理系統實施之效益評估

第 1 次智慧節水試驗期間共計試驗 20 日；本計畫依據智慧節水管理系統試驗成果初步顯示採用智慧節水系統(滴灌)較傳統農法(溝灌)節省水量約 57.7%，如摘表-1 所示；另作物品質評估，針對作物抽樣 800 株進行(1).生長株高、(2).葉片數量、(3).單葉葉寬、(4).單株總葉寬等 4 項參數觀測，利用 Rg(H) (株高生長倍數)、Rg(L) (葉數生長倍數)等指標進行評估，以釐清省水灌溉對於對於生長及產量之影響；試驗成果顯示 Rg(H)及 Rg(L)分別介於 0.86~1.05 及 0.91~1.04，綜合評估顯示本年度試驗中滴灌或溝灌方式對作物生長雖無明顯正面或負面影響，但滴灌節水量遠高於溝灌，灌溉時間也較短，對作物產量亦具微幅正面效益。

摘表-1 第 1 次智慧節水灌溉試驗之灌溉水量節水效益分析

天數	試驗組(滴灌區)			對照組(溝灌區)			節水評估	
	給水量(m ³)	流量(cms)	灌溉時間(min)	給水量(m ³)	流量(cms)	灌溉時間(min)	節水量(m ³)	節水率(%)
1	4.39	0.0021	70	5.63	0.0031	30.0	1.24	22.02
2	3.65	0.0010	60	8.43	0.0039	31.4	4.78	56.70
3	1.89	0.0010	30	2.93	0.0016	30.0	1.04	35.49
4	1.90	0.0011	30	7.99	0.0044	30.0	6.09	76.22
5	1.90	0.0010	30	7.82	0.0045	30.0	5.92	75.70
6	1.88	0.0010	30	8.03	0.0045	30.0	6.15	76.59
7			0	6.69	0.0043	26.7	6.69	100.00
8	1.89	0.0010	30	5.87	0.0037	28.7	3.98	67.80
9	2.68	0.0015	60	5.98	0.0033	30.0	3.30	55.18
10	3.81	0.0011	60	4.36	0.0024	30.0	0.55	12.61
11	3.80	0.0011	60	6.79	0.0038	30.0	2.99	44.04
12	3.82	0.0011	60	7.09	0.0038	30.0	3.27	46.12
13	3.81	0.0011	60	8.12	0.0038	30.0	4.31	53.08
14	3.77	0.0010	60	7.00	0.0039	30.0	3.23	46.14
總計	39.19		640	92.73		416.8	53.54	57.74

第 2 次智慧節水試驗共計 30 日；依據智慧節水管理系統試驗成果顯示採用智慧節水系統(滴灌)較傳統農法(溝灌)節省水量約 77.3 %，如摘表-2 所示；另作物品質評估，以作物抽樣 400 株的方式分析顯示使用滴灌之水量僅約溝灌水量 22%的前提下，單株株高約傳統溝灌的 1.24 倍、平均總葉面寬為 1.25 倍、平均單株重量高達 1.91 倍；顯見灌溉方法選用及感測元件之搭配決定灌排時機，有助於大幅減省水源又可確保(提升)原有作物品質及產量之雙贏目標。

摘表-2 第 2 次智慧節水灌溉試驗之灌溉水量節水效益分析

天數	試驗組(滴灌區)			對照組(溝灌區)			節水評估	
	給水量 (m ³)	流量 (cms)	灌溉時間 (min)	給水量 (m ³)	流量 (cms)	灌溉時間 (min)	節水量 (m ³)	節水率 (%)
1	4.14	0.0012	60				-4.14	
2							0.00	
3	1.97	0.0011	30	15.58	0.0042	62	13.61	87.36
4	1.99	0.0011	30	14.99	0.0042	60	13.00	86.72
5							0.00	
6	1.31	0.0011	20	5.01	0.0042	20	3.70	73.85
7							0.00	
8							0.00	
9	1.97	0.0011	30	7.84	0.0037	35	5.87	74.87
10	1.31	0.0011	20	5.71	0.0048	20	4.40	77.06
11							0.00	
12							0.00	
13							0.00	
14	1.30	0.0011	20	8.56	0.0036	40	7.26	84.81
15	2.30	0.0011	35				-2.30	
16							0.00	
17							0.00	
18							0.00	
19	0.66	0.0011	10	8.53	0.0036	40	7.87	92.26
20							0.00	
21				8.49	0.0034	41	8.49	100.00
22							0.00	
23							0.00	
24							0.00	
25							0.00	
26							0.00	
27	0.90	0.0005	30	5.57	0.0031	30	4.67	83.84
28							0.00	
29	2.03	0.0011	30				-2.03	
30				7.51	0.0032	39	7.51	100.00
總計	19.88		315	87.79		387	67.91	77.36

七、回收水應用於農業灌溉之可行性評估

本計畫考量桃園市境內各水資源回收中心及其周圍灌區位置，針對大溪水資源回收中心及桃園北區水資源回收中心等 2 處水資源回收中心，作為回收水應用於農業灌溉之可行性評估廠區。初步調查成果顯示回收水水質符合景觀澆灌用途、若經稀釋後符合農業用水水質標準後可初步應用於農業灌溉。針對大溪水資源回收中心，初步規劃以月眉圳灌區末流、大溪水資源回收中心周遭 12ha 土地中約 10.6 ha 農牧用地為示範區域，研擬分散式加壓供水系統及重力式供水系統等供水方案。

桃園北區水資源回收中心回收水現行放流承受水體為南崁溪，考量其緊鄰桃園農田水利會 2-23 號池，且現有生態池原為該池之一部分，故初步規劃於生態池興建一連絡水路至 2-23 號池，並於生態池端設制水門一座，平日將回收水蓄存於生態池內，連絡水路制水門之起閉操作則依桃園農田水利會 2-23 號池灌區需求調配，受益之供灌面積以 2-23 號池灌區計算，受益面積約 143.56 ha。

八、宣導推廣影片製作

本年度針對智慧節水系統，包含感測元件、控制及展示系統等之說明及應用以影片方式記錄，作為計畫成果宣傳用途，利後續節水系統之應用與推廣，宣傳腳本內容規劃包含引言、片頭、各片段落及結語；影片於 2019/07/18 就灌溉系統設備安裝、土壤感測元件與氣象設備佈置等進行拍攝；於 2019/8/16 拍攝田間節水試驗設施、田區整理、菜苗種植；於 2019/9/16 拍攝第 2 期(萵苣)試驗作物收成、訪問水務局局長、簡報發表試驗結果等，最後剪輯完成長度 5 分鐘之宣導推廣影片，另配合水務局之智慧水利及智慧城市政策宣傳，相關成果配合年代電視拍攝，於 2019/11/2 晚上 9 時年代電視台「台灣向前衝」播出。

Abstract

1. Project origin

The obvious difference of dry and rainy seasons, steep river bed slope and climate change cause the decrease of the agricultural water resources in Taiwan. Under the crisis of water shortage, it is an important issue to research the diversified development and efficient use of water resources under climate change. In recent years, the promotion of intelligent water use has also become an international trend. Because agriculture accounts for about 70-73% of the total water resources, how to use intelligent management in the agricultural production process to achieve water saving and take into account the essence of agricultural production is the focus of this project. Taoyuan City is the target area in this year. Internet of Things (IoT), sensing technology and intelligent environmental management are combined to establish a smart water-saving management system, moreover, 2 on site demonstration experiments are carried out to verify the effects of water-saving and establish a forward-looking smart water-saving manage system that can be used as an adjustment strategy for improving water resilience under climate change.

2. Collection and arrangement of project data

Data collection includes water use in Taoyuan, farming data, and smart agriculture cases. The water resources are mainly based on surface water in Taoyuan City. Taking the water rights in 2017 as an example, the purposes of water supply are domestic and public water use (76%), agricultural water use (22%); industrial water use (2%) sequentially. The available food production area is 34,885.7 ha in Taoyuan City, furthermore, 63.5% are the irrigation area of Taoyuan Irrigation Association (TIA) and Shihmen Irrigation Association, 36.5 % are not. The crops in Taoyuan City are mainly rice (63.1%), followed by vegetables (28.6%), and the remaining are grains,

special crops, fruits and flowers (8.3%). The international (USA, Japan, Spain, India) and domestic smart agriculture cases have been collected preliminarily.

3. Selection of the target crops and Discussion on Irrigation Management Methods

For the classification of crops in Taiwan, the most detailed classification of Taiwanese farmhouses compiled by the Council of Agriculture(COA) (2006). This project aims at explaining the characteristics of short-term dry crops, long-term crops, and rice. There are 47 types of vegetables in short-term dry crops.

Among the area of vegetables planted in Taoyuan City in 2018, other leafy vegetables were 2,596.25 ha, and the top 6 highest planting areas were *Brassica rapa chinensis*, bamboo shoots, *Amaranthus*, *Ipomoea aquatica*, watermelon, and *Spinacia oleracea*. Perennial crops are long-term fruit tree crops. Although tea trees are long-term crops, they can be classified as special-purpose cultivation (also known as craft or commercial crops) because they have specific uses as industrial raw materials and high economic value. The top 6 highest planting areas of Taoyuan in 2018 are peach, persimmon, banana, barrel mandarin, red dragon fruit, and Wendan pomelo. The most cultivated rice varieties in Taoyuan are Taigan 14 and Taoyuan 3.

The agricultural irrigation water standard varies according to the type of crop and irrigation method, and it is divided into paddy field and dry field water. In the northern region, the water consumption for rice irrigation under the continuous irrigation and rotation irrigation systems was 3,594 mm/yr and 2,851 mm/yr, respectively. Different irrigation methods will affect the water consumption per unit area of cropping. Among them, rotational Irrigation can save water by 19.51 ~ 29.08% (first crop) and 22.02 ~ 31.12%

(second crop) compared with continued irrigation. Different soils have different paddy field plans. According to Taiwan Water Resources Bureau (1977): clay (8 mm/day), loamy loam (10 mm/day), loam (12 mm/day), sandy loam (15 mm/day), sand (20 mm/day), which can be used to calculate the water demand for each cropping season or annual.

In consideration of (1). Crop water requirements, (2). Water resources, (3). Representative of crop (4). Land suitability, (5). Regional development cultivation, *Brassica rapa chinensis* and *Lactuca sativa* are chosen as the target leaf crops. The target crops are suggested to grow (1). Fruit crops : *Cucumis sativus* L or *Lycopersicon esculentum* Mill. (2). Evergreen fruit tree : *Hylocereus* spp in 2020 and (1). *Oryza sativa*, (2). Root crops : *Solanum tuberosum* L. or *Colocasia esculenta* in 2021 in the next 2 years.

4. Smart water-saving management system construction

Microclimate and environment monitoring station systems are constructed, including (1). thermometer, (2). Hygrometer, (3). Wind speed anemometer, (5). Barometer (6). Rain gauge, (7). Soil water tension meter, (8). Self-recording water level meter, (9). Automatic data collection system. Netafim, a company from Israeli, whose drip irrigation systems are chosen to use. By the means of NMC PRO irrigation control device and network transmission device (4G), the all experiments data is collected.

A data management platform is developed for managers and clients to use. The complete frames of the platform include the client-side interface and the back-side server to manage. The client-side interface would be developed in this year, which contains environment monitoring, crops grow records, irrigation water analysis, cultivated land geography, and cropland management.

5. The planning of smart water-saving experiment

The smart water-saving experiment was performed in the test field of Agricultural Engineering Research Center (AERC) in Dayuan District (see Figure-1). The experiment field belongs to No. 4-5 pond of 4th branch of Taoyuan Irrigation Main Channel. The field is 93 m long and 17 m wide (area: 0.1581 ha). The field surface was leveled by laser with the 2018 COA plan test. A pond in the upstream of the field provides the water required for the test.

The experiment field control system is based on the premise of complete recording and acquisition of all data. Two sets of control systems are provided. The first group is a smart festival drip irrigation system and the second group is a meteorological and soil moisture recording station. The layout diagram is as shown in Figure-2. Therefore, a smart drip irrigation system was set up in the experiment field as the main irrigation facility. A set of meteorological monitoring equipment is set up in the field, including facilities such as record extractors, thermometers, hygrometers, pressure gauges, rain gauges, sunlight meters (radiometers), and anemometers. In order to monitor the soil moisture status in the two fields, 6 soil moisture meters were provided for each experimental group. In order to monitor the amount of water diversion and drainage in the two test fields during the test period, one set of inflow monitoring and outflow monitoring is set up in each field. Inflow monitoring is uniformly monitored by the two sets of flowmeters of the drip irrigation system for the irrigation and water supply of the test group and the control group. Therefore, two sets of flow observation equipment need to be set up, and the two groups are installed at the outflow of the 2 fields. In the experiment field, the amount of water is very small. The 6-inch PVC drainage pipe and the self-recording water level monitoring method are used to obtain the water discharge.

Brassica rapa chinensis and Lactuce sativa are chosen respectively as the target leaf crops in the experiment which is carried out Dayuan District from July to September. The demonstrate area contains test group (drip irrigation) and comparison group (furrow irrigation). The length and the width of each group are about 25 m and 15 m (area 375m²). There are 10 furrows in each group, 400 plants were grown in 1 furrow, this means there were 4,000 in 1 group, 8,000 plants were grown in the first experiment. In the second experiment, the plant spacing was adjusted according to the first experiment. There are 10 furrows in each group, 300 plants were grown in 1 furrow, this means there were 3,000 in 1 group, 6,000 plants were grown in the second experiment.

6. The experiment procedure and the crops quality evaluation of the smart water-saving management systems

The period of the first smart water-saving experiment is from July 25th (transplant seedings) to August 13th (crop harvest), counted 20 days totally. The results show that test group (drip irrigation) is about 58 % water-saving comparative to comparison group (furrow irrigation). Speaking to the crop's quality evaluation, 400 plants were chosen randomly in each group to compare to the other one, 4 basic factors: (1). The height of plant, (2). The numbers of leaf, (3). The width of the largest leaf, (4). The width of the total plant was observed and the index of Rg(H) (plant height growth factor) and Rg(L)(leaf number growth factor) were calculated. The results show that Rg(H) and Rg(L) are 0.86~1.05 and 0.91~1.04 respectively, in other words, there is no significant difference between test group (drip irrigation) and comparison group (furrow irrigation). However, the amount of water saved by drip irrigation is much higher than that of furrow irrigation, and the irrigation time is shorter, which has a slight positive effect on crop yield.

The second wisdom water-saving test totaled 30 days; according to the results of the smart water-saving management system test, the use of smart water-saving system (drip irrigation) saved about 77.3 % of water compared with traditional agricultural methods (ditch irrigation) (see Table-2); another crop quality assessment, analysis of 400 strains of crops It shows that the amount of water used for drip irrigation is only about 22% of the amount of furrow irrigation. The plant height per plant is about 1.24 times that of traditional furrow irrigation, the average total leaf width is 1.25 times, and the average weight per plant is 1.91 times. The selection and sense of irrigation methods are obvious. The combination of measuring components determines the timing of irrigation and drainage, which helps to significantly reduce water sources and ensure (improve) the win-win target of original crop quality and yield.

7. The assessment of agricultural irrigation supplied by recycled water

Considering the locations of the water resource recovery centers in Taoyuan City and the surrounding irrigation areas, the Daxi Water Resource Recovery Center and the Taoyuan North Water Resource Recovery Center were selected as the feasibility assessment plants for the use of recovered water for agricultural irrigation. The preliminary survey results show that the quality of the recycled water meets landscape uses, and if diluted to meet agricultural water quality standards, it can be used for agricultural irrigation. For the Daxi Water Resources Recycling Center, a preliminary plan is to take about 10.6 ha of agricultural and pastoral land (the end of Yuemeizhen Irrigation District) as a demonstration area. Two schemes of decentralized pressurized water supply system and gravity water supply system were planned.

The Taoyuan North District Water Resources Recovery Center recovers the water from Nanxun Creek, which is adjacent to No. 2-23 pond of TIA, and the existing ecological pool was originally a part of the No. 2-23 pond. A preliminary plan is to build a liaison waterway in the ecological pool to the 2-23 pond, and set up a water gate at the end of the ecological pool to store the recovered water in the ecological pool on weekdays. The opening and closing operation of the waterway system water gate is adjusted according to the needs of No. 2-23 pond irrigation area. The benefited irrigation area is about 143.56 ha in No. 2-23 pond irrigation area.

8. The production of promotional video

This year, the description and application of smart water-saving systems, including sensing elements, control and display systems, were recorded in the form of videos for the purpose of publicizing the results of the plan, which will facilitate the application and promotion of subsequent water-saving systems. The content plan of the promotion script includes an introduction, an intro, a fragment and a conclusion. The video shoots the installation of irrigation system equipment, soil sensing elements and meteorological equipment on July 18; and shoots the facilities of water-saving test, field consolidation, and vegetable seedling planting on August 16. The working team photographed the 2nd (lettuce) experimental crop harvest, interviewed the director of the Water Authority, and published the results. Finally, the above content was edited to complete a 5-minute promotional video. In conjunction with the promotion of smart water conservancy and smart city policies, the relevant results were filmed with the ERA Communications. The show aired on 9/11/2019 at 9 pm on TV “Taiwan Charges Forward”.



Figure-1 Location maps around the experiment field of the project

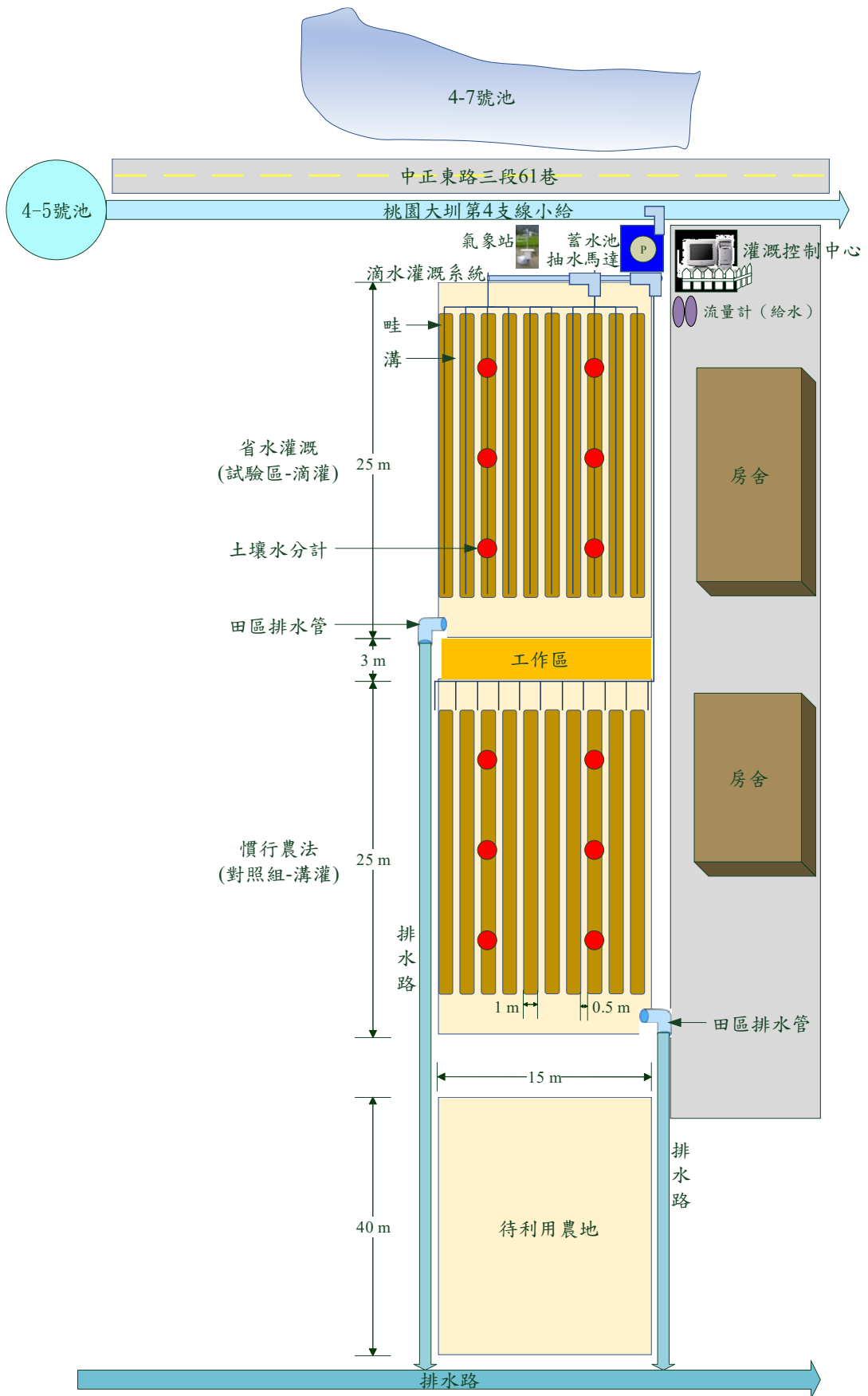


Figure-2 Schematic layout of sensing elements and irrigation equipment

Table-1 Analysis of the water saving benefit of the first intelligent

water-saving irrigation experiment

Day	Test group (drip irrigation)			Comparison group (furrow irrigation)			Water saving assessment	
	Water supply (m ³)	Flow (cms)	Irrigation time (min)	Water supply (m ³)	Flow (cms)	Irrigation time (min)	Water saving (m ³)	Water saving rate (%)
1	4.39	0.0021	70	5.63	0.0031	30.0	1.24	22.02
2	3.65	0.0010	60	8.43	0.0039	31.4	4.78	56.70
3	1.89	0.0010	30	2.93	0.0016	30.0	1.04	35.49
4	1.90	0.0011	30	7.99	0.0044	30.0	6.09	76.22
5	1.90	0.0010	30	7.82	0.0045	30.0	5.92	75.70
6	1.88	0.0010	30	8.03	0.0045	30.0	6.15	76.59
7			0	6.69	0.0043	26.7	6.69	100.00
8	1.89	0.0010	30	5.87	0.0037	28.7	3.98	67.80
9	2.68	0.0015	60	5.98	0.0033	30.0	3.30	55.18
10	3.81	0.0011	60	4.36	0.0024	30.0	0.55	12.61
11	3.80	0.0011	60	6.79	0.0038	30.0	2.99	44.04
12	3.82	0.0011	60	7.09	0.0038	30.0	3.27	46.12
13	3.81	0.0011	60	8.12	0.0038	30.0	4.31	53.08
14	3.77	0.0010	60	7.00	0.0039	30.0	3.23	46.14
Total	39.19		640	92.73		416.8	53.54	57.74

Table-2 Analysis of the water saving benefit of the second intelligent water-saving irrigation experiment

Day	Test group (drip irrigation)			Comparison group (furrow irrigation)			Water saving assessment	
	Water supply (m ³)	Flow (cms)	Irrigation time (min)	Water supply (m ³)	Flow (cms)	Irrigation time (min)	Water saving (m ³)	Water saving rate (%)
1	4.14	0.0012	60				-4.14	
2							0.00	
3	1.97	0.0011	30	15.58	0.0042	62	13.61	87.36
4	1.99	0.0011	30	14.99	0.0042	60	13.00	86.72
5							0.00	
6	1.31	0.0011	20	5.01	0.0042	20	3.70	73.85
7							0.00	
8							0.00	
9	1.97	0.0011	30	7.84	0.0037	35	5.87	74.87
10	1.31	0.0011	20	5.71	0.0048	20	4.40	77.06
11							0.00	
12							0.00	
13							0.00	
14	1.30	0.0011	20	8.56	0.0036	40	7.26	84.81
15	2.30	0.0011	35				-2.30	
16							0.00	
17							0.00	
18							0.00	
19	0.66	0.0011	10	8.53	0.0036	40	7.87	92.26
20							0.00	
21				8.49	0.0034	41	8.49	100.00
22							0.00	
23							0.00	
24							0.00	
25							0.00	
26							0.00	
27	0.90	0.0005	30	5.57	0.0031	30	4.67	83.84
28							0.00	
29	2.03	0.0011	30				-2.03	
30				7.51	0.0032	39	7.51	100.00
Total	19.88		315	87.79		387	67.91	77.36

桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫 成果報告目錄

	頁次
摘要	I
目錄	XIX
圖目錄	XXI
表目錄	XXIV
第一章 前言	1-1
1-1 計畫緣起	1-1
1-2 工作項目及內容	1-2
第二章 計畫基本資料盤點	2-1
2-1 桃園市主要標的作物資料蒐集	2-1
2-2 桃園市多元水源盤查	2-12
2-3 國內外相關案例蒐集探討	2-25
第三章 標的作物篩選暨灌溉管理方法探討	3-1
3-1 作物概述	3-1
3-2 作物用水資料彙整	3-6
3-3 作物慣行灌溉方法彙整	3-12
3-4 標的作物篩選及灌溉管理方法彙整	3-15
第四章 智慧節水管理系統之先期規劃	4-1
4-1 作物環境感測器整合	4-1
4-2 作物環境控制系統整合	4-8
4-3 作物栽培智慧管理平台發展	4-9
4-4 作物栽培智慧管理平台後續發展規劃建議	4-31
第五章 智慧節水試驗規劃	5-1
5-1 示範場域布置與監測規模說明	5-1
5-2 示範田區參數調查及試驗規劃	5-3
第六章 智慧節水管理系統試驗歷程及效益評估	6-1
6-1 智慧省水試驗歷程	6-1

6-2	感測元件資料蒐集分析	6-7
6-3	灌溉用水量差異評估	6-14
6-4	短期標的作物品質差異評估	6-18
6-5	短期標的作物產量差異評估	6-25
6-5	成本分析	6-27
第七章	回收水應用於農業灌溉之可行性評估	7-1
7-1	回收水利用之探討	7-1
7-2	桃園市應用回收水之可能性探討	7-12
第八章	宣導推廣影片製作	8-1
第九章	結論與建議	9-1
9-1	結論	9-1
9-2	建議	9-4
參考文獻		參-1

附錄

- 附錄一、期初報告審查會議記錄及辦理情形
- 附錄二、期中報告審查會議記錄及辦理情形
- 附錄三、期末報告審查會議記錄及辦理情形
- 附錄四、作物栽培智慧管理平台網頁弱點初檢結果與建議報告
- 附錄五、作物栽培智慧管理平台網頁弱點複檢結果與建議報告

圖目錄

	頁次
圖 2-1 桃園市境內作物種植面積比較	2-3
圖 2-2 桃園市境內作物產值比較	2-3
圖 2-3 桃園市境內蔬菜類種植面積比較	2-3
圖 2-4 桃園市境內蔬菜作物產值比較	2-3
圖 2-5 桃園市作物位置分布	2-5
圖 2-6 農田水利會與可供糧食生產地	2-5
圖 2-7 桃園農田水利會灌區	2-7
圖 2-8 石門農田水利會灌區	2-9
圖 2-9 桃園市自排水取水灌溉遭受重金屬污染農地之分布一覽	2-11
圖 2-10 桃園市境內 2017 年地面水水權取水量比例一覽	2-12
圖 2-11 桃園市地面水分布(排水系統).....	2-15
圖 2-12 桃園市地面水分布(灌溉系統).....	2-17
圖 2-13 桃園市水資源回收中心分布位置	2-18
圖 2-14 桃園市地下水井分布位置	2-24
圖 2-15 智慧農業之科技工具概念圖	2-25
圖 2-16 九州地區-橫竹(洋葱)及唐津(草莓)溫室栽培案例.....	2-32
圖 2-17 四万十町番茄株式會社番茄滴灌系統	2-33
圖 2-18 西班牙巴塞隆納 Poblenou 公園的 SmartIrrigation 智能灌溉系統.....	2-36
圖 3-1 短期葉菜類(十字花科非結球葉菜)栽培管理作業曆.....	3-29
圖 3-2 番茄栽培管理作業曆	3-30
圖 3-3 柑橘類栽培管理作業曆	3-31
圖 3-4 茶葉栽培管理作業曆	3-32
圖 3-5 一般水田水份管理配合圖	3-33
圖 4-1 環境監測系統主要感測元件一覽	4-5
圖 4-2 Netafim 滴灌系統灌溉配置圖.....	4-6
圖 4-3 滴灌系統灌溉配置圖	4-7
圖 4-4 氣象設備安裝情形	4-7
圖 4-5 灌溉系統安裝情形	4-8
圖 4-6 作物栽培智慧管理平台系統架構圖	4-12
圖 4-7 前臺系統架構圖	4-12

圖 4-8	本計畫資料庫實體—關係示意圖	4-25
圖 4-9	查詢系統雛型功能-查看各耕地分區內容	4-26
圖 4-10	查詢系統雛型功能-可查詢作物與監測設備內容	4-26
圖 4-11	查詢系統雛型功能-灌溉延時查詢畫面	4-27
圖 4-12	查詢系統雛型功能-給水量查詢畫面	4-28
圖 4-13	查詢系統雛型功能-灌溉量查詢畫面	4-28
圖 4-14	查詢系統雛型功能-日照量查詢畫面	4-28
圖 4-15	查詢系統雛型功能-氣壓查詢畫面	4-29
圖 4-16	查詢系統雛型功能-土壤含水率查詢畫面	4-29
圖 4-17	查詢系統雛型功能-10 分鐘雨量查詢畫面	4-29
圖 4-18	查詢系統雛型功能-電池電壓查詢畫面	4-30
圖 4-19	查詢系統雛型功能-新增生長紀錄功能	4-30
圖 4-20	LoRa 無線通訊系統架構圖	4-33
圖 4-21	SIGFOX 無線通訊系統架構圖	4-34
圖 4-22	邊際運算與雲端運算共同架構示意圖	4-41
圖 5-1	本計畫示範場域(試驗田區)周邊區位圖	5-1
圖 5-2	本計畫示範場域(試驗田區)坵塊空拍圖	5-2
圖 5-3	智慧節水灌溉系統之感測元件及控制系統整合安裝一覽	5-4
圖 5-4	示範場域(試驗田區)之畦塊及土溝佈置	5-5
圖 5-5	每一畦塊之作物栽培行距示意圖	5-5
圖 5-6	試驗組及對照組編號實景	5-5
圖 5-7	示範場域(試驗田區)之感測元件及灌溉設備佈置示意圖	5-8
圖 6-1	智慧節水灌溉試驗田區初期整備歷程	6-2
圖 6-2	第 2 次智慧節水灌溉試驗(小白菜)田區試驗觀測歷程	6-4
圖 6-3	第 2 次智慧節水灌溉試驗(萵苣)田區試驗觀測歷程	6-5
圖 6-4	智慧節水灌溉試驗田區病蟲害防治及施肥歷程	6-7
圖 6-5	智慧節水灌溉試驗期間之氣象觀測資料一覽	6-9
圖 6-6	第 1 次智慧節水灌溉試驗期間之土壤水份觀測資料一覽	6-11
圖 6-7	第 2 次智慧節水灌溉試驗期間之土壤水份觀測資料一覽	6-12
圖 6-8	第 2 次智慧節水灌溉試驗期間之滴灌區、溝灌區土壤水份比較	6-13
圖 6-9	第 1 次智慧節水灌溉試驗期間之給水量觀測資料一覽	6-15

圖 6-10	第 2 次智慧節水灌溉試驗期間之給水量觀測資料一覽	6-16
圖 6-11	第 1 次智慧節水試驗-小白菜株高試驗結果比較	6-20
圖 6-12	第 1 次智慧節水試驗-小白菜葉片數量試驗結果比較	6-20
圖 6-13	第 1 次智慧節水試驗-小白菜單葉葉寬試驗結果比較	6-21
圖 6-14	第 1 次智慧節水試驗-小白菜單株總葉寬試驗結果比較	6-22
圖 6-15	第 2 次智慧節水試驗-萵苣單株高度試驗結果比較	6-23
圖 6-16	第 2 次智慧節水試驗-萵苣單株重量試驗結果比較	6-24
圖 6-17	第 2 次智慧節水試驗-萵苣單株總葉寬試驗結果比較	6-24
圖 6-18	第 1 次智慧節水試驗-小白菜各畦之收成重量比較	6-26
圖 6-19	第 2 次智慧節水試驗-萵苣各畦之收成重量比較	6-27
圖 6-20	滴灌系統各元件組成之成本分析	6-28
圖 7-1	污水及回收水回收利用演進圖	7-13
圖 7-2	大溪水資源回收中心周遭灌排系統分布圖	7-15
圖 7-3	大溪水資源回收中心周遭環境概況	7-16
圖 7-4	大溪水資源回收中心回收水應用示範區域範圍	7-18
圖 7-5	大溪水資源回收中心回收水應用方案一	7-20
圖 7-6	大溪水資源回收中心回收水應用方案二	7-21
圖 7-7	桃園北區水資源回收中心周遭灌排系統分布圖	7-24
圖 7-8	桃園北區水資源回收中心回收水應用方案	7-25
圖 8-1	年代電視拍攝情形	8-4
圖 8-2	宣導推廣影片成品擷取畫面	8-6

表目錄

	頁次
表 2-1 桃園市近 3 年主要作物種植面積、產量與產值	2-2
表 2-2 桃園市近 3 年主要蔬菜類作物種植面積、產量與產值	2-3
表 2-3 桃園市境內可供糧食生產地與農田水利會面積比例關係	2-5
表 2-4 桃園市歷年受重金屬污染農地之變化趨勢	2-10
表 2-5 桃園市境內 2017 年地面水水權登記引用水量	2-13
表 2-6 水利署大漢溪地面水水權登記引用水量	2-14
表 2-7 大漢溪水庫堰壩取水量統計	2-14
表 2-8 桃園市主要地面水系基本資料一覽表	2-16
表 2-9 桃園市給水系統供水能力基本資料一覽	2-17
表 2-10 桃園市主要水資源回收中心基本資料一覽表(I)	2-19
表 2-11 桃園市主要水資源回收中心基本資料一覽表(II)	2-20
表 2-12 桃園市各水資源回收中心處理污水量	2-21
表 2-13 桃園市未來 10 年內可供應回收水量	2-22
表 2-14 桃園市境內 2017 年地下水水權登記引用水量	2-24
表 2-15 國內相關計畫推動案例摘要	2-30
表 2-16 國外推動案例摘要	2-39
表 3-1 現有農業用水-作物類別分類一覽	3-1
表 3-2 桃園市 2018 年蔬菜種植面積一覽	3-2
表 3-3 桃園市 2018 年果品類及特用作物種植面積一覽	3-3
表 3-4 台梗 14 號、桃園 3 號和台南 11 號之水稻品種比較	3-5
表 3-5 國內主要旱作物不同需水量分類一覽	3-7
表 3-6 國內不同季節之主要旱作物需水量一覽	3-7
表 3-7 臺灣各區水稻灌溉用水量基準	3-8
表 3-8 各種型式之地上灌溉特性及適用場合比較	3-14
表 3-9 短期作物適合栽種之月份、生長日數及株行距表(I)	3-16
表 3-10 短期作物適合栽種之月份、生長日數及株行距表(II)	3-17
表 3-11 本計畫標的作物每公頃生產費用與收益	3-17
表 3-12 小白菜栽培季節及代表性品種	3-17
表 3-13 長年旱作物栽培特性一覽	3-22
表 3-14 蕃茄各期作的播種、定植及採收時間	3-23

表 3-15	桃園大圳灌區之農作時期一覽	3-33
表 4-1	作物主項名稱及代碼表	4-17
表 4-2	作物次項名稱及代碼表(I)	4-18
表 4-3	作物次項名稱及代碼表(II)	4-19
表 4-4	物理量主項名稱及代碼表	4-20
表 4-5	物理量次項名稱及代碼表(I)	4-20
表 4-6	物理量次項名稱及代碼表(II)	4-21
表 4-7	主要水源名稱與代碼表	4-21
表 4-8	實體資料模型列表(I)	4-22
表 4-9	實體資料模型列表(II)	4-23
表 4-10	實體資料模型列表(III)	4-24
表 4-11	傳統資料倉儲和大數據資料池之比較	4-32
表 4-12	各種通訊方式分析表	4-36
表 5-1	智慧節水灌溉試驗期程規劃一覽	5-3
表 6-1	第 1 次智慧節水灌溉試驗之灌溉水量節水效益分析	6-15
表 6-2	第 2 次智慧節水灌溉試驗之灌溉水量節水效益分析	6-17
表 6-3	第 1 次智慧節水試驗-小白菜株高及葉片數量試驗結果	6-19
表 6-4	第 1 次智慧節水試驗-小白菜葉寬試驗結果	6-21
表 6-5	第 2 次智慧節水試驗-萵苣單株高、株重、葉面寬試驗結果	6-23
表 6-6	第 1 次智慧節水試驗-小白菜作物收成統計一覽	6-25
表 6-7	第 2 次智慧節水試驗-萵苣作物收成統計一覽	6-26
表 6-8	電費使用級距及單價一覽表	6-28
表 6-9	以色列 Netafim 滴灌系統供應面積與成本分析一覽	6-29
表 7-1	各國廢污水回收利用方式一覽	7-5
表 7-2	回收水應用於農業之水質標準	7-6
表 7-3	回收水應用於工業之水質標準	7-7
表 7-4	回收水應用於民生之水質標準	7-8
表 7-5	回收水應用於地表及地下水補注之水質標準	7-9
表 7-6	回收水應用於補注用水其他限制條件	7-10
表 7-7	世界各地開始進行污水回收利用相關行動一覽	7-11
表 7-8	大溪水資源回收中心放流水水質狀態一覽	7-17

表 7-9	大溪水資源回收中心回收水應用示範區域用地類別資料筆數...	7-18
表 7-10	大溪水資源回收中心回收水應用示範區域用地類別面積	7-19
表 7-11	桃園北區水資源回收中心回收水水質狀態一覽	7-23
表 8-1	宣導影片腳本規劃(I)	8-3
表 8-2	宣導影片腳本規劃(II)	8-4
表 8-3	宣導推廣影片拍攝計畫	8-5

第一章 前言

1-1 計畫緣起

臺灣地區之豐枯降雨比例懸殊，加上坡短流急、水資源蓄存不易。近年來更受到氣候變遷影響，極端降雨事件頻仍，使水資源短少的問題更顯嚴峻，相關研究均顯示常態性或極端性的乾旱問題日漸顯著，致使農業發展也面臨極大挑戰。因應臺灣水資源短缺以及氣候變遷的雙重挑戰下，以農業行為的灌溉管理為出發，如何研擬提升氣候變遷下水資源韌性的可行方案，在不破壞環境平衡、水資源使用更有效率的前提下，兼顧糧食安全與產業發展，即成為一項重要的課題。

此外，近年來智慧化水資源利用之推動亦為國際趨勢，農業占整體水資源的大宗約 70~73%，如何由農業生產過程導入智慧化管理，達成節水且同時兼顧農業生產本質的目標是為本計畫之重點所在。例如，日本四國高知縣四万十町次世代園地的番茄灌溉及生產系統、九州橫竹地區洋蔥旱灌及加部島地區唐津草莓溫室栽培的灌溉系統，均透過大面積有效率的耕作、系統化的管路給水及噴灑灌溉系統即時提供作物用水需求並可降低水源輸送損失，提高用水效率。再者，以色列的 Netafim 公司發展的智慧滴灌技術，利用現代化電子控制產品，包括可根據含水量、鹽分、肥力、氣象數據情況進行噴水調整的複雜傳感器組件，可達到節水 35~50%、節肥 30~40%、降低人工成本的同時增產 20% 的效益。而國內於台灣農林屏東縣內埔鄉全臺最大單一地主茶葉生產基地-老埤農場，應用以色列滴灌系統，達到精準供水，用水量比噴灌系統少 70%；此外，嘉南水利會灌區針對水稻栽培的田區施設水量感測元件，進行水田智慧節水之測試等，均為國內外逐步推動智慧節水及生產之案例。

綜合上述，本計畫以桃園境內重要農業生產為節水的產業對象，透過物聯網(IoT)之感測技術整合、智慧環控技術、智慧管理技術等，透過作物栽培過程之相關生長與環境參數組合，並利用大數據分析技術，建立不同作物之前瞻智慧節水管理系統，可作為氣候變遷下提升水資源

韌性的重要調適策略方案，期能達成精進農業節水管理技術、提高作物產量及提升作物品質之目的。因此，實際執行將以桃園市境內之主要作物進行示範，透過實地試驗，測試智慧環境監測與控制系統之適用性，再配合作物栽培管理分析平台，研發一套完整的前瞻智慧節水管理系統。同時，也將以計畫成果為基礎，針對桃園市境內智慧灌溉管理相關產業發展之現況與願景，進行整體性推廣之發展與擘劃。藉以提供桃園市智慧節水管理推動之重要參據。

1-2 工作項目及內容

一、基本資料盤點、標的作物篩選及相關文獻蒐集

- (一).桃園市境內主要計畫標的作物之相關基礎資訊蒐集：包括種植面積、產量、產值、農地收益、區域分布及傳統既有的用水(灌溉)方式等。
- (二).桃園市境內之多元水源盤查作業，至少應包含地面水(水庫、農塘)、回收水(或再生水)以及地下水等；蒐集彙整內容，應包含分布位置、潛在可用水量及周遭農地作物分布情形等。
- (三).國內外智慧節水及智慧農業管理系統之案例蒐集與探討。
- (四).根據前述蒐集成果，考量作物需水特性、用水來源等面向，綜合評析並進行本計畫今年標的作物之篩選以蔬菜類為優選示範標的作物；其次，為有利桃園市水務局後續推動桃園市其他不同作物施設智慧灌溉省水系統之決策及方向；本工項另需協助桃園市水務局評估長年作物(如果樹、茶樹等)、短期旱作物(如蔬菜、小番茄、瓜類、竹筍等)及水稻等3大類作物別，並篩選至少4種標的作物(需包含長年作物、短期旱作物及水稻)，且需敘明優選理由。
- (五).針對回收水(或再生水)利用的可能性，應針對不同水量及水質條件探討對水稻、旱作物等不同作物的影響進行評析

二、標的作物之生長特性、灌溉與管理方法之彙整與探討

- (一).計畫標的作物(包含長年作物、短期旱作物、水稻)之水分生理特性及需

水期程等之相關資料蒐集。

- (二).計畫標的作物(包含長年作物、短期旱作物、水稻)之慣行灌溉方法進行彙整與探討，如漫灌、溝灌、噴灌或滴灌等均須納入探討。
- (三).計畫標的作物(包含長年作物、短期旱作物、水稻)栽培之灌溉管理方式彙整與探討，包含栽種期、耕作方式、人力勞動時數等。
- (四).常見農業灌溉系統、機電工程、無線感測網路及相關感測器等相關資料蒐集。
- (五).智慧節水管理系統實施效益之評估方法應包含灌溉用水量、作物產量、品質與人力需求等面向進行探討。

三、智慧節水管理系統之先期規劃

(一).示範場域選擇與監測規模說明：

- 1.示範場域：本(108)年度廠商需篩選一處短期旱作物栽培示範場域(田區)；示範場域之施設包含試驗組與對照組各一組，各組田區面積不得小於300平方公尺；示範場域總面積不得小於600平方公尺，廠商應由環境控制、供水難易度、節水效益等面向選定合適之示範場域，並提出示範場域基本資料及試驗規劃方案經甲方同意後始可作為本案監測物聯網標的，若示範場域為私人土地，則廠商得先取得該示範場域所屬土地所有權人之租賃合約或使用同意書，以確保本計畫執行期間執行之試驗相關工作得以順利推動及完成。本計畫應於計畫執行期間，選定兩種不同蔬菜類作物分別進行一次試驗、監測及分析(不同作物可分開試驗或同時試驗均可)。
- 2.監測規模：本計畫示範場域(試驗組及對照組)，試驗組以設置滴灌系統為主、對照組則以該作物之慣行農法為主。控制系統施設以完整記錄及擷取所有數據為前提，至少施設一組控制系統；示範場域(田區)之氣象監測設備應包含紀錄擷取器(1組)、溫度計(1組)、溼度計(1組)、壓力計(1組)、雨量計(1組)、日照計(日輻射計1組)等設施一組(廠商可採用整合型多重物理量設備；惟功能需符合本計畫規範要求)；土壤水分監測，以施設土壤水分張力計為主(或具相同功能之土壤水分儀器)，應

考量試驗區的空間與灌溉系統分布等，試驗組及對照組均各別施設 6 組。流量計，則需視田區給水及排水需求進行施設及水量監測，以 4 組為基準。本計畫採用之監測設備與控制系統需以租賃方式辦理。另為確保通訊傳輸品質及配合水利署政策，整合現有系統及引進物聯網傳輸技術(LPWAN)，須符合水利署「水資源物聯網安全要求建議書」、「物聯網感知設備安全要求建議書」等規定辦理，基於上述監測試驗組成果，比對慣行農法對照組，完成本案監測比對與佈建規劃。

(二). 作物環境感測器之整合：廠商需針對前述篩選之短期標的作物栽培過程之特性，提出環境監測系統所需包含之主要感測元件項目，朝作物環境感測系統之整合為原則，整合上應朝低成本、低功耗及物聯網傳輸監測系統，其感測元件至少包含溫度、濕度、大氣壓力、雨量計、日照計(日輻射計)、土壤水分張力計、流量計等。前述感測器系統整合，應以物聯網概念、節省成本且傳輸穩定為目標。廠商需提交「感測器規劃說明書」，規劃說明書內容至少應包括如下：

1. 設計基礎原理與架構：提出監測物理量之主要理論基礎，並說明設計理念與架構。
2. 整合感測元件：感測元件之設計以單一物理量或多重物聯網之既有感測元件組合而成。
3. 資料擷取儲存模組：儲存模組設計應具備感測資料處理、儲存與資料狀態及感測元件功能狀態偵測及通知功能，以掌握感測器維護管理需求或抽換更新。
4. 無線通訊模組：模組設計需採用國內既有之低功耗、廣域傳訊技術，且以低功耗廣域通訊 LPWAN 為基礎。
5. 電力設備與耗電：應包括電量計算說明，以確保備援電力設計可以在無其他供應電源下連續 5 天不中斷供電，及接用不同電源轉換設計，滿足節能省電且穩定供電之目標。
6. 針對所觀測之物理量應說明其準確度、解析度、測量範圍、工作環境溫度、耐候性、耐壓性、耗電能力與防水性設計規劃等內容。

7.維護需求：設備後續運行維護之便利性，維護所需人力分析。

- (三).作物環境控制系統之整合：廠商需針對前述篩選短期作物之特性，提出環境控制系統所需包含之機電項目，以前述環境監測系統感測元件，配合前述感測器系統與滴灌之自動化控制裝置系統，廠商應併同前述感測器規劃說明書中一併陳報控制系統發展內容。
- (四).作物栽培智慧管理平台之發展：基於環境監控及作物生長過程等予以記錄，針對作物與各種環境因子的影響關係進行探討，將空間、時間與生長過程採資料庫儲存，並開發展示、查詢、管理之視覺化管理系統；再者，為便於後續推廣使用，應同時開發視窗版及手機版等兩種介面，其中手機版可採用響應式網頁技術進行開發。此外，廠商亦需將作物栽培智慧管理平台之相關資訊需整併與「桃園市水情資訊網」介接。

四、節水對照試驗與生產條件分析

- (一).針對前述選定之短期標的作物，選擇合適之示範場域，進行相關背景資訊之蒐集(氣候、土壤、地形、水源、灌溉系統與計畫標的作物生產等)。
- (二).示範場域之篩選，包含選定原則、區位、試驗場域(需包含一獨立之供水系統範圍)、試驗區所有人(耕種人)配合意願、試驗期程等。同時，亦需進行水質採樣及檢驗分析，藉以確保水質滿足短期標的作物之需求標準。
- (三).示範場域之試驗規劃與試行：短期標的作物之試驗需包含實施慣行灌溉農法之對照組及實施智慧節水管理(水源、給水量、給水頻率)之試驗組。其中，作物環境監測系統之佈建，亦應提出完整的規劃。
 - 1.作物環境監測及控制系統之佈建，需提出完整規劃，包含監測項目、數量、位置及自動控制項目及相關控制元件等，並經主辦單位認可後，執行現地設置。上述示範場域的試驗過程與成果等均應完整記錄並可供檢視。
 - 2.完整蒐集示範場域之試驗資料，以前述開發之作物栽培管理分析平台

進行作物生產條件之分析探討，藉以提供後續推動其他作物智慧節水系統之試驗條件滾動檢討規劃之參考依據。

- (四).協助桃園市水務局推動後續桃園市其他作物智慧節水系統所需，針對長年作物(如果樹、茶樹等)、短期旱作物(如蔬菜、小番茄、瓜類、竹筍等)及水稻等3大類作物別，篩選出至少4種標的作物，並協助研擬試驗場地篩選、試驗規劃之建議與評估。
- (五).針對桃園市既有水資源回收中心，以多元水資源利用的考量，綜合評估及盤點桃園市境內各水資源回收中心之回收水可再利用之用途及潛在供水農地範圍，並評估桃園市回收水應用於農業灌溉之可行性及潛在效益。

五、智慧節水管理系統實施之效益評估

- (一).灌溉用水量差異評估：試驗區用水期間之總用水量評析，分析節水量及節水效率，並進一步分析單位面積節水量及應用於桃園市最大潛在節水量等。
- (二).短期標的作物之產量差異評估：產量優劣攸關農民收益，其為影響農民是否願意使用智慧節水管理系統之關鍵因子，因此試驗場域之作物產量差異應謹慎評估，施行智慧灌溉管理之產量應以優於慣行農法或類同於慣行農法。
- (三).作物品質差異評估：依短期標的作物之品質評量標準，進行作物品質之差異評估。
- (四).短期標的作物之灌溉節水效益與多元水資源以及生產力(含人力需求)之綜合評析。
- (五).智慧節水管理系統及多元水資源利用之成本分析：針對短期標的作物在試驗場域規劃之智慧節水管理系統，分析系統內各元件之成本組成，分析總設置費(工程費及營運管理費)、年投資成本、每單位用水量之成本、單一系統對應不同組數感測元件之成本分析等，以作為後續推廣或系統元件重組之參考依據。

六、宣導推廣影片製作

為有利後續節水系統之應用與推廣，針對本年度之短期標的作物之智慧節水系統，包含感測元件、控制及展示系統等之說明及應用等內容，製作 1 支宣導推廣影片。

七、執行期間相關配合事項

配合相關計畫書撰寫(印製)、相關會議(勘)出席及資料準備。

第二章 計畫基本資料盤點

本計畫所需之基本資料包括下列五項，第一為桃園市境內主要計畫標的作物之相關基礎資訊蒐集，包含種植面積、產量、產值、農地收益、區域分布及傳統既有的用水(灌溉)方式等；第二為桃園市境內多元水源盤查，至少應包含地面水(水庫、農塘)、回收水(或再生水)以及地下水等；蒐集彙整內容，應包含分布位置、潛在可用水量及周遭農地作物分布情形等；第三為國內外智慧節水及智慧農業管理系統之案例蒐集與探討；第四為根據前述蒐集成果，考量作物需水特性、用水來源等面向，綜合評析並進行本計畫今年標的作物之篩選以蔬菜類為優選示範標的作物，另需評估長年作物(如果樹、茶樹等)、短期旱作物(如蔬菜、小番茄、瓜類、竹筍等)及水稻等 3 大類作物別，並篩選至少 4 種標的作物(需包含長年作物、短期旱作物及水稻)，且需敘明優選理由；第五為針對回收水(或再生水)利用之可能性，針對不同水量及水質條件探討對水稻、旱作物等不同作物的影響進行評析。以下分述之。前述第四項及第五項分別專章說明於第三章及第七章。

2-1 桃園市主要標的作物資料蒐集

一、作物種植面積、產量及產值

為釐清桃園市境內主要作物類別等基礎相關資訊，根據行政院農委會農業統計年報資料，針對近 3 年(2015~2017 年)桃園市境內主要作物種植面積與產量進行資料蒐集與統計，統計成果如表 2-1 所示，桃園市境內主要作物以水稻為主，總種植面積為 13,629 ha，約占桃園市境內作物種植面積 63.1%，其次種植面積第二高者為蔬菜類，總種植面積約占 28.6%，其餘雜糧、特用作物、水果類及花卉種植面積合計約不足 10%；產值方面以蔬菜類作物產值最高，約為 3,002.8 佰萬元相當於作物總產值(6,275.7 佰萬元)之 47.8%，其次則為水稻，總產值 1,973.4 佰萬元，約占 31.4%，花卉與茶總產值分別為 579.1 佰萬元(9.2%)、345.8

佰萬元(5.5%)，其餘產值則較少，均不足桃園市境內作物總產值 5%，各類作物種植面積、總產值比較分別如圖 2-1 及圖 2-2 所示。

作物種植面積比例最大者除稻米外，其次則為蔬菜類，針對主要蔬菜作物另進行種植面積、產量及產值比較，比較成果如表 2-2 所示，桃園市境內蔬菜類作物以竹筍種植面積最大，種植面積約 899.1 ha，近 3 年年平均產量約 5,257 公噸，種植面積比例約占 14.5%，產值約 180.6 佰萬元(約占蔬菜類作物產值 6.0 %)，其次作物為不結球白菜種植面積約 865.5 ha(約佔 14.0 %)，近 3 年年平均產量約 17,433 公噸，產值約 386.8 佰萬元(占蔬菜類作物產值 12.9 %)，此外蔬菜類作物中單一種植面積較大者有西瓜、甘藍、茭白筍及韭菜，其他類蔬菜則不包含竹筍、不結球白菜、西瓜、甘藍、茭白筍、韭菜等其他蔬菜作物，有關各類蔬菜種植面積、產值比較如圖 2-3 及圖 2-4 所示。

表 2-1 桃園市近 3 年主要作物種植面積、產量與產值

項目(單位) 作物名稱		種植面積		產量	全臺作物 總產值	全臺 栽種面積	桃園市作物產值	
		ha	%	公噸	佰萬元	ha	佰萬元	%
水稻	水稻	13,629	63.1	66,899	38,630.9	266,792	1,973.4	31.5
雜糧	大豆	149	0.7	160	176.4	2,339	11.2	0.2
	玉米	44	0.2	1,559	2,096.2	14,017	6.6	0.1
	甘藷	114	0.5	2,483	3,903.3	10,240	43.5	0.7
特用作物	食用甘蔗	0.4	0.0	6	519.9	712	0.3	0.0
	茶	554	2.6	471	7,356.8	11,786	345.8	5.5
蔬菜類	短期蔬菜	4,954.8	28.6	92,125	72,709.9	149,704	3,002.8	47.9
	瓜果莓類	253.8		4,192				
	長期蔬菜	973.9		7,813				
水果類	香蕉	44.2	0.2	505	9,866.8	15,821	27.6	0.4
	柿	77.9	0.4	893	3,434.4	5,418	49.4	0.8
	桶柑	48.3	0.2	927	1,798.5	3,171	27.4	0.4
	桃	276.5	1.3	2,450	1,659.5	2,199	208.7	3.3
花卉	花卉	479.3	2.2	-	17,166.9	14,209	579.1	9.2
總計		20371	100		-	-	6,275.7	100

註 1：利用 2015~2017 年資料進行平均值計算，桃園市作物產值為利用作物面積與全臺面積比例進行估算。

註 2：蔬菜類短期蔬菜係指一般短期蔬菜(Cash Vegetables)，瓜果莓類包含西瓜、洋香瓜、香瓜、草莓，長期蔬菜包括蘆筍、韭菜、竹筍、金針菜等。

資料來源：行政院農業委員會農業統計年報。

表 2-2 桃園市近 3 年主要蔬菜類作物種植面積、產量與產值

項目(單位) 蔬菜名稱	種植面積		產量 公噸	單價 元/公噸	作物產值	
	ha	%			佰萬元	%
竹筍	899.1	14.5	5,257	34,357	180.6	6.0
不結球白菜	865.5	14.0	17,433	22,187	386.8	12.9
西瓜	207.2	3.4	3,434	14,511	49.8	1.7
甘藍	102.1	1.7	3,412	16,965	57.9	1.9
茭白筍	45.0	0.7	656	66,086	43.4	1.4
韭菜	74.4	1.2	2,555	31,197	79.7	2.7
其他類	3,989.3	64.5	71,381	19,073	2,204.6*	73.4*
總計	6,182.6	100.0	-	-	3,002.8	100.0

註：總產值利用表 2-1 面積比例推估，*者計算方式為總產值扣除竹筍、不結球白菜、西瓜、甘藍、茭白筍、韭菜而得。其他類不包含竹筍、不結球白菜、西瓜、甘藍、茭白筍、韭菜等蔬菜作物。

資料來源：行政院農業委員會農業統計年報。

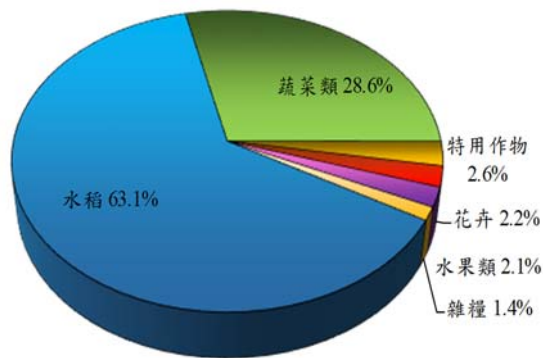


圖 2-1 桃園市境內作物種植面積比較

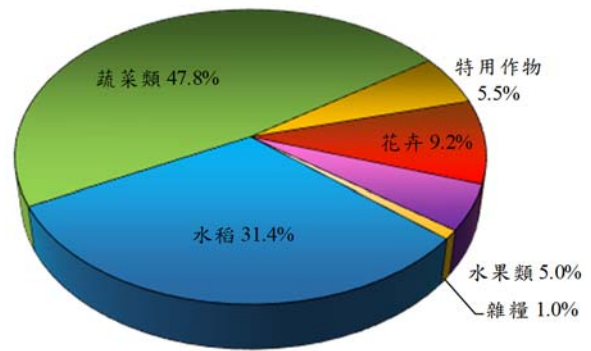


圖 2-2 桃園市境內作物產值比較

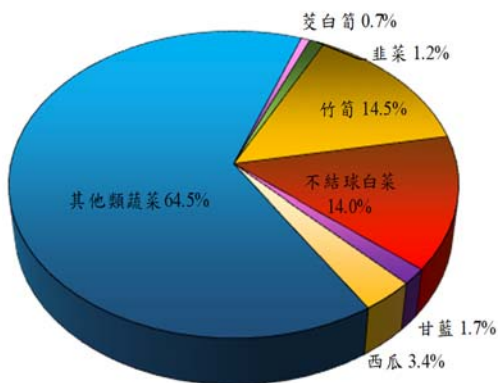


圖 2-3 桃園市境內蔬菜類種植面積比較

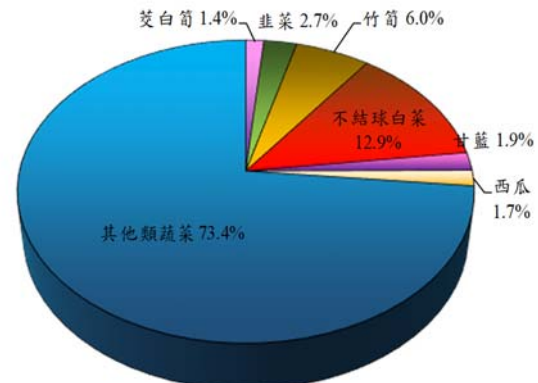


圖 2-4 桃園市境內蔬菜作物產值比較

二、農地作物種類與農田水利會位置分布

針對前述內容可知，桃園市境內作物面積以水稻佔有比例最高，其次為蔬菜類、特用作物及水果類，為了解作物耕種分布是否與地理位置有關，利用行政院農委會農試所針對全臺進行衛星影像、航照等判釋技術進行圖層套疊繪製，繪製成果如圖 2-5 所示，主要將作物分為水稻、水果及蔬菜等 3 種項目，水稻面積佔大多數，主要集中於沿海等地勢較平緩地帶，沿海往南靠近新竹縣地區水稻耕種密度相對較高；水果類作物所占面積較少，主要位於海拔較高之復興區等山區；蔬菜等作物分布較為零星，主要集中於大溪區、復興區之中海拔地帶，低海拔平地也有部分地區種植蔬菜並夾雜於水稻種植區。

根據行政院農委會全省可供糧食生產地資料顯示，桃園市境內可供糧食生產地為 34,885.7 ha，依照農業使用方式大致可分為畜牧業、農糧作、養殖漁業及潛在可利用耕種地，4 個項目中以農糧作使用比例最高約占 72.2 % (25,178.3 ha)，其次為養殖漁業約佔 19.1 % (6,662.4 ha)，各耕種類別資料整理如表 2-3 所示。

除了依照農業使用方式進行分類外，另利用農田水利會灌區範圍進行分類，桃園市轄區內有桃園農田水利會及石門農田水利會，石門水庫為此二農田水利會灌區之重要水源，桃園農田水利會灌區廣大分布於桃園市沿海地帶及部分新北市、新竹縣地區，石門農田水利會則銜接桃園農田水利會南方。桃園市境內桃園農田水利會灌溉面積約 14,536.7 ha、石門農田水利會則約 7,619.4 ha，總計桃園市境內屬農田水利事業內面積約為 22,156.1 ha (63.5 %)，而桃園市境內可耕地為農田水利會灌區外面積有 12,729.5 ha，約占全部面積 36.5 %，各項可供糧食生產地統計如表 2-3 所示，桃園、石門農田水利會事業範圍與可供糧食位置如圖 2-6 所示。以下另就桃園、石門農田水利會概述其地形、氣候及灌溉系統等特性。

表 2-3 桃園市境內可供糧食生產地與農田水利會面積比例關係

耕種類別		畜牧業	農糧作	養殖漁業	潛在可利用 耕種地	合計
桃園農田 水利會	面積(ha)	131.6	12,781.9	1,155.5	467.7	14,536.7
	比例(%)	0.4	36.6	3.3	1.3	41.7
石門農田 水利會	面積(ha)	80.1	5,728.5	1,119.4	691.4	7,619.4
	比例(%)	0.2	16.4	3.2	2.0	21.8
灌區外	面積(ha)	145.5	6,667.9	4,387.5	1,528.6	12,729.5
	比例(%)	0.4	19.1	12.6	4.4	36.5
總計	面積(ha)	357.3	25,178.3	6,662.4	2,687.7	34,885.7
	比例(%)	1.0	72.2	19.1	7.7	100.0

註 1：桃園水利會與石門水利會面積僅統計桃園市部分，不包含新北市及新竹縣。

註 2：灌區外係指非農田水利會事業灌溉區域。

資料來源：行政院農業委員會全省可供糧食生產地。

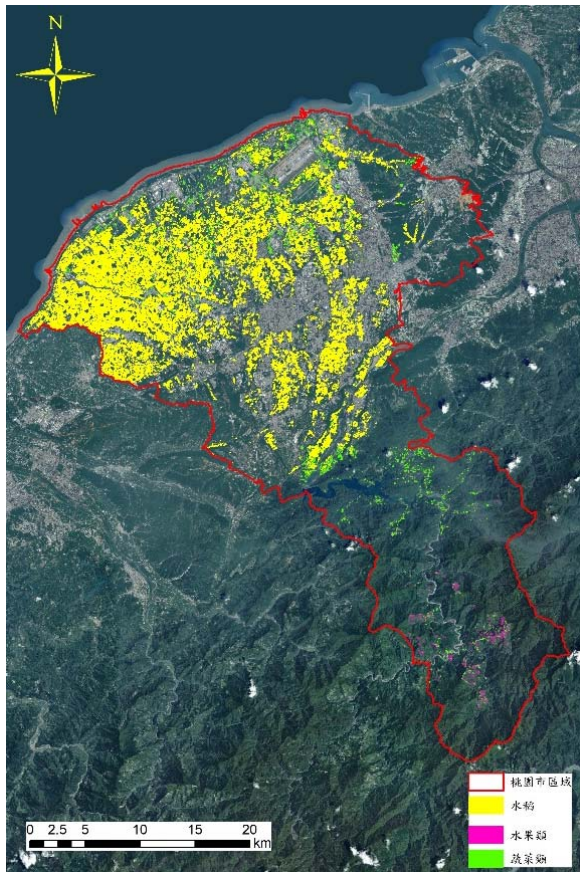


圖 2-5 桃園市作物位置分布

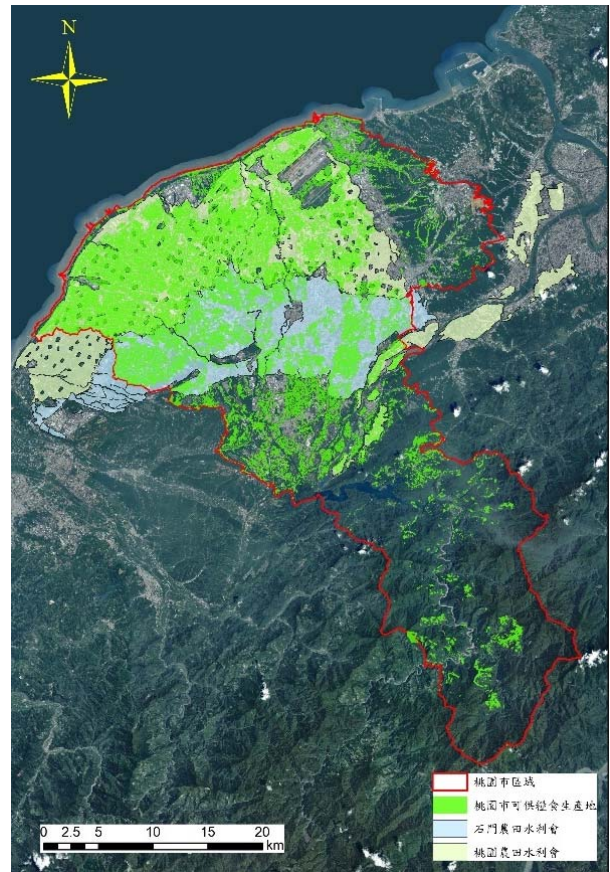


圖 2-6 農田水利會與可供糧食生產地

(一).桃園農田水利會

1. 地形特性：桃園農田水利會灌區位於臺灣西北部(桃園市沿海地帶及新北市、新竹縣地區)俗稱桃園台地，地勢自東南向西北傾斜，東南部地勢較高，以 1/100 坡度向西北沿海延伸，區內河流短促，雨水貯留時間甚短，可能引用之水源有限，僅靠於台地傾斜起伏處鑿地築池，利用雨水貯存以供灌溉，台地上大小不一之埤池處處可見形成本地區之特色。
2. 氣候特性：屬於亞熱帶之濕熱氣候，全年均適宜作物生長，平均溫度為攝氏 21 °C，夏季長且溫度高，夏季平均氣溫達攝氏 27.6 °C，冬季短而溫度略低，平均僅攝氏 15°C；平均年雨量達 2,000 mm，季節雨量分配，夏季雖較冬季為多，但冬季並不過分乾旱，本區水稻生長期即每年 2~10 月，9 個月期間可能利用之有效雨量率約達 20 % 以上。
3. 灌溉系統：桃園大圳之水路系統可分為導水路、幹線、支線及分線，其長度分別為導水路約 18 km、桃園大圳幹線約 25.38 km、支線及分線總長度約 258.87 km (桃園農田水利研究發展基金會，1999)；隨時代變遷，桃園大圳灌溉系統現存埤塘總數共計 241 口，埤塘蓄水面積約 1,902 ha，總蓄水容量約 4,412 萬 4,100 噸，總供灌面積約 21,490 ha。除桃園大圳水路系統外，目前桃園大圳灌溉系統含 411 座河水堰，自灌區河川中取水補助灌溉。桃園大圳灌溉系統支線與河川(或區域排水)多呈兩兩相鄰之分布，灌溉水源經由上田往下田灌溉至下游排水路湧出或排出，因此水路分布及地形具有高度利用之條件，各支線水路多位於兩河川或區排之間(例如第 2 支線介於南崁溪與埔心溪之間、第 3 支線介於埔心溪與黃墘溪排水之間、第 4 支線介於埔心溪與新街溪之間、第 6 支線則介於老街溪與洽溪之間)，田間灌溉用水亦有部分溢流或滲透進入河川，可同時攔取以迴歸重複利用。河水堰之攔取水量約占桃園大圳灌區需水量之 25 %。
4. 灌溉管理：桃園農田水利會轄區由桃園、大竹、大園、大崙、草漯、新坡、觀音、新屋、湖口、大溪、新莊、海山等 12 個工作站管轄，工作站相對分布位置如圖 2-7。桃園農田水利會 2018 年灌溉計畫之總灌溉面積為 22,677 ha，依灌溉區域可劃分為(1).桃園大圳灌區、(2).大漢溪

流域灌區、(3).其他零星各圳灌區，三大灌區分布比例以桃園大圳灌區為主(灌溉面積為 21,490 ha)，佔全會總灌溉面積約 94.77 %，大漢溪流域及零星各圳之灌溉面積分別為 900 ha(大漢溪流域)、287 ha(零星各圳)；灌區內土壤質地以黏質壤土比例最高(41.69%)；砂質壤土次之(20.70 %)；砂質黏壤土(19.33 %)；輕黏土比例最低(18.27%)。桃園大圳灌溉系統各支線之輸水損失率約 13~24%；作物栽培以兩期作水稻為主，占全區耕地面積 95 %以上，其他 5 %耕地以種植甘藷、蔬菜、瓜果等旱作物為主。

5. 用水實態：桃園農田水利會灌溉用水取自石門水庫，水庫水體由桃園大圳供給各支、分渠水路送至埤塘蓄存調節，灌溉用水較河川取水之圳路穩定，茲分析桃園大圳 2010~2014 年灌溉用水資料，結果顯示實際取水量與計畫用水量之變化趨勢相仿，全年用水量變化幅度不大，僅每年 12 月、1 月用水量較低，無明顯一、二期稻作整田插秧期間之雙尖峰用水之現象，計畫用水量介於 10.53~34.71 cms、實際取水量介於 1.40~19.39 cms。

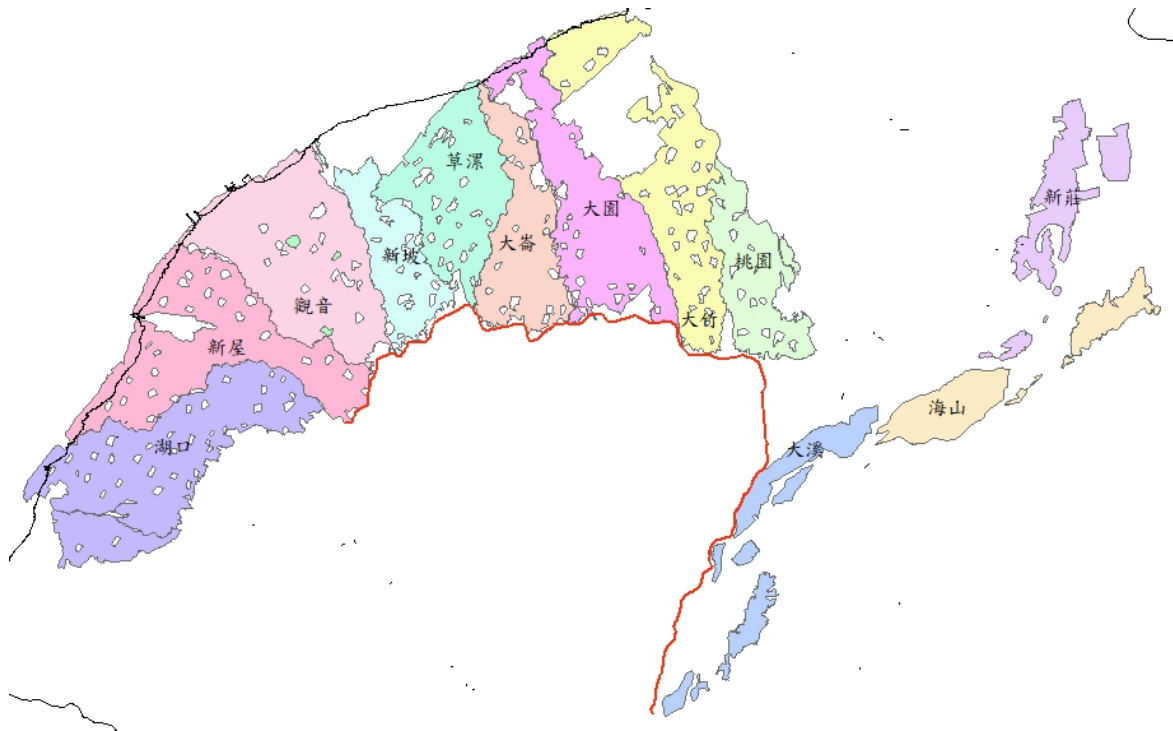


圖 2-7 桃園農田水利會灌區

(二).石門農田水利會

1. 地形特性：石門農田水利會事業區域位於臺灣西北部，橫跨新北市、桃園市及新竹縣等三個縣市，涵蓋桃園、鶯歌、八德、大溪、觀音、中壢、新屋、楊梅、湖口、新豐及竹北市等 11 處鄉鎮市區，原規劃灌溉面積約 21,926 ha，因道路興建、都市開發、工業區設立等因素，導致灌區逐年縮小，迄今全會灌溉總面積約 12,085 ha。灌區標高界於海拔 100~240 m、坡度約 1/80~1/120，呈東南往西北傾斜之扇狀沖積丘陵地；轄內主要河川為南崁溪、新街溪、老街溪、大堀溪、社子溪等河流，形成自然之排水系統。
2. 氣候特性：屬於亞熱帶海島氣候，春季有季風帶來梅雨，夏季有颱風挾帶豐沛雨量，是全年雨水最豐富之季節，年平均雨量達 2,000 mm，而冬季盛行東北季風，氣候潮濕寒冷，年平均氣溫為 21.8°C，除冬季東北季風外，一年四季均適作物生長，主要以兩期作水稻為主，約佔耕地面積 78%，次要作物有茶樹、甘薯、紅龍果等。依石門水利會之灌溉計畫書所列資料顯示，本灌區為一年水稻兩期作。
3. 灌溉系統：灌溉系統主要由石門大圳、埤塘及河水堰所組成，主要供水水源為石門水庫，其餘補助水源為埤塘蓄水、攔河堰截水引灌以及地下水源之深井抽灌。灌區因地勢特殊，利用天然坡度建造河水堰，攔截上游之地面逕流水，另田間灌溉用水有部份流入河川，亦可利用攔河堰攔取引灌。灌區內迴歸水利用佔該區需水量約 20%，因此於各河川分築河水堰攔截水量，直接供給灌溉，抑或直接導入支分線之貯水池，以補助石門水庫供水之不足，增加貯水池之調節功能，目前有攔河堰 228 座(含水權 140 座);抽水站 5 站;埤塘 398 口，埤塘總有效蓄水量約 1,053 萬 7,328 噸，埤塘佔地總面積約 1,041 ha。依據石門農田水利會灌溉計畫資料顯示灌溉系統大部份屬於粘壤土約佔 62%，其次為粘土約佔 22.8%，而沿海地區及河川地多為砂壤土，佔 15.3%。
4. 灌溉管理：石門農田水利會轄區內分別由八德、中壢、楊梅、過嶺、富岡、湖口等 6 個工作站管轄，灌溉系統如圖 2-8 所示。灌區內灌溉渠道以石門大圳為主幹，依照灌區地形分區灌溉，設置支渠，區域灌溉面

積大者，再於支渠另設分渠，由分渠配水至輪灌區，輪灌區內設置小給水路，給水入田灌溉稻作。灌區內主要設施計有幹渠隧道 4.489km；幹渠 1 條，即為石門大圳，其長度為 27.014km；支渠 16 條，總長約 77.8km；分渠 34 條，總長約 121km；小給水路總長 970km；幹支渠分水調節閘門 576 座。

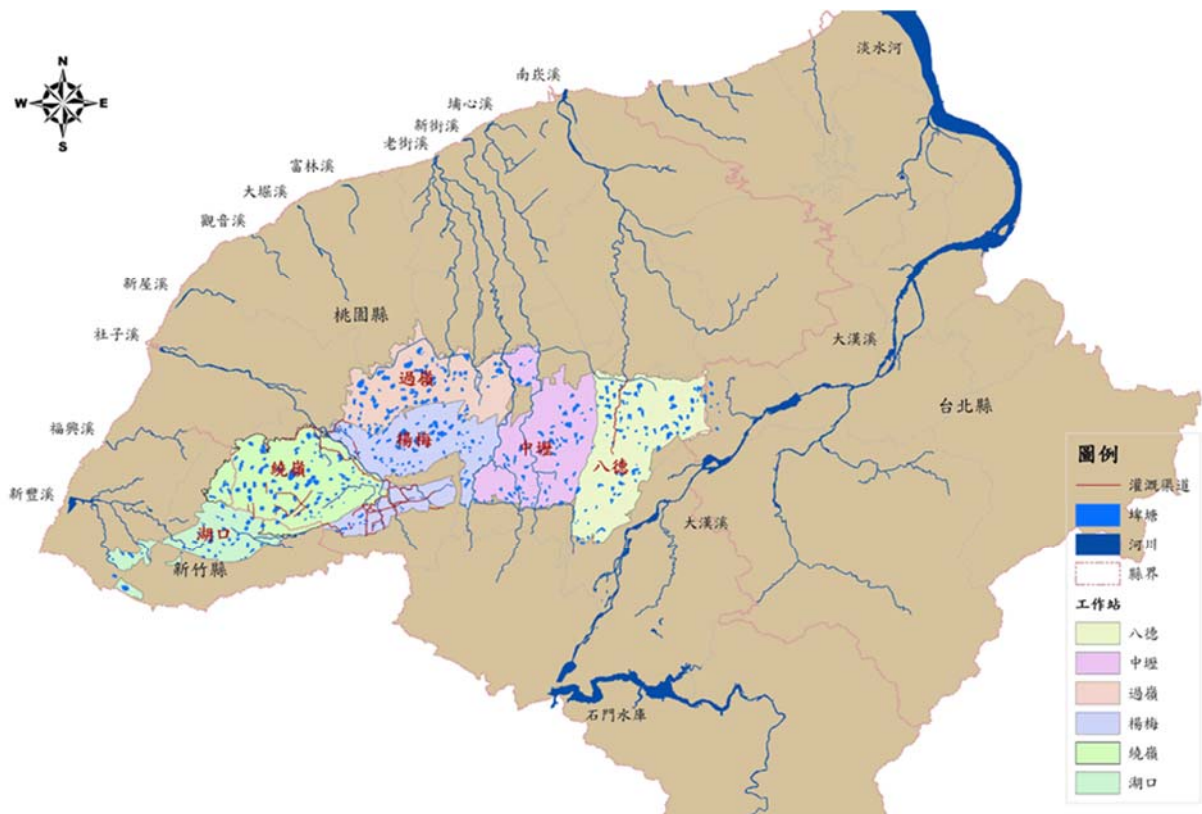


圖 2-8 石門農田水利會灌區

三、桃園市境內受重金屬污染農地位置

有關桃園市受重金屬污染農地部分，依據環保署土壤及地下水污染整治網公告農地受重金屬污染控制場址分布(詳表 2-4)，考量農地土壤污染為長時間累積造成，故需一併查詢已解除列管之控制場址，以釐清受污染場址為零星偶發事件、灌溉水夾帶含重金屬底泥或因灌溉供水污染導致；分析桃園市農地歷年污染控制場址增減概況，本年度目前未新增公告農地控制場址，迄今累積公告數量分別為 2,831 筆(控制場址)、1,472 筆(解除控制場址)，本年度(2019 年)之控制場址較 2018 年減少 84

筆，共 3.2 ha 農地恢復可耕作之狀態，桃園市境內尚有 1,359 筆農地控制場址尚未解除列管，控制面積約 148.3 ha，由圖 2-9 可看出重金屬污染農地位置多集中於蘆竹區及大園區。

前述區域若週遭有鄰近之水資源回收中心，且供應回收水水體水質優於現有灌溉水體水質(通常為地表補助水體)之條件下，則可列為回收水優先供應作為替代水源區域之選擇，以水質條件較佳之回收水取代水質條件較差之地表補助水源。

表 2-4 桃園市歷年受重金屬污染農地之變化趨勢

項目 年份	地號資料筆數統計(筆)						面積統計(ha)					
	新增公告		累計公告		實際 控制 筆數	場址 筆數 增減	新增公告		累計公告		實際 控制 面積	場址 面積 增減
	控制 場址	解除 控制 場址	控制 場址	解除 控制 場址			控制 場址	解除 控制 場址	控制 場址	解除 控制 場址		
2002	78	0	78	0	78	78	11.6	0	11.6	0	11.6	78
2003	4	0	82	0	82	4	0.7	0	12.3	0	12.3	0.7
2004	105	10	187	10	177	95	28.9	1.5	41.2	1.5	39.7	27.4
2005	57	0	244	10	234	57	12.9	0	54.1	1.5	52.6	12.9
2006	7	0	251	10	241	7	0.6	0	54.7	1.5	53.2	0.6
2007	7	0	258	10	248	7	1.8	0	56.5	1.5	55	1.8
2008	7	31	265	41	224	-24	2.1	10.4	58.6	11.9	46.7	-8.3
2009	5	0	270	41	229	5	0.6	0	59.2	11.9	47.3	0.6
2010	3	20	273	61	212	-17	0.7	2.5	59.9	14.4	45.5	-1.8
2011	10	22	283	83	200	-12	2.9	5.5	62.8	19.9	42.9	-2.6
2012	97	0	380	83	297	97	17.8	0	80.6	19.9	60.7	17.8
2013	1486	54	1866	137	1729	1432	166.5	9.6	247.1	29.5	217.6	156.9
2014	0	153	1866	290	1576	-153	0	31	247.1	60.5	186.6	-31
2015	17	350	1883	640	1243	-333	1.6	45.6	248.7	106.1	142.6	-44
2016	311	226	2194	866	1328	85	19.4	29.9	268.1	136	132.1	-10.5
2017	487	137	2681	1003	1678	350	60.9	15.5	329	151.5	177.5	45.4
2018	150	385	2831	1388	1443	-235	12	38	341	189.5	151.5	-26
2019	0	84	2831	1472	1359	-84	0	3.2	341	192.7	148.3	-3.2

資料來源：環保署土壤及地下水污染整治網，農工中心整理(統計時間為 2002/1~2019/3)。

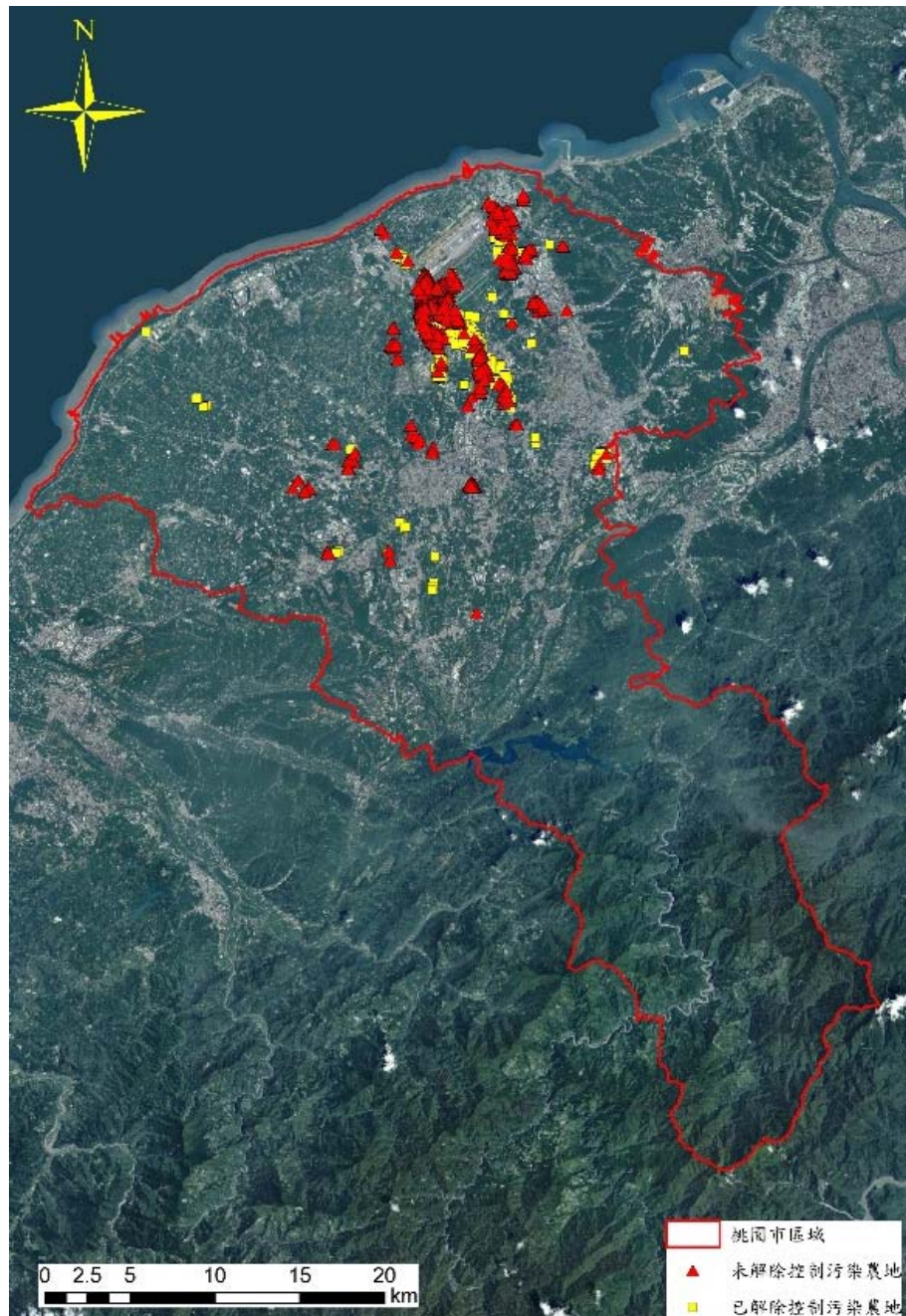


圖 2-9 桃園市自排水取水灌溉遭受重金屬污染農地之分布一覽

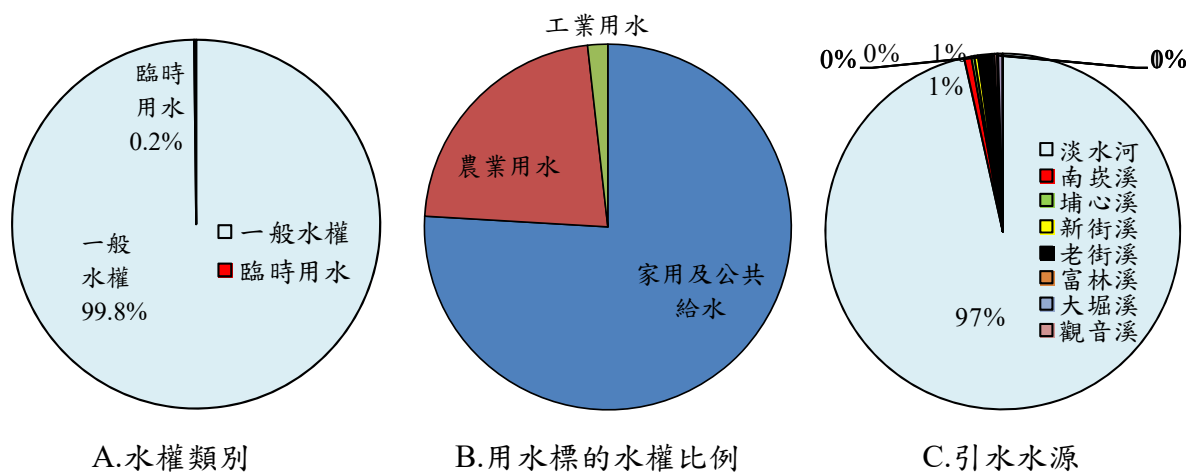
2-2 桃園市多元水源盤查

桃園市境內之水源種類十分多元，如地面水體(河川、區排、灌渠、農塘...等)、水資源回收中心之回收水、地下水等水源，本節茲盤查桃園桃園地區之各類水源，茲分述如下：

一、地面水

桃園市境內之多元水源以地面水為主，依 2017 年經濟部核發水權量計算，用水標的運用包含水力用水(4,771,387 千噸)及非消耗性用水：家用及公共給水為主(75.9%、2,848,143 千噸)、農業用水次之(22.3%、836,227 千噸)、工業用水再次之(1.8%、66,410 千噸)。水權登記引用總量詳表 2-5；另依據經濟部水利署水資料分享站(<http://wise.wra.gov.tw/>)公開資料進一步分析淡水河流域大漢溪支流核發水權量如表 2-6，淡水河流域大漢溪支流水權登記引用總量均以桃園市為主，以家用及公共給水為例，桃園市水權登記引用總量為 286,292 千噸，其他縣市(新北市、新竹縣及宜蘭縣)水權登記引用總量合計為 169,588 千噸，桃園市各項標的用水之水權登記引用量均佔 6 成以上。

茲將前述各地面水引水量比例詳圖 2-10C，顯示水權類別以一般水權為主(99.8%)，主要引水水源為大漢溪(65%)；其中桃園市主要引水來源為淡水河上游，位於大漢溪上之石門水庫，每年自大漢溪引取水量如表 2-7 所示。



資料來源：經濟部水利署水權資訊網

圖 2-10 桃園市境內 2017 年地面水水權取水量比例一覽

表 2-5 桃園市境內 2017 年地面水水權登記引用水量

用水標的	水系	水權類別		總計	用水標的	水系	水權類別		總計
		一般水權	臨時用水				一般水權	臨時用水	
家用及公共給水	淡水河	2,837,986	10,131	2,848,117	工業用水	淡水河	62,683	715	63,398
	南崁溪	0	0	0		南崁溪	0	321	321
	埔心溪	0		0		埔心溪	0		0
	新街溪	0	26	26		新街溪	725	63	788
	老街溪	0	0	0		老街溪	560	0	560
	富林溪	0	0	0		富林溪	760	0	760
	大堀溪	0		0		大堀溪	478		478
	觀音溪	0		0		觀音溪	0		0
	新屋溪	0		0		新屋溪	0		0
	社子溪	0	0	0		社子溪	0	104	104
	羊寮溪	0		0		羊寮溪	0		0
小計	2,837,986	10,157	2,848,143	小計	65,207	1,203	66,410		
農業用水	淡水河	540,670	413	541,083	水力用水	淡水河	4,771,387	0	4,771,387
	南崁溪	55,211	0	55,211		南崁溪	0	0	0
	埔心溪	22,580		22,580		埔心溪	0		0
	新街溪	27,500	0	27,500		新街溪	0	0	0
	老街溪	106,075	0	106,075		老街溪	0	0	0
	富林溪	4,059	0	4,059		富林溪	0	0	0
	大堀溪	15,793		15,793		大堀溪	0		0
	觀音溪	20,558		20,558		觀音溪	0		0
	新屋溪	6,796		6,796		新屋溪	0		0
	社子溪	35,299	58	35,357		社子溪	0	0	0
	羊寮溪	1,215		1,215		羊寮溪	0		0
小計	835,756	471	836,227	小計	4,771,387	0	4,771,387		
其他用途	淡水河	7,017	2,950	9,968	備註： 1.本表單位為千噸。 2.經濟部原始水權統計資以流域分類，大漢溪支流水權量詳表 2-6。 3.資料來源：經濟部水利署水權資訊網 (https://wr.wra.gov.tw/WRTInfoFrontEnd/#/)				
	南崁溪	462	145	607					
	埔心溪	0		0					
	新街溪	0	0	0					
	老街溪	0	0	0					
	富林溪	0	10	10					
	大堀溪	34		34					
	觀音溪	0		0					
	新屋溪	0		0					
	社子溪	0	173	173					
羊寮溪	0		0						
小計	7,513	3,279	10,792						
總計	8,517,849	15,110	8,532,959						

表 2-6 水利署大漢溪地面水水權登記引用水量

用水標的	區域別	水權類別		總計
		一般水權	臨時用水	
家用及公共給水	桃園市	285,416	877	286,292
	其他縣市	169,288	301	169,588
	小計	454,703	1,177	455,881
工業用水	桃園市	7,784	21	7,805
	其他縣市	3,188	698	3,885
	小計	10,971	719	11,690
農業用水	桃園市	27,427	1,095	28,522
	其他縣市	0	665	665
	小計	27,427	1,760	29,187
水力用水	桃園市	588,199	0	588,199
	其他縣市	0	0	0
	小計	588,199	0	588,199
其他用途	桃園市	4,738	311	5,049
	其他縣市	69	36	105
	小計	4,807	347	5,154

註 1：本表單位為千噸。

註 2：大漢溪供應區域除桃園市外，尚有新北市(三峽區、土城區、板橋區)、新竹縣(尖石鄉)及宜蘭縣(大同鄉)。

資料來源：經濟部水利署水資料分享站(網址：<http://wise.wra.gov.tw/>)，本計畫整理。

表 2-7 大漢溪水庫堰壩取水量統計

行政區	取水點	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	平均值
桃園市	石門水庫桃園大圳 (桃園水利會)	30,645	33,352	23,230	31,393	26,978	29,120
	石門水庫桃園大圳 (自來水公司等)	1,989	4,447	8,608	2,264	2,408	3,943
	石門水庫石門大圳 (石門水利會)	11,420	13,353	10,121	13,384	11,156	11,887
	石門水庫石門大圳 (自來水公司等)	17,667	16,774	17,662	16,996	17,798	17,379
	第二原水抽水站	7,323	8,385	5,934	6,761	6,568	6,994
	中庄堰(大漢溪)	-	-	-	-	1,886	1,886
新北市	鳶山堰(大漢溪)	23,299	20,411	19,219	24,671	19,290	21,378
	三峽河抽水站(三峽河)	9,947	9,979	7,011	11,406	9,063	9,481

註 1：中庄堰取水量自 2017 年開始。

註 2：單位為萬噸/年

資料來源：經濟部北區水資源局網站(<https://www.wranb.gov.tw/>)

桃園市地面水依管理單位統計，中央管河川為淡水河水系支流之大漢溪及三峽河 2 處，市管河川為南崁溪、老街溪、社子溪、富林溪、大堀溪、觀音溪及新屋溪等 7 條，市管區域排水 37 條；依經濟部水利署公告流域劃分，面積由大至小則分別為淡水河流域(部分)、南崁溪流域、新街溪流域(含埔心溪)、老街溪流域、社子溪流域、大堀溪流域、羊寮溪流域(部分)、新屋溪流域、觀音溪流域、富林溪流域、大坡溪流域、新豐溪流域(部分)、飯壠溪流域等 13 處流域範圍；前述流域屬中央管河川僅淡水河流域 1 處，新竹縣管河川 1 處(新豐溪流域)，桃園市管河川流域 7 處(南崁溪流域、老街溪流域、富林溪流域、大堀溪流域、觀音溪流域、新屋溪流域、社子溪流域)、桃園市管區域排水僅新街溪流域(含埔心溪) 1 處，其他未公告之區域排水共 3 處(羊寮溪流域、大坡溪流域、飯壠溪流域)，資料詳表 2-8、圖 2-11。



圖 2-11 桃園市地面水分佈(排水系統)

表 2-8 桃園市主要地面水系基本資料一覽表

流域	河川	管理單位	主流長度(km)	流域面積(km ²)	出海口或匯流處	年逕流量(百萬噸)	備註
淡水河	大漢溪	A	135.0	1,163.0	淡水	205.3	支流之市管區排 6 條
	三峽河	A	22.6	125.3	大漢溪	26.0	
南崁溪	南崁溪	B	21.0	227.89	大園	39.1	支流之市管區排 10 條
	茄苳溪	B	15.1	73.27	南崁溪	--	支流之市管區排 3 條
	坑子溪	B	10.7	18.32	南崁溪	--	支流之市管區排 2 條
新街溪	埔心溪	C	12.3	54.6	大園	10.7	水利署：新街溪流域包含埔心溪流域
	新街溪	C	28.7	55.1	大園	12.1	
老街溪	老街溪	B	22.0	67.4	大園	14.2	支流之市管區排 3 條
富林溪	富林溪	B	--	--	--	--	尚未正式公告市管河川，水利署資料為白沙屯沿海流域
大堀溪	大堀溪	B	14.5	48.4	觀音	9.3	水利署資料為富源溪流域
觀音溪	觀音溪	B	7.8	13.2	觀音	2.2	
飯壠溪	飯壠溪	D	--	--	--	--	未公告主管單位排水
新屋溪	新屋溪	B	13.1	19.8	觀音	3.5	
社子溪	社子溪	B	17.5	77.2	觀音	16.0	支流之市管區排 6 條
大坡溪	大坡溪	D	--	--	--	--	未公告主管單位排水
羊寮溪	羊寮溪	D	--	--	--	--	未公告主管單位排水
新豐溪	德盛溪	B	9.4	37.2	炭頭溪	6.3	水利署資料為波羅溪流域

註 1：管理單位 A 為中央管河川、B 為市(縣)管河川、C 為市管區域排水、D 為其他。

註 2：新豐溪為新竹縣管河川。除新街溪、埔心溪外，其他直接排入臺灣海峽之市管區排共 5 條。

資料來源：農工中心整理。

若依用水單位分析(詳表 2-9)，引用地面水體之主要管理單位分別為臺灣自來水公司第二區管理處(供應家用及公共給水、工業用水)、桃園農田水利會、石門農田水利會(農業用水、圖 2-12)等 3 個單位；其中自來水公司第二區管理處依其給水系統又可細分為石門區系統、復興系統，系統供水能力分別為 16.90 cms(石門區系統)、0.015 cms(復興系統)；農田水利會部分，依供水系統可分為桃園大圳(桃園農田水利會管轄)、石門大圳(石門農田水利會管轄)、農塘及河水堰；桃園農田水利會桃園大圳最大引水量約 16.7 cms，河水堰數量共 411 座、埤塘 241 口，埤塘總有效蓄水量約 4,412 萬 4,100 噸，埤塘佔地總面積約 1,902 ha；石門農田水利會石門大圳最大引水量約 18.4 cms，河水堰數量共 228 座、

抽水站 5 站、埤塘 398 口，埤塘總有效蓄水量約 1,053 萬 7,328 噸，埤塘佔地總面積約 1,041 ha。

其中農業灌溉系統的河水堰補助用水部分需特別注意水質問題，因桃園市近年發展迅速，地面水體普遍遭受都市及工業排水污染導致水質不佳，易引發後續農地污染問題，為現階段農業水資源所面臨之困境。

表 2-9 桃園市給水系統供水能力基本資料一覽

管理單位	給水系統	供水能力 (cms)	備註
臺灣自來水公司第二管理處	石門區系統	16.900	設計供水人口：207 萬 8,500 人
	復興系統	0.015	設計供水人口：2,200 人
桃園農田水利會	桃園大圳	16.700	設有埤塘 241 口，總有效蓄水量約 4,412 萬 4,100 噸
	河水補助堰	--	共 411 座
石門農田水利會	石門大圳	18.400	設有埤塘 398 口，總有效蓄水量約 1,053 萬 7,328 噸
	河水補助堰	--	共 228 座

資料來源：農工中心整理。

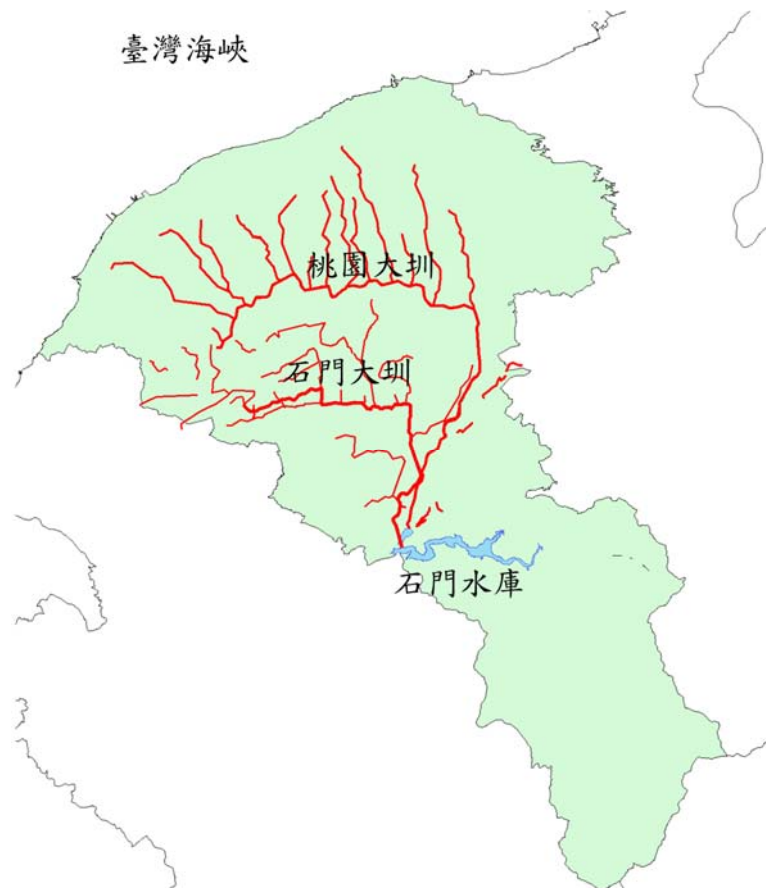


圖 2-12 桃園市地面水分布(灌溉系統)

二、回收水

鑒於近年水污染事件間接造成後續農地污染、食品安全等公共衛生問題，故水資源之多元應用，宜採用經處理過後之回收水進行水資源再利用，本計畫彙整桃園市境內廢(污)水處理廠及水資源回收中心之基本資料如表 2-10、2-11 所示；其中處理等級僅二級處理者共 5 處、達三級處理者共 17 處，共計 22 處，設計處理水量總量達 414,585 噸(約 4.80 cms、不含中壢、頂埔 2 處尚未建廠之水資源回收中心設計量)，分布位置詳圖 2-13。



圖 2-13 桃園市水資源回收中心分布位置

表 2-10 桃園市主要水資源回收中心基本資料一覽表(I)

廠別	主管機關	營運年份	廢污水類別	處理方法	處理等級	處理水量 CMD)	備註
龜山水資源回收中心	桃園市政府	1994	生活污水 工業廢水	氧化渠法	二級	第 1 期 17,500	全期 (2/2) 總處理量 35,000 CMD；原名「林口南區污水處理廠」。
桃園北區水資源回收中心	桃園市政府	2016	都市排水	去氮除磷 +MBR	三級	第 1 期 50,000	全期 (4/4) 總處理量 200,000 CMD，第 1 期 6,000 CMD 採 MBR 處理供回收使用
大溪水資源回收中心	桃園市政府	2015	生活污水	多段式 A2O 串連	三級	第 1 期 3,750	全期 (2/2) 總處理量 7,500 CMD，現行操作水量約 2,757 CMD，設有取水站供民眾取水
石門水資源回收中心	桃園市政府	2012	都市排水	多段式 A2O 串連	三級	10,400	設有回收水加壓設備，平日供景觀澆灌及程序用水，另有緊急應變取水口，現行操作水量約 1,917 CMD
復興水資源回收中心	桃園市政府	2009	生活污水	A2O 系統	三級	475	位於大漢溪水源水質保護區，為石門水庫上游水源，現行操作水量約 141 CMD
三民水資源回收中心	桃園市政府	2009	生活污水	CDSBR 系統	三級	160	位於大漢溪水源水質保護區，為石門水庫上游水源，現行操作水量約 76 CMD
中壢水資源回收中心	桃園市政府	--	都市排水	A/O 串連 +MBR	三級	第 1 期 39,200	尚未建廠，預計 5,000 CMD 採 MBR 處理供回收使用
埔頂水資源回收中心	桃園市政府	--	都市排水	A/O 系統	三級	第 1 期 7,500	尚未建廠，全期 (3/3) 總處理量 15,000 CMD
楊梅水資源回收中心	桃園市政府	2018	生活污水 工業廢水	多段式 A/O 串連	三級	第 1 期 12,000	全期 (3/3) 總處理量 36,000 CMD
中壢工業區污水處理廠	經濟部工業局	1979	工業廢水	活性污泥 化學混凝	三級	33,500	
桃園幼獅工業區污水處理廠	經濟部工業局	1985	工業廢水	RBC	二級	5,000	

註 1：處理工法英文名稱縮寫如下，薄膜生物處理系統(MBR)、厭氧-兼氧-好氧生物污泥法(A2O)、厭氧-好氧生物污泥法(A/O)、生物迴轉盤(RBC)、活性碳污泥法加濕式氧化再生系統(PACT-WAR)、連續排放批次式活性污泥法(CDSBR)。

註 2：華亞園區管理顧問股份有限公司、華亞科技園區北區污水廠等 2 處工業區污水處理廠查無資料，龍潭渴望智慧園區工業區污水處理廠尚未建廠。

表 2-11 桃園市主要水資源回收中心基本資料一覽表(II)

廠別	主管機關	營運年份	廢污水類別	處理方法	處理等級	處理水量 (CMD)	備註
大園工業區污水處理廠	經濟部工業局	1985	工業廢水	RBC、化學混凝、砂濾	三級	28,000	
龜山工業區污水處理廠	經濟部工業局	1990	工業廢水	PACT-WAR	三級	16,000	
平鎮工業區污水處理廠	經濟部工業局	1979	工業廢水	MBR 化學混凝	三級	26,750	
觀音工業區污水處理廠	經濟部工業局	1983	工業廢水	MBR 化學混凝	三級	57,500	
桃園科技工業園區污水處理廠	桃園市政府	無資料	工業廢水	生物處理 砂濾	二級	20,000	短程目標逕為排放，中長程目標經處理等級提昇後放流水導入桃科工業用水原水池
龜山工業區污水處理廠	經濟部工業局	1990	工業廢水	PACT-WAR	三級	16,000	
平鎮工業區污水處理廠	經濟部工業局	1979	工業廢水	MBR 化學混凝	三級	26,750	
觀音工業區污水處理廠	經濟部工業局	1983	工業廢水	MBR 化學混凝	三級	57,500	
桃園科技工業園區污水處理廠	桃園市政府	無資料	工業廢水	生物處理 砂濾	二級	20,000	短程目標逕為排放，中長程目標經處理等級提昇後放流水導入桃科工業用水原水池
大潭濱海特定工業區廢水處理廠	桃園市政府	無資料	工業廢水	生物處理	二級	1,500	
新竹科學工業園區龍潭園區	科技部	1999	工業廢水	既設： 活性污泥 化學混凝 新設一期： A2O 化學混凝	三級	11,800	既設 4,800 CMD、新設一期 7,000 CMD

註 1：處理工法英文名稱縮寫如下，薄膜生物處理系統(MBR)、厭氧-兼氧-好氧生物污泥法(A2O)、厭氧-好氧生物污泥法(A/O)、生物迴轉盤(RBC)、活性碳污泥法加濕式氧化再生系統(PACT-WAR)、連續排放批次式活性污泥法(CDSBR)。

註 2：華亞園區管理顧問股份有限公司、華亞科技園區北區污水廠等 2 處工業區污水處理廠查無資料，龍潭渴望智慧園區工業區污水處理廠尚未建廠。

表 2-12 為桃園市 8 處水資源回收中心之設計處理水量及實際處理水量，作為未來 10 年內可提供回收水量之推估依據，此回收水量推估僅就水資源回收中心預估處理水量作為初步評估，未考量水資源回收中心可供再生水廠建設用地等其他因素。桃園市政府(2018)以水資源回收中心放流量 70%之回收率(UF 回收率 95%+RO 回收率 75%)作為處理後供應回收水估算基準，推估桃園市未來 10 年如在用戶接管如期進行下，預估可供應 24.4 萬 CMD 之放流水；如採用回收處理後再生水，預期供應總量可達 13.6 萬 CMD，各水資源回收中心可供應水量詳表 2-13，水資源回收中心可供應回收水量由大至小分別為桃園北區、中壢、龜山、楊梅、埔頂、大溪、石門、復興、三民，可利用之回收水量介於 43~84,000 CMD。

表 2-12 桃園市各水資源回收中心處理污水量

項目	水資源回收中心							
	龜山	桃園北區	大溪	石門	復興	中壢	埔頂	楊梅
目標年	120	133	115	110	112	133	130	120
污水量 (CMD)	35,000	200,000	7,107	10,756	396	156,524	15,000	36,000
106 年設計處理水量(CMD) ^註	35,000	50,000	3,750	10,400	475	—	—	—
106 年 6 月實際處理水量(CMD) ^註	26,132.9	5,505.6	2,725.8	2,187.9	116.3	—	—	—
BOD(mg/L)	-	167	174	180	180	176	180	200
BOD(kg/day)	4,725	33,400	1,237	1,936	-	27,548	2,700	7,200
SS(mg/L)	-	170	174	180	180	176	180	200
SS(kg/day)	4,725	34,000	1,237	1,936	-	27,548	2,700	7,200

註：數據來源為內政部營建署全國公共污水處理廠資料管理系統，查詢日期 2017 年 7 月。

資料來源：桃園市政府水務局，2018。

表 2-13 桃園市未來 10 年內可供應回收水量

水資源回收中心	目標年	桃園市未來 10 年內可供應回收水量(2026 年)	
		經初級處理提供放流水水源 (CMD)	經處理後(UF+RO)再生水回收量 (CMD)
龜山	污水量	23,655	23,655
	回收污水量	-	18,924
	回收率(%)	-	70%
	回收水量	23,655	13,247
桃園北區	污水量	150,000	150,000
	回收污水量	-	120,000
	回收率(%)	-	70%
	回收水量	150,000	84,000
大溪	污水量	7,107	7,107
	回收污水量	-	5,686
	回收率(%)	-	70%
	回收水量	7,107	3,980
石門 ¹	污水量	4,000	4,000
	回收污水量	-	3,200
	回收率(%)	-	70%
	回收水量	4,000	2,240
復興 ²	污水量	396	396
	回收污水量	-	317
	回收率(%)	-	70%
	回收水量	396	222
三民 ³	污水量	76	76
	回收污水量	-	61
	回收率(%)	-	70%
	回收水量	76	43
中壢 ⁴	污水量	39,200	39,200
	回收污水量	-	31,360
	回收率(%)	-	70%
	回收水量	39,200	21,952
埔頂 ⁴	污水量	7,500	7,500
	回收污水量	-	6,000
	回收率(%)	-	70%
	回收水量	7,500	4,200
楊梅 ⁵	污水量	12,000	12,000
	回收污水量	-	9,600
	回收率(%)	-	70%
	回收水量	12,000	6,720

註 1：石門水資源回收中心以目標年 2025 年污水量作為計算基準。

註 2：復興都市計畫區水資源回收中心以目標年 2023 年污水量作為計算基準。

註 3：三民水資源回收中心已全期建置完成，以目前操作污水量作為計算基準。

註 4：中壢、埔頂水資源回收中心以目前計畫期程 2019 年起推算 2026 年污水量作為計算基準。

註 5：楊梅水資源回收中心以目前計畫期程 2018 年起推算 2026 年污水量作為計算基準。

註 6：以回收 80%水資中心放流水，並以 70%回收率計回收水量，未考量水資中心用地限制；應視再生水廠擇定之處理程序及水資源回收中心實際處理水量作為調整。

資料來源：桃園市政府水務局，2018。

三、地下水

除地表水、回收水外，地下水亦為可利用水資源之一，桃園市政府(2016)盤查桃園市有效地下水權約 2,800 件，依 2017 年經濟部核發水權量計算，用水標的運用之多寡依序為工業用水(82%、185,637 千噸)、其他用途次之(14%、32,914 千噸)，農業用水(3 %、6,489 千噸)及家用及公共給水最少(1 %、2,299 千噸)，水權登記引用總量詳表 2-14。

合法水井總量部分，桃園市政府(2016)盤查桃園市境內之工業水井口數為 1,592 口，其中部分水井之水權狀已逾期未辦理展延、已無取水辦理消滅或土地變更所有權人等因素而失效，實際有效水權井約 909 口；桃園市政府(2016)調查 909 口工業水井，有意願協助桃園市政府於旱災時期提供民眾取水者共 214 處。

茲將前述 214 處具協助抗旱意願之工業水井、14 處緊急應變用之戰備公井、29 處水利署設置之地下水位觀測井，計 257 處水井點繪如圖 2-14 所示。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2007)調查桃園地區之地下水作為防災緊急備援井網使用，其中「桃園中壢臺地」地下水區地表下 100 公尺以上地層主要含水層可分為兩層，第一含水層為礫石層，為自由含水層；第二含水層為砂層，為侷限含水層；區域可抽水之安全出水量依據一、二含水層觀測井之實際日水位與各管理水位(含安全、下限、嚴重下限水位)差值進行合理出水量之推估。以平均水位為安全水位，評估第一、二含水層合計可抽水量 1.65 億噸/年，若以下限水位評估則為 5.13 億噸/年。經濟部水利署(2015)進一步研究桃園中壢臺地常年地下水之潛能變化，以穩定基流分析法估算，補注量約 3.23 億噸/年；以地下水位歷線法估算，抽水量約 2.61 億噸/年，補注量與抽水量差距約為 0.62 億噸/年。

若改由地下水位洩降觀點，依據黃柏傑(1999)研究桃園地區地下水資源之評估與應用，桃園地區增加約 2,500 萬噸抽水量時，地下水位洩降平均為 5 公尺；增加約 5,000 萬噸抽水量時，地下水位洩降平均為 9 公尺，地下水位變化量過大，將對地下水層造成嚴重影響。故以抽水量

增加約 2,500 萬噸為限值、持續時間 6 個月計算，則每日增加抽水量應限制在 13.9 萬立方公尺/日以內。

表 2-14 桃園市境內 2017 年地下水水權登記引用水量

用水標的類別	家用及公共給水	農業用水	水力用水	工業用水	其他用途	總計
一般水權	2,299	6,431	-	185,629	32,799	227,158
臨時用水	-	58	-	8	115	180
總計	2,299	6,489	-	185,637	32,914	227,339

註：本表單位為千噸。

資料來源：經濟部水利署水權資訊網 (<https://wr.wra.gov.tw/WRTInfoFrontEnd/#/>)



圖 2-14 桃園市地下水井分布位置

2-3 國內外相關案例蒐集探討

國內水資源應用以農業灌溉為首要，約占總用水量 63 %；因此水資源多元應用及智慧化發展均以農業灌溉為重點；其中智慧農業係以現行產業生產模式為基礎，因應消費市場需求進行產銷規劃，生產管理上輔以省工省力機械設備、輔具及感測元件的研發應用，並結合跨領域之資通訊技術(ICT)、物聯網(IoT)、大數據(Big Data)分析、區塊鏈(Block Chain)等前瞻技術導入(圖 2-15)，減輕農場作業負擔降低勞動力需求，提供農民更有效率的農場經營管理模式，生產符合消費者需求，安全、安心及可追溯的農產品。本節的重點在於分析國內外的相關案例，作為未來推動的參考以及值得借鏡改善加強之處。國內外案例部分，選擇以智慧節水、智慧用水系統及智慧灌溉為主，較具有代表性的個案來說明，後續將再進一步加以探討。



資料來源：行政院農業委員會農業試驗所(2018)，<http://www.intelligentagri.com.tw/Home/About>

圖 2-15 智慧農業之科技工具概念圖

一、國內相關計畫推動及智慧節水灌溉案例

(一).水利機關推動及案例

國內近年對於水資源的建設及應用以朝向導入自動化、系統化的方向來發展，政府及民間均開始投入相關研究及設備開發。其中以政府推動部份為例，應用於農業灌溉系統部份，包含強化大型自動化灌溉輸水及管理系統，以前瞻計畫方式推動為主，例如經濟部水利署經費於 2018 年補助行政院農業委員會推動精進灌溉節水管理建置計畫，分別於桃園、石門、新竹、嘉南、高雄等 5 個農田水利會，研選示範灌區，運用物聯網技術，分析整合農田水利水情資訊及灌排設施相關硬體設施資訊等，規劃設置精進灌溉管理設施，以掌握灌溉供需水量；上述以設備及資訊管理為主軸之大型智慧灌溉內容包含 1.桃園農田水利會：貯水池、水路水文監測設置與動態分析管理平台、2.石門農田水利會：過嶺支渠自動化設備測報系統暨流量率定、3.新竹農田水利會：竹東圳電動水閘門及水情監測系統建置、4.嘉南農田水利會：嘉南大圳幹支線自動控制水位監測站系統建置(第一期)、5.高雄農田水利會：針對阿公店水庫之復興渠幹線全線水閘門自動化系統建置等。

此外經濟部水利署水利規劃試驗所亦於 2017 年起推動 3 階段以多元水源智慧調控為前提之研究及設備感測元件研發計畫，包含第 1 階段的「水資源資料盤查及數據整合」、第 2 階段的「水資源物聯網感測技術創新研發」、第 3 階段的「巨量資料分析及動態調控模式」等均為政府注重及推動智慧管理概念應用於多元水資源的管理利用；以農業灌溉用水實作案例則以經濟部水利署南區水資源局(2017)「精進灌溉節水管理技術-以嘉南灌區為例」為範例，包含以水稻及早作田間示範田區設置監測系統，利用物聯網即時傳輸觀測資料至雲端，於智慧管理平台進行大數據資訊整合及決策分析，配合簡訊告警與移動裝置遙控，輔助灌溉管理。精進灌溉計畫即為農業灌溉找出精密配水的方式，運用科技協助節水，遙控開啟水門引水，還有感知器監控田間水位、土壤含水量、即時雨量等，未來掌水工只要帶智慧型手機，就能巡視給水路，減輕負擔，用最少的水量，達到最大的灌溉效能，配合節水農法，預估節水量

可再提升約 10~20%。以烏山頭大壩西方官田區八田路區域推行試驗田案例，2017 年度第一期試驗田面積 56 公頃，試驗田每公頃用水量由 13,000 噸減少至 8,300 噸，節水率 36%。未來若全面推廣，預計烏山頭灌區一期稻作節水量可達 9,500 萬噸。

經濟部水利署、台積電，及嘉南農田水利會 2018 年共同簽訂「智慧水管理-精進灌溉計畫」合作意向書(MOU)，未來透過建置自動田間水文觀測及灌溉系統，農民只要透過手機或平板可以一手掌握農田狀況，實現智慧灌溉節水的目標。現階段每逢南部水情不佳時，嘉南水利會均透過 1,300 位掌水工調配水門約 7,000 座、巡查水路，進行用水調控方式節省農業用水。未來將由水利署媒合設計節水農法，規劃田間配水測試策略；嘉南水利會配合控制試驗水量及農民溝通協調；台積電則協助研發物聯網智慧水閘門的設計及後續技術精進，以跨界合作方式結合科技、灌溉技術與節水農法，達到農業精進灌溉及智慧節水的具體目標。

(二). 農業機關推動及案例

國內農業研究單位長期以來有開發一些新型設施技術，但研發過程中無法確認新型技術是否能實際運用於產業上，因此農業試驗所從 2014 年於該所設立「農業設施試驗研究驗證平臺(驗證基地)」，導入國內各試驗改良場研發的新型設施技術，使用研發的新型設施技術栽培作物，以驗證新技術是否能實際運用於產業上，等到新技術經過修正更成熟後，就能進行示範推廣。農試所驗證基地可進行試驗驗證包括蔬果栽培技術、果樹栽培技術、栽培環境控制技術、防治病蟲害技術以及節能栽培技術等 5 項。

以文心蘭切花設施栽培為例，文心蘭每年產值逾 30 億，過去文心蘭是以黑網式栽培，常遭遇病蟲害問題，容易受到天候影響，造成文心蘭品質不佳。花卉研究中心在農試所驗證基地內利用簡易防雨設施(約 1 分地)栽培，溫室內建有 1 套設施環境微氣候監測系統，整合遠端監控軟硬體設備，以達高效環境控制之目的，以此設施進行花卉栽培約較露天栽培節省 40% 用水、80% 的肥料及 50% 的農藥，A 級品產量增加 25% 以上(品質也較為優良)。

此外茶業改良場從 2017 年開始將智慧農業導入茶產業，在全國 26 處茶園設立氣候觀測站，調查天氣狀況、蒐集土壤資訊與農友的茶樹生長紀錄與生產資訊進行數據分析。並在國內選定 2 處示範場域，分別為臺灣農林老埤農場的 500 公頃大規模茶園及茶改場楊梅總場的 1 公頃茶園。大規模試驗場域可以針對茶種，模擬不同施肥給水的比例，但國內茶園多數是小面積規模，因此實務上必須進一步把小型茶園導入智慧應用。臺灣農林於屏東縣內埔鄉以 700 多公頃的土地建立全臺最大單一地主茶葉生產基地—老埤農場，全場年產能達 3,000 公噸(年進口量 10%)，目前老埤農場已種植 236.6 公頃的茶樹，預計 2020 年總生產面積達到 470 公頃，生產品種包含台茶 8 號(阿薩姆)、台茶 12 號(金萱)、台茶 18 號(紅玉)、台茶 20 號(迎香)、青心大有、四季春等 7 個品種。依臺灣農林茶業處經理指出，茶園面積相當大，如仰賴人工管理茶園事務得耗費上千力，老埤農場投入 20 億的設備經費，導入智慧化與機械化，提高後續經營效益，目前廠區僅需 100 多人即可管理所有茶園事務。老埤農場在建設初期就從以色列引進滴灌系統，希望能達到精準供水，也設置 6 座微型氣象站，監測當地氣候，適度調整種植方式。全場建設 6 座泵站管理所有茶樹的肥料及水量，使用自動灌溉及液肥系統，使用水量較噴灌系統省水 70%，肥料也可透過該系統引入田區(每公頃有 1 萬 4 千個滴孔)，達成算出每株茶樹喝了多少水之目標(洪嘉鎡，2018)。

為因應彰化縣、雲林縣部分地區為地層下陷潛勢區域，行政院農委會於 2016 年於該地區(即彰化縣埤頭鄉、竹塘鄉、溪州鄉，雲林縣二崙鄉、西螺鎮、土庫鎮、虎尾鎮、元長鄉及北港鎮)高鐵行經路段左右各 1.5 km 農業地推動「黃金廊道農業新方案暨行動計畫」(簡稱為黃金廊道)，輔導農民契作種植轉旱作作物及綠肥作物以減少期作缺水期之用水量，轉作旱作作物之農民另可申請「園藝作物節水節肥灌溉系統」補助，期能有效節省灌溉用水量。行政院農委會另於彰化縣黃金廊道及臺中區農業改良場設置節水灌溉與雨水收集系統試驗點，導入遠端監控生產管理模式，試驗結果顯示，溫室花胡瓜滴灌較噴灌、淹灌分別節水 48.2%及 80%、網室花胡瓜滴灌較淹灌節水 85.8%，相關設備生產成本

雖高(約超過 162 萬)，但可節省 90 工(人日)以進行其他管理工作。青蔥試驗方面，滴灌較淹灌節水 71.2%，且導入無線基地台與遠端監控裝置管理作業，以達到遠端走動式管理的智慧型農業發展。紅龍果試驗方面顯示噴灌較淹灌節水 12.9%，淹灌平均果重為 477.1 g、噴灌平均果重為 433.4 g，則未有明顯之差異。調查統計於 2015~2017 年間共輔導 26 位農民、約 9.01 ha 之耕作面積成功轉型，顯示該地區農民對於節水灌溉之觀念已逐漸成形(田雲生，2018)。

(三).民間推動案例

宜蘭科技輕農-陳幸廷先生在 2015 年起於宜蘭開始試種水稻，有鑑於田間水位管理繁瑣、耗人力，因此經歷幾年的發展，以電子尺為基礎，將尺電子化可以將數據讀進電腦裡，現在只要透過手機，就可以看到田區水位的資訊，減少不必要之人力勞動，後續嘗試與水閘門設備進行連動，測試與控制閘門設備，試驗尚在測試中，若測試成功，則可進一步依據農作需要掌握田間合宜進水量及排水量。

新北市坪林地區一直以來為北臺灣產茶重要地區，然近年來氣候變遷、極端氣候常態化，導致農產品欠收或品質不佳，有鑑於此，製茶業者-莊宇雋引進感測器及微型氣象站等監測工具於茶園附近用以監測作物及氣象之相關資料，將感測器埋入與茶葉根系約相同深度後即可感測土壤之溫度、濕度及電導度，微型氣象站監測資料則包含降雨量、紫外線、光照強度、風速...等，此外可透過太陽能板供電並將監測資料無線傳輸至雲端空間，農民利用手機 APP 即可隨時獲得訊息，掌握土壤、氣象狀態以適時作出對策，成為農業智慧化之成功案例之一(戴元利，2019)。

表 2-15 國內相關計畫推動案例摘要

推動單位	計畫名稱	經費來源	計畫內容	計畫成果
水利機關推動案例	精進灌溉節水管理建置計畫	經濟部水利署	<ul style="list-style-type: none"> ◇於桃園,石門,新竹,嘉南,高雄等 5 個水利會研選示範灌區 ◇運用物聯網技術,分析整合農田水利水情資訊及灌排設施相關硬體設施資訊等,規劃設置精進灌溉管理設施,以掌握灌溉供需水量 	<ul style="list-style-type: none"> ◇透過發展物聯網、資通訊技術及雲端平台匯流整合各類水數據,掌握水的來源與去向 ◇應用大數據及雲端運算分析,強化水資源供運用效益、降低災害風險
	多元水源智慧調控	經濟部水利署水規所	<ul style="list-style-type: none"> ◇第 1 階段-水資源資料盤查及數據整合 ◇第 2 階段-水資源物聯網感測技術創新研發 ◇第 3 階段-巨量資料分析及動態調控模式 	<ul style="list-style-type: none"> ◇開發相應具耐候性、低耗能及低傳輸費率的整合感測元件及數據網路傳輸系統 ◇藉由多元水源及跨域水源運用,隨著動態需求變化相應滿足各標的需求,提升用水效率降低缺水風險
	精進灌溉節水管理技術-以嘉南灌區為例	經濟部水利署南水局	<ul style="list-style-type: none"> ◇水稻及早作示範田區設置監測系統,利用物聯網即時傳輸觀測資料至雲端,於智慧管理平台進行大數據資訊整合及決策分析 ◇配合簡訊告警與移動裝置遙控,輔助灌溉管理 	<ul style="list-style-type: none"> ◇研發水位計田坵進水閘(閥)整合設備 ◇精進灌溉調控策略,研提適當之制水閘門、田坵取水閘門調控頻率 ◇精進智慧灌溉決策系統及行動裝置應用軟體
農業機關推動案例	農業設施試驗研究驗證平臺	農業試驗所	<ul style="list-style-type: none"> ◇進行蔬果栽培技術,果樹栽培技術,栽培環境控制技術,防治病蟲害技術,以及節能栽培技術等 5 大項試驗驗證 	<ul style="list-style-type: none"> ◇導入目前國內各試驗改良所研發的新型設施技術 ◇技術成熟後進行示範推廣形成未來農業發展潛力
	物聯網於智慧化管理茶園之應用	茶業改良場	<ul style="list-style-type: none"> ◇設立氣候觀測站,調查天氣狀況、蒐集土壤資訊與農友的茶樹生長紀錄與生產資訊進行數據分析 ◇選定 2 處示範場域導入空拍機監測系統、無人噴藥機應用、乘坐式茶園管理機械、自動灌溉及液肥系統等 	<ul style="list-style-type: none"> ◇建立茶葉產期預估模式及茶葉專家決策系統 ◇透過智慧生產與數位服務使茶園管理精準有效率
	園藝作物節水節肥灌溉系統推廣應用	臺中區農改場	<ul style="list-style-type: none"> ◇設置節水灌溉與雨水收集系統試驗點,導入遠端監控生產管理模式 ◇導入無線基地台與遠端監控裝置管理作業,達到遠端走動式管理智慧型農業發展 	<ul style="list-style-type: none"> ◇依不同作物灌溉試驗結果可有效節水,期望藉由地下水需求降低與推廣地面水取代部份地下水,減緩地層下陷

二、國外智慧節水灌溉案例-日本

日本在智能農業的推動已有多年經驗及成果。全日本至 2014 年已有半數以上農戶，選擇使用資訊與通信科技(ICT)與物聯網(IoT)技術，已大幅提高農產品生產效率與行銷效益，亦改善從農人口老化及勞動力不足問題。考量日本農業生產環境及農田水利設施與台灣高度相似，日本以智慧化設施導入農業生產已有相當多的成功案例，可作為臺灣學習對象，因此扼要節錄彙整日本推動智慧節水灌溉系統之案例及經驗如下。

(一).日本宮崎縣綜合農業試驗場

宮崎縣綜合農業試驗場總面積約 65 ha，包含農業各領域之科研技術及作物育種皆屬該場的重要研發範圍。該試驗場為提升農民收入，只要設籍宮崎縣之農戶或農企業對農業試驗場內之技術需求有技轉意願者，該場皆無償提供。宮崎縣綜合農業試驗場所導入之智慧化系統為富士通株式會社(FUJITSU)所研發之 Akisai(秋彩)系統，在試驗場之運用包含：設施管理、栽培管理及生產管理面向等。設施管理部分需要溫濕度感測器，藉由系統偵測管控所有設備，即可藉由雲端管理系統來傳遞訊息及控制所有的設備，如溫室氣窗開啟、降溫、滴灌、遮陰等操作，並且只要藉由手機、網路就可控制溫室及獲得預警系統之警報通知等。

該場設施內可自動監測記錄的數據，包括收集溫度、濕度、光度、CO₂濃度、土壤溫度及 EC 值等各項環境數據，並設有預警系統，當設施內溫度過高時，會自動發出警報通知。另外試驗場在設施外設置有室外氣象站，為監測風速、風向以及是否降雨等氣候變化，以供控制設施內如氣窗是否需要關閉之參考，就以該智慧化系統之管理營運，確實節省許多人力之投入。此外，農業試驗場目前溫室內的各類設備，由場內所架設於房舍上之太陽能板自行產電供應約 25 %，其餘則需藉由傳統電力供應。此外，該試驗場亦進行溫室結合太陽能電板之應用研究。綜合農業試驗場協助宮崎縣於推動芒果產業化及推廣非常成功，自研發開始已有 25 年，於芒果作物成功產業化後，也積極投入下一個作物的研發及產業化(黃文意等，2016)。

(二).九州橫竹地區洋蔥旱灌及加部島地區的唐津草莓溫室栽培

日本九州農業生產方式與台灣相似，以九州橫竹地區洋蔥旱灌區為例，洋蔥栽培為大面積有效率的耕作，系統化的管路給水及噴灑灌溉系統可即時提供作物用水需求並可降低水源輸送損失、節省農民勞力。加部島地區的唐津草莓溫室栽培則由政府補助農民部分灌溉設施經費並提供相關貸款協助，以唐津的草莓溫室為例，農民持有農地 5.4 ha，搭建溫室及滴灌灌溉設備約需 3,000 萬日圓，其中地方縣政府補助 50%，其餘 50%由縣府轉介銀行提供農民無息貸款，採用溫室栽培之草莓自動滴灌給肥系統，年產值約 4,000 萬日圓，本案例為透過政府以輔助立場協助農民建立農業生產所需設備，可有效提高產值、省水及降低勞力支出之目標(圖 2-16)。



A.橫竹(洋蔥)栽培灌溉噴頭



B.橫竹(洋蔥)栽培灌溉系統



C.唐津(草莓)滴灌給水系統



D.唐津(草莓)滴灌控制系統



E.唐津(草莓)滴灌給水系統



F.唐津(草莓)內部滴灌末端給水

圖 2-16 九州地區-橫竹(洋蔥)及唐津(草莓)溫室栽培案例

(三).四國高知縣四万十町次世代園地(番茄灌溉生產系統)

四万十町次世代施設園藝園地面積 4.3ha，主要以溫室栽培蕃茄，年產番茄 1,650 公噸，年產值 6 億日元，次世代施設園藝園地是日本最新使用電腦 24 小時監控作物生長(水、肥料、空氣、溫度)及園區工人配戴隨身電腦監測工作效率如何作為支薪標準或調整工作項目的依據。次世代園地是於蕃茄植栽床培養基土上插入小管徑輸水管利用電腦水量控制器控制作物需水量及養分滴灌達到有效灌溉旱作根系灌溉及省水功效，日本低用水量之省水灌溉技術並也讓溫室作物產量增加，因應地球常發生極惡環境以達節能減碳目的(設施詳圖 2-17)。

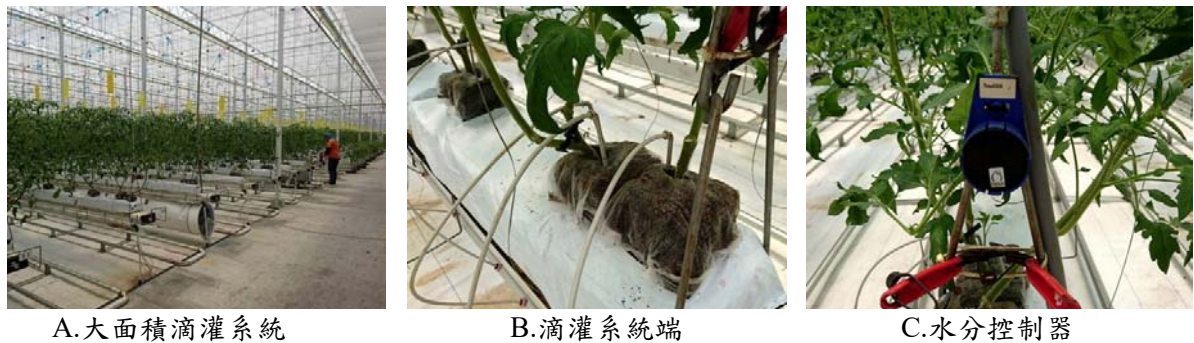


圖 2-17 四万十町番茄株式會社番茄滴灌系統

(四).農業資料合作平台 WAGRI

日本政府於 2014~2015 年與 NEC、富士通(Fujitsu)合作，推動農業資料庫研發，2016 年開始推動 WAGRI 資料平台，2017 年設立農業資料合作平台協議會，並於 2019 年 4 月設立 WAGRI 農業資料庫，資料庫中包含歷史農作收穫、農產市場、土壤、農地水文、氣象及各種作物種植資料與預測系統，利用手機或電腦登入即可獲得田區之相關資料。

為因應人口老化即人口減少問題，日本農機大廠久保田(Kubota)、新創機器人企業 inaho 均有研發無人耕耘機，新創企業如 Routrek Networks 推出省力農業服務 Zero.agr，可定時自動割稻、收穫，灌溉水量也均有顯著之減少，其原因都歸功於 WAGRI 農業資料合作平台。現階段 WAGRI 之土地氣象資料以日本為主，但其農作物資料具有擴充性，故未來同樣能應用於國外農業，有助於智慧農業之發展(范仁志，2019)。

三、國外智慧節水灌溉案例-歐美及其他國家

國外其他相關案例將以色列農業灌溉設備公司 Netafim、西班牙巴塞隆納 Poblenou 公園及美國加州馬德拉郡杏仁樹果園、卡瑪利葡萄園等案例。

(一).以色列農業灌溉設備公司 Netafim

以色列國土總面積約 2.2 萬 km²，其中約有超過 60 % 的土地為沙漠，適宜耕種的土地面積僅 4,100 km²，年均降雨量只有 400 mm，僅為臺灣降雨量的 1/6。每年 3~11 月為雨季，是典型的地中海型氣候，夏季長、熱且乾燥；冬季短、冷且潮濕，這個氣候極度乾燥且缺乏水資源的小國，現在每年不但能自給自足供給該國人民 95 % 以上的蔬菜水果市場需求，還有餘力外銷歐洲，並占據 40 % 以上的瓜果蔬菜市場，因此享有「歐洲果籃」的美譽，並成為僅次於荷蘭的第 2 大歐洲花卉供應國。而令世人感到驚豔的「沙漠奇蹟」，是以色列人不願向艱困環境臣服的毅力再次證明。以色列最知名於全球的農業耕種技術是「滴灌技術」，該技術的發明與發展，是近年來農業生產技術發展上相當重要的里程碑。於 1965 年以此技術創立以色列知名的農業灌溉設備公司 Netafim，並以其研發的滴灌系統、過濾系統、噴灌系統及創新電子農業科技而聞名全球。(郭儀蕙，2018)

滴灌技術運用的原理簡單，就是在植物根部土壤中埋設塑膠管，管線上布滿構造精細的出水孔，每個出水孔都安裝控制閥，以等量及等速的精準控制方式直接對農作物根部周圍灌溉，對於水資源的利用效能超過 90 %，大幅減少 75 % 的用水量。此種灌溉方式水是讓水一點一滴滲入靠近植物根部的土壤中，而非灌溉整片土壤，所以能大幅降低水分被蒸發的機率。滴灌技術也能被運用於肥料及農藥的精準灌溉，不僅可節省許多無謂的成本耗費，大幅提高灌溉品質，農業產出值比傳統耕作方式多出數倍。

滴灌技術開始在以色列被廣泛使用後，許多新創科技公司開始腦力激盪，開發各類與滴灌技術相結合的高科技軟硬體產品。近年在物聯網 (IoT) 及網路傳輸技術高度發展下，滴灌技術逐步結合感應器、衛星影

像、無人機、雲端、大數據及手機應用 App 的智慧電子農耕技術方向發展。電腦操控的自動化滴灌系統能根據土壤的吸水能力、作物種類、作物生長階段及氣候等不同條件收集大數據資料，在分析運算所有數據資料後，灌溉系統會提供定期、定量與定位混合肥料農藥水滴滲到農作物根部，讓水肥能均衡滋養每棵作物，以達到大幅節水目的。此外，該系統還能結合手機 App 來監視與遙控滴灌過程，達到精準農業耕作的目標。

Netafim 公司也開始運用雲端運算、大數據及物聯網等技術，發展灌溉系統 NetBeat，該系統運作是以感應器收集作物及土壤的數據，並搭配天氣預報功能，傳回雲端後依照其作物栽種模式運算，為農民提供最佳灌溉建議方案。該系統能以行動裝置操控，且所有操作介面都簡單易用。

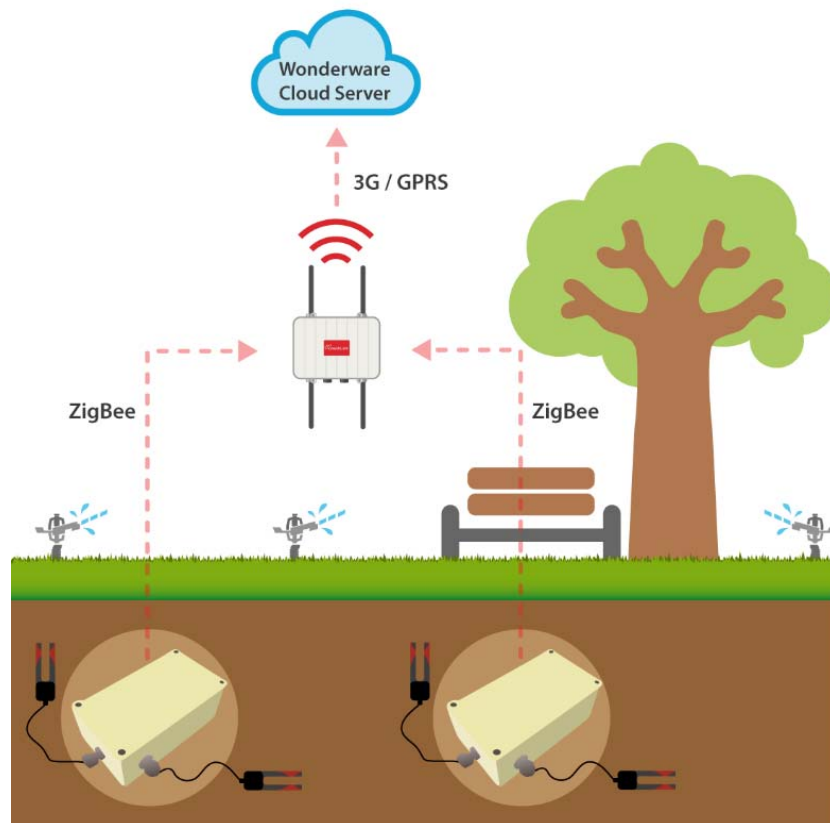
智慧科技大幅提高農作產出且有效達到節能目的，吸引以色列年輕世代願意投身農業當「科技農夫」。全球有 70% 以上淡水資源被使用於農業耕作灌溉，隨著氣候暖化與人口成長壓力，未來水資源將變為珍稀，全球將有 40 億人口將面臨缺水使用的壓力。滴灌技術的發明，不僅為以色列農業耕作帶來巨大改革，也成為現代農業科技進展重要的里程碑，專家指出，未來精準農業將以全自動智能控制提升農場生產效率，達到全面提高生產量及減少能源浪費為最終目標。以色列 Netafim 公司已銷售滴灌系統至全球超過 100 個國家。

(二). 西班牙巴塞隆納 Poblenou 公園

巴塞隆納為智慧城市的良好典範，Poblenou 公園由 Starlab 公司為巴塞隆納部署了一套遙控灌溉系統。Starlab 對該遙控灌溉服務係過使用 Libelium 技術的探針進行土壤濕度監測，該服務基於傳感器技術，並且包括使用遠程控制灌溉系統以便於水資源網路的管理。在計畫開始之初，對 Poblenou 公園的每個區域進行了研究和分析，以了解具體需求。SmartIrrigation 系統通過不同的土壤濕度傳感器進行控制和監控，該傳感器可測量該區域點的濕度和水量。所部署的探針數據記錄器係架設於 Waspnote 傳感器平台。在 SmartIrrigation 系統中，土壤濕度探針與

Waspnote 傳感器平台一起置於地下，由長壽命電池供電。Waspnote 傳感器平台收集的數據可以發送到網關(gateway)或直接發送到雲端。

巴塞隆納公園的工作人員使用平板電腦作為新的工作工具。新的灌溉管理系統利用自動控制關閉或打開水流的電子閥門。因為 SmartIrrigation 智能灌溉系統“優化了水資源的利用，因為它可以根據天氣條件和植物的需要以適當的水量進行灌溉。由於採用了這種新的管理系統，市政水費已經降低了近 25 %。而且，這種減少不僅僅是經費，水的使用也減少了。巴塞隆納正通過物聯網技術節約水資源，並有助於改善自然環境。對於工作人員來說，他們的日常工作量也得以減輕，現在可以即時檢測控制灌溉系統(詳如圖 2-18)。



資料來源：<http://www.libelium.com/saving-water-with-smart-irrigation-system-in-barcelona/>

圖 2-18 西班牙巴塞隆納 Poblenou 公園的 SmartIrrigation 智能灌溉系統

(三).美國加州-馬德拉郡杏仁樹果園、卡瑪利葡萄園

加州是美國最大的農業生產地區，也是世界上產量最高的農業區之一。加州生產了美國 1/3 以上的蔬菜和 2/3 的水果和堅果。加州的頂級作物是杏仁，其次是葡萄、草莓、核桃和生菜。農業消耗了加州 40 % 的可用水。加州農民採用無線灌溉技術居於領導的地位。加州農業面臨的最大挑戰是目前困擾美國西部的嚴重乾旱，這種情況導致許多農民轉向抽取額外的地下水，這已經耗盡了含水層的水資源並導致該州的部分地區在不到一年的時間內下沉了多達 33 cm。

加州馬德拉郡杏仁樹果園(Tom Rogers' Almond Ranch in Madera County, CA)轉向使用無線技術來解決加州當前乾旱帶來的挑戰，杏仁樹果園約 176 英畝，杏仁樹屬於長年作物，因此需要注意長期的作物健康，掌握關於樹木個體、土壤滲透性和微氣候的詳細情況對農民尤為重要。果園工作人員利用土壤和植物水分監測形式的無線技術以及現場的天氣資訊，作為灌溉的時間和灌溉量提供決策依據。土壤水分偵測儀以 15 分鐘的間隔測量樹根周圍處的土壤濕度，精確顯示水分如何在土壤中移動以及是否被樹根吸收，而果園灌溉管理系統連接的氣象站提供即時數據。溫度、濕度、風速和降雨量，提供在果園中循環的水量。根據專家估計，這種灌溉調度系統在某些農田的灌溉用水量減少了 20 %，並且在整體上提高了灌溉用水效率。與鄰近的類似農場相比，果園作物產量提高，植物健康狀況得到改善，並且防止常發生的霜凍作物傷害。這些發現與相關研究單位，如加州太平洋研究所(Pacific Institute)發布的先前報告一致，該研究發現改善灌溉計畫可以減少 11~50 % 的用水量。

此外，在加州北部的卡瑪利(Camalie)葡萄園，開發農業無線技術系統(Camalie Networks)，目的在減少水資源和能源消耗，同時提高作物產量和改善葡萄質量。卡瑪利葡萄園包含幾種微氣候和土壤類型，每種都具有任何特定時間的獨特需求；為了更佳地符合葡萄園各個部分的特殊需求，葡萄園採用無線傳感站(Wireless sensing stations)收集，處理和傳輸有關土壤濕度、溫度、濕度、水量和發酵速率(Fermentation rates)的訊息到計算機。由於數據是無線傳送的，並且易於取得，因此葡萄園

工作人員可以容易地監控數英里之外的葡萄園。這些信息在 2007 年特別適用於 Holler，當時他的葡萄園經歷了異常乾燥的春季和夏季，與 2006 年的 40 英寸(約 1,016mm)相比只有 16 英寸(約 406mm)的降雨量；利用每個微氣候的葉蒸散勢能和土壤水分張力數據，2007 年每英畝葡萄，從 6 月開始灌溉每塊葡萄只需 34 加侖(約 128.7 L)直至收穫。葡萄果園工作人員還利用無線節點和網路進行葡萄園的發酵過程監測，以測量發酵罐內的空氣溫度、濕度和壓力。

(四).印度公司 Oizom 應用 Agribot 推出智慧農業

印度環境物聯網(IoT)供應商 Oizom 利用 Semtech 的 LoRa 設備和 Tata Communications 的 LoRaWAN 網路基礎設施推出 Agribot 智慧農業。Agribot 為支援 LoRa 的 IoT 系統，透過監測田間水位、土壤濕度及 pH 值提供即時作物生長狀況，使得作物灌溉時能提出因應之對策，近而提高產量，Agribot 於 Tirupati 進行之先導計畫使得農場用水和電力減少了 26%。Agribot 感測器能即時土壤數據傳輸至雲端空間，而雲端空間使用 Tata 的 LoRaWAN 網路，LoRaWAN 在農村地區可提供長達 48 km 涵蓋範圍，即使在較偏遠之地區同樣可連上雲端取得資料。

此外，該技術不僅於印度當地使用，並於 2018 年由澳洲營運商 National Narrowband Network Co(NNNCo)引進 LoRaWAN 與 LoRa 技術於澳洲當地之棉花產業，2019 年已布設約 2,000 個感測元件於新南威爾斯州將近 300 萬 ha 之棉花田，期望能有效減少灌溉水量、人力精簡效率化，達到智慧農業之目標(陳端武，2019；Reichert，2018)。

表 2-16 國外推動案例摘要

國外案例	計畫內容	計畫成果
日本宮崎縣綜合農業試驗場	<ul style="list-style-type: none"> ◇於 65ha 農業試驗場內導入智慧化系統，可自動監測記錄數據 ◇設有預警系統，藉由系統偵測管控所有設備，以雲端管理系統來傳遞訊息及控制所有的設備 	<ul style="list-style-type: none"> ◇投入智慧化系統管理營運已 25 年，確實節省人力投入。 ◇各類設備由場內所架設於房舍上之太陽能板自行產電供應約 25%，其餘則需藉由傳統電力供應。
四國高知縣四万十町次世代園地(番茄灌溉生產系統)	<ul style="list-style-type: none"> ◇園地面積 4.3ha ◇於蕃茄植栽床培養基土上插入小管徑輸水管，利用電腦水量控制器控制作物需水量及養分滴灌 ◇使用電腦 24 小時監控作物生長(水、肥料、空氣、溫度) 	<ul style="list-style-type: none"> ◇省水灌溉技術讓溫室作物產量增加，且達到有效灌溉旱作根系灌溉及省水功效 ◇年產番茄 1,650 噸，產值 6 億日元 ◇園區工人配戴隨身電腦監測工作效率亦可作為支薪標準或調整工作項目的依據
以色列農業灌溉設備公司 Netafim	<ul style="list-style-type: none"> ◇運用雲端運算、大數據及物聯網等技術，發展灌溉系統 NetBeat ◇系統運作是以感應器收集作物及土壤的數據，並搭配天氣預報功能，傳回雲端後依照其作物栽種模式運算，為農民提供最佳灌溉建議方案 	<ul style="list-style-type: none"> ◇分析運算所有數據資料後，灌溉系統會提供定期、定量與定位混合肥料農藥水滴滲到農作物根部，讓水肥能均衡滋養每棵作物，以達到大幅節水目的 ◇水資源利用效能超過 90%，大幅減少 75% 用水量 ◇系統結合手機 App 監視與遙控滴灌過程，達到精準農業耕作目標
西班牙巴塞隆納 Poblenu 公園	<ul style="list-style-type: none"> ◇通過不同的土壤濕度傳感器進行控制和監控 ◇使用平板電腦作為工具，於灌溉管理系統利用自動控制關閉或打開水流電子閥門 	<ul style="list-style-type: none"> ◇根據天氣條件和植物需要以適當水量進行灌溉，市政水費降低近 25% ◇有效節約水資源，減輕工作人員負擔，可即時檢測控制灌溉系統
美國加州-馬德拉郡杏仁樹果園	<ul style="list-style-type: none"> ◇利用土壤和植物水分監測形式的無線技術以及現場的天氣資訊，作為灌溉的時間和灌溉量提供決策依據 	<ul style="list-style-type: none"> ◇灌溉調度系統於某些農田灌溉用水量減少 20%，且整體提高灌溉用水效率 ◇果園作物產量提高、植物健康狀況得到改善、防止霜凍作物傷害
印度公司 Oizom 應用 Agribot 推出智慧農業	<ul style="list-style-type: none"> ◇透過監測田間水位、土壤濕度及 pH 值提供即時作物生長狀況，使得作物灌溉時能提出因應之對策 	<ul style="list-style-type: none"> ◇於 Tirupati 進行之先導計畫使農場用水和電力減少了 26%。 ◇澳洲營運商引進 LoRaWAN 與 LoRa 技術於澳洲當地之棉花產業，2019 年已布設約 2,000 個感測元件於新南威爾斯州將近 300 萬 ha 之棉花田，期望能有效減少灌溉水量、人力精簡效率化

第三章 標的作物篩選暨灌溉管理方法探討

3-1 作物概述

臺灣地區對於作物分類以農委會(2006)編撰之台灣農家要覽分類最為詳盡；此外，經濟部水利署(2009)於「地面水水權(臨時用水)登記申請手冊」對於農業灌溉用水水權申請需求亦對作物有表列分類規範，如表 3-1。

表 3-1 現有農業用水-作物類別分類一覽

序號	類別	農業用水業別	小
1	稻作栽培	水稻、陸稻	2
2	雜糧栽培	玉蜀黍(玉米)、小麥、粟(小米)、蜀黍(高粱)、蕎麥、大麥、黑麥、大豆、花豆、紅豆、綠豆、黃豆、薏苡(薏仁)、甘薯	15
3	特用作物栽培	茶葉、菸草、咖啡、落花生、生食甘蔗、胡麻、薄荷、油菜子、香草茅、瓊麻、棉花、大甲藺、三角藺(芫苳)、香花作物、桑樹、黃麻(鐘麻)、亞麻、食用美人蕉、洛神葵、蛇麻、芝麻、苧麻、蓖麻子、枸杞、人參、當歸、中藥、毒魚藤、葛鬱金(粉薯)、樹薯、檳榔、牧草、綠肥、棕櫚、茴香、香料作物、杭菊、糖菊、花椒、芥菜籽、胡椒、甜菜、可可豆、洋麻、除蟲菊、油用向日葵	48
4	蔬菜栽培	洋蔥、蘿蔔、胡蘿蔔、薑芋、蔥、蔥頭、牛蒡、豆薯、薯芋、蒜蒜頭、荸薺、韭、竹筍、蘆筍、甘藍、球莖甘藍、大芥菜、結球白菜、不結球白菜、蕓菜、芹菜、菠菜、紫蘇、萵苣、花椰菜及青花菜、金針菜、越瓜(蒼瓜)、胡瓜(刺瓜)、冬瓜、南瓜、茄子、番茄、番椒(含甜椒及辣椒)、菜豆、玉米筍、莢豌豆、絲瓜、苦瓜、敏豆、紅豆、蠶豆、毛豆、豆芽、西瓜、瓜子瓜、香瓜、草莓	47
5	果樹種植	香蕉、鳳梨柑橘、晚倫西亞橙、文旦柚、斗柚、白柚、柳橙、檸檬、葡萄柚、龍眼、芒果、番石榴、葡萄、枇杷、李、桃、柿、梅、荔枝、橄欖、楊桃、梨、木瓜、蘋果、洋香瓜、棗、蓮霧、菱角、番荔枝(釋迦果)、藕、蓮子、芡實、百香果、杏、胡桃、栗、榛子、其他	38
6	食用菌類栽培	洋菇、草菇、金針菇、香蕈、木耳	5
7	甘蔗栽培	製糖用甘蔗、生食用甘蔗	2
8	花卉栽培	菊花、唐菖蒲、夜來香、大理花、玫瑰、球根類花卉、種籽類花卉、盆花類花卉	8
9	其他作物栽培	盆景、庭木、苗木、草皮、觀賞樹木、種苗、行道樹	7
10	林業	造林	1

資料來源：經濟部水利署(2009)；(水產養殖及畜牧不計)。

表 3-1 為該手冊的附錄六之農業用水的 12 項類別，僅 9 項農業用

水別與農田水利事業有關，包含稻作栽培(水稻等 2 種細項)、雜糧栽培(玉蜀黍等 15 種細項)、特用作物栽培(茶葉等 46 種細項)、蔬菜栽培(洋蔥等 48 種細項)、果樹種植(香蕉等 38 種細項)、食用菌類栽培(洋菇等 5 種細項)、甘蔗栽培(製糖用甘蔗等 2 種細項)、花卉栽培(菊花等 8 種細項)、其他作物栽培(盆景等 7 種細項)等。本節分別針對短期旱作物、長年作物、稻作之特性依序介紹說明如后。

一、短期旱作物

短期旱作物以本年度的標的作物-蔬菜而言，就有 47 種之多，蔬菜類又可區分為根菜類、莖菜類、蔥類、葉菜類、花菜類、果菜類、菇蕈類等。表 3-2 為桃園市 2018 年種植各類蔬菜之面積情形，其中其他葉菜類面積 2,596.25 ha，其餘栽培面積前 6 高者分別為不結球白菜(1,182.28 ha)、竹筍(873.35 ha)、莧菜(420.14ha)、薤菜(376.30ha)、西瓜(254.33ha)、菠菜(202.48ha)，蔬菜類種植面積總計為 7,065.63ha。

表 3-2 桃園市 2018 年蔬菜種植面積一覽

種類	面積(ha)	種類	面積(ha)	種類	面積(ha)	種類	面積(ha)
其他葉菜	2,596.25	不結球白菜	1,182.28	竹筍	873.35	莧菜	420.14
薤菜	376.30	西瓜	254.33	菠菜	202.48	南瓜	177.30
萵苣	154.16	蓮藕	140.43	甘藍	88.31	韭菜	80.57
茭白筍	58.50	芥藍	50.45	蘿蔔	46.88	冬瓜	42.09
結球白菜	37.47	蔥	37.14	大芥菜	35.45	洋香瓜	31.55
香瓜	26.94	食用番茄	24.20	茼蒿	18.14	絲瓜	15.55
芋	12.16	胡瓜	11.31	薑	9.09	扁蒲	6.93
芹菜	6.58	結頭菜	6.33	花椰菜	5.03	青花菜	4.20
辣椒	4.19	青蒜	4.17	茄子	3.49	草莓	3.43
胡蘿蔔	3.28	四季豆	3.22	菜豆豇豆	2.72	苦瓜	2.43
黃秋葵	1.35	甜椒	1.23	龍鬚菜	0.93	越瓜	0.85
豌豆	0.69	金針菜	0.65	節瓜毛瓜	0.55	皇帝豆	0.16
芫荽	0.15	山蘇	0.10	鵲豆肉豆	0.16	蘆筍	0.05
其他果菜	0.02	山蕨	0.02				
蔬菜類種植面積總計(ha)							7,065.63

單位：面積-公頃。

資料來源：農情報告資源網 <https://agr.afa.gov.tw>。

二、長年作物

長年作物一般係指長年種植果樹類作物，茶(樹)雖為長年作物，但因具有特定用途可作工業原料及具高經濟價值，因此可被歸類為特用作

物(又稱工藝或商用作物)栽培。表 3-3 為桃園市 2018 年長年作物(果樹及特用作物)種植面積分布情形，其中栽培面積前 6 高者分別為桃(246.61ha)、柿(69.65ha)、香蕉(53.00ha)、桶柑(49.18ha)、紅龍果(30.50ha)、文旦柚(29.39ha)；其中桃、柿及桶柑栽培區域以復興區為主；紅龍果主要栽培於龍潭、楊梅及新屋區；文旦柚則主要栽培於龍潭及龜山區；特用作物中以茶樹種植面積最多佔 553.94ha，以龍潭區為主，復興、楊梅及龜山等區亦有種植。

表 3-3 桃園市 2018 年果品類及特用作物種植面積一覽

種類	面積	種類	面積	種類	面積
桃	246.61	柿	69.65	香蕉	53.00
桶柑	49.18	紅龍果	30.50	文旦柚	29.39
番石榴	23.05	檳榔	12.46	梨	11.08
枇杷	7.43	李	6.40	其他果樹	5.20
木瓜	5.08	檸檬	4.52	其他葡萄	4.05
彌猴桃	2.60	橄欖	2.00	椪柑	1.92
梅	1.81	楊梅	1.51	茂谷柑	1.48
柳橙	1.44	改良種芒果	1.24	百香果	1.23
巨峰葡萄	1.15	白柚	1.03	其他柑桔	0.73
桑	0.60	四季桔	0.57	番荔枝鳳梨釋迦	0.50
金柑	0.46	本地種芒果	0.18	棗	0.10
龍眼	0.10	鳳梨	0.04	蓮霧	0.03
果品類種植面積總計(ha)					578.32
種類	面積	種類	面積	種類	面積
茶	553.94	油茶	129.62	仙草	5.79
芝麻	5.15	洛神葵	4.41	其他長期特作	2.19
咖啡	1.52	羅勒	0.67	紫蘇	0.60
生食甘蔗	0.56	山葵	0.30	茉莉	0.26
其他短期特作	0.22	香水茅	0.15	南薑	0.11
特用作物種植面積總計(ha)					705.49

資料來源：農情報告資源網 <https://agr.afa.gov.tw>。種植面積單位為公頃。

三、水稻

在種植水稻之前，必須要先根據當地的氣候與土壤情形，選擇一種適合在田裡種植的品種，選對適合的品種，不但可以增加稻米的收成量，也可以減少栽種期間所遇到的問題。台灣稻作育種已有百年以上歷史，稻作育種事業都由政府經費支持，是政府維持主要糧食的重要策略，目前各地農業試驗改良場所都有稻作育種計畫執行，主要以雜交育種系譜

法進行品種改良(陳治官等，2004)。

台灣米的種類以米質特性來區分可分為三大類，分別是：粳稻、秈稻、糯稻。粳稻的俗稱就是「蓬萊米」，粳米的形狀圓短、顏色透明，部分品種米粒有局部白粉質，是我們最常吃的米種，煮熟後「有點黏又不會太黏」，Q 軟適中。秈稻俗稱為「在來米」，秈米形狀細長、透明度高，煮熟後吃起來口感硬硬的，較乾、較鬆、不黏。而「糯米」顏色呈現不透明狀，以形狀區分為圓短的「粳糯」和細長的「秈糯」，煮熟後米飯較軟、較黏。

桃園市的農民所種植的品種大多是以台梗 14 號和桃園 3 號的品種最多(桃園市政府農業局，2018)。由於這些稻種在桃園的生長情形良好，且稻米品質亦好，適地適種的選種方式，讓桃園所生產的稻米聞名全國。此外桃園地區亦有部分農民種植採用台南 11 號(農業工程研究中心，2018)。有關上述台梗 14 號、桃園 3 號和台南 11 號之品種簡述如下並比較列如表 3-4：

- (一).台梗 14 號為嘉義農業試驗分所於 1988 年第一期以台梗育 2011 號為母本與台中育 418 號雜交，於 1991 年第二期作選出台梗育 13196 號後，由桃園區農業改良場參加各級產量比較試驗，於 1996 年命名為台梗 14 號。台梗 14 號為中晚熟稻，具有株高較矮、株型佳，抗倒伏，適合使用機械收穫。產量高且適應性廣，抗稻熱病、脫粒性適中及高產等特性，品質良好。本品種於試驗穗上發芽率檢定資料顯示對蟲害無抵抗性，栽培應留意。食味品質：米粒晶透，飽滿整齊，食味良好。
- (二).桃園 3 號為行政院農業委員會農業試驗所將台梗 4 號為母本，與第二期作台梗 2 號為父本雜交改良之品種，原本稱為台梗育 72017，至 2004 年更名為桃園 3 號。為中晚熟稻，穗上發芽率較低、對飛蝨具抗性。耕作為響應政府休耕政策，以一期稻作為主。桃園 3 號米粒大而飽滿，白米外觀晶瑩剔透，擁有宜人的芋頭芳香。
- (三).台南 11 號屬粳稻，係由農委會台南區農業改良場試驗育成。台南 11 號特性優良：1.米粒外觀良好、完整米率高、食味佳。2.產量高、適應性廣。3.對稻熱病及飛蝨類病蟲害具抗性。4.脫粒率較低，可減少機械

收穫落粒損失。5.抗倒伏性良好，可確保稻穀產量及稻米品質，適合機械收穫。台南 11 號米在台灣栽種面積最大。

表 3-4 台梗 14 號、桃園 3 號和台南 11 號之水稻品種比較

品種	台梗 14 號	桃園 3 號	台南 11 號
質	粳稻	粳稻	粳稻
特性	1.中晚熟稻，具株高較矮、株型佳，抗倒伏，適合機械收穫。 2.產量高且適應性廣，抗稻熱病、脫粒性適中及高產等特性。 3.對蟲害無抵抗性，栽培上應加留意。	1.稻穀產量與對照品種相近、穩定性佳。 2.中晚熟稻，穗上發芽率較低、對飛蟲具抗性。 3.對病蟲害之抵抗性欠佳，抗倒伏性稍嫌不夠。 4.響應政府休耕政策，以一期稻為主。	1.米粒外觀良好、完整米率高、食味佳。 2.產量高、適應性廣。 3.稻熱病及飛蟲類病蟲害具抗性。 4.脫粒率較低，可減少機械收穫落粒之損失。 5.抗倒伏性佳，確保稻穀產量及稻米品質，適合機械收穫。
食味品質	1.米粒晶透，飽滿整齊。 2.食味良好。	1.芋頭香味、香味久存。 2.米粒完整，圓潤剔透晶瑩。	1.稻穀經四個月儲存，食味仍良好。 2.適合做壽司、便當飯。
收穫日數	一期作：140 二期作：107	一期作：135 二期作：107	一期作：124 二期作：112
稻穀產量 (Kg/ha)	一期作：6,050 二期作：5,650	一期作：6,793 二期作：5,469	一期作：6,469 二期作：6,178
適栽期作及域	全台第 1、2 期作，雲林以南第 1 期作不適合	台中以北第 1、2 期作	適苗栗(含)以南及花東地區第 1、2 期作

資料來源：陳治官等(2004)、農業工程研究中心(2018)、吳東鴻等(2014)、桃園市政府農業局(2018)。

3-2 作物用水資料彙整

本計畫針對短期旱作物、長年作物、水稻等作物之需水期程資料蒐集，並提出合理作物用水推估方法等，茲將此二項重點說明如下。

一、作物需求水量資料蒐集

(一).短期旱作物

蔬菜類作物(Vegetables)生長期為 17~18 天，需水量約 63~105 mm (Simonne et al., 2011)，莖菜類蔬菜以蘆筍(Asparagus)為例，每 7~10 日施灌 40 mm 水量，適當需水量約 1,460~2,080 mm/yr(農業工程研究中心，1994)；洋蔥(Onion)為 434~1,037 mm (Ashraf and Majeed, 2006)。Muhammad and Abdul (2006)說明芋頭(Taros)生長期為 270~420 天，需水量約 505~825 mm。

雜糧作物部分，農業工程研究中心(1994)指出國內大豆(Soybean)生育期用水量約 330~825 mm、學甲春作及秋作總用水量分別為 321.9~847.9 mm 及 67.3~336.5 mm，上述用水量已考量有效雨量，因此需水量將高於上述範圍(施嘉昌等，1996)；Critchley et al. (1991)說明大豆之 CWR 為 450~700 mm。農業工程研究中心(1994)指出花生(Groundnut)春作及秋作需水量為 243~400 mm、158~200 mm；其值遠低於 Critchley et al. (1991)之 500-700 mm。Ashraf and Majeed (2006)說明一般豆類植物(Pulses)為 203~321 mm；Critchley et al. (1991)則為 300~500 mm。施嘉昌(1963)測得坵質黏土地區之甘藷需水量約 600~700 mm；馬鈴薯(Potato)為 505~825 mm (Ashraf and Majeed, 2006)；玉米(Maize)之 CWR 約 485 (mm/生長期) (王俊，1954)、500~800 mm (Critchley et al., 1991)、657~925 mm (Ashraf and Majeed, 2006)；施嘉昌(1989，1991)試驗秋作玉米之灌溉水量約 510 mm，春作玉米約 160~240 mm。

除上述國外研究外，國內早期亦有將旱作物之用水需求進行試驗及彙整，如表 3-5 及表 3-6 所示。

表 3-5 國內主要旱作物不同需水量分類一覽

低需水量作物	中需水量作物	高需水量作物
花生	甘藷	陸稻
洋蔥	大麥	旱作水稻
大豆	小麥	甘蔗
高粱	馬鈴薯	黃麻
茄子	蕃茄	
蘿蔔	甘藍	
青椒	玉米	
青江白菜	西瓜	

資料來源：雜作灌溉手冊。

表 3-6 國內不同季節之主要旱作物需水量一覽

作物別	春作	夏作	秋作
大豆	220—440	160—310	150
玉米	160—300	250	170—350
高粱	200—350	250—370	
花生	170—410	160—300	440
甘藷		210—380	150—400
西瓜		180—200	
油菜			150—400
小麥			160—170
瓜子		150	
豌豆			150—250
蘿蔔			170—200
胡蘿蔔			170—200
花豆	130		170—180
芝麻			280—320
麻豆			200—230
蔥			160—230

單位：mm。

資料來源：管路灌溉方法及技術。

(二).長年作物用水

長年作物一般係指長年種植果樹類作物，茶樹(Tea plant)雖為長年作物，但因具有特定用途亦可被歸類為特用作物栽培。以下針對長年作物分茶樹及果樹等兩類整理用水資料。以下節錄陳豐文等(2013)文獻研究並彙整如後：茶樹(Tea plant)部分，採用 821 mm/yr 可得最高產量(農業工程研究中心，1994)。由於果樹類早期並非國內主要糧食作物，因此果樹類的用水試驗及調查研究相對甚少，農業工程研究中心(1994)指出一般落葉果樹的年需水量約 700~1,050 mm；以香蕉為例，正常給水量為 1,200 mm/yr；Sharma et al. (1986)以栽培於印度的棗樹(Jujube)為例，

季節性的需水量高達 550~750 mm；Critchley et al. (1991)說明柑橘類果樹(Citruses)生長期為 240~365 天，需水量約 900~1,200 mm；洋梨(Pears)生長期為 90~120 天，需水量約 140~360 mm (Bošnjak et al., 1997)；楊桃果樹(Carambola)生長期為 60~180 天，需水量約 120~730 mm (The Ministry of Agriculture and Agro-Based Industry, 2004)；Ashraf and Majeed (2006)探討巴基斯坦 Balochistan 地區的果樹需水量 CWR，如葡萄生長期為 150~180 天，需水量約 566~1,209 mm。

(三).稻作栽培用水

農業灌溉用水標準依作物種類及灌溉方法而有差異，分水田及早田用水。考量水稻為國內早期首重之糧食，長達半世紀以來，稻米在政府糧食政策中列居重要地位，故早期許多水利建設亦以水稻生產為主軸興建，因此稻作用水量的調查及試驗較為詳細完整。針對臺灣的水田期作別的用水量需求，行政院農業委員會(1999)統計臺灣各區之稻作用水資料，針對臺灣北部、中部、南部、東部提出一期作及二期作於續灌方式及輪灌方式下之水稻灌溉用水量基準，如表 3-7 所示；以北部地區為例，實施續灌及輪灌制度下之水稻灌溉用水量分別為 3,594 mm/yr、2,851 mm/yr；上述水量包含作物需水量、田間滲漏損失及輸水損失等水量。不同灌溉方式會影響期作單位面積用水量；其中以東部為最高、中南部次之、北部最低。不同灌溉方式亦有差異，其中輪灌較續灌方式可節水 19.51~29.08 % (一期作)、22.02~31.12 % (二期作)。另依臺灣省水利局(1977)所列不同土壤的水田計畫用水深：黏土(8 mm/day)、坩質壤土(10 mm/day)、壤土(12 mm/day)、砂質壤土(15 mm/day)、砂土(20 mm/day)，迅速計算水田每期作或每年需水量。

表 3-7 臺灣各區水稻灌溉用水量基準

地區	第一期作 (mm/期作)		第二期作 (mm/期作)	
	輪灌	續灌	輪灌	續灌
北部	1,551	1,927	1,300	1,667
中部	1,750	2,209	1,466	1,911
南部	1,713	2,151	1,458	1,886
東部	2,715	3,828	2,275	3,303

資料來源：行政院農業委員會(1999)。

二、不同作物合理灌溉水量推估方法

作物合理用水量之計算方法參酌陳豐文等(2013)，作為無適當灌溉計畫參考時之不同作物類別計算合理用水量之基準方法。為清楚表達灌溉過程各項用水量或需水量之意義內涵，茲將合理灌溉用水量之計算流程所需釐清灌溉用水名詞及其定義說明如下：

(一).作物需水量(CWR, Crop water requirement)

=作物蒸發散量(Evapotranspiration, ET_{crop})

(二).田間需水量(Water requirement, WR)=作物蒸發散量+田間滲漏量

(三).田間灌溉用水量(Field irrigation requirement, FIR)

=田間需水量-有效雨量

(四).系統總灌溉用水量(Diversion requirement, DIR) =田間灌溉用水量+灌溉系統輸水損失量(幹線、支線、分線及小給水路)

上述作物需水量為作物維持生長所需生理水量，田間滲漏量為田區必要損失水量，非作物直接利用，因此以田間的觀點所需維持水量為作物需水量及田間滲漏量之和；因灌溉乃為補充雨量不足部分，因此田間灌溉用水量為田間需水量扣除有效降雨量之值(3-1 式)，由於降雨屬於隨機性質，若不考量有效雨量因素；灌區用水量全數仰賴灌溉系統供應，需考慮自河川(水庫)引水點至田區之水量損耗，估算公式由(3-1)式修正為(3-2)式。

$$DIR = \frac{FIR}{1-L} \dots\dots\dots (3-1)$$

$$DIR_1 = \frac{WR}{1-L} \dots\dots\dots (3-2)$$

式中： DIR 為系統總灌溉用水量(考量有效雨量)； DIR_1 為系統總灌溉用水量(不考量有效雨量)； FIR 為田間灌溉用水量； WR 為田間需水量； L 為灌溉系統輸水損失率(%)。

其中輸配水損失 L 包含幹線、支線、分線水路的輸水損失 L_{mc} 及小給水路的配水損失 L_d ，輸水損失以水量(cms)表示，配水損失量以水量消失率%表示之，因此(3-2)式可修正為(3-3)式。

若進一步考量引灌受污染水體進行灌溉，則灌溉用水來源的水質稀釋問題必須考量，以符合灌溉用水水質標準，則(3-3)式可修正為(3-4)式；另考量作物於非稻作區之灌溉方式已由水田栽培的長期湛水灌溉調整為溝灌、噴灌...方式，田區滲漏量應由引灌時間及頻率決定之；此外，完成灌溉過程之各項水量損失亦須合理考量，(3-4)式僅考量灌溉用水自渠首工取水並經由渠道輸配水過程之損失量，水量引進田間進行灌溉時，無法有效留置於根系土層之損失水量未被考量，因此旱作灌溉須以施灌效率修正之(稻作因長期浸水灌溉而無須修正)，施灌效率與灌溉方法及現場田間環境條件有關，一般建議為 0.6~0.9。若當日進行灌溉時，其灌溉水量依(3-5)式計算，因此依據田間灌溉措施的日數頻率以(3-5)式計算不同區域種植不同作物之合理潛在灌溉需水量，作為合理灌溉用水水權量之基準。

$$DIR_2 = \left(\frac{WR}{1-L_d} + L_{mc} \right) \dots\dots\dots (3-3)$$

$$DIR_3 = \left(\frac{WR}{1-L_d} + L_{mc} \right) (1+W_c) \dots\dots\dots (3-4)$$

$$DIR_4 = \left(\frac{[ET_{crop} + (P \times i_t)]}{(1-L_d) \cdot E_a} + L_{mc} \right) (1+W_c) \dots\dots\dots (3-5)$$

式中： DIR_4 為施灌日的系統總灌溉用水量(考量污染源稀釋量)； P 為土壤滲漏量 (mm/day)； W_c 為灌溉用水稀釋率 (%)； i_t 為施灌日的灌溉時間比率，當日灌溉時間為 24 小時，則 $i_t = 24/24 = 1.0$ ； E_a 為施灌效率(旱作為主)，稻作無須考量。

上述(3-1)~(3-5)式為一般灌溉系統自水庫、河川攔水、取水、並經由渠道(管路)輸水及配水至田間坵塊進行灌溉之所需合理灌溉用水量；若為簡易攔水並經由旱作灌溉方法施灌者，則合理灌溉用水量建議修正如(3-6)式所示；(3-6)式主要考量金門地區農民直接鄰近自區排(小埤塘)取水施灌，若採用旱作灌溉常用之噴灑灌溉或穿孔管及滴灌等方法，則合理灌溉用水量應考量栽培作物的作物需水量(ET_{crop})即可，若採用漫灌或溝灌方式，仍須採用(3-5)式計算；土壤入滲量通常於水稻湛水深栽培

時予以考量，不同的土壤質地影響的現象是水分滲入土壤內的速度及滲漏量，對引水灌溉過程而言，其為損失水量(對國土利用則具有涵養功能)；然而土壤質地仍會影響農民所需採用灌方式及施灌頻率之決定。

$$DIR_5 = \left(\frac{ET_{\text{crop}}}{(1-L_d) \cdot E_a} + L_{\text{mc}} \right) (1 + W_c) \dots \dots \dots (3-6)$$

3-3 作物慣行灌溉方法彙整

作物在栽培過程中，利用人為的方法供給作物生長所需的水分，稱之為灌溉。灌溉水的用量，依作物種類、氣候、土壤及地勢而異，一般要注意供給適度，過與不及均會造成不良影響。灌溉的目的包括：1. 供給作物發芽與生長所需的水分；2. 提高作物成活率及增加生長速度；3. 改善土壤的理化性質；4. 灌溉水中有植物所需的養分；5. 防除雜草及病蟲害；6. 調節作物開花結果之產期；7. 灌溉後排水，可以去除鹽鹼土的鹽分。

灌溉水過多會造成浪費，且影響土壤理化性質及微生物繁殖。灌溉水過少，則不足供應作物生長所需。灌溉水量依氣候、土壤、地勢及作物種類而不同。灌溉方法一般可分為地面、地上及地下灌溉三種不同方式，以下分述之。

一、地面灌溉：包括漫灌及溝灌。

(一).漫灌：最古老的灌溉方式，省工價廉但浪費水源，宜於平坦地區。禾穀類作物如水稻栽培，可採用漫灌。

(二).溝灌：類似漫灌，將水灌至畦溝，亦適用於平坦地區，效率較高，例如玉米、甘蔗、蔬菜等作物，可使用溝灌。

二、地上灌溉：指噴灑灌溉、滴灌、穿孔管灌溉及微噴，一般果樹及設施栽培的作物均採用此法，地上灌溉各種型式之灌溉特性及適用場合比較整理如表 3-8。

(一).噴灌：利用壓力將灌溉水，經由管路系統及支管上之噴頭如降雨般在空中向地面散佈，使作物滋潤的灌溉方式。噴灌適用於全面之補給灌溉，受地形與土壤條件限制較少，較傳統方法具有省工、節水等優點。但受到風的影響大，其設施費與動力費成本較高，可分為固定式及可移動式兩種。

(二).滴灌：在小口徑聚乙烯(PE)管上，按一定間隔安裝滴嘴、毛細管或極細小孔，以少量水流經由滴水支管上所裝置之滴嘴，連續滴下於作物株幹旁之方法，其最大優點為節省水資源。適用於水源缺乏地區必需實施節水灌溉措施者，如山坡地之果樹。

(三).穿孔管灌溉：穿孔管噴灌又稱為多孔管噴灌，係在軟質聚乙烯管等間隔開設小孔，並以大約 $0.5\sim 1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 之低壓，經由管壁上之細孔噴水噴灑於田間。在田間呈定置式之矩狀噴灑，其操作壓力較低，適用於小區域或集約管理之作物，灌溉強度較大可用於行栽果樹之樹下灌溉，質量輕、操作簡便、易於可隨作物方向變化。

(四).微噴：微噴灌系統是介於噴灑灌溉與滴水灌溉的灌溉方法，以低壓給水，只在作物生長範圍實施局部灌溉。微噴灌操作壓力低，出水量小，容易變換器材種類，操作維護容易。適用於果樹、設施園藝等小規模灌溉，為目前最普遍之灌溉方式。

三、地下灌溉：為在田間挖深溝或埋設水管於地下，配合滴灌於地面下 20 cm 下灌溉，使灌溉水滲入土壤下層，再利用毛細作用上升，供作物吸收。其優點為不影響耕作，不易生雜草，減少水分蒸散損失，水分及肥料可直接施於根部。

表 3-8 各種型式之地上灌溉特性及適用場合比較

灌溉型式	操作壓力 (kg/cm ²)	灌溉特性	適用場合
噴灑灌溉	1以上	<ol style="list-style-type: none"> 1.噴灑灌溉均勻度高。 2.霜季可防止減少霜害，夏季可調節土溫。 3.可沖洗作物葉莖塵埃，使作物氣孔開啟增強呼吸與光合作用。 4.鹽份地區利用噴灌可降低鹽害。 5.可作少許水量之頻繁灌溉。 6.可配合多目標使用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用坡度較大或起伏不平田區。 2.任何作物均可安裝適用。 3.大型灌溉系統如甘蔗、牧草、集體栽培蔬菜園區。
滴水灌溉	0.3~1.5	<ol style="list-style-type: none"> 1.節省灌溉水量(僅噴灌1/3之水量)。 2.局部灌溉，抑制其他雜草生長。 3.少許水量灌溉，不破壞土壤結構，產生地表逕流。 4.保持土壤中適當水份與溫度。 5.孔距密度，可隨作物之行、間距及用水量、調節裝置滴嘴數量。 6.支管以PE材質重量輕柔性佳易於捲收 	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用水源缺乏地區。 2.適用低水壓灌溉地區(高於耕地約3公尺設置調節水池(塔)即可灌溉)。 3.適用果樹區及花卉。 4.亦可地下型式灌溉。
穿孔管灌溉	0.5~1.0	<ol style="list-style-type: none"> 1.小孔之口徑大約0.5~1.0mm，因此噴出之水滴很細。 2.灌溉時期受風飛散損失很小。 3.質量輕、操作簡便、易於可隨作物方向變化。 4.摩擦損失小，輸水量比同一口徑管大約30%。 5.鑿孔密度高，灌溉強度大。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.噴灑強度比噴灌大，適合土壤滲透性大之地區。 2.土壤滲透性不大之地區，如種植瓜類、葉菜類等之作物，需以少許水量，多次灌溉為原則，以免造成表土逕流。 3.溫室種植行栽作物。
微噴灑	0.5~2.5	<ol style="list-style-type: none"> 1.樹下型灌溉局部噴灌屬省水灌溉。 2.容易變更噴灌距離。 3.可以互換各型式噴頭灌溉。 4.棚架式果園，可採用倒吊式灌溉。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.適合坡地果樹灌溉地區。 2.局部灌溉用水地區。 3.水源缺少地區。 4.使用壓力不高地區。 5.頻繁灌溉地區。 6.溫室種植行栽作物。

3-4 標的作物篩選及灌溉管理方法彙整

綜合以上作物資訊，本計畫標的作物篩選擬考量 1.作物需水特性、2.用水來源、3.作物代表性(栽種面積及經濟價值)、4.國土規劃適宜性(是否種植於山坡地，不利於水土保育限制)、5.是否地方重點發展作物等篩選原則綜合評析，進行本計畫本年度與後續推動之標的作物篩選：

一、本年度標的作物篩選

本年度(2019 年)標的作物以短期旱作物為主，標的作物篩選考量桃園市 2018 年蔬菜栽種面積(表 3-2)及本年度之試驗期間預計為 7~10 月，應以適合夏季及秋季，且生長日數於 2 個月內之短期作物為對象；短期作物適合栽種之月份、生長日數及株行距詳表 3-9、3-10，參考農糧署統計之 2018 年桃園市作物栽種面積，其中符合以上需求且栽種面積高之短期作物為不結球白菜。不結球白菜適合之栽種期為 8~12 月，最短生長日數為 20 天，栽種面積為桃園市境內之最。萵苣適合之栽種期為 8~12 月，最短生長日數為 40 天，2018 年栽種面積佔 154.16ha。

依據前述作物篩選原則，本計畫執行團隊建議 2 種短期旱作物標的作物：1.葉菜類蔬菜-小白菜；2.葉菜類蔬菜-萵苣；進行本年度省水試驗。

二、後續推動標的作物篩選

為協助桃園市水務局後續推動桃園市其他不同作物施設智慧灌溉省水系統之決策及方向；本計畫另協助評估長年作物(如果樹、茶樹等)、短期旱作物(如蔬菜、小番茄、瓜類、竹筍等)及水稻等 3 類作物別，並篩選至少 4 種標的作物(需包含長年作物、短期旱作物及水稻)，並協助研擬試驗場地篩選、試驗規劃建議與評估。

(一).作物篩選建議

後續作物包含水稻、短期旱作物及長年作物；其中水稻因為普遍種植且為高耗水性作物，極具水資源調整空間，因此列為首要後續標的作物。短期旱作物部分，本年度已建議 2 種葉菜類蔬菜進行試驗，因此後續建議短期旱作物部分應包含：1.果菜類蔬菜(胡瓜或番茄等)、2.根莖類蔬菜(馬鈴薯或芋頭)各擇 1 種作物為主。長年作物部分，包含特用作物及果品，其中果樹(果品)擇定，桃園市栽種面積較大之桃、柿及桶柑

之主要栽種地區皆位於復興區位處山坡地及石門水庫集水區範圍，不利於計畫之施行，及基於國土規劃考量，因此暫不列入考量，果樹類選定建議以平地種植且經濟價值高的紅龍果為優先考慮推動標的作物。茲將標的作物每公頃生產費用與收益整理如表 3-11。

(二).本年度及後續期程規劃及建議

1.2019 年度(第 1 年)規劃：

- (1).標的作物：1.不結球白菜、2.萵苣。
- (2).試驗類別：省水灌溉及慣行農法對照試驗。

2.2020 年度(第 2 年)規劃：

- (1).標的作物：1.果菜類蔬菜(胡瓜或蕃茄)、2.常綠果樹(紅龍果)。
- (2).試驗類別：省水灌溉及慣行農法對照試驗。

3.2021 年度(第 3 年)規劃：

- (1).標的作物：1.水稻、2.根莖類蔬菜(馬鈴薯或芋頭)。
- (2).試驗類別：1.再生水及一般地表水灌溉試驗(水稻)、2.省水灌溉及慣行農法對照試驗(溫室設施)。

表 3-9 短期作物適合栽種之月份、生長日數及株行距表(I)

月份 作物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	生長日數	株行距 (公分)
芥蘭	●	●							●	●	●	●	50-125	10-20
甘藍									●	●	●	●	90	30
花椰菜									●	●	●	●	90-120	60
大芥菜										●	●	●	60-75	30-40
不結球白菜	●	●	●					●	●	●	●	●	20-80	10-20
萵苣	●	●	●					●	●	●	●	●	40-90	10-20
結球白菜									●	●	●	●	90	15-20
莧菜		●	●	●	●	●	●	●	●				20-60	10-20
蘿菜		●	●	●	●	●	●	●					40-70	20-30
芹菜								●	●	●	●	●	120-140	25-30
茼蒿	●	●							●	●	●	●	40-60	8
菠菜	●	●							●	●	●	●	60-80	10-20
蔥	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	80-120	10-20
大蒜									●	●	●		125-150	20-25
辣椒	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	70-180	18
番茄	●	●							●	●	●	●	90-120	60
胡瓜		●	●	●	●	●	●	●					65-90	60

來源:綠田園基金 <http://www.producegreen.org.hk>

表 3-10 短期作物適合栽種之月份、生長日數及株行距表(II)

月份 作物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	生長日數	株行距 (公分)
絲瓜		•	•	•	•	•	•						80-90	90
西瓜			•	•	•	•	•						70-100	182
蘿蔔	•	•						•	•	•	•	•	45-70	15-30
番薯		•	•	•	•	•	•	•	•	•			90-100	25

來源:綠田園基金 <http://www.producegreen.org.hk>

表 3-11 本計畫標的作物每公頃生產費用與收益

	每公頃生產費用 (元)	樣本平均產量 (公斤)	主產物價值 (元)	農家賺款 (元)	資料 年份
一期稈稻	123,886	7,933	176,438	88,392	107
二期稈稻	120,571	6,210	133,969	43,533	107
一期秈稻	122,460	7,086	161,433	75,499	107
二期秈稻	97,950	4,786	100,185	28,678	107
一期胡瓜	401,716	44,002	531,194	367,406	107
紅龍果	587,716	27,944	1,030,993	761,313	107
裡作馬鈴薯	202,682	24,264	276,050	111,324	106

資料來源：行政院農業委員會農糧署。

以下茲以本年度及後續建議之標的作物進行作物特性說明。

(一).小白菜(*Brassica rapa chinensis*)

小白菜為十字花科芸苔屬一年生草本植物，顏色翠綠，生長快速，從播種到採收只要 3~4 周。葉片短柄細小，直接從根部長出，每株約 6~8 片葉子。台灣的小白菜是最早隨先民渡海來台的蔬菜之一，已馴化成土白菜。依據行政院農業委員會農糧署統計資料，包含小白菜、油菜與青梗白菜的不結球白菜，在 2017 年全臺的不結球白菜栽培面積約 5,263 ha。全年皆可生產。全株均可食，適合炒食或煮湯。台灣小白菜栽培季節及代表性品種如表 3-12。

表 3-12 小白菜栽培季節及代表性品種

栽培季節	代表性品種
夏天	土白菜、鳳山白菜、黃金白菜、夏勝黃金白菜、台農 1 號、台農 2 號、台農 3 號
冬天	丸葉山東白菜、珍珠白菜、晚生黃金白菜
全年	交合白菜、三鳳二號、金光菜
全年	白尼龍、黑尼龍

來源:臺灣農家要覽，2006。

(二). 萵苣(*Lactuca sativa*)

萵苣屬菊科 1、2 年生草本，可細分為四大類：1.結球萵苣、2.葉萵苣、3.俗稱蘿蔓之半結球萵苣、4.嫩莖萵苣。除嫩莖萵苣以莖部為食用部位外，其餘以採收葉部為主。葉萵苣全年四季皆可生產；結球萵苣、半結球萵苣及嫩莖萵苣以中南部秋、冬季栽培為佳。台灣各地以栽培不結球之葉萵苣為主，近年來萵苣的栽培隨著生活的改變，和西洋餐食的盛行，結球萵苣及蘿蔓之半結球萵苣栽培面積迅速增加。由於貯藏性佳，且屬國際上使用的大宗蔬菜，加上萵苣生長快、栽培省工、病蟲害及農藥殘留問題較少，因而具有外銷潛力。

(三). 胡瓜(*Cucumis sativus* L.)

胡瓜類型多且品種豐富，若依其果實外觀及生態特性大致上可區分為大胡瓜、小胡瓜(花胡瓜)、四葉系統胡瓜、溫室系統胡瓜，及全果加工胡瓜等類別，台灣目前以栽培大胡瓜及花胡瓜為主。依據行政院農業委員會農糧署統計資料，2017 年全臺的胡瓜栽培面積約 2,029 ha。胡瓜性喜溫暖，在台灣幾乎可週年生產，但各地因氣候和土地利用的關係，仍有其主要播種期。一般露地栽培時，北部及宜蘭為 3 月中旬~9 月中旬。冬季於台灣南部可選擇土溫較高之河川地種植，其他地區則可利用塑膠布溫室等設施，延長冬季栽培期。

(四). 蕃茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)

蕃茄屬於茄科蕃茄屬，為 1、2 年生植物。台灣於 1622 年荷蘭人佔據時引進，起初做觀賞用。19 世紀末，日據時期引進栽培品種，由農業試驗機構推廣栽培為高經濟價值的蔬果兩用園藝作物。目前種類多屬鮮食大果，早期有粉紅色及紅色兩種。

蕃茄是經濟價值高，營養豐富的果菜類園藝作物。主要營養成分除有維生素 A 和 C，另外還有維生素 B1、B2、B3、B6，及維生素 E 等。碳水化合物與礦物質含量高，因其特別含有茄紅素、類胡蘿蔔素及豐富果膠，廣受消費者喜愛。由於近年來消費者對營養的重視，導致需求日益增加，促使生產面積迅速成長。台灣在 2017 年種植面積達 4,486 公頃，總產量 11.1 萬公噸。

(五).紅龍果(*Hylocereus spp.*)

紅龍果是仙人掌科三角柱屬，為多年生攀緣性肉質植物，別稱火龍果、仙蜜果，莖節各處均會生長不定根，植株最高可達數十公尺，依所攀附物而定。授粉成功的花朵，果房在第六天明顯膨大，至 25 天，果實開始變紅，果實由綠色轉變到紅色後第六天，果皮有光澤出現時，即可採收，約 30~40 天就能採收。經由農業專家的倡導，仙人掌可望成為本世紀人類最重要的食物來源之一。台灣之紅龍果品種極多，大致區分為早期引進之本地種、近年引進之越南種、紅肉種及私人育成之紅肉與白肉品種，紅龍果適應性廣，喜溫暖潮溼氣候，土壤選擇不嚴。

(六).馬鈴薯(*Solanum tuberosum L.*)

馬鈴薯是茄科茄屬的一年生草本植物，也是世界上最重要的高產作物。適應性廣，生產遍及各地及不同氣候區。在正常條件下，其單位面積和單位時間內的平均乾物質產量及蛋白質含量，高於其他任何作物。特別可貴的是它營養豐富，可糧、菜兼用，所含蛋白質優於大豆蛋白質，媲美牛奶。一個 100 公克煮熟的薯球，可供成人一天所需的半量維生素 C。此外，它還提供礦物質、維生素 B1、B2 及菸鹼酸，所含熱量卻遠低於同量的白米飯。除供食用外，馬鈴薯亦可作釀造原料，蒸餾成酒，製成澱粉，也可加工成染料，甚至轉變成汽車燃料。

西元 1650 年荷蘭據台時期，台灣已有馬鈴薯，但專業栽培卻遲至民國 3 年開始，到民國 17 年才有正式統計數字。2017 年全臺栽培面積在 2,441 公頃，總產量約 5.5 萬噸，集中在台中市、雲林縣、嘉義縣。馬鈴薯在台灣主要作為蔬菜及休閒食品用。

(七).芋(*Colocasia esculenta Schott. L.*)

芋原產印度，是熱帶地區重要的糧食之一。芋不僅美味且營養豐富，球莖含大量澱粉、礦物質及維生素，經常被利用製作成各種型態的食品。國人多將芋作為日常蔬菜，並供作切片烘焙、油炸、製粉、麵包、糕餅、冰淇淋、芋仔冰等加工食品原料。另外，葉柄亦含有多量的鈣、磷、鐵、維生素 A 及 C 等，可作為蔬菜之用，也可醃漬加工後食用，風味甚佳。國內芋主要產地分布在台中縣、苗栗縣、屏東縣、高雄縣、花蓮縣及台

東縣，2017 年全臺栽培面積在 2,723 公頃，總產量約 4.4 萬噸。

三、標的作物栽培方式

本計畫今年度的短期旱作物以蔬菜類為主軸，以下以小白菜 (*Brassica rapa chinensis*)、萵苣 (*Lactuca sativa*) 代表葉菜類蔬菜進行栽培說明。

1. 小白菜 (*Brassica rapa chinensis*)

生長期特短，從播種到收穫僅需 25~30 天，整地時需預施腐熟堆肥，排水需良好，全年均可播種。

(1). 氣候與土壤：小白菜屬種子春化型作物，種子浸水萌動後或苗期對低溫即能感應，當累積到一定量即抽苔。小株抽苔失去商品價值，夏季高溫期主要栽培本地耐熱的黃金白菜、鳳山白菜或交合白菜。適宜的土壤 pH 值為 5.5~7.5，pH 低於 6.0 需要施用石灰或苦土石灰等鹼性物質調整。主要葉菜生產地土壤質地為砂質壤土或粉質壤土。

(2). 栽培管理：小白菜全年皆可栽培，但夏季與冬季低溫期品種有所差異。夏季溫度高、光照強，播種後約 23~28 天可採收。夏季葉菜類中，生長速度僅次於空心菜與萵菜。小白菜為淺根蔬菜，不耐乾旱，但亦怕太濕造成軟腐病，所以下雨後要儘速排水。為節省畦溝空間，雲林及屏東地區以平畦栽培為主，畦面寬約 2.2~2.8 m。平畦較一般畦面有利於水分的經濟利用，採用淹灌方式時較高之地區往往發芽最少，甚至不發芽，所以全區的平整為成功栽培的重要關鍵。桃園地區之小白菜，盛行於塑膠布溫室栽培。

若為酸性土壤，宜用石灰粉、消石灰、煉爐渣，或 S-H 土壤添加劑中和土壤酸性，一般而言，每提高 0.3 單位 pH 值，每公頃需要 3 噸苦土石灰。播種的方式為撒播，或用收拉式播種機播種。種子用量為每平方公尺約 0.75 g。播種後 10 天，約兩片本葉時期，進行疏苗。將弱株、病株、晚發芽株除去。考慮栽植密度，株距約 10~15 cm。

(3). 病蟲害防治：小白菜的蟲害控制成功與否為其成敗關鍵，主要蟲害為小菜蛾、紋白蝶、擬尺蠖、菜心螟、黃條葉蚤、雜食性的斜紋夜盜蟲及蚜蟲；主要病害則有露菌病、立枯病、軟腐病、炭疽病與黑斑病。

- (4).採收：在採收前 2~3 天，為提高重量，增加脆度與口感，會灌水較多。採收時將下面黃化葉與病葉摘除，以帶全部根部採收為主。因水分含量高，所以採收後避免太陽直射。

2. 萵苣(*Lactuca sativa*)

葉萵苣直播小株密植栽培時，種後 35~45 天，即可開始採收；如移植大株疏植栽培時，定植後 25~35 天至莖部伸長，抽苔前適於採收。

- (1).氣候與土壤：一般而言，萵苣喜冷涼乾燥氣候，嫌忌高溫多濕，尤其結球萵苣對於高溫多濕最為敏感。種子發芽適溫為 15~20 °C，在 15~25°C 範圍內仍可獲得實用之發芽率，25 °C 以上高溫會使發芽率急遽低落。生育適溫葉萵苣為 18~25 °C；結球萵苣最適結球溫度為 18~22 °C，28 °C 時結球差，在平地栽培以秋、冬兩季栽培為宜。而高冷地如適當利用不同海拔之溫度差異，春、夏兩季可栽培，甚至一年四季皆有結球萵苣栽培之適溫。一般萵苣在日照充足之處生長強健，如溫度 30 °C 以上，會促進抽苔開花。土壤以富含有機質，土質較深，保水力良好的砂質壤土至黏質壤土為佳。萵苣對於土壤酸鹼度的反應相當敏感，適宜的 pH 值在 5.8~6.5 之間。

- (2).栽培管理：除本地種葉萵苣通常以種子直播生產外，其他結球萵苣及嫩莖萵苣等皆採用育苗後再定植到田間。目前育苗方式皆採用穴盤育苗，提高定植成活率。直播栽培以旱地為多，栽培土壤以沖積砂質壤土，肥沃而鬆軟為佳。結球萵苣及嫩莖萵苣育苗定植法以水田地為佳。萵苣栽植密度依不同品種而異。不結球葉萵苣採用撒播直播方式，半結球萵苣採移植方式，結球萵苣採移植方式，嫩莖萵苣採移植方式。

除了本地種葉萵苣外，其他種大都以生食為主，故須注重清潔栽培，尤其堆肥須腐熟，水源亦須清潔。堆肥等有機質肥料，不但能促進土壤通氣性，而且也使土壤通水性良好。萵苣根群屬淺根性，不耐乾旱，生長發育土壤水分不足時，生育顯著受阻，且葉質易老化。生育期應適度灌水或噴灌，保持畦面濕潤，以利植株生長。如土壤太濕容易引起菌核病，而使根部腐爛。土壤水分如果長時間變化太大，容易引起嫩莖萵苣莖部縱裂，且易腐爛。

(3).病蟲害防治：萵苣病害少，尤其在生育初期很少病害發生，但至中期降雨量多，通氣不佳，容易起斑點及菌核病。萵苣蟲害有番茄夜蛾、甜菜夜蛾、夜盜蟲、薊馬及蚜蟲等。夜蛾類幼蟲及薊馬在生育初期宜提早防治，至生育後期改用低毒性之農藥輪流使用。

(4).採收：葉萵苣直播小株密植栽培時，種後 35~45 天，即可開始採收；如移植大株疏植栽培時，定植後 25~35 天至莖部伸長，抽苔前適於採收。通常採收以整枝連根拔取，去除枯黃老葉出售，紮成小把出售。結球萵苣定植後的 40~45 天，結球緊密度適中時即可採收，過晚品質不佳，且不耐貯運。

果樹的生命週期可達十數年以上，屬於長年作物，本計畫研究團隊茲調查桃園市常見之長年作物之屬性及其栽培介紹參照表 3-13 所示，受限於篇幅，茲以蕃茄及紅龍果為代表作物進行詳細說明。

表 3-13 長年旱作物栽培特性一覽

作物	概 述
葡萄	葡萄性喜夏季乾燥、通風良好且土壤中肥沃排水良好之地，主要分布於大安溪、大甲溪沿岸排水良好、土壤深厚、富含有機質及微生物之微酸至微鹼砂質壤土最適宜。
梨	梨屬於薔薇科梨亞科梨屬植物，對各種土壤都能適應，無論砂土、壤土或黏土皆可栽培，梨對土壤中的酸鹼適應範圍較廣，但以 pH5.5~6.5 為最佳。
柑橘	柑橘是臺灣最主要果樹產業，栽培面積 33,505 公頃，年產量 529,442 公噸。柑橘類原產於熱帶與亞熱帶地區，生長的溫度範圍為 12~36 °C，然最適之生長溫度為 24~34 °C。
桃	桃樹適宜栽培於通透性佳，排水良好土層深厚的砂質土壤，排水不良連續積水 2~3 天，根部甚至窒息而亡，桃樹性喜酸性土壤，pH 值以 4.9~5.2 為宜。
柿	柿屬於落葉性溫帶果樹，耐寒性較弱，休眠期較短，經濟栽培的氣候條件為年平均氣溫 11~15 °C，全年需有 215~240 天的日均溫在 10 °C 以上。
枇杷	枇杷為薔薇科枇杷屬的常綠喬木枇杷在年平均氣溫 15 °C 以上可生長，一般在夏末秋初，氣溫高、日長變短、較乾旱時，進行花芽分化，開花時需要冷涼氣候，相當耐寒。

資料來源：行政院農業委員會，2006。

3.蕃茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)

(1).氣候與土壤：番茄生育期的日夜溫差愈大，增產愈顯著，因夜溫愈低，花芽分化愈早。然而番茄的各不同生育階段對溫度要求也有所差異，如種子發芽適宜溫度為 28~30°C，低於 5 °C 或高於 40 °C 都不易發芽；

開花期的適宜溫度則是 15~30 °C，低於 15 °C 或高於 35 °C，花器發育遲緩或不良，開花不正常，易落花，結果數少；果實著色的溫度為 18~26 °C，若溫度高於 32 °C 時，果實生長及成熟較快，茄紅素的形成受阻礙，著色受影響。番茄為喜光植物，需要有 30,000~50,000lux 以上的強度方能正常生長。光強度足夠時，苗生長快而健壯，花芽分化早；光強度弱時(低於 30,000lux)，生育緩慢，發育不良，易落花及落果。番茄本身對光照時間長短雖不敏感，但每日至少需要 12 小時，方能促使花器正常發育。番茄對土壤的適應性很強，從砂質土到重黏土、砂礫土都可栽種。通常砂質土栽種時成熟較早，生育期較短；重黏土則較晚熟。最適宜的土壤是土層深厚、富含有機質及排水良好的砂質壤土，以 pH 值 5.6~6.7 之間為宜。

- (2).栽培管理：蕃茄各期作之種植適期如表 3-14 所示。育苗對幼苗生育健壯及產量高低有密切關係。因為番茄的花芽分化很早，大約在子葉展開後 14 天(約 2 本葉)時就開始，因此開花的早晚會直接影響到早期產量。通常育苗方式，視栽種面積大小、移植時操作的時效性及機動性來決定。可分為傳統式及現代化的育苗方式。

表 3-14 蕃茄各期作的播種、定植及採收時間

期作	播種期	定植期	採收時期
春作	2~3 月	3~4 月	5~7 月
夏作	4~7 月	5~8 月	6~11 月
晚夏作	7 月下旬~8 月	8 月下旬~9 月	10~12 月
秋冬作	9~11 月	10~12 月	12 月~翌年 4 月

番茄栽培後急需水分，於定植當天應立即澆水及灌水，使植株容易成活。以後視土壤的乾濕程度來調整灌水的時期，氣候乾燥不下雨時，每隔 2 星期或 10 天灌水一次。番茄生育期中最需要水分的時期是始花期到盛果期。結果後，應適量控制給水，不可過濕或過乾，以防治因水分失調，導致鈣吸收缺失而引發的果實頂腐病。當果實開始成熟時要酌量減少灌水，以免水分過多，而影響甜度及風味。

- (3).採收：番茄定植後，開花時間早晚與育苗方式、穴格大小有很大的關係。用 72 格穴盤，育苗期 25~30 天，移植後 10 天就開始開花； 128

格或 280 格穴盤由於格式較小，幼苗生育受阻，開花較遲。番茄花朵於開花後 30 天，果實不再長大，果皮變為綠白色稱為綠熟期。果實成熟所需日數，也受溫度高低影響。夏季溫度高，果實發育期短，成熟早，約開花後 25~30 天成熟；而秋冬作溫度較低，發育期長、成熟晚，約需 45~50 天。

番茄果實成熟的過程可分為 8 期，(1).未熟期、(2).綠熟期、(3).變色期、(4).轉色期、(5).粉紅期、(6).淡紅期、(7).紅熟期、(8).過熟期。內銷生食大果用，果實在變色期到轉色期採收；加工番茄必須完全成熟期採收；小果番茄一般都在淡紅期採收。除此之外，一般市場要求小果常留果梗及萼片，故採收時自果梗離層處摘下；但加工用則必須去除果梗。

4.紅龍果(*Hylocereus spp.*)

- (1).氣候與土壤：紅龍果適應性廣，喜溫暖潮溼氣候，土壤選擇不嚴。
- (2).栽培管理：繁殖可用實生、扦插、嫁接等方法，扦插為常見之繁殖方法。扦插可用全節，或切至 15~20 cm，切開後陰乾約 5~7 天再種植，成活率較高。如以分節扦插者，基部削尖再扦插，生根較快。無論選取任何棚架，行距 3~5 m，株距 1.5~3 m。紅龍果雖耐日照、乾旱，但喜溫暖潮濕、土壤肥沃之環境。在栽培初期或可採少量遮陰，以利其生長。一旦進入結果期，則需有充足之日照，才能提高甜度。紅龍果之施肥時期為每年 4、8、12 月各施 1 次，每次以牛糞堆肥配合台肥 43 號複合肥料施用。一年生植株每株施用 4 Kg 堆肥加 80~100 g 台肥 43 號複合肥料，隨樹齡之增加，每年加倍施用。
- (3).病蟲害防治：紅龍果病蟲害少，但嫩梢易遭蟻蟲及蝸牛為害，致延緩生長，幼梢生育期應注意防治。雨季或初植時常見黃褐病斑，噴灑殺菌劑即可控制。果實套袋可防果實蠅為害，且可使果實保持美麗之鮮紅色。
- (4).採收：在開花後 30~34 天甜度持續增加，採收時應注意成熟度。若採花果兼採之栽培者，於開花後次日清晨摘花冠，但保留子房以下之組織及柱頭，不但花朵可供販售食用，果實仍可正常生長。

5. 稻作栽培

水稻生長過程中，不一定要全生育期均泡在水中，有時需水較多，有時對水的需求量不高，卻不可以斷水；有時需水較少，可抑制後期的無效分蘖。此種依據水稻生育階段對水份的不同需求而調整灌排水的方法，不僅可以節省用水量，又可提高養分的有效性及稻根的活性，而使生育健旺，具有增產及改善品質之效果。灌溉期距配合水稻生長周期，區分為成活期、分蘖始期、有效分蘖終期、最高分蘖期、停滯期、幼穗形成始期、幼穗形成終期、孕穗期、抽穗期、乳熟期、糊熟期及黃熟期階段，其中成活期，分蘖始期、有效分蘖始期與抽穗期為需水狀況較為重要之時程。稻米生產過程兼顧水稻生長習性與人類需求，每一步驟均有其科學化之依據，主要過程如下：

- (1).整地：進行粗耕、細耕與蓋平工作，鬆軟土面，便利水稻根系的生長。
- (2).育苗：目前均由水稻育苗中心採用育苗箱育苗，育成整齊強健的秧苗，促進成株的生長與發育。
- (3).插秧：將秧苗以插秧機適時、適量、南北走向淺植於田間，促使稻株生育旺盛及整齊。
- (4).雜草與福壽螺防除：插秧後應以藥劑進行雜草與福壽螺防除，有機栽培則可利用粗糠等方法進行防除，避免秧苗受害。
- (5).施肥：肥料的施用在促進稻株的生長，配合整地施用基肥在促進早期分蘖的產生，分蘖期施用追肥在確保有效分蘖以幫助稻株強健，幼穗形期施用穗肥有增加產量，促進米質的功用。
- (6).灌排水：水稻灌排水依據水稻不同生育階段對水分的需求而訂，如插秧後、幼穗形成期及抽穗開花期要深水灌溉，分蘖盛期要斷水晒田，如此不但可以節省用水量，亦可增加稻根活性生育健旺，具有增產及改善品質的效果。
- (7).病蟲害防治：台灣水稻常見的病蟲害有稻熱病、白葉枯病、紋枯病、褐飛蝨等，可以使用政府推薦之藥劑進行防治。
- (8).收穫：把握適當的收穫期，以收穫機收穫。

四、標的作物慣行灌溉方法

本計畫今年標的作物之篩選以蔬菜類為優選示範標的作物，另需評估長年作物(果樹等)、短期旱作物(如蔬菜、小番茄、瓜類等)及水稻等 3 大類作物別。以下簡要說明標的作物慣行灌溉方法。

(一).短期旱作物：短期作物的灌溉方式有多種，以短期葉菜類、小番茄為例分別說明。

1. 短期葉菜類：又稱小葉菜類，年供應台灣 27 萬噸以上蔬菜，因可全年生產，且平均約 20 ~45 天完成 1 作，成為台灣重要蔬菜供應產業。國內目前短期葉菜最主要作物可分為全年供應的不結球白菜(包含小白菜、青江白菜)、蕪菜(空心菜)、萵苣(包含 A 菜、大陸妹)、芥藍；暖季供應之莧菜及冬季之菠菜及茼蒿，尚有芹菜、油菜、萵菜等亦為重要葉菜，短期葉菜因同時具備高專業性及難運輸性，在國內主要集中於大規模專業栽培區(如雲林西螺、二崙)及近郊專業區(如桃園八德)，而不同地區栽培模式亦有所差異，北部桃園地區大多採連棟簡易溫室方式栽培。目前蔬菜栽培的灌溉方式，仍採用淹灌為多數，但近年基於減少地下水層下陷及省工操作需求，採用節水灌溉已是政府的輔導重點。設施葉菜栽培採用為噴灌方式種植，可穩定生產安全蔬菜，並能有效降低用水量、簡化灌溉設備安裝作業、降低作物生產成本，亦有助於解決全球面臨能源與水資源短缺、環境污染之困境(行政院農業委員會臺南區農業改良場 b，2016)。

有關短期葉菜類之栽培管理作業，以十字花科非結球葉菜(小白菜、青江白菜、芥藍、油菜、小芥菜、葉用蘿蔔、甘藍芽)、蕪菜、茼蒿、萵菜、莧菜代表說明。參考短期葉菜類良好農業規範(TGAP)，圖 3-1 列出短期葉菜類栽培管理作業曆(行政院農業委員會臺中區農業改良場，2018)，作業曆包含：生育初期、生育中期及採收期。

2. 小番茄：臺灣小番茄主要產季在每年 11 月至隔年 4 月，現今栽培方式仍以露天為主；管理以立支架栽培為主、匍匐式栽培為輔。設施可減緩環境對作物之衝擊、隔離病蟲害侵襲，雖然生產成本較高，但近年來越來越多農民採用塑膠布簡易設施或加強型設施生產小番茄。番茄需水量

大，但需依據生長情形灌溉給水，於定植至著果期間，灌水量以不使土壤極度乾燥為宜，使植株慢慢生長，根系得到充分的發育。植株著果後適當灌水以促進果實肥大，惟須注意水分不宜過多，以免造成裂果。常為提升果實糖度而過度限水，造成土壤水分低，養分吸收困難，導致果實產量低，此時若供應水分或空氣中濕度大，易造成乾濕變化大，增加裂果率。(行政院農業委員會臺南區農業改良場 a，2016)。

目前小番茄大部分設施內採用滴灌方式給水，甚至搭配養液管控給肥，省水、省肥又省力，且減少土傳性病害傳播及雜草發生，並可透過土壤水分張力計設置，瞭解土壤的乾旱狀況，灌溉量多寡則視作物種類及生育期而定，一般管理時可觀測張力計讀值作為灌溉參考(行政院農業委員會臺南區農業改良場，2016)。參考番茄良好農業規範，圖 3-2 列出番茄栽培管理作業曆，作業曆番茄主要栽培管理包括育苗期、生育初期、開花結果初期、結果及採收期等(行政院農業委員會臺中區農業改良場，2011)。

(二).長年作物：有多種灌溉方式，以果樹、茶樹等為例分別說明。

1. 果樹：一般果樹適合穿孔管灌溉、噴頭及微噴頭灌溉。位於山坡地的果樹普遍適用噴頭及微噴頭灌溉，通常一棵果樹配置 1 至 2 個噴頭或由噴頭噴灑半徑大小來配置以滿足作物需水量。有關果樹之栽培管理作業，以柑橘類代表說明，柑橘類雖多，早晚成熟期有別，但其生育條件、環境及栽培管理、病蟲害發生及防治、大致相同，有其共通性，可視為同一類果樹。參考柑橘類良好農業規範(TGAP)，圖 3-3 列出柑橘類栽培管理作業曆(行政院農業委員會、嘉義大學，2008)，作業曆中包含：1. 定植或嫁接、2. 本田管理(整枝與修剪、雜草管理、施行灌溉、施肥、病蟲害防治、施肥、調整管理作業時段等)、3. 採收。
2. 茶樹：台灣茶園灌溉自 1980 年代開始，由於政府農政單位節水管路灌溉的推廣，才真正起步，輔導施設穿孔管及噴灑灌溉，由於茶園多位於水源量較少的坡地或台地上，管路灌溉成為茶農唯一的選擇。部份地區冬春季均為降雨量少之乾燥季節，冬季有設施噴灌之茶園經施噴後，因獲得水分之灌溉，茶園提早一個月發新芽，故春茶茶葉之生產量較無灌

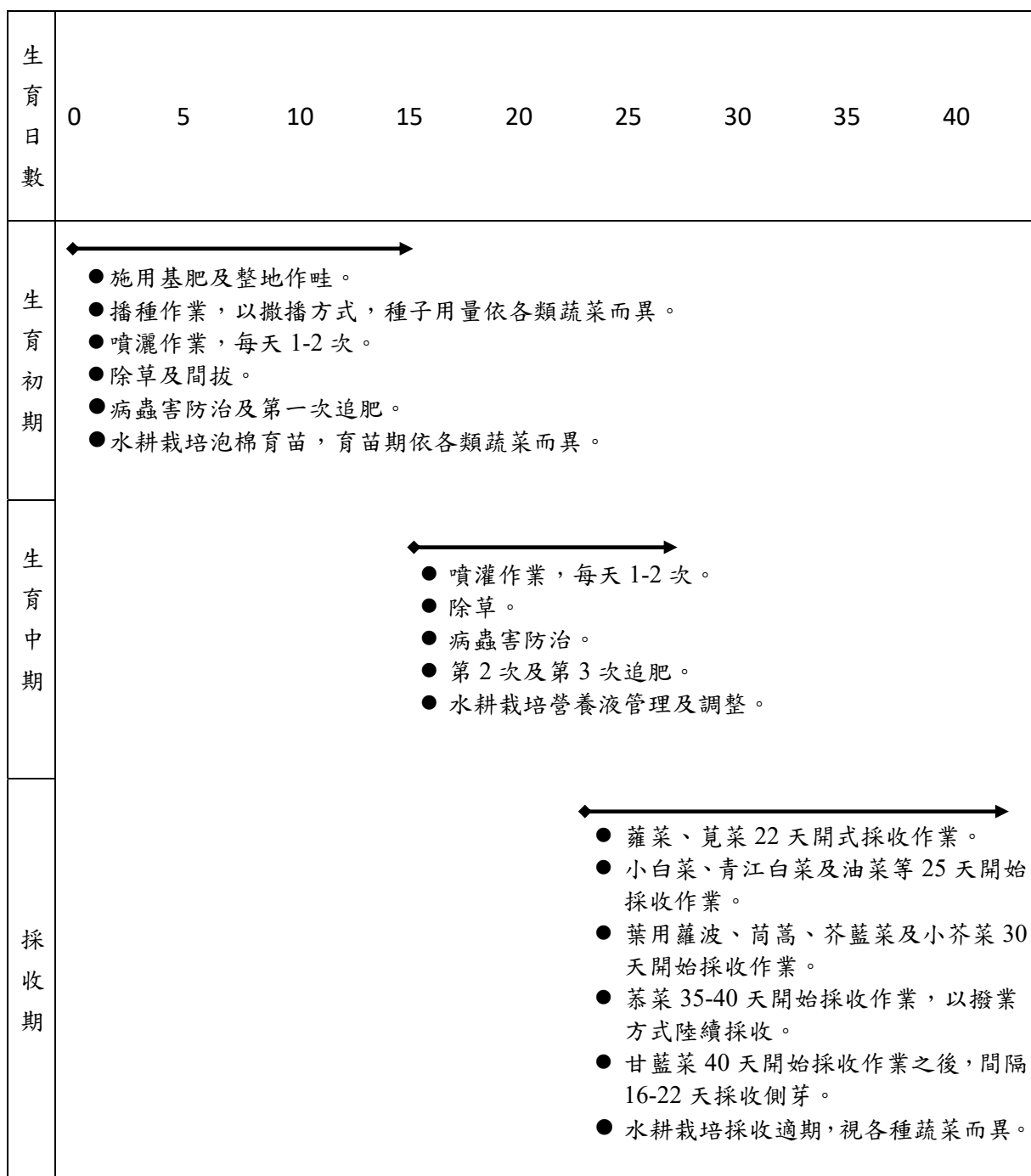
溉茶葉之生產量增產率達 30 %。參考茶葉良好農業規範，圖 3-4 列出茶葉栽培管理作業曆(行政院農業委員會茶業改良場，2007)，作業曆茶葉主要栽培管理包括：育苗定植、施肥、採摘、敷蓋、水土保持及綠美化、中耕、除草或刈草、種植綠肥作物、灌溉、剪枝、病蟲害防治等。

(三).稻作灌溉

臺灣水稻灌溉方式有續灌與輪灌之分。續灌採用越田之灌溉方法，用水漫無節制，為一種從古以來習用之稻作灌溉法，目前尚有部分水田採用此法；輪灌為輪流灌溉，為適時、適量、依序供水之科學管理灌溉法。臺灣自 1954 年推行輪灌後，各輪灌地區依試驗結果制定不同灌溉期距及水深，其用水量較續灌可節省 25 % 以上。水對水稻生長雖然非常重要，但非長期需要浸在水中，其所需要之水量依各生長期而異。

水稻在生長中必須在湛水狀態，但在生長過程中必須有部份生長期需略微乾旱，如分蘖期乾旱以減少不必要分蘖的產生，而隨後又需要較多水份。有效分蘖終期至幼穗形成初期，及孕穗期必須排水以使土壤通氣良好，因此在此兩階段湛水深考慮為零。水稻在不同生長期所需湛水深如圖 3-5。

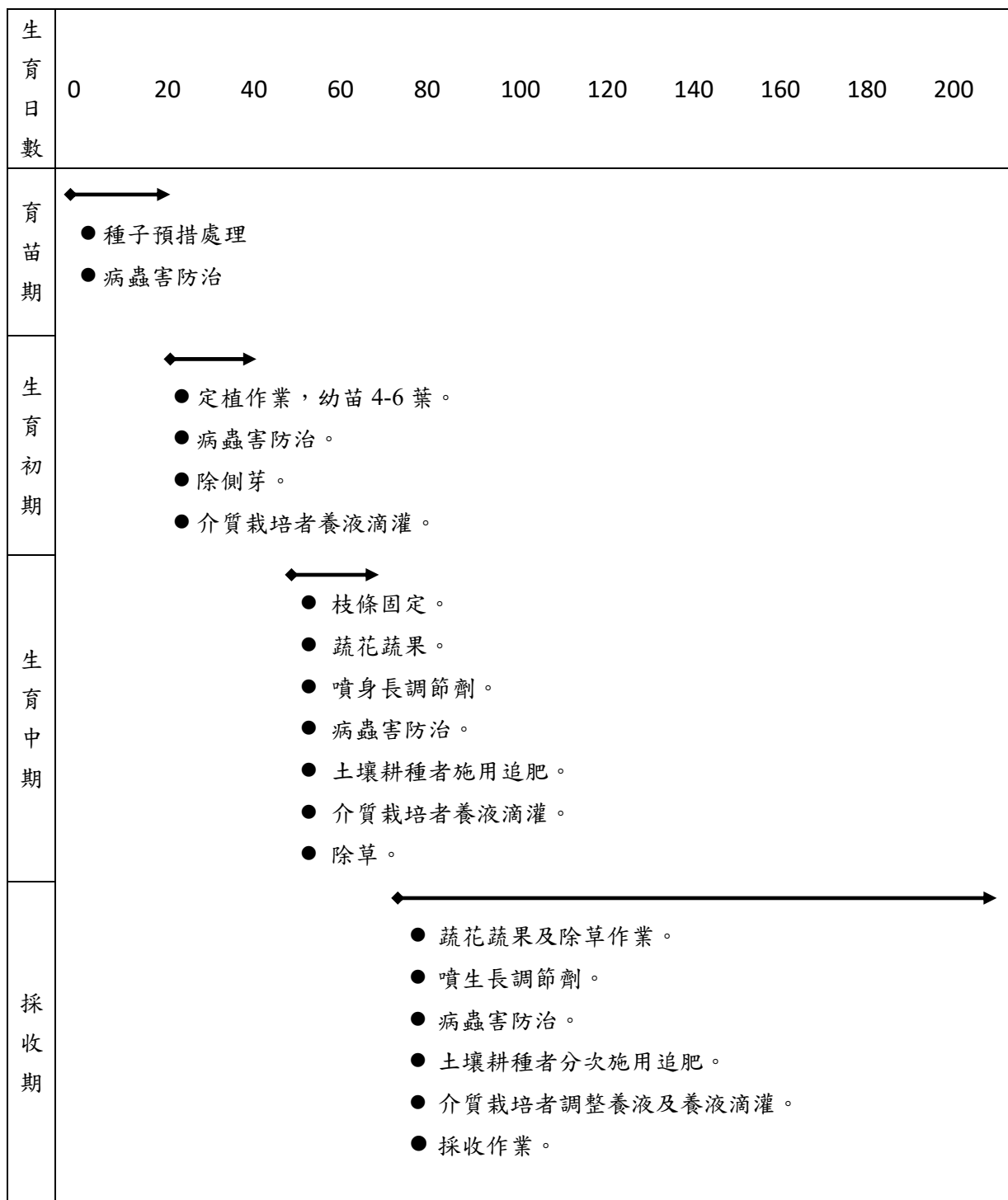
茲舉桃園農田水利會為例(表 3-15)，說明其第一期作水稻灌溉計畫制定流程。該灌區之作物制度為雙期作水稻，播種開始日為 2 月 1 日，亦為石門水庫供灌開始日，此時田間用水量不多，大部分蓄存於埤塘，待整田尖峰時再用。插秧開始日為 3 月 1 日，錯開日數 25 日，生長期 120 日，自 7 月 5 日開始收穫。



資料來源：行政院農業委員會臺中區農業改良場，2018。

註：十字花科非結球葉菜(小白菜、青江白菜、芥藍、油菜、小芥菜、葉用蘿蔔、甘藍芽)、蕹菜、茼蒿、蔞菜、莧菜

圖 3-1 短期葉菜類(十字花科非結球葉菜)栽培管理作業曆



資料來源：行政院農業委員會臺中區農業改良場，2011 年版。

圖 3-2 番茄栽培管理作業曆

月	旬							
一月	上	定植或嫁接	施肥	冬季整枝與修剪			採收	
	中							
	下							
二月	上							
	中							
	下							
三月	上							
	中							
	下							
四月	上					雜草管理		
	中							
	下							
五月	上							
	中							
	下							
六月	上		施肥			雜草管理		
	中							
	下							
七月	上					雜草管理		
	中							
	下			夏季整枝與修剪	蔬果			
八月	上							
	中							
	下							
九月	上					雜草管理	採收	
	中							
	下							
十月	上					雜草管理		
	中							
	下							
十一月	上							
	中							
	下							
十二月	上	定植或嫁接						
	中							
	下							

黃色：定植或嫁接期
藍色：施基肥、追肥
橘色：整枝與修剪
紫色：蔬果
灰色：雜草管理
褐色：採收

一、定植與嫁接
1. 嫁接無病毒接穗或定植無特定病毒苗
2. 嫁接時期為 12 至 2 月。
3. 定植行株距為小型樹品種 3mx4m，中型樹品種為 4mx6m，大型樹柚類為 6mx7m 或 6mx8m，品種依地形而異。

二、本田管理
1. 整枝與修剪：時期一冬季採收後到開花前
(1) 冬季整枝修剪以維持樹型為主，同時修剪病、枯枝、交錯枝、逆生枝、機械傷害枝、徒長枝。
(2) 夏季修剪徒長枝、病、枯枝。
(3) 已罹患黃龍病之植株及早拔除燒毀。
2. 雜草管理
(1) 進行果園草生及管理。
(2) 定期刈割及覆蓋。
3. 施行灌溉、施肥、病蟲害防治。
4. 施肥：基肥在冬季低溫乾燥期施用以改善土壤，追肥為開花、生理落果後(開花後一個半月)後，果實快速生長期分 1-2 次施用，早、中熟種以 6 月左右，晚熟種可在 8 月再輕施一次。
5. 一年多收者宜依物候期調整管理作業時段。

三、採收
1. 成熟度依品種、早、中、晚熟種及樹勢及市場需求分批採收，小心採收，避免受傷。
2. 採收後出貨徹底進行分級工作。

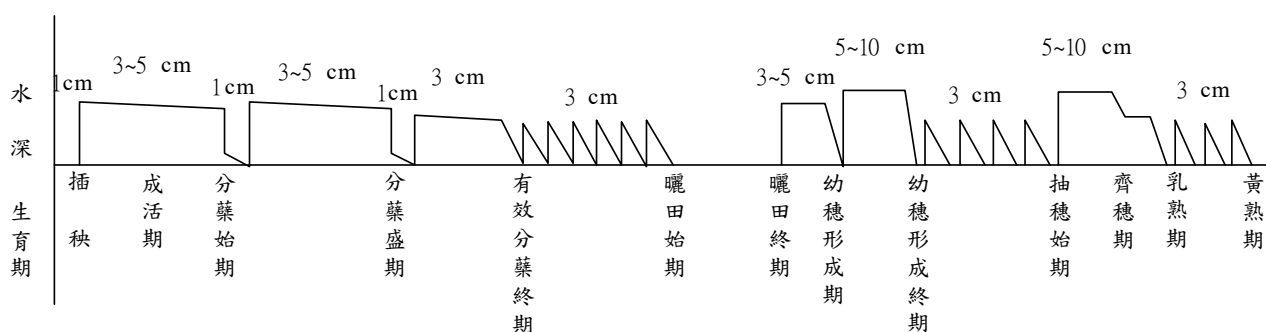
資料來源：行政院農業委員會、嘉義大學，2008。

圖 3-3 柑橘類栽培管理作業曆

表 3-15 桃園大圳灌區之農作時期一覽

農作別	第一期作		第二期作	
	日期	錯開日數	日期	錯開日數
播種	2月1日 ~ 2月25日	25	7月9日 ~ 7月28日	20
浸田	2月26日 ~ 3月22日	25	7月12日 ~ 7月31日	20
整田	2月28日 ~ 3月24日	25	7月23日 ~ 8月11日	20
插秧	3月1日 ~ 3月25日	25	7月24日 ~ 8月12日	20
本田期間	3月1日 ~ 7月23日	25	7月24日 ~ 11月30日	20
收穫	7月5日 ~ 7月29日	25	11月21日 ~ 12月10日	20
本田灌溉日數	120天(含錯開日數144天)		110天(含錯開日數129天)	

資料來源：台灣桃園農田水利會，2017。



資料來源：行政院農業委員會等(1994)。

圖 3-5 一般水田水份管理配合圖

第四章 智慧節水管理系統之先期規劃

由農業生產過程導入智慧化管理，達成節水且同時兼顧農業生產本質的目標是為本計畫重點所在。因此，本(108)年度計畫需施設示範場域包含試驗組與對照組各一組，針對兩種不同蔬菜類作物分別進行一次試驗、監測及分析；透過實地試驗，測試智慧環境監測與控制系統之適用性，再配合作物栽培管理分析平台，研發一套完整的前瞻智慧節水管理系統，期能達成精進農業節水管理技術、提高作物產量及提升作物品質之目的。針對智慧節水管理系統之先期規劃，包含作物環境感測器整合、作物環境控制系統整合及作物栽培智慧管理平台發展等項目，以下分述之。

4-1 作物環境感測器整合

針對今年度短期標的作物(蔬菜)栽培過程之特性，提出環境監測系統所需包含之主要感測元件項目，包含溫度、濕度、大氣壓力、雨量計、日照計(日輻射計)、土壤水分張力計、風速計、流量設備(水位計)等，以物聯網概念、節省成本且傳輸穩定為目標，將前述感測器系統整合。茲將環境監測系統所包含之主要感測元件項目說明如下(元件實體如圖4-1)，包含 1.溫度感測器、2.濕度感測器、3.風速風向計、4.NMC PRO 灌溉控制器、5.日輻射計、6.大氣壓力計、7.傾斗式雨量計、8.土壤水份計、9.沉水水壓式水位計、10.1.8 米可伸縮式氣象用三腳架 1 組、11.自動資料蒐集記錄系統、12.網路傳輸裝置(4G)，共 12 項，以下為各項元件之簡要說明。

- 一、**溫度感測器**：溫度感測器量測範圍為-25~100°C，誤差範圍為±3%。輸入電壓為 1~40 VDC，輸出電流 1 μ A/°K，紅色接線輸出 3k Ω 、黑色接線為共接線，隔離線則為安全接地。溫度感測器主要用來量測氣溫。在溫室中，當氣溫過高，必須啟動風扇降溫，當溫度低時，則必須採取相應措施避免寒害。
- 二、**濕度感測器**：濕度感測器量測範圍為 0~100%，誤差範圍為±2%(10~90%)、

±3.5%(90~100%)。輸入電壓為 8~14 VDC，輸出電壓 0~3 VDC，運作溫度為-10~70°C，紅色接線輸出 12VDC、黑色接線為共接線，白色接線為 0~3V 輸出，隔離線則為安全接地。濕度感測器用來監測環境濕度，當相對濕度低，植物葉面的蒸散量大，植物體內水份少，生長效率差；相對濕度高，植物的蒸散量小，植物體內水份若過多，將導致莖葉增大，或者增加病蟲害，亦可能影響產量，因此必須依據空氣的相對濕度及不同作物與生長階段進行供水調節。

三、風速風向計：風速感測器類型為風杯、磁開關，風向感測器類型為風向標、電位器，風速量測範圍 4~280 km/hr，風向量測範圍 0~360°，風速量測精準度±5%、風向量測精準度±7%，黑色接線為風速輸入、綠色接線為風向輸入、黃色接線為 5VDC、紅色接線為共接點。風力較強地點容易使作物受損，可適當調節防護，降低農損風險。

四、NMC PRO 灌溉控制器：軟體規格可輸入灌溉程式最多 15 組，灌溉觸發以日輻射累積值、時間及外部條件，輸入電壓為 220VAC，雙電源 CPU 為 230VAC 或 12VDC，輸出為 16 組 24VAC 繼電器(最多 64 組)，數位輸入為 8 組(最多 16 組)，類比輸入為 11 組(最多 22 組)，可連接最多 50 組控制器網路，另可連接 PC 選項使用。

五、日輻射計：為矽晶片光電二極體(silicon photodiode)，依太陽光照射之強弱使感光元件具有相對之線性信號輸出，量測範圍為 0~3000 W/m²，精確度為±4%，解析度≤1W/m²，操作環境為-25~85°C，具耐候及防水功能。本感測器用來監測環境中光的品質。作物對光的需求可分三方面來考量：光強度(Intensity)、光質(Quality，係指不同光譜範圍的光)與光照時間(Duration)。光強度影響光合作用，若逐漸增加，光合速率及二氧化碳消耗量會隨之增加，當光強度繼續增加至某一程度，光合速率不再隨之增加時，該光強度值稱最適光強度(optimum light intensity)，作物之最適光強度依種類有所不同。光質亦會影響作物生育，如紫外線可抑制徒長，但亦為花色果色形成所必需。可見光影響發芽、花芽分化，且是光合作用之有效光。

- 六、大氣壓力計：固態式絕對壓力感測式，量測範圍為 630~1130 mBar(hPa)，精確度為 $\pm 0.125\%$ ，解析度 $\leq 1\text{mBar(hPa)}$ ，操作環境為 $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ ，具耐候及防水功能。氣壓驟降可能為天氣劇烈變化之前兆，可作為環境監測的參考因數之一。
- 七、傾斗式雨量計：傾斗杯磁簧開關感測式，量測範圍為 0.0~999.8 mm(日雨量)，精確度為 $\pm 4\%$ 或 0.2 mm(50 mm/hr 以下時)，精確度為 $\pm 5\%$ 或 0.2 mm(50~100 mm/hr 時)，解析度為 0.2 mm，操作環境為 $-40\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，但 0°C 以下時則因結冰之故無法量測，具耐候及防水功能。雨量多寡會直接影響作物的生長。不同作物在不同生育期對水分需求各有不同，例如水稻幼苗期及開花期需水甚多，若在整個生育期雨量較少時，則須行灌溉補充水分。
- 八、土壤水份計：電容/頻率感測式，量測範圍為 0 至飽和，精確度為 $\pm 3\%$ (電導度 8 dS/m 以下時)，解析度 $\leq 0.25\%$ ，操作環境為 $-40\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，具耐候及防水功能。土壤水份計用於偵測土壤含水量，作為是否啟動灌溉之重要依據。本年度僅先研究安裝密度及深度，作為未來裝設之參考。
- 九、沉水水壓式水位計：具高精確性及可重複利用之壓力感測式元件，可應用於水井監測、地下水監測、水位控制...等多功能水壓式水位計，量測範圍為 0.76~213 m- H_2O ，精確度為 $\pm 0.25\%$ ，操作環境為 $-20\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，輸出電流 4~20 mA，輸入電壓 9~28VDC，具耐候及防水功能。水壓計主要用來量測量水堰之水深，作為計算流量之輔助工具。
- 十、1.8 米可伸縮式氣象用三腳架 1 組：高度可調，三腳可縮收或張開(固定棒 3 支)。
- 十一、自動資料蒐集記錄系統 (1 組)
- (一).資料記錄器主機：類比輸入為 20 組單端(1-16 組單端可規劃為 8 組差動)，可外接多組，通道擴充模組通道總數可達 200 組以上，4 段式解析度範圍為 $\pm 2\text{mV}$ 、 $\pm 20\text{mV}$ 、 $\pm 200\text{mV}$ 、 $\pm 2000\text{mV}$ ，解析度最小可達 0.25uV(差動量測)或 0.5uV(單端量測)，4 組慢速/快速接點信號/低位準 AC 信號均可配接，6 組數位控制輸出，觸發電壓輸出為 0-3.8VDC，可程式化設定範圍，資料輸出時間間隔可從 1 分鐘至 20 小時或以上之範圍設定，

時鐘精準度為±1 分鐘/月，工作電壓為 8-15VDC，系統耗電約 2 mA(靜態時耗電)。

(二).AC/DC 兩用電源模組：內含避雷管及突波吸收器及 7 安培小時 12VDC 可充電式電池，無電源處可外接太陽能板。

(三).附通信傳輸介面：通信介面可外接長距離數據傳送器或撥接式或 GSM 數據機或 3G/4G 網路傳輸模組或其它有線無線傳輸裝置。

(四).戶外型儀器防潮箱：箱體為聚碳酸脂(PC)材質 IP 67/NEMA4X 等級，箱體含纜線固定頭，箱體可以 U 型環固定於腳架或塔上，附側扣及鎖。

十二、網路傳輸裝置(4G) (1 組)：需搭配 3G 或 4G 通信頻段使用，具通信傳輸介面:包含 RS232、USB 及 LAN(RJ45、IEEE802.3u、1000Base-T Fast Ethernet)等，通信傳輸埠可與自動資料蒐集記錄系統搭配使用，體積需小，需可置於自動資料蒐集記錄系統的儀器箱內，內含 64 GByte 儲存容量，工作電源為 100~240VAC，操作溫度:-20°C至+60°C，資料可上傳雲端儲存，使用者可經由行動裝置(如手機、筆電等)共享資料，從遠端隨時查看及取得資料。

本計畫環境監測系統包含上述主要感測元件項目之平均耗電量分別為：

1. 日輻射計不耗電(無需電源)；
2. 大氣壓力計耗電約為 5mA；
3. 土壤水份感應器每支平均耗電約為 3.5mA，12 支總耗電量為 42mA；
4. 雨量計不耗電(無需電源)；
5. 壓力式水位計每支平均耗電約為 20mA，2 支總耗電量為 40mA；
6. 資料蒐集記錄系統平均耗電約為 35mA。

以上總計耗電總量約為 122mA，即 0.122A (以 0.125A 概估)，日耗電量(24 小時)約為 3A，電力設備需可確保備援電力設計可以在無其他供應電源下連續 5 日不中斷供電，本計畫安裝之電源設備為 21AH，因此在斷電後約可支撐 7 日。另為利設備後續運行維護之便利性，本系統維護所需人力約為 1~2 人。



A. 溫度感測器



B. 濕度感測器



C. 風速風向計



D. NMC PRO 灌溉控制器



E. 日輻射計



F. 大氣壓力計



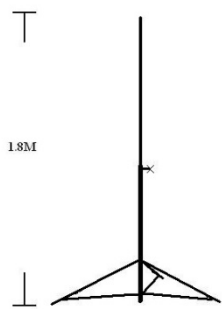
G. 傾斗式雨量計



H. 土壤水分計



I. 水位計



J. 1.8 米氣象用三腳架



K. 自動資料蒐集記錄系統



L. 網路傳輸裝置(4G)

圖 4-1 環境監測系統主要感測元件一覽

滴灌系統採用以色列 Netafim 出產之 UNIRAM CNL16010 -1.6 LPH @ 0.2m. 系統，配置圖如圖 4-2、4-3 所示。本計畫於 108 年 6 月 3 日提交感測器規劃說明書 1 份(心字第 1080001945 號函)，內容包含 7 項重點：設計基礎原理與架構、整合感測元件、資料擷取儲存模組、無線通訊模組、電力設備與耗電、觀測之物理量諸元性能、維護需求等。108 年 6 月 11 日經桃園市政府水務局同意依感測器規劃說明書執行現地設置(桃水綜字第 1080038117 號函)。

本年度 7 月 15 日至 18 日已於試驗田區完成灌溉系統設備規劃、設計與安裝，於 7 月 18、19 日完成田間土壤感測元件及氣象設備佈置，安裝情形如圖 4-4、4-5 所示。同時於 7 月 18、19 日完成作物栽培智慧管理平台及資料庫規劃，並確認資料記錄與傳輸正常，氣象環境監控資料及作物灌溉控制系統等資料皆即時記錄且定時上傳。

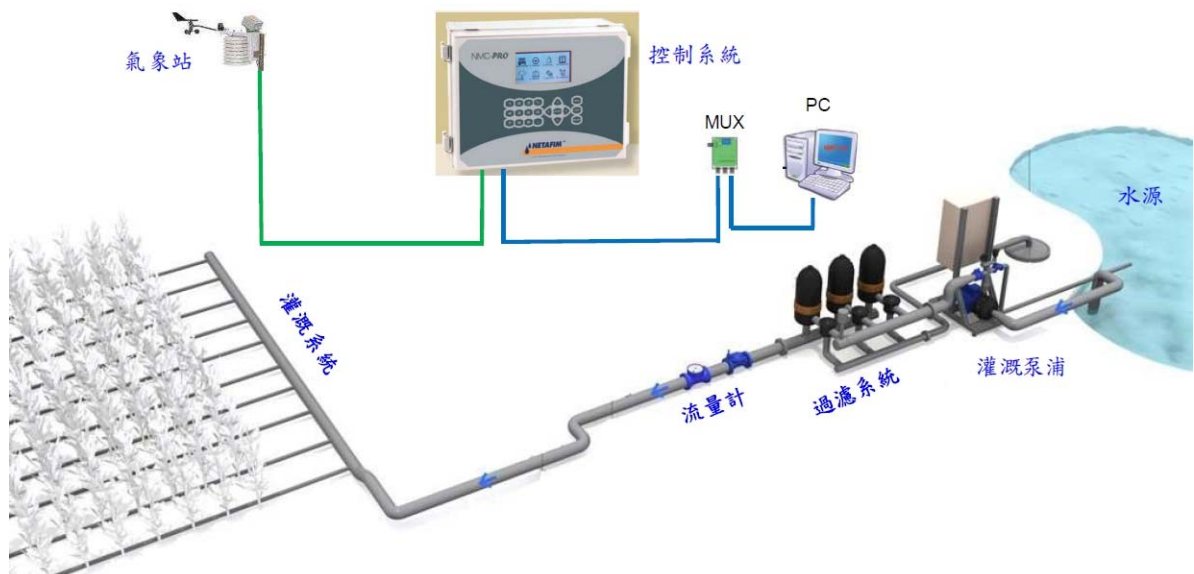


圖 4-2 Netafim 滴灌系統灌溉配置圖

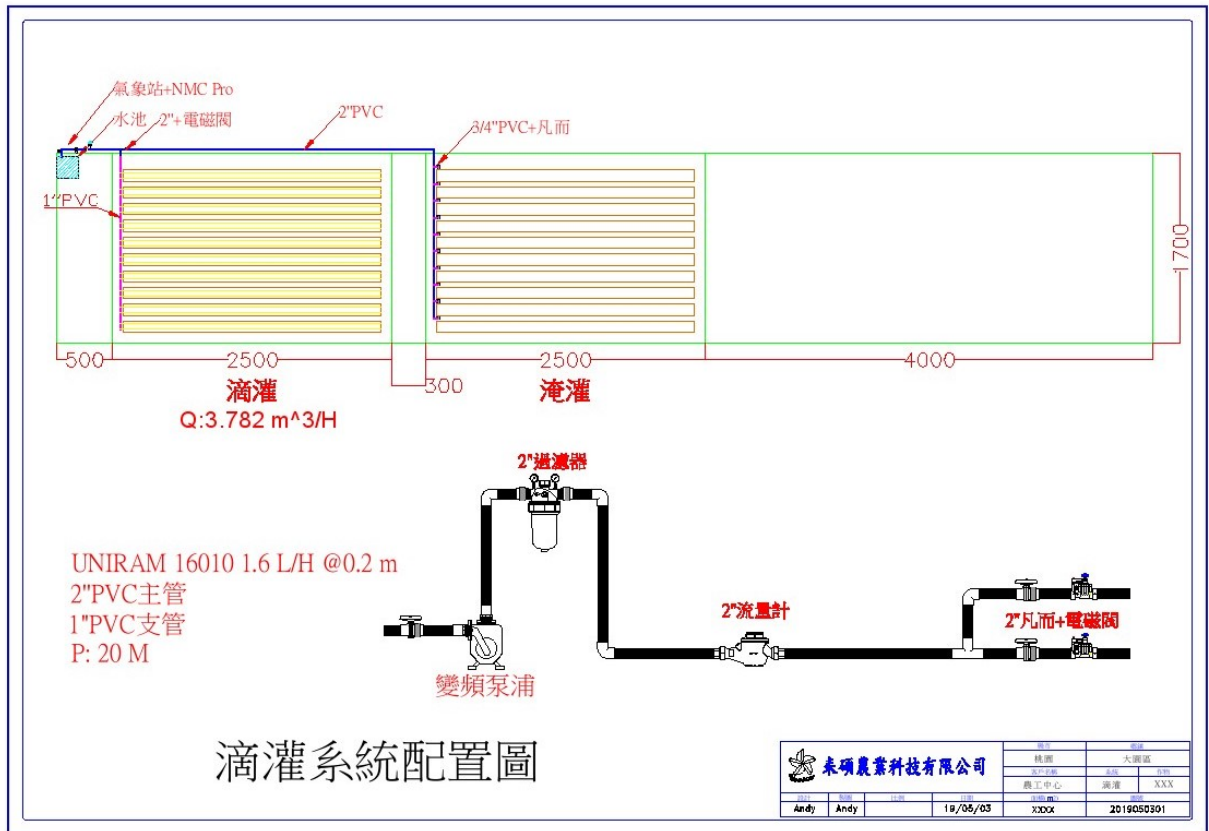


圖 4-3 滴灌系統配置圖



圖 4-4 氣象設備安裝情形



圖 4-5 灌溉系統安裝情形

4-2 作物環境控制系統整合

自動控制使管路灌溉可精密分水，準確供水，自動施藥，監視土壤含水分；代替人力做全天候之執行功用，以降低成本，提高收益。灌溉自動控制，從簡單手動操作至高度自動控制之設施，有多種方式，其功能有簡單分水之開啟關閉操作、水壓開關、噴藥噴肥自動混入操控等，在設置自動控制，須依自然條件及農業經營方式充分檢討，分析比較投資經濟效益，作適切之配置，一般均由控制設備及控制程式所組成，利用相關設備及控制指令完成控制系統，提供作物最佳生長環境。作物控制系統具備之優點包括節省勞力；減小設備容量，提高效率；提高水之利用效益；充分發揮水-土壤-作物之關係；配合農業機械化；提高作物產量。

自動控制基本原理，乃針對各項操作條件分別檢討，應用資料處理，將各項操作轉化為一般性操作，使合乎以點為控制對象，充分利用輪替方式。即自動控制原理須包括下列三項：

- 一、自動檢測：檢測管路壓力、流量、抽水機動力源及作物生理指標。
- 二、自動操作：抽水機及控制閥之啟動開關、輪灌之執行等。
- 三、自動調節：根據自動檢測結果，依實際需要，自動調節控制閥之開度及抽水機之轉速，以符合必要之條件。

4-3 作物栽培智慧管理平台發展

本計畫擬開發一個管理平台供管理者及用戶(農民)共同使用，因此完整的架構包括一個供農民使用的介面(以下稱為前臺)和一個供系統管理員查詢及管理的介面(以下稱為後臺)。整個系統架構功能包含以下規劃：

1. 供農民監看耕地環境及作物生長狀況。(前臺)
2. 供農民遙控灌溉、排水、照明等設備之功能。(前臺)
3. 作為未來平台管理人員管理會員(農民)相關事宜之介面。(後臺)
4. 未來相關單位分析農業供水、生長、產量等數據之供應來源。(後臺)

因計畫擬分年完成，本年度為前導計畫，耕地僅有實驗田，故目前完成前臺監看耕地環境及作物生長狀況功能之開發，其餘部分將於後續計畫進行。本年度系統建置功能主要為環境監控、作物生長紀錄、用水分析、耕地地理資訊儲存、用戶耕地管理等。因應用戶及管理者需求提供展示、查詢、管理之視覺化管理功能，同時為便於後續推廣使用，已同時開發視窗版及手機版等兩種介面，其中手機版採用響應式(RWD: Responsive Web Design)網頁技術進行開發，網頁亦提供給「桃園市水情資訊網」介接。建置軟體時也符合水利署「水資源物聯網安全要求建議書」等規定辦理。

本年度計畫之平台主要功能有四項：

- 一、擔任背景服務伺服器：接收佈設於田間之感測器所傳遞來之監測值，包括：
 - (一).環境監測，如溫度、濕度、大氣壓力、雨量計、日照計(日輻射計)、土壤水分張力計、流量計等。

(二).控制器狀態監測，如電池電壓、太陽能板電壓、電量計算等。

二、擔任資料庫功能：除接收感測器所傳遞來之監測值，同時也提供管理員跟使用者登打及查詢耕地相關資訊，例如：

(一).耕地資訊，如種植面積、產量、產值、土壤、地形等。

(二).用水方式，如灌溉方式(漫灌、溝灌、噴灌或滴灌)、地面水(水庫、農塘)、回收水(或再生水)、地下水、分布位置、潛在可用水量、水源、給水量、給水頻率等。

(三).作物資訊，如作物種類、水分生理特性、需水期程等。

三、分析灌區內各項資訊：依據接收及登打之資料，分析灌區內農作物特性，如栽種期、農地收益、區域分布、灌溉管理方式彙整、耕作方式統計、人力勞動時數、空間、時間與生長過程等。

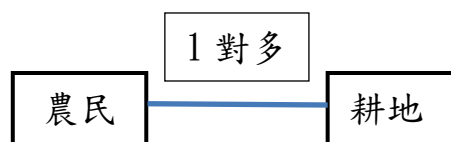
四、資料查詢及作物環境監控：建置作業網頁，供管理員及使用者登打、彙整及分析所有資料；另外建置一個作物環境監控 RWD 網頁，供使用者查詢及管理該用戶所擁有之耕地及作物資訊。

以下則分項就系統架構分析、系統資料庫規劃、雛型展示介面說明等進行說明。

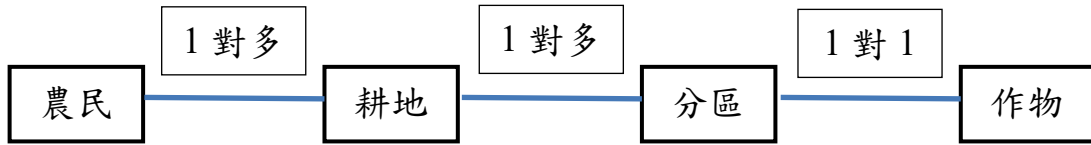
一、系統架構分析

本系統主要使用對象為農民以及系統管理員，因計畫擬分年完成，本年度為前導計畫，故目前完成前臺開發，農民可監看其管理耕地之環境變化、作物生長情形，依農民實際作業情形，共有以下特點：

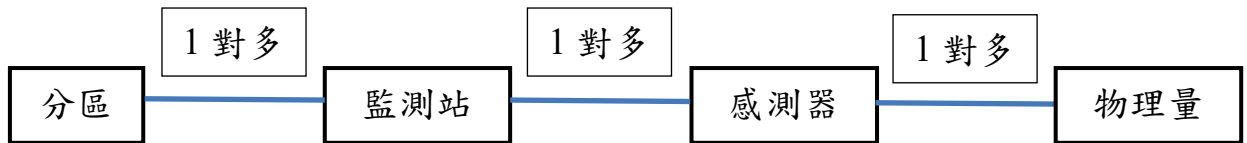
1. 一位農民(或其親屬及合夥人)可能同時管理數個農地，此處農地包含：耕地(如水稻田)、溫室、果園等。



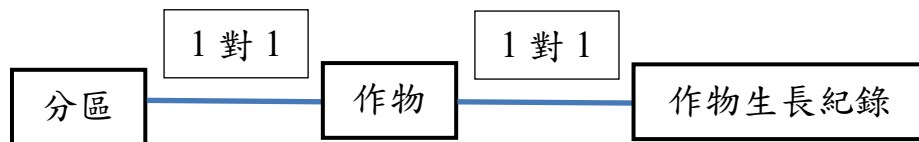
2. 一塊耕地可能因同時種植不同作物而分為不同分區，因此一塊耕地可分為數個分區，而一個分區只能種植一種作物。



3. 一塊分區可能視需要裝設數個監測站，監測站包括如氣象站、灌溉系統、施肥系統等。每一個監測站可能同時具備數個感測器，例如一個氣象站可由溫度計、濕度計、風力計、風向計所構成。每一個感測器量測一個或數個物理量，例如溫度計量測溫度，溼度計量測濕度，但某些感測器可以同時量測數個物理量，例如 DHT22 感測器可同時量測溫、濕度。因此一個感測器可能同時量測數個物理量。



4. 耕地分區是因應一塊耕地可能同時種植不同作物，例如於本年度試驗田區分二期種植小白菜和萵苣而區分。所以分區的生命週期與種植作物相同。同一耕地的分區可能每年不同。



綜合以上，整個系統的架構樹狀圖如圖 4-6 所示。

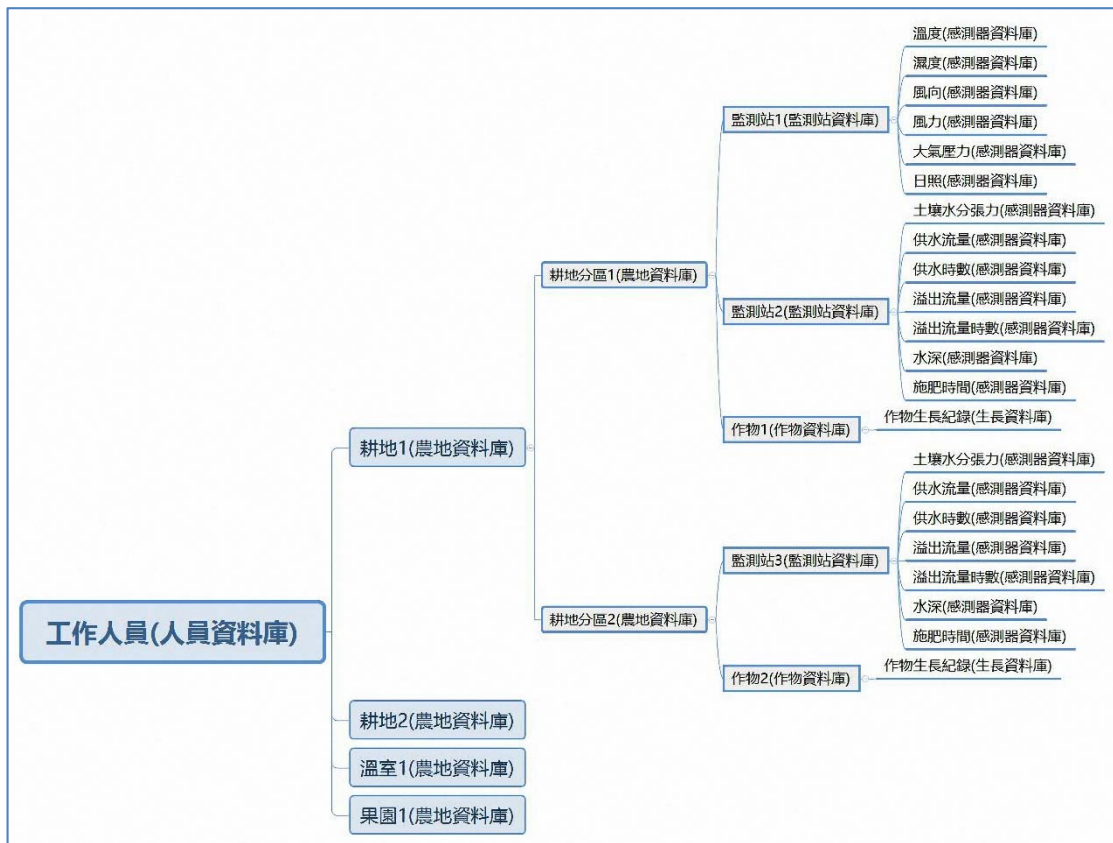


圖 4-6 作物栽培智慧管理平台系統架構圖

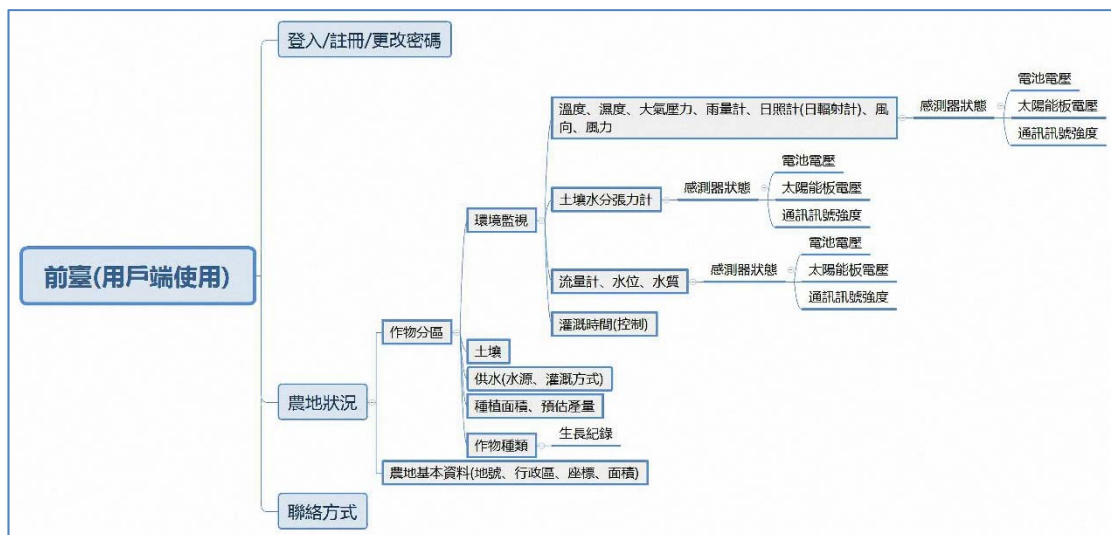


圖 4-7 前臺系統架構圖

二、系統資料庫規劃

本年度資料庫軟體採用 MySQL，後續計畫將視需求逐步擴充。依照前節系統架構分析，資料庫分成以下幾個類別：

1. 人員資料：此類別記錄農民在平台註冊的資料，屬性包括：姓名、手機號碼、帳號、登入密碼、所擁有的農地(以農地編碼顯示)。農地紀錄記載在農地資料。人員資料依個資規定，可申請刪除，未來將於後臺中建置去識別化功能。各屬性特性如下：

- (1).姓名：不可修改(編輯)。
- (2).手機號碼：可修改(編輯)。
- (3).帳號：不可修改(編輯)。
- (4).登入密碼：可修改(編輯)。
- (5).農地編碼：可新增、刪除。

2. 農地資料：此類別記錄農民所擁有農地的資料，屬性包括：農地編碼、地號或名稱、農地面積、位置(緯度)、位置(經度)、農地分區、分區耕種面積(ha)、所在行政區、農業設施、主要水源名稱、主要水源代碼、灌溉方式、備註。主要水源名稱和代碼記載在代碼資料，各屬性特性如下：

- (1).農地編碼：每一塊農地有一個獨有辨識碼，由系統產生，登記功能將於後續計畫建置在後臺。不可修改。
- (2).地號或名稱：農地的地號或名稱。可修改。
- (3).農地面積(ha)：可修改。
- (4).位置(緯度)：可修改。
- (5).位置(經度)：可修改。
- (6).農地分區：依種植作物種類分區。以年份加上編碼顯示，如 201901、201902。
- (7).分區耕種面積(ha)：可修改。
- (8).所在行政區：不可修改。
- (9).農業設施：目前只有兩個選項，溫室與非溫室(如耕地、果園)。
- (10).主要水源名稱：從代碼資料庫取得水源種類名稱。目前分為水庫、河川、區排、埤塘、地下水、再生水、其它等 7 種。

- (11).主要水源代碼：從代碼資料庫取得水源種類代碼，與主要水源名稱相對應。
- (12).灌溉方式：目前包含兩個選項：慣行農法與滴灌。
- (13).備註：可修改。
3. 監測站資料：此類別記錄農地上所設置監測站的資料，屬性包括：農地編碼、監測站編碼、感測器編碼、物理量次項名稱、物理量次項代碼、轉換公式、轉換值名稱、轉換值單位、監測站名稱、監測站性質、設備廠商、廠商聯絡電話、安裝日期和保固日期。物理量次項名稱和物理量次項代碼記載在代碼資料，各屬性特性如下：
- (1).農地編碼：對應到農地資料表。不可修改。
- (2).監測站編碼：每一個監測站有一個獨有辨識碼，由系統產生，登記功能將於後續計畫建置在後臺。不可修改。
- (3).感測器編碼：每一個監測站可以同時擁有數個感測器，每一個感測器有一個獨有辨識碼，由系統產生，登記功能將於後續計畫建置在後臺。不可修改。
- (4).物理量次項名稱：從代碼資料庫取得物理量次項名稱。物理量為感測器所讀取的目標，例如溫度、濕度、流量等。
- (5).物理量次項代碼：從代碼資料庫取得物理量次項代碼，與物理量次項名稱相對應。
- (6).轉換公式：當目標物理量是由量測物理量轉換而來時，則轉換公式寫於此欄位。例如水位由感測器的電壓值轉換而來。登記功能將於後續計畫建置在後臺。可修改。
- (7).轉換值名稱：經轉換公式計算後產生的物理量。可修改。
- (8).轉換值單位：經轉換公式計算後產生的物理量單位。可修改。
- (9).監測站名稱：監測站的名稱。登記功能將於後續計畫建置在後臺，可修改。
- (10).監測站性質：監測站的性質，例如氣象站、水位站、雨量站等。登記功能將於後續計畫建置在後臺，可修改。
- (11).設備廠商：建置監測站的廠商名稱。登記功能將於後續計畫建置在後臺，

可修改。

(12).廠商聯絡電話：建置監測站的廠商聯絡電話，可修改。

(13).安裝日期：監測站的安裝日期。登記功能將於後續計畫建置在後臺，不可修改。

(14).保固日期：監測站的保固到期日。登記功能將於後續計畫建置在後臺，可修改。

4. 物理量資料(時序式資料)：此類別記錄感測器依時間設定，持續上傳的物理量資料。屬性包括：感測器編碼、物理量次項名稱、物理量次項代碼、日期、時間、讀取值、單位、啟動時間、停止時間、轉換值、轉換值單位。物理量次項名稱和物理量次項代碼對應到監測站資料表，各屬性特性如下：

(1).感測器編碼：對應到監測站資料表。不可修改。

(2).物理量次項名稱：對應到監測站資料表。不可修改。

(3).物理量次項代碼：對應到監測站資料表。不可修改。

(4).日期：物理量資料上傳當下的日期。不可修改。

(5).時間：物理量資料上傳當下的時間。不可修改。

(6).讀取值：由感測器上傳的物理量資料。不可修改。

(7).單位：上傳的物理量單位，對應到監測站資料表。不可修改。

(8).啟動時間：某些感測器有傳送啟動時間，例如抽水機，則將啟動時間記錄於此。不可修改。

(9).停止時間：某些感測器有傳送停止時間，例如抽水機，則將啟動時間記錄於此。不可修改。

(10).轉換值：如果在監測站資料表中的感測器備有轉換公式時(由感測器編碼判斷)，則將讀取值代入轉換公式，求出的結果記錄於此欄位。不可修改。

(11).轉換值單位：對應到監測站資料表。不可修改。

5. 作物資料：與監測站資料表類似，但本類別記錄農地分區上所種植的作物資料，屬性包括：農地編碼、農地分區代碼、作物次項名稱、作物次項代碼、品種名稱、開始耕種日期、生長期(天)和預定產量(公斤)。作物

次項名稱和作物次項代碼記載在代碼資料，各屬性特性如下：

- (1).農地編碼：對應到農地資料表。不可修改。
 - (2).農地分區代碼：對應到農地資料表。不可修改。
 - (3).作物次項名稱：從代碼資料庫取得作物次項名稱。登記功能將於後續計畫建置在後臺。不可修改。
 - (4).作物次項代碼：從代碼資料庫取得作物次項代碼。與作物次項名稱相對應。不可修改。
 - (5).品種名稱：記錄作物的品種。登記功能將於後續計畫建置在前臺。可修改。
 - (6).開始耕種日期：記錄作物開始耕作的日期。登記功能將於後續計畫建置在前臺。可修改。
 - (7).生長期(天)：記錄作物預期生長天數。登記功能將於後續計畫建置在前臺。可修改。
 - (8).預定產量(公斤)：記錄作物預期產量。登記功能將於後續計畫建置在前臺。可修改。
6. 生長資料(時序式資料)：與物理量資料表類似，但本類別記錄農地分區上所種植作物的生長紀錄。資料主要由用戶利用手機或行動裝置透過前臺網頁登打，然後寫入本資料表。屬性包括：農地編碼、農地分區代碼、作物次項名稱、作物次項代碼、記錄日期、記錄時間、記錄值和單位。作物次項名稱和作物次項代碼對應於作物資料表。各屬性特性如下。
- (1).農地編碼：對應到作物資料表。不可修改。
 - (2).農地分區代碼：對應到作物資料表。不可修改。
 - (3).作物次項名稱：對應到作物資料表。不可修改。
 - (4).作物次項代碼：對應到作物資料表。不可修改。
 - (5).記錄日期：當下記錄作物生長資料的日期。登記功能建置在前臺。可修改。
 - (6).記錄時間：當下記錄作物生長資料的時間。登記功能建置在前臺。可修改。
 - (7).記錄值：作物生長的量測值，如長度。登記功能建置在前臺。可修改。

- (8).單位：作物生長量測值的，如公分。登記功能建置在前臺。可修改。
7. 代碼資料：此類別記錄各資料表所需的項目名稱及代碼，屬性包括：作物主項名稱、作物主項代碼、作物次項名稱、作物次項代碼、物理量主項名稱、物理量主項代碼、物理量次項名稱、物理量次項代碼、主要水源名稱、主要水源代碼。各代碼名稱有以下兩個設計原則：
- (1).各項物理量名稱盡量與水利署 107 年「水資源物聯網感測基礎雲端作業網絡—作業管理與規範制定計畫」之「水資源物聯網作業要點」中的物理量名稱與分類一致。不足部分，如作物分類，則由本計畫劃分。
- (2).作物及物理量都有主項與次項的設計，此目的是為了用戶在選擇作物或物理量時，為避免項目數量過多，導致下拉選單過長造成用戶不便，因此先用「主項」選擇分類，再由次項選出真正需要的項目，就可避免不便。以下說明各屬性特性：
- A.作物：作物主項目前共分為 21 大類，編碼為 01 至 21，如表 4-1 所示。各大類下面的作物共有 220 種，編碼原則為各作物所屬的主項目編碼再加上 3 位連續碼所構成，如表 4-2~4-3 所示。

表 4-1 作物主項名稱及代碼表

作物主項名稱	作物主項代碼	作物主項名稱	作物主項代碼
稻米	01	瓜果類	12
麥類	02	大漿果類	13
雜糧類	03	小漿果類	14
豆類及豆菜類	04	核果類	15
包葉菜類	05	梨果類	16
小葉菜類	06	柑桔類	17
根莖菜類(不含鱗莖類)	07	茶類	18
鱗莖類	08	甘蔗類	19
蕈菜類	09	堅果類	20
果菜類	10	香辛植物及其他草本植物	21
瓜菜類	11		

表 4-2 作物次項名稱及代碼表(I)

作物次項 名稱	作物次項 代碼	作物次項 名稱	作物次項 代碼	作物次項 名稱	作物次項 代碼
燕麥	020003	葉用蘿蔔	060006	珠蔥	070013
黑麥	020004	芥菜	060007	落蔞	070014
玉米	030001	薺菜	060008	牛蒡	070015
高粱	030002	羽衣甘藍	060009	豆薯	070016
大豆	040001	芥藍菜芽	060010	蓮藕	070017
花生	040002	青花菜芽	060011	碧玉筍	070018
綠豆	040003	蘿蔔菜芽	060012	蒜頭	070019
紅豆	040004	不結球萵苣	060013	黑皮波羅門參	070020
花豆	040005	半結球萵苣	060014	闊葉大豆根	070021
樹豆	040006	茼蒿	060015	狗尾草根	070022
豇豆	040007	紅鳳菜	060016	蔥	080001
菜豆	040008	白鳳菜	060017	蒜	080002
豌豆	040009	山茼蒿	060018	分蔥(紅蔥頭)	080003
扁豆	040010	芳香萬壽菊	060019	洋蔥	080004
菜豆	040011	闊包菊	060020	百合鱗莖	080005
蠶豆	040012	韭菜	060021	香菇	090001
翼豆	040013	韭黃	060022	草菇	090003
鷹嘴豆	040014	韭菜花	060023	金菇	090004
刀豆	040015	芹菜	060024	木耳	090005
紅花子	040016	蕹菜	060025	白木耳	090006
油菜子	040017	菠菜	060026	番茄	100001
葵花子	040018	苳菜	060027	茄子	100002
棉花籽	040019	葉用甘藷	060028	甜椒	100003
蓮子	040020	龍鬚菜	060029	辣椒	100004
芝麻	040021	紫蘇	060030	金針	100005
豆芽	040022	葉用豌豆	060031	枸杞	100006
苜蓿芽	040023	莧菜	060032	秋葵	100007
甘藍	050001	萵苣	060033	洛神葵	100008
花椰菜	050002	皇宮菜(落葵)	060034	胡瓜	110001
結球白菜	050003	川七	060035	小黃瓜	110002
青花菜	050004	竹筍	070005	苦瓜	110003
包心芥菜	050005	蘆筍	070006	絲瓜	110004
大心芥菜	050006	茭白筍	070007	冬瓜	110005
球莖甘藍	050007	芋頭	070008	南瓜	110006
油菜	060002	甘藷	070009	扁蒲	110007
青江菜	060003	山藥	070010	隼人瓜	110008
芥藍	060004	樹薯	070011	越瓜	110009
甘藍菜苗	060005	甜菜根	070012	夏南瓜	110010

表 4-3 作物次項名稱及代碼表(II)

作物次項 名稱	作物次項 代碼	作物次項 名稱	作物次項 代碼	作物次項 名稱	作物次項 代碼
西瓜	120001	黑醋栗	140012	玫瑰	210001
香瓜	120002	芒果	150001	菊花	210002
洋香瓜	120003	龍眼	150002	蓮花	210003
哈密瓜	120004	荔枝	150003	洋甘菊	210004
香蕉	130001	楊梅	150004	薰衣草	210005
木瓜	130002	橄欖	150005	薄荷	210006
鳳梨	130003	蘋果	160001	檸檬香茅	210007
奇異果	130004	梨	160002	迷迭香	210008
番荔枝	130005	桃	160003	胡椒	210009
酪梨	130006	李	160004	八角茴香	210010
火龍果	130007	梅	160005	小茴香	210011
百香果	130008	櫻桃	160006	絞股藍	210012
山竹	130009	杏	160007	黃精	210013
榴槤	130010	油桃	160008	砂仁	210014
紅毛丹	130011	棗	160009	草豆蔻	210015
石榴	130012	柿子	160010	肉豆蔻	210016
榴槤蜜	130014	印度棗	160011	百合花	210017
波羅蜜	130015	枇杷	160012	野薑花	210018
無花果	130016	榲桲	160013	蘭花	210019
釋迦	130017	山楂	160014	鼠尾草	210020
蓮霧	130018	柑桔	170001	百里香	210021
葡萄	140001	檸檬	170002	巴西利	210022
草莓	140002	洋菇	090002	月桂葉	210023
楊桃	140003	黃金果	130013	金盞花	210024
蓮霧	140004	柚子	170003	香蜂草	210025
番石榴	140005	葡萄柚	170004	茉莉花	210026
覆盆子	140006	萊姆	170005	馬鞭草	210027
黑莓	140007	茶葉	180001	桂花	210028
蔓越莓	140008	甘蔗	190001	菩提	210029
藍莓	140009	椰子	200001	奧勒岡草	210030
桑椹	140010	杏仁	200002	馬黛葉	210031
無花果	140011				

B.物理量：物理量主項目目前共分為 16 大類，編碼為 01 至 16，如表 4-4 所示。各大類下面的物理量共有 83 種，編碼原則為各物理量所屬的主項目編碼再加上 2 位連續碼所構成，如表 4-5~4-6 所示。

表 4-4 物理量主項名稱及代碼表

物理量主項名稱	物理量主項代碼	物理量主項名稱	物理量主項代碼
水位	01	開度	09
流速	02	監視	10
流量	03	交流電力	11
壓力	04	位移	12
溫度	05	地震	13
水質	06	應力	14
氣象	07	其他	15
直流電力	08	延時	16

表 4-5 物理量次項名稱及代碼表(I)

物理量次項名稱	物理量次項代碼	物理量次項名稱	物理量次項代碼	物理量次項名稱	物理量次項代碼
灌水路水深	0101	埤塘水位	0117	氣壓	0401
農田水深	0102	淹水深度	0118	水壓	0402
排水路水深	0103	平均流速	0201	液體管壓	0403
其它水深	0104	表面流速	0202	氣體管壓	0404
農田灌溉 圳路水位	0105	灌溉流量	0301	水溫	0501
河川水位	0106	溢出流量	0302	氣溫	0502
區域排水水位	0107	瞬間流量	0303	土壤溫度	0503
農田排水水位	0108	累計流量	0304	pH 值	0601
都市排水水位	0109	地下水抽水量	0305	DO 值	0602
其它排水水位	0110	河川引水點 取水量	0306	導電度	0603
閘門內水位	0111	抽水站抽水量	0307	氫離子濃度	0604
閘門外水位	0112	自來水取水量	0308	濁度	0605
地下水水位	0113	自來水 累計流量	0309	含砂量	0606
淺層地下水水位	0114	自來水 累計用量	0310	日輸砂量	0607
水庫水位	0115	移動式抽水機 抽水量	0311	10 分鐘雨量	0701
壩堰水位	0116	給水量	0312	時雨量	0702

表 4-6 物理量次項名稱及代碼表(II)

物理量次項名稱	物理量次項代碼	物理量次項名稱	物理量次項代碼	物理量次項名稱	物理量次項代碼
日雨量	0703	閘門絕對開度	0902	地震波振幅	1301
相對濕度	0704	閘門開度	0903	混凝土應力	1401
日照量	0705	閘門絕對開度	0904	鋼筋應力	1402
蒸發量	0706	監視照片	1001	施肥	1501
土壤含水率	0707	監視影片	1002	燃油液位	1502
露點溫度	0708	饋線電壓	1101	燃油溫度	1503
電池電壓	0801	饋線視在功率	1102	瓦斯鋼瓶壓力	1504
電池電流	0802	交流頻率	1103	其它液體 耗材液位	1505
電池殘量	0803	功率因數	1104	其它氣體 耗材壓力	1506
太陽能板電壓	0804	堤防位移速度	1201	其它耗材 殘餘量	1507
太陽能板電流	0805	堤防位移 加速度	1202	延時	1601
閘門開度	0901	壩體位移 加速度	1203		

C.主要水源：主要水源因為只有 7 種，因此沒有主項目與次項目之分。內容如表 4-7 所示。

表 4-7 主要水源名稱與代碼表

主要水源名稱	主要水源代碼	主要水源名稱	主要水源代碼
水庫	01	地下水	05
河川	02	再生水	06
區排	03	其它	07
埤塘	04		

綜合以上所述，本計畫的實體資料模型可列如表 4-8~4-10 所示。

表 4-8 實體資料模型列表(I)

關聯表格	資料欄(屬性)	資料型態	說明	備註
人員資料	姓名 Name	String	候選鍵	
	手機號碼 Phone	String		
	帳號 Account	String	主鍵	
	密碼 Password	String		
	農地編碼 Field_id	Integer	外來鍵	系統產生
農地資料	農地編碼 Field_id	Integer	主鍵	系統產生
	地號或名稱 Field_name	String		
	農地面積(ha)Field_area	Single		
	位置(緯度)Field_Lat	Single		
	位置(經度)Field_Lon	Single		
	農地分區代碼 sub_Field_code	Integer		[西元年+2 位編碼]可能 每年不同
	分區耕種面積(ha) sub_Field_area	Single		農地分區實際耕種面積
	所在行政區 Field_adm	String		
	農業設施 Field_infra	String		溫室、非溫室
	主要水源名稱 Irrigation_source	String		由“代碼資料”引入
	主要水源代碼 Irrigation_code	String		由“代碼資料”引入
	灌溉方式 Irrigation_type	String		慣行農法、滴灌
	備註 Field_remark	String		
監測站 資料	農地編碼 Field_id	Integer	外來鍵	系統產生
	監測站編碼 Station_id	Integer	主鍵	系統產生
	感測器編碼 Sensor_id	Integer	候選鍵	系統產生
	物理量次項名稱 Observation_S_name	String		由“代碼資料”引入
	物理量次項代碼 Observation_S_code	String		由“代碼資料”引入
	轉換公式 Transform_eq	Varchar(64)		手動輸入
	轉換值名稱 Transform_name	String		手動輸入
	轉換值單位 Transform_unit	String		手動輸入
監測站名稱 Station_name	String			

表 4-9 實體資料模型列表(II)

關聯表格	資料欄(屬性)	資料型態	說明	備註
監測站 資料	監測站性質 Station_property	String		
	設備廠商 Manufacturer	String		
	廠商聯絡電話 Manufacturer_tel	String		
	安裝日期 Install_Date	DateTime		
	保固日期 Warranty_Date	DateTime		
物理量 資料	感測器編碼 Sensor_id	Integer	主鍵	系統產生
	物理量次項名稱 Observation_S_name	String		參照“監測站資料”引入
	物理量次項代碼 Observation_S_code	String		參照“監測站資料”引入
	日期 Observation_date	DateTime		感測器即時讀取日期
	時間 Observation_time	DateTime		感測器即時讀取時間
	讀取值 Observation_value	Single		感測器即時讀取值
	單位 Observation_unit	String		參照“監測站資料”引入
	啟動時間 Start_time	DateTime		感測器即時讀取時間
	停止時間 Stop_time	DateTime		感測器即時讀取時間
	轉換值 Transform_value	Single		讀取值代入“監測站資料”中的轉換公式取得
	轉換值單位 Transform_unit	String		參照“監測站資料”引入
作物資料	農地編碼 Field_id	Integer	外來鍵	參照“農地資料”引入
	農地分區代碼(6位) sub_Field_code	Integer	索引	參照“農地資料”引入
	作物次項名稱 Crop_S_name	String		由“代碼資料”引入
	作物次項代碼 Crop_S_code	String		由“代碼資料”引入
	品種名稱 Variety_name	String		
	開始耕種日期 StartCorp_date	DateTime		
	生長期(天) Growth_period	Integer		
	預定產量(公斤) Scheduled_production	Single		

表 4-10 實體資料模型列表(III)

關聯表格	資料欄(屬性)	資料型態	說明	備註
作物資料	農地編碼 Field_id	Integer	外來鍵	參照“農地資料”引入
	農地分區代碼(6位) sub_Field_code	Integer	索引	參照“農地資料”引入
	作物次項名稱 Crop_S_name	String		由“代碼資料”引入
	作物次項代碼 Crop_S_code	String		由“代碼資料”引入
	品種名稱 Variety_name	String		
	開始耕種日期 StartCorp_date	DateTime		
	生長期(天) Growth_period	Integer		
	預定產量(公斤) Scheduled_production	Single		
生長資料	農地編碼 Field_id	Integer	外來鍵	參照“作物資料”引入
	農地分區代碼(6位) sub_Field_code	Integer	索引	參照“作物資料”引入
	作物次項名稱 Crop_S_name	String		參照“作物資料”引入
	作物次項代碼 Crop_S_code	String		參照“作物資料”引入
	記錄日期 Record_date	DateTime		系統日期
	記錄時間 Record_Time	DateTime		系統時間
	記錄值 Record_value	Single		手動輸入
	單位 Record_unit	String		手動選取
代碼資料	作物主項名稱 Crop_P_name	String		
	作物主項代碼 Crop_P_code	String		
	作物次項名稱 Crop_S_name	String		
	作物次項代碼 Crop_S_code	String		
	物理量主項名稱 Observation_P_name	String		
	物理量主項代碼 Observation_P_code	String		
	物理量次項名稱 Observation_S_name	String		
	物理量次項代碼 Observation_S_code	String		
	主要水源名稱 Irrigation_source	String		
	主要水源代碼 Irrigation_code	String		

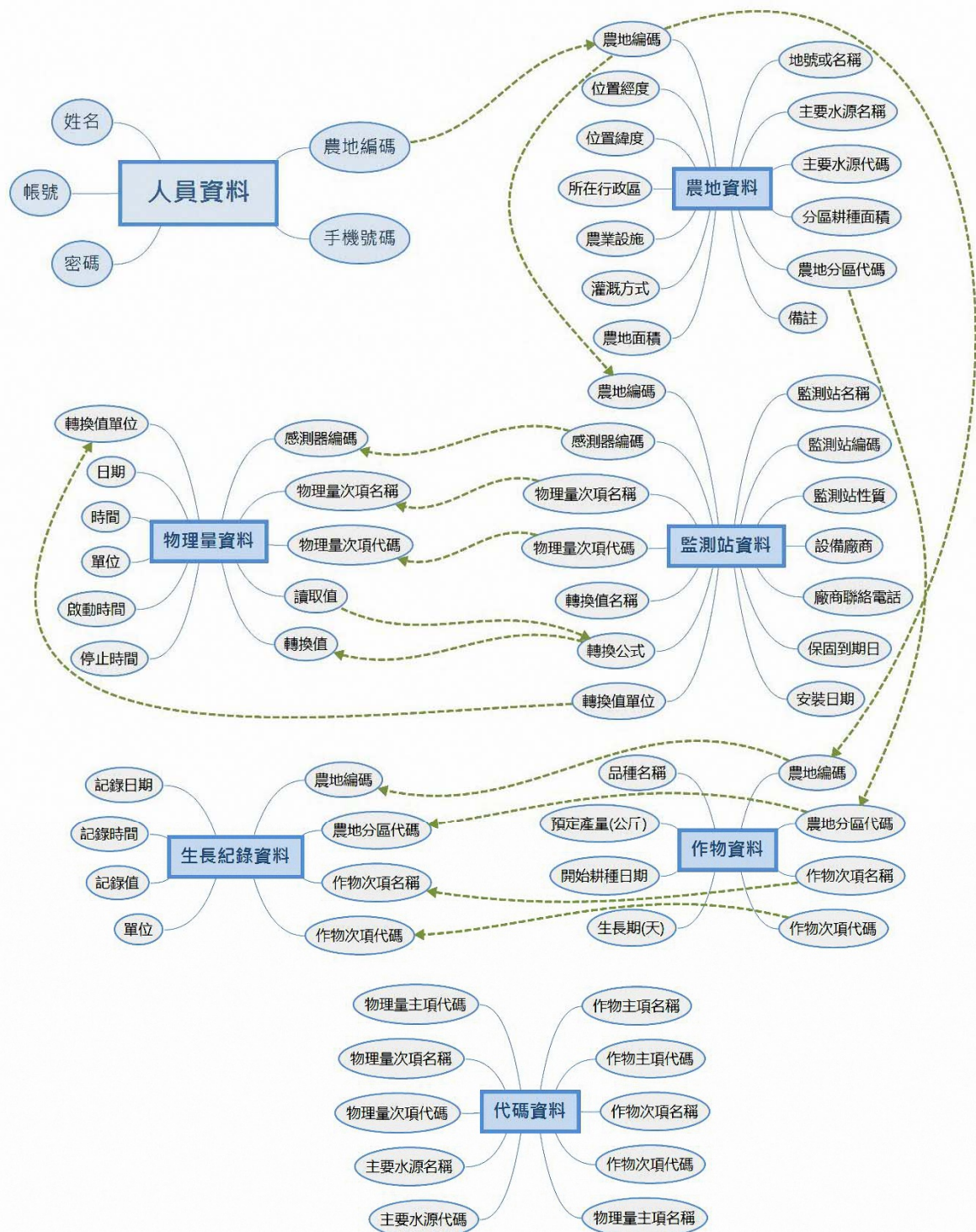


圖 4-8 本計畫資料庫實體—關係示意圖

三、雛型展示介面說明

以下將就查詢系統雛型功能說明如下。

- (一).進入首頁後，首先看到耕地分區選取畫面，點選後面監測資料欄位，即可查看各個耕地分區的內容。



The screenshot shows a web interface for crop management. At the top, it says '桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台 農作用管理'. Below this is a table with the following data:

作物代碼	品種名稱	種植日期	生長期(天)	預定產量(公斤)	備註	即時監控
(060001)小白菜	B	2019/07/19	45	8000	-	監控資料
(060001)小白菜	A	2019/07/19	45	8000	-	監控資料

圖 4-9 查詢系統雛型功能-查看各耕地分區內容

- (二).點選耕地分區後，即進入下一頁(如圖 4-10 所示)，看到目前種植的作物名稱、作物生長紀錄和監測設備即時監測結果。本年度計畫目前可查詢到的物理量包括：灌溉延時、給水量、灌溉流量、日照量、氣壓、土壤含水率、其他水深(裝於其它地點供研究用之水深計)、10 分鐘雨量和電池電壓。點選畫面上的圖像，可進一步查詢詳細資料。



The screenshot shows a detailed view of a crop. It includes a crop name '小白菜' with an image, a '生長紀錄' (Growth Record) table, and a '監測設備即時量測結果' (Monitoring Equipment Real-time Measurement Results) section. The growth record table has the following data:

紀錄時間	紀錄值	單位	備註
2019/07/23 17:20:00	10	-	-
2019/05/28 17:56:00	44	-	-
2019/05/28 17:51:00	12	公分	-

The monitoring results section shows various metrics: 延時 1800sec, 給水量 1.9M3, 灌溉流量 3.78M3/hr, 日照量 0.533W/mf, 氣壓 1007hPa, 土壤含水率 0%, 其它水深 3.81mm, 10分鐘雨量 0mm, 電池電壓 15.63VDC.

圖 4-10 查詢系統雛型功能-可查詢作物與監測設備內容

- (三).點選首頁的「延時」，可進入灌溉延時的查詢畫面，包含圖、表等，如圖 4-11 所示。
- (四).點選首頁的「給水量」，可進入某時刻區間內灌溉總水量(單位為立方公尺)的查詢畫面，包含圖、表等，如圖 4-12 所示。
- (五).點選首頁的「灌溉量」，可進入灌溉流量(單位為立方公尺/小時)的查詢畫面，包含圖、表等，如圖 4-13 所示。
- (六).點選首頁的「日照量」，可進入日照量(單位為瓦特/平方公尺)的查詢畫面，包含圖、表等，如圖 4-14 所示。
- (七).點選首頁的「氣壓」，可進入當地高度下的大氣壓力(單位為 hPa)的查詢畫面，包含圖、表等，如圖 4-15 所示。
- (八).點選首頁的「土壤含水率」，可進入土壤含水率(以百分比%表示)的查詢畫面，包含圖、表等，如圖 4-16 所示。
- (九).點選首頁的「10 分鐘雨量」，可進入 10 分鐘累積雨量(單位為 mm)的查詢畫面，包含圖、表等，如圖 4-17 所示。
- (十).點選首頁的「電池電壓」，可進入蓄電池當下電壓(單位為伏特)的查詢畫面，包含圖、表等，如圖 4-18 所示。
- (十一).點選首頁的「生長紀錄」裡的「新增」按鈕，可進入紀錄作物生長的畫面，裡面的欄位由用戶填寫，用以紀錄作物的生長日誌，如圖 4-19 所示。

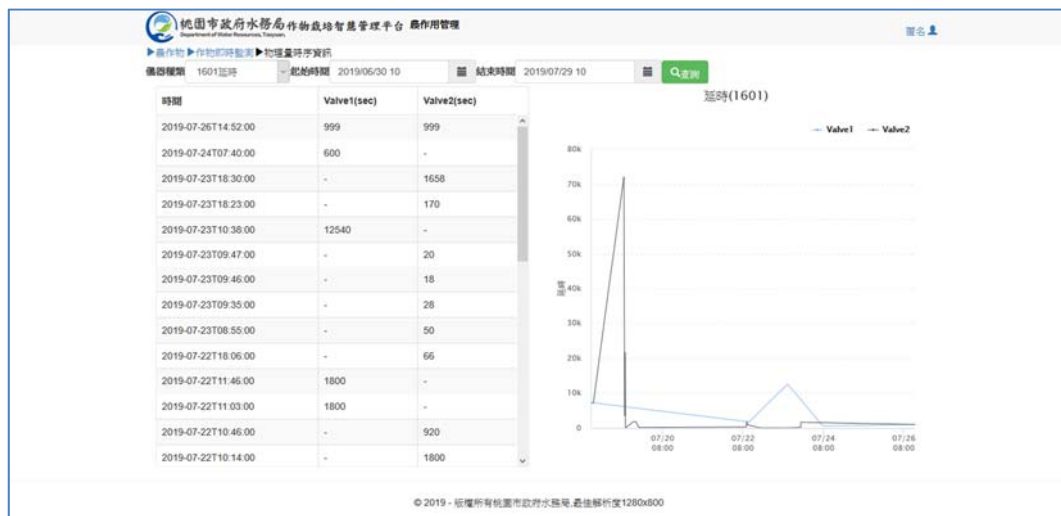


圖 4-11 查詢系統雛型功能-灌溉延時查詢畫面

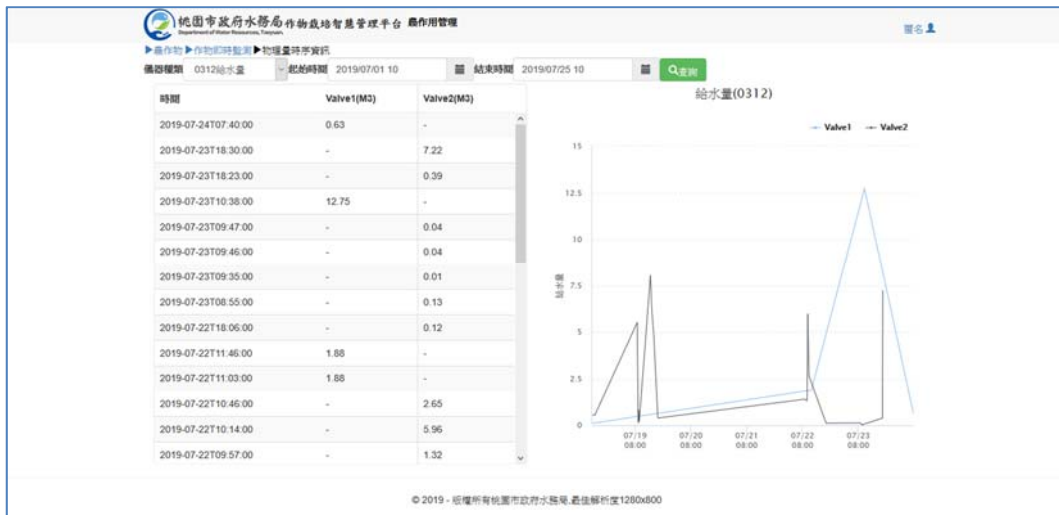


圖 4-12 查詢系統雛型功能-給水量查詢畫面

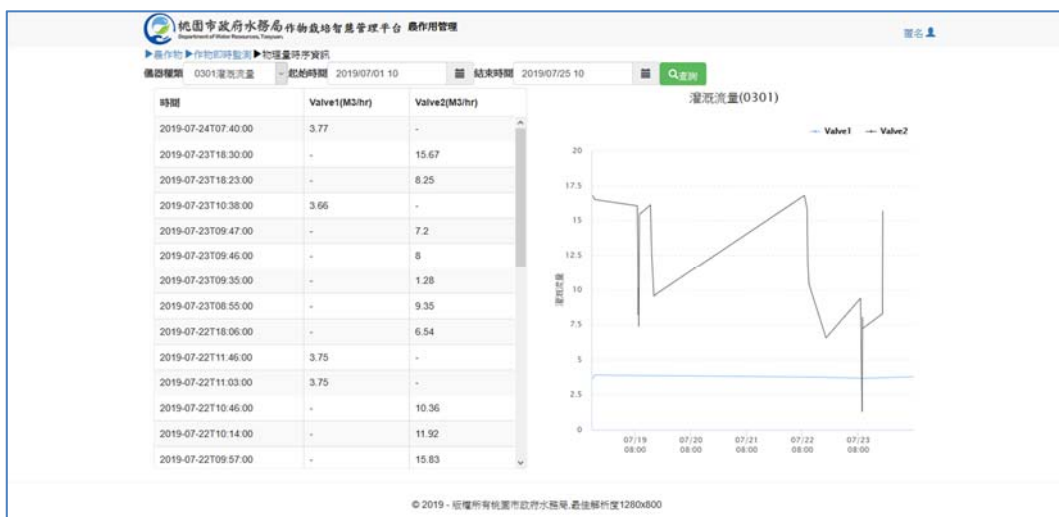


圖 4-13 查詢系統雛型功能-灌溉量查詢畫面

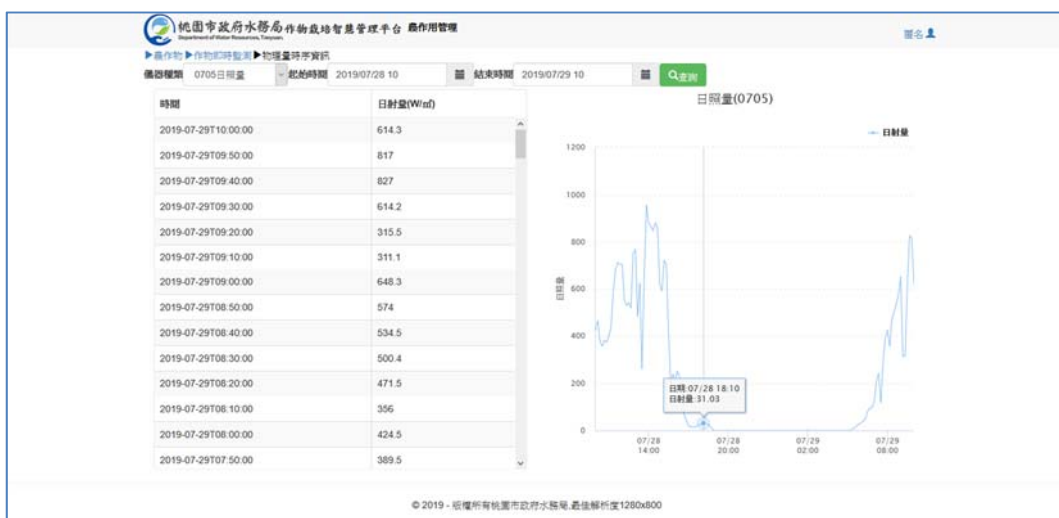


圖 4-14 查詢系統雛型功能-日照量查詢畫面



圖 4-15 查詢系統雛型功能-氣壓查詢畫面

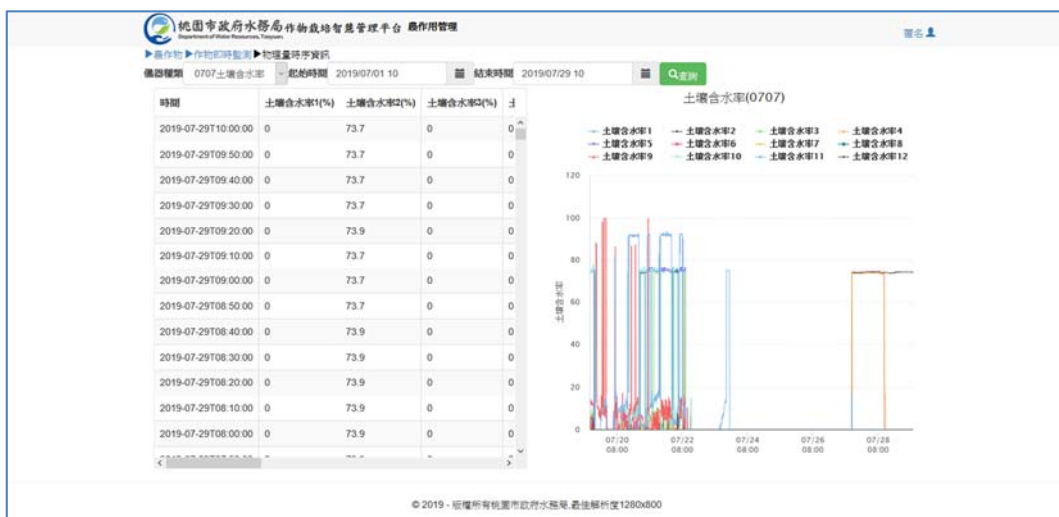


圖 4-16 查詢系統雛型功能-土壤含水率查詢畫面

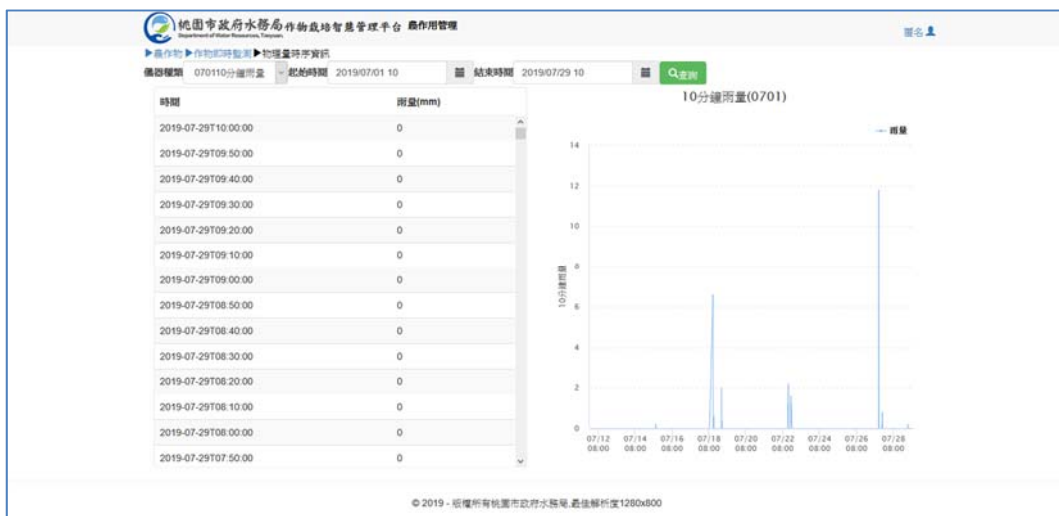


圖 4-17 查詢系統雛型功能-10 分鐘雨量查詢畫面

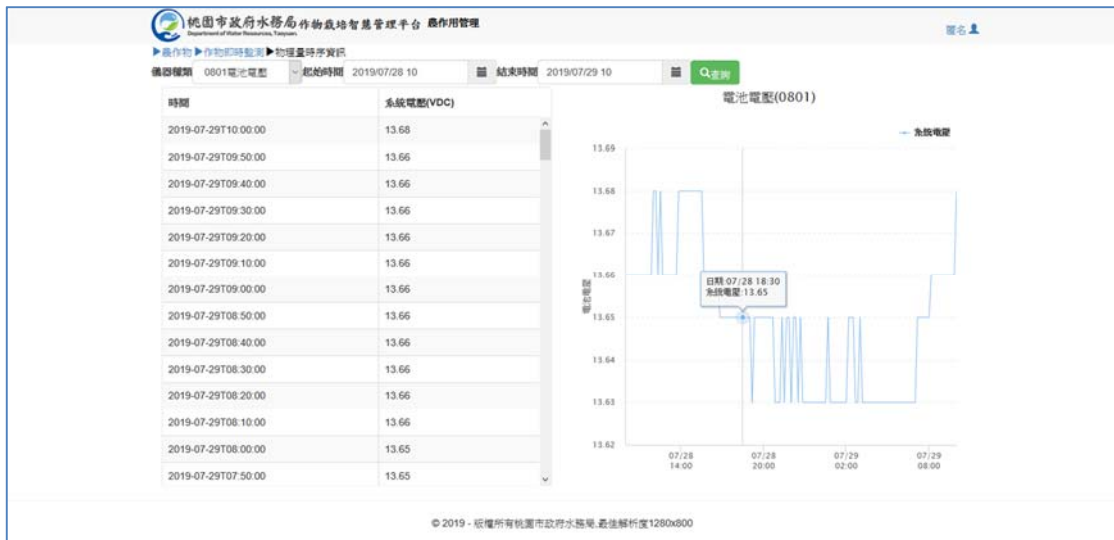


圖 4-18 查詢系統離型功能-電池電壓查詢畫面

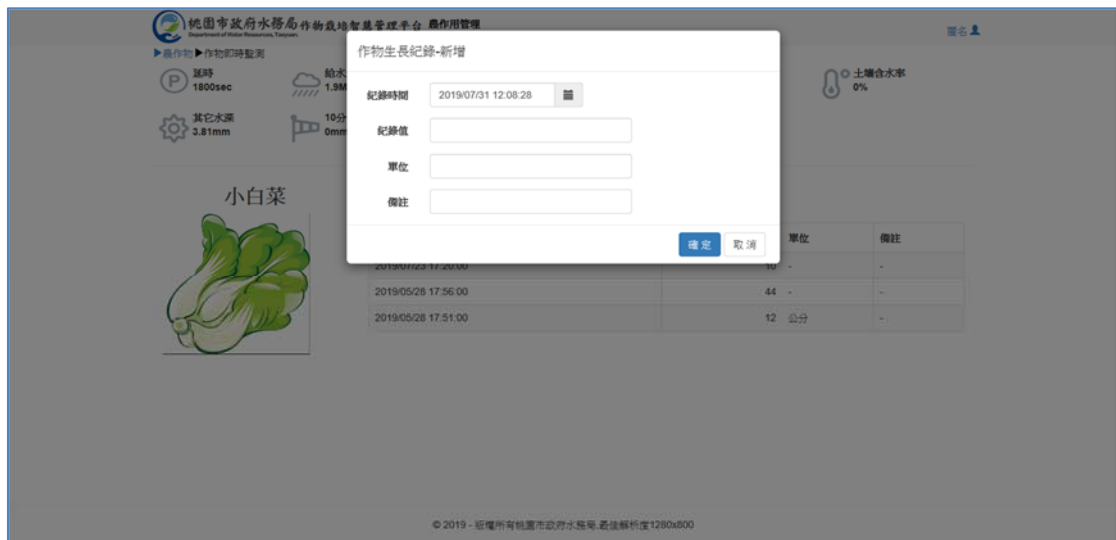


圖 4-19 查詢系統離型功能-新增生長紀錄功能

4-4 作物栽培智慧管理平台後續發展規劃建議

作物栽培智慧管理平台未來的使用者應為農民、系統管理員及相關研究單位，因此在整體系統規劃有以下建議：

一、伺服器硬體

伺服器維護與更新屬專業領域，一般農民無法處理或負擔。如果平台正式運轉，建議由政府機構提供並維運伺服器，農民無需繳納伺服器使用費，只需負責自行建置的感測器系統，如此可減輕農民負擔，提高參與的意願，而政府收益則來自於廣泛的農業生產大數據，透過大數據可分析農業生產、供水狀況等，研擬出合宜之因應策略，最後達到雙贏目的。

二、通訊協定與平台服務

如果政府不涉入統一生產感測器等自動化系統，則農民購置自動化系統的來源將會是多管道的，包括國內、外廠商，甚至目前已有青年農民自製自動化系統應用於自己的耕地。因此可預見未來的通訊協定也可能是多樣性的，例如 HTTP、MQTT、FTP、CoAP、TCP/UDP 等，雖然本計畫原則上建議以 MQTT 為主，然而平台仍應能支援其他協定，除了包容性廣之外，應不至於對系統造成顯著負擔。

另一方面，資料傳入的格式同樣也會呈現多樣性，故建議未來智慧化平台建議朝向大資料池(Data Pool)方向規劃，即在平台前端設置一個臨時的資料庫(資料池)，所有感測器資料先傳送到資料池，再由平台分類匯入正式的資料庫。這種做法的好處在於：

- (一).是概念而非單一產品：大數據資料池可以用多種技術組合來構成，而不是依賴單一產品。
- (二).可容納各種型式的資料來源：如同「海納百川，不擇細流」，資料池可儲存各種非結構、半結構及結構化資料，而不用資料一定要先檢選才能儲存。當資料倉儲不適合在一些異質資料結構的環境時，資料池即可展現出它的彈性。

巨量(大數據)資料池最早稱呼來自於 2011 年 Forbes 雜誌的一篇

「Big Data Requires a Big, New Architecture」文章。文章中提到，在大數據時代，資料來自於各式各樣的來源，而非單一個資料倉儲，所以應該對於大數據資料儲存結構視為資料池(Data Pool)。有別於資料倉儲所儲存的是經過確認有用處，並且經過模組化、結構化整理的資料，資料池儲存的是各式各樣的原生資料，未經整理且各有各的資料結構。根據 Pentaho 技術長 James Dixon 創造出的資料池定義是超大規模且成本相對低廉的儲存庫，例如 Hadoop，它儲存任何類型的資料，且無一定的資料結構(schema)，直到組織需要作企業分析或資料探勘(data mining)時，才將資料結構定義出來，再以加以分析與探勘資料。有關大數據資料池和傳統資料倉儲的差異說明如表 4-11。

表 4-11 傳統資料倉儲和大數據資料池之比較

	傳統資料倉儲	大數據資料池
資料來源	已經挑選過的結構化資料。	未經挑選，有什麼就存什麼。有未結構化的資料(如文字檔)，也有半結構化(如 CSV 檔)或結構化資料。
資料結構	已經模組化，結構化才放進資料倉儲。	保持原生資料的資料結構，不加以更改重置。
建構成本	成本高(使用商用倉儲軟體，安裝於高階存儲設備)。	成本低(使用 Hadoop 開源軟體建構，不需要安裝在高階存儲設備)。
便捷性	高度模組化和結構化，以致於要配合導入的商業流程需要花大量時間重構。	本身缺乏需遵循的結構標準，所以給予使用者自行制定分析查詢時資料結構的自由。
資料查詢	由於資料已經有組織有結構的整理，因此分析和查詢的目標較明確。	儲存的資料形形色色都有，資料結果也不儘相同，有賴查詢時的更複雜的資料結構(schema)來撈取資料。

三、通訊設備

物聯網通過通訊技術將人與物、物與物進行連線。在智慧住家、工業資料採集等小區域場景一般採用短距離通訊技術，如 WiFi、ZigBee 等。對於廣範圍、遠距離的連線，如遠端抄表、環境監測、位置追蹤等，則需要遠距離通訊技術，尤其是覆蓋廣、低功耗、支援大量連線的無線通訊協定，因此低功耗廣域物聯網(Low-Power Wide-Area Network，簡稱 LPWAN)應運而生。LPWAN 可分為兩類：一類是工作於未授權頻譜

的 LoRa、SigFox 等技術；另一類是工作於授權頻譜下，支援 3GPP 的 3G/4G 蜂巢通訊技術，比如 EC-GSM、eMTC、NB-IoT 等。LPWAN 的優點在於與藍芽、Wi-Fi、Zigbee 等無線連線技術相比，通訊距離較遠；與蜂巢技術(如 GPRS/3G/4G 等)相比，則連線功耗更低。

評估目前市場上較為公開且常見的通訊技術，分別為 LoRa、SIGFOX、NB-IoT、4G LTE，其中 LoRa 及 SIGFOX 是屬於私有網路，而 NB-IoT、4G LTE 是屬於公眾網路，相關通訊技術分別說明如下：

(一).LoRa：LoRa 無線通訊技術是英文 Long Range 的縮寫，為自 2013 年發布的 LPWAN 數據傳輸技術。在 LPWAN 產生之前，似乎只能在遠距離以及低功耗兩者之間做取捨。而 LoRa 無線技術的出現，改變了關於傳輸距離與功耗的折衷考慮方式，不僅可以實現遠距離傳輸，並且同時兼具低功耗、低成本的優點。

LoRa 的網路形成如圖 4-20 所示，遠距節點可以透過多台基地台 (gateways)與後端網路伺服器連接，將資料上傳後送至雲端或伺服器上。在 LoRa 網路中，每個節點並不會彼此相連，須先連至閘道後，才能連回中央主機，或是透過中央主機將資料傳到另一個節點。終端節點的訊息，可以同時傳給多個閘道器，訊息也可透過閘道器之間的橋接，進一步延伸傳輸距離。

LoRa 服務示意圖

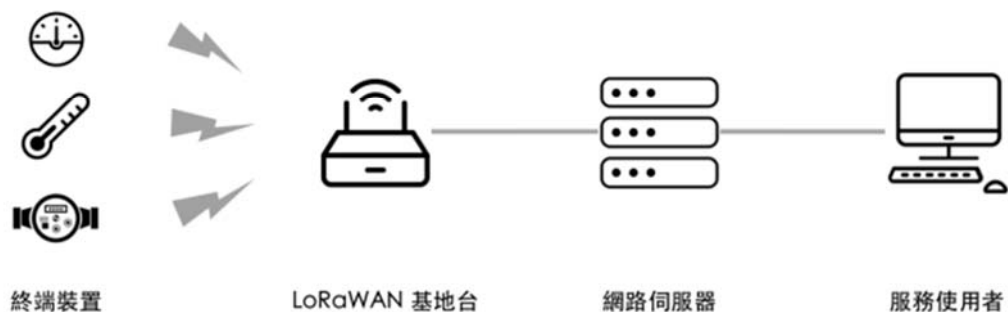


圖 4-20 LoRa 無線通訊系統架構圖

(二).SIGFOX：由法國 SIGFOX 公司所開發，該廠商從 2012 年開始推展 IoT

無線服務業務。與其他 LPWAN 技術相較，SIGFOX 是傳輸速率最低的技術，速度僅 100 bits/s，且每個裝置一天最多只能傳送 140 則訊息，每則訊息最大的容量為 12 bytes。由於降低了資訊傳輸量，因此就能大幅節省了物聯網裝置的電力消耗。例如水錶、電錶、路燈控制這類應用，由於流量回報頻率低於每小時一次，就很適合 SIGFOX 應用。以 SIGFOX 的智慧水錶應用為例，基本上水錶裝置僅上傳數據，不接收訊息。在沒有進行數據傳送的時候，水錶裝置就會處於休眠狀態，因此一顆三號電池就能夠使用將近 10 年。

SIGFOX 最大的特色在於建立一個全球共同的 IoT 網路，再透過各地特許的網路營運商 SNO(SIGFOX Network Operator)提供服務，原則上單一地區由單一業者負責。由圖 4-21 可知，SIGFOX 所提供的服務並非僅有網路連線，客戶也可以選擇 SIGFOX 雲端服務。這麼一來，企業便無須擔心網路與資料儲存空間等基礎設施的建構，可以更專注於 IoT 服務的開發。

SIGFOX 服務示意圖



圖 4-21 SIGFOX 無線通訊系統架構圖

(三).NB-IoT：窄頻物聯網(Narrow Band Internet of Things, NB-IoT)亦為 LPWAN 技術種類之一，該技術最早是華為於 2014 年提出 NB M2M 技術，之後與高通、愛立信等公司所提出的方案融合後，逐步演進成了 NB-IoT。2016 年 6 月，3GPP(3rd Generation Partnership Project)也通過 NB-IoT 核心協議標準。

NB-IoT 是架設在既設 4G LTE 的基地台上，只要電信業者更新軟體，該基地台就會兼具 NB-IoT 及 4G LTE 功能，因此 NB-IoT 技術的優勢包含可以大量聯接物聯網裝置、覆蓋範圍廣泛、低功耗，可以延長電池使用壽命、成本低廉等優勢。

雖然與 SIGFOX、LoRa 等其他 LPWAN 技術相比，NB-IoT 技術發展起步較晚，不過，由於它是由國際電信標準制定組織 3GPP 所支持，針對 IoT 所打造的電信級網路，對於網路傳輸品質、數據安全都有更高的保障，再加上建置成本較低，電信商不用大幅更改現行的 4G LTE 電信網路架構，就能快速部署，因而備受各國電信商所支持。

(四).4G LTE:4G 為第四代行動通訊技術標準(The fourth generation of mobile phone mobile communication technology standards)之簡稱，4G 的行動上網傳輸速度較上一代 3G 更快。

LTE 指的是長期演進技術(Long Term Evolution)，為 4G 技術標準之一，也是目前最多國家所採用之 4G 技術，是電信中用於手機及資料終端的高速無線通訊標準，為高速下行封包接入(HSDPA)過渡到 4G 的版本，俗稱為 3.9G。該標準基於舊有的 GSM/EDGE 和 UMTS/HSPA 網路技術，並使用調變技術提升網路容量及速度。LTE 標準由 3GPP 於 2008 年第四季度於 Release 8 版本中首次提出，並在 Release 9 版本中進行少許改良。

由於各項傳輸方式各有不同，因此本計畫將各種通訊方式整理比較，如表 4-12 所示。由其中可知，相關傳輸又可以分成授權頻段與非授權頻段，採用授權頻段技術的為 4G LTE 與 3GPP 主導的 NB-IoT，其採用現有的 3G/4G 網路，主要投入為電信營運商及相關設備廠商，也因此需繳付電信營運商月租費用。LoRa 與 SIGFOX 則為非授權頻段，它們都採用了 ISM 頻段(Industrial Scientific Medical Band)，這是一種各國開放給工業、科學及醫學機構使用的頻段。它們無須許可證及費用，只需要遵守一定的發射功率(一般低於 1W)，不要對其他頻段造成干擾即可，因屬自建網路，因此不需要一般月租費，而 SIGFOX 由於需透過各地特許的網路營運商 SNO 提供服務，因此需要額外授權費。

LPWAN 的特性在於低功耗、長距離、低傳輸量、低成本。然而，LPWAN 也並非萬能，無法取代所有無線的傳輸應用，例如高速傳輸需求、即時性的應用就需要仰賴其他傳輸技術。

表 4-12 各種通訊方式分析表

特性	 LoRa™	 sigfox	 NB-IoT	 4G LTE
ISM 免授權頻段	是	是	否	否
雙向傳輸	有，但不即時，且有條件	有，但不即時，且有條件	有，即時	有，即時
電力功耗	低	低	中	高
傳輸可靠度	低	低	高	高
是否可自建系統	是，免授權	是，需授權	否，需電信業者提供	否，需電信業者提供
通訊穩定性	易受干擾	易受干擾	穩定高	穩定較高
頻寬	50~250 bytes	50~250 bytes	最大 64 KBs	>10 MBs
通訊模組替代性	低，需取得模組廠商解碼 Key，如果更換廠商，可能需更換大部分組件。	低，需原廠授權，且建立網路亦需原廠 SNO 授權。	高，大部分狀況可透更換 SIM 卡變換電信營運商。唯 SIM 卡目前須專案申請，沒有公開販售。	高，大部分狀況可透更換 SIM 卡變換電信營運商。唯申請 SIM 卡有門號數量限制。
是否可自建私有網路	可	不可	不可	不可
單一基地台傳輸距離	5~15 公里	5~15 公里	15 公里	15 公里
月租費	節點與閘道器之間無通訊費，但是需負擔閘道器的維護費用，且閘道器通常需繳付通訊費。	無但須授權費	有	有

關於未來農民使用的通訊設備，本計畫建議不加以限制，因為 WiFi、ZigBee、RF(Radio Frequency，無線射頻)、LoRa、NB-IOT、4G/5G 等，

各有其優、缺點，例如農民如需監看現場畫面，以 LoRa 將難以進行。因此通訊設備將由農民視需要，配合現場條件共同研判、採用即可。

四、加值應用功能開發

未來管理平台(後臺)將收集到大量農業生產資料，包括種植時間、種植作物、用水量、氣象條件等，這些重要數據將可供相關單位分析農業生產狀況，然後作為擬定政策之參考。

未來平台除具備統計工具外，隨著大數據的應用越來越流行，應用的行業也越來越多，進而幫助人們從資料中獲取到真正有用的價值。故平台也可預先規劃建置大數據分析工具。大數據常用工具包括關聯法則學習、分類樹分析、基因演算、機器學習、迴歸分析、文字探勘、深度學習等。以下為各工具之簡介：

- (一).關聯法則學習：適用於評估資料屬性間相關程度，找出有意義且有關聯性的屬性，幫助分析人員了解資料內屬性間規則。主要有以下 2 種演算法：
 1. FP-Growth Algorithm
 2. Apriori Algorithm
- (二).分類樹分析：分類是指建立一個學習目標函數 f ，使得這個學習函數可以藉由 x 屬性對應至 y 的類別，最後目的是將一個物件指定至其中一個預設分類之中。適合預測二元分類或是名目分類的問題。從離散型與連續型屬性資料中建立樹狀模型的系統化方法主要有下列幾種：
 1. 決策樹 (Decision tree)
 2. 類神經網路 (artificial neural network)
 3. 支援向量機 (support vector machines)
 4. 單純貝氏 (Naïve Bayes)
- (三).機器學習：機器學習是實現人工智慧的一個方法，是以機器學習為手段解決人工智慧中的問題。主要有兩個特徵：能通過經驗自動改進電腦演算法；用資料或以往的經驗改善電腦演算法的效能。具體的機器學習演算法有以下幾種：

1. 構造間隔理論分布
2. 構造條件機率
3. 通過再生模型構造概率密度函式
4. 近似推斷技術

(四).迴歸分析(Regression Analysis)：適用於建構預測模型，幫助分析人員評估屬性之間相關性對學習模型的影響程度。

(五).基因演算(Genetic Algorithm)：是計算數學中用於解決最佳化的搜尋演算法，是進化演算法的一種。以最佳化搜尋法配適學習模型的參數估計量，幫助分析人員優化具有多個參數的學習模型。

(六).文字探勘(Text Mining)：一般而言，指的是從非結構化的文字中，萃取出有用的重要資訊或知識。以統計分析進行自然語言處理(NLP, Natural Language Processing)，摘要出關鍵文字之資料庫，幫助分析人員找出關鍵字以利於搜尋重要訊息。由於大部分的資訊都是文字形式，因此文字探勘被認為是具有高度的潛在商業價值。

(七).深度學習(Deep Learning)：深度學習是機器學習的分支，是一種以人工神經網路為架構，對資料進行特徵學習的演算法。神經網路的架構基本上是由數個「神經元」組成。神經元接受(可能)數個輸入值(也就是外來的刺激)，然後產生一個輸出。輸出又可能會接到另一個神經元，所以最後變成複雜的結構。神經元輸入數值時會乘上一個權重(weight)，再加上一個偏值(bias)，最後再經一個非線性的激發函數(activation function)，就決定了這個神經元的輸出。標準的神經網路各層之間是「完全連結」的，但一般隱藏層達 3 層或 3 層以上，就會稱為「深度」神經網路。

建構好神經網路之後，接著就是要「訓練」神經網路。所謂訓練神經網路，就是去調整每個神經元的權重和偏值。首先定義一個損失函數(loss function, L)，損失函數是所有可以調整的參數(就是權重和偏值)的函數，用來測量預測結果和正確答案差多遠。當權重和偏值調整得好，損失函數的值就會變小，反之損失函數的值會變大。調整這些參數的過程就是神經網路的學習過程。

前述工具未來可視情況加裝於管理平台。

五、提供對外介接服務

近年來隨著政府資料的開放、網際網路的發達以及資料庫技術的發展，各機關資料分享也更加頻繁；此外隨著物聯網技術的發展各部會署也配合物聯網監測設備的佈建逐步調整現有資料庫架構以符合物聯網資料記錄與後端應用的需求，如經濟部水利署所發展之「水資源物聯網」、行政院環保署所發展之「IoT 智慧聯網平台」等；此外行政院為提升民眾生活品質，也擬定包括空氣品質、地震、水資源，以及災防等與生活息息相關的議題，整合相關資訊並建立「民生公共物聯網資料服務平台」，希望降低環境資訊落差，提供更即時與全面的環境資料數據也提供穩定、高品質的感測資料供應服務及運算資源，作為產業加值應用開發的基礎；該平台中也針對「緊急資料交換標準推動及應用」課題進行資料整合與服務，期透過該平台推動建構緊急資源調度標準-包括民生物資、設備機具、醫療資源等並提供資料交換 API，以供資料開放，利於各單位應用加值；該平台現已彙整政府水、空、地、災四大領域之感測資料，以統一的資料格式，提供即時資料介接與歷史資料查詢服務。

由於國內各業務單位為因應自有業務的需求常有資料庫建置之規劃，為因應資料庫的建置，針對不同屬性的資料訂定相關的資料格式，以利資料的儲存與分享；一般而言，資料的型態分為自我產製資料與介接其他單位資料，自我產製多半來自於業務需求所設置的監測設備、相關儀器或人工建置的資料，介接資料則來自於其他業務單位所產製並提供資料分享所取得的資料。

本計畫後續執行亦建議參考相關資料格式，建置對外介接服務之 API 供使用。惟本平台資料牽涉個人耕地等隱私資料，開放資料應以統計後之整體資料並經討論確認後再行開放。

六、雙向操作功能

未來智慧管理平台除供使用者監控及查詢外，應可建置雙向互動功能，例如提供農民種植作業建議，透過遠端手機 APP 自行調整設定灌

溉頻率及供水量等。

惟雙向操作功能除智慧管理平台建置外，感測器端亦需有相對應功能才能達到互動的目的。鑒於農業用感測器種類繁多，目前尚難以規劃統一介面供農民與感測器互動，同時許多感測器只具推送資料功能即可(如氣溫、雨量等)，不需與農民互動，因此建議未來先建立灌溉的互動功能，解決農民的主要需求。

如果要達到自動灌溉功能，則建議在雲端伺服器與感測器之間增設邊緣運算節點(Edge computing node)。所謂邊緣運算節點是在傳統雲端與裝置端的連接中間，多了一層運算層-邊緣端(Edge 端)，Edge 其實指的是靠近數據源的運算單位，可以包括閘道器、路由器，以及硬體底層相關的各種機器、裝置、設備與系統等。邊緣運算結合雲端運算的優點在於：

- (一).邊緣節點位於感測器附近，當感測器偵測到預設值時，可由邊緣節點直接下指令給附近的機電設備作出必要回應，而無需等待雲端的指令，節省時間。例如土壤水分計發覺土壤水分較低時，數據傳向邊緣節點，該節點即會按預設指令直接啟動馬達灌溉，同時將處理情形傳回雲端，通知農民目前狀況。農民此時仍有掌控權，可透過手機 APP 下達指令停止灌溉等。
- (二).邊緣運算可大量減輕雲端伺服器的工作負擔。尤其大面積農地同時灌溉時更為顯著。
- (三).無線網路斷線時，傳統的雲端計算架構將會被迫暫停監測工作，直至網路恢復正常，此時可能錯過灌溉時間。而邊緣運算結合雲端運算之架構可以較有效處理臨時狀況。

邊際運算與雲端運算共同架構示意圖如圖 4-22 所示。建置邊緣運算節點應由感測器設備供應商負責。

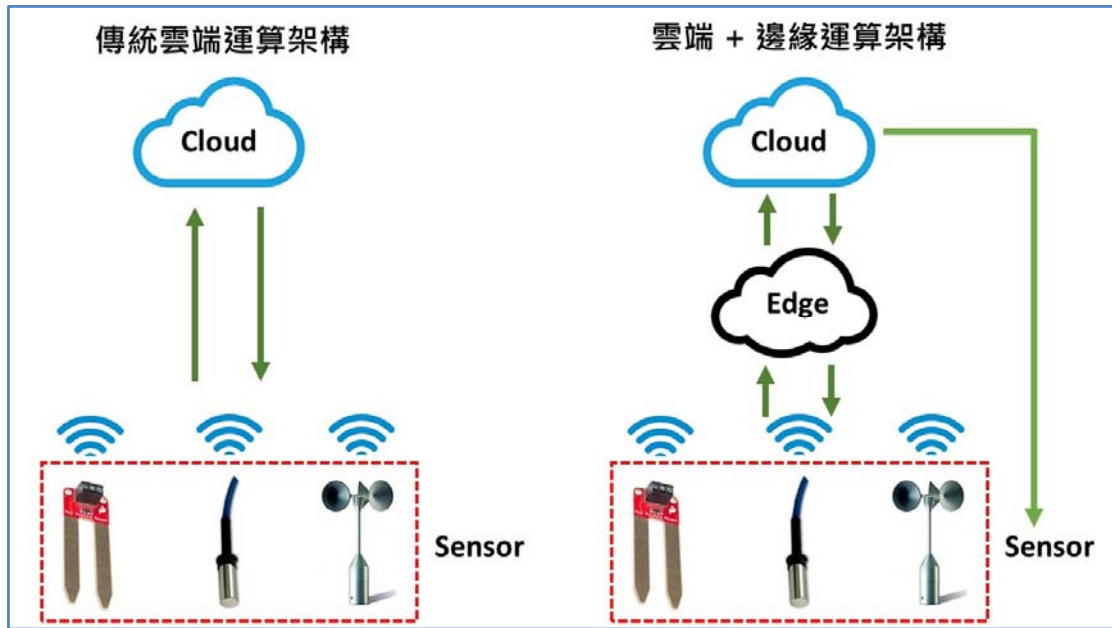


圖 4-22 邊際運算與雲端運算共同架構示意圖

七、自動化灌溉設備開發建議

本年度計畫安裝多種感測器、氣象儀器及一套灌溉系統。氣象儀器其重要性對於農民而言相對較低，最主要的設備仍是田間土壤水分計以及灌溉系統。前者監測土壤含水量，決定是否啟動灌溉系統，後者則是適時、適量供水。如果兩者充分配合，則可達到自動化灌溉，有效降低人力管理時間。

惟依據本計畫使用經驗，發現仍有改善空間，因此以下建議可作為未來設備廠商開發相關產品之參考。

- (一).土壤水分計的探腳長度多在 5-10 公分，無法涵蓋全部根系範圍，應該開發探腳長度更長的產品。
- (二).土壤水分計的原始量測值與土壤含水量之間的率定關係跟標準程序仍有待進一步研究。
- (三).本計畫灌溉系統採用國外品牌，所有附屬設備皆綁定在特定開發的控制器上，由於原廠並未開發裝設土壤水分計的功能，因此在整合灌溉系統及國內廠商的土壤水分計時，即面臨困難。因此適合台灣環境及耕作習慣的灌溉系統，是未來國內廠商可以發展的方向，特別是給肥功能與供水功能的整合，可以更大幅減輕人力負擔。

第五章 智慧節水試驗規劃

5-1 示範場域布置與監測規模說明

依據本計畫目標及工作項目內容要求，本年度示範場域設施在農業工程研究中心(以下簡稱農工中心)位於桃園市大園區之試驗田區，農工中心之試驗田區主要用途為水稻田及早作物之現地試驗，以架設觀測及試驗儀器，更改物理環境或耕作制度來進行農業試驗。茲將示範場域(試驗田區)資料資料說明如下：

- 一、區位說明如下：(一).土地區段地號：桃園市大園區五塊厝段大埔小段 938、939、940 號地段。(二).用地編定：特定農業區農牧用地。(三).兩期作水稻田區，臨 6 米產業道路。本計畫示範場域位屬桃園水利會桃園大圳第 4 支線 4-5 號埤塘灌區，田區坵塊長為 93 m、寬 17 m(面積：0.1581 ha)，田面經 2018 年農委會計畫試驗以雷射整平，田區上游現設有供水蓄水池提供試驗供水所需，本計畫示範場域相關位置及空拍圖如圖 5-1 及圖 5-2 所示。



圖 5-1 本計畫示範場域(試驗田區)周邊區位圖



圖 5-2 本計畫示範場域(試驗田區)坵塊空拍圖

- 二、**示範場域監測規模**：本計畫研究團隊(農工中心)規劃試驗田區設置試驗組與對照組田區，試驗組以設置滴灌系統為主、對照組則以該作物之慣行農法為主。試驗田區坵塊規模相同，均為長 25 m 與寬 15 m 之試驗田區，試驗田區面積 375 m²；水源為桃園大圳第 4 支線水源，經由 4-5 號埤塘調節放水供灌。
- 三、**示範場域控制系統施設**：控制系統施設以完整記錄及擷取所有數據為前提，施設 2 組控制系統，第 1 組為智慧節水滴灌系統、第 2 組為氣象暨土壤水分記錄站。因此示範場域(田區)設置 1 套智慧滴水灌溉系統，作為試驗組的主要灌溉設施。田區設置氣象監測設備 1 組，包含紀錄擷取器、溫度計、溼度計、壓力計、雨量計、日照計(日輻射計)、風速計等設施。為監測兩田區之土壤水分狀況，每一試驗組施設土壤水份計 6 支；流量監測方面，為監測兩試驗田區於試驗期間之分別引灌水量及排出田區水量，各田區設置 1 組入流監測及出流監測；其中入流量監測統一由滴灌系統的 2 組流量計分別觀測試驗組及對照組之供灌水量，因此另需於設置 2 組流量觀測設備，2 組分別施設於 2 田區之出

流口處；由於本計畫於田間實施，水量極小，農工中心採用 6 吋 PVC 排水管配合自記水位計監測方式獲得排水量。

5-2 示範田區參數調查及試驗規劃

一、試驗期程規劃：本計畫今年度以執行 2 次蔬菜省水試驗為主，農工中心針對試驗所需設備裝置、系統安裝測試、田區整備、試驗區移苗、試驗觀測及作物收成等不同階段工作進行期程安排，如表 5-1 所示。；省水試驗執行前之歷程包含感測元件及控制系統之設備安裝(圖 5-3)、田區整田、移苗及灌溉試驗觀測等流程。

表 5-1 智慧節水灌溉試驗期程規劃一覽

月份	日期		序號	事件項目
	起	訖		
	一、試驗場地整備			
7 月	7 月 5 日	7 月 5 日	1.	設備控制機房安裝
	7 月 8 日	7 月 9 日	2.	試驗田水稻收割及整地
	7 月 10 日	7 月 12 日	3.	試驗田區畦溝製作
	7 月 15 日	7 月 19 日	4.	設備安裝-滴灌系統、給排水系統
	7 月 18 日	7 月 18 日	5.	設備安裝-氣象設備、土壤水分計
	7 月 18 日	7 月 19 日	6.	無線傳輸設備及測試(申請電信號碼)
	7 月 18 日	7 月 19 日	7.	系統試運轉
	二、第 1 次短期早作物節水試驗(小白菜)			
	7 月 12 日	7 月 18 日	1.	小白菜育苗(7/12 育苗)
	7 月 18 日	7 月 19 日	2.	小白菜植苗(7/18 送苗至田區)
7 月 19 日	7 月 19 日	3.	試驗田區灌水浸潤土壤	
8 月	7 月 20 日	8 月 11 日	4.	節水試驗進行(生長情形觀測)
	8 月 12 日	8 月 13 日	5.	產量、品質檢測作業
	8 月 14 日	8 月 15 日	6.	田區整理
	三、第 2 次短期早作物節水試驗(萵苣)			
	8 月 10 日	8 月 15 日	1.	萵苣育苗
	8 月 16 日	8 月 17 日	2.	萵苣植苗
9 月	8 月 16 日	8 月 17 日	3.	試驗田區灌水浸潤土壤
	8 月 16 日	9 月 17 日	4.	節水試驗進行(生長情形觀測)
	9 月 16 日	9 月 17 日	5.	產量、品質檢測作業



氣象站各項感測元件安裝完成



雨量計



灌溉系統之流量計



控制系統安裝於機房

圖5-3 智慧節水灌溉系統之感測元件及控制系統整合安裝一覽

二、試驗田區布置：為進行不同灌溉方法之用水量比較，本計畫於示範場域(田區)規劃設置智慧節水之滴水灌溉(試驗組)及實施傳統慣行農法採用溝灌之對照組；每一田區規模為 $L \times W = 25 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ ；每一田區布置坵塊(畦)10塊，每1塊畦寬度為1m、每1塊畦之兩側均為寬50cm之灌溉土溝，如圖5-4所示。作物栽培行距參考曾盟群(2015)之建議指出，作物行距主要提供作物合適生長空間，若行株距拉大可提高通氣性行株距建議短期葉菜類一般株距15~25cm、番茄或包葉菜類40~60cm、小胡瓜40~60cm、南瓜或絲瓜為1~2m。由於栽培作物種類及習慣差異，設計可調整單畦、雙畦或半畦作業，畦面寬度與畦溝深度可任意調整；例如迴轉犁寬度2.4m，一次作單畦畦面寬200cm，畦溝寬30cm，畦溝深28cm。基於上述原則，本計畫採用蔬菜作物行距(株距)25cm，如圖5-5所示，滴水灌溉試驗組編號，每一畦分別為D-1、D-2...，實

施傳統慣型農法對照組編號，每一畦分別為 T-1、T-2... (如圖 5-6 所示)；後續田間紀錄依各小丘塊分別記錄統計及分析。本計畫之示範場域整體田間佈置圖如圖 5-7 所示。

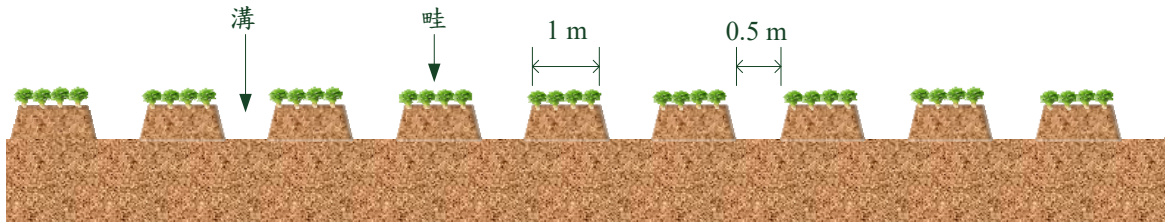


圖 5-4 示範場域(試驗田區)之畦塊及土溝佈置

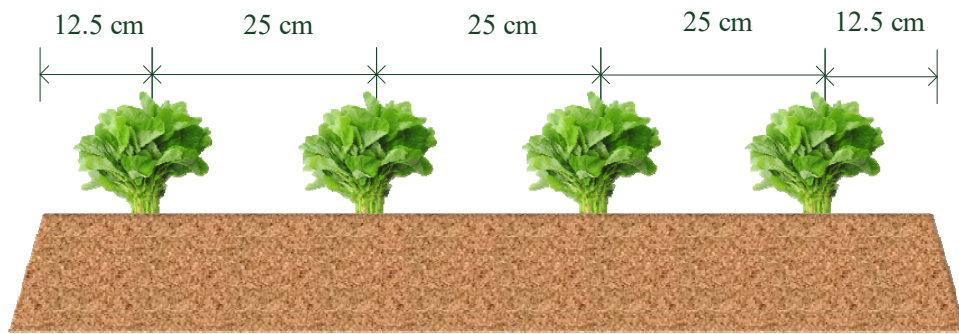


圖 5-5 每一畦塊之作物栽培行距示意圖



試驗組(滴灌區)-編號



對照組(溝灌區)-編號

圖 5-6 試驗組及對照組編號實景

- 三、**水源設施觀測及計算**：本試驗水源乃自桃園大圳 4-5 號埤塘放水至第 4 支線小給水路後，由該水路取水引入蓄水池後，再分別由滴灌系統抽水管路灌溉及使用管路閘門控制對照組所需灌溉量流入田區，若試驗過程遭遇降雨產生之逕流或溝灌區引灌過量之迴歸水則可由下游 PCV 排水管及自記水位計量測得，並經由曼寧公式輔助推估排水量。
- 四、**水質條件檢測**：為確認本試驗使用之水體品質安全無虞，農工中心於 2019 年 3 月 8 日進行水體採樣，由環境試驗室檢驗均符合灌溉用水水質標準；其中水體呈現微黃濁，pH 為 7.64、DO 為 8.20 mg/L、水溫為 17.9°C、EC 為 171 ($\mu\text{s}/\text{cm}$, 25°C)，氨氮為 0.16 mg/L、硝酸鹽氮為 0.16 mg/L、亞硝酸鹽氮未檢出、磷酸鹽為 0.32 mg/L；重金屬項部份則檢出但未超標，銅(Cu)為 0.0037mg/L、鋅(Zn)為 0.0232mg/L、鉛(Pb)為 0.0021mg/L、鎘(Cd)為 0.0033mg/L、鉻(Cr)為 0.0037mg/L、鎳(Ni)為 0.0025mg/L。
- 五、**試驗田區土壤物理參數**：由於土壤物理參數影響灌溉水量之計算及栽培期間之施肥作業，試驗田區土壤物理參數包含土壤類別及土壤肥力；本團隊以試驗田區土壤為樣本進行土壤分類試驗(篩分析、比重計分析、比重分析)等，其中砂粒含量 8%、粉粒 24%、黏粒 68%，利用統一土壤分類名稱為低塑性黏土(Lean Clay)，USDA 土壤質地三角圖進行土壤類別分類後顯示本試驗田區屬於粉質壤土(Silt Loam)；土壤質地之入滲能力經農工中心採用單筒入滲筒於現場田區測試 3 日(72 小時)後，獲得田區之平衡入滲率為 4.32 mm/day。土壤肥力由土壤 pH、電導度、有機質、磷酐、氧化鉀、氧化鈣、氧化鎂等項組成，經農委會桃園區農業改良場協助檢測顯示土壤 pH 為 4.6、電導度為 0.22(mS/cm)、有機質為 4.1、磷酐為 164 (Kg/ha)、氧化鉀為 307 (Kg/ha)、氧化鈣為 2,685 (Kg/ha)、氧化鎂為 620 (Kg/ha)；試驗田區之土壤肥力為酸性，合理化施肥建議每分地施石灰 120~200 公斤；鉀含量偏高，酌量減少；鎂含量偏高，減少投入。

六、灌溉需水量推估：試驗田區所需灌溉水量之計算，依臺灣省農田水利會聯合會(2007)之計算方法，計算總速效性有效水分 TRAM 為本試驗區之灌溉需水量，計算公式如(5-1)~(5-4)式，其中(5-1)、(5-2)式為由土壤黏粒百分比直接推求田間容水量及永久凋萎點，上述公式為徐玉標教授試驗所得之方程式(臺灣省農田水利會聯合會，2007)；後續將以田區土壤黏粒百分比代入(5-3)、(5-4)式，另土壤假比重 A_s 為 1.56 及作物根系深度採 30 cm，作物根系區分為 4 層之前提下，進一步以(5-3)、(5-4)式計算 TRAM。

$$FC=0.544 \times C + 11.33 \dots\dots\dots (5-1)$$

$$WP=0.29 \times C - 0.7 \dots\dots\dots (5-2)$$

$$AM=FC - WP \text{ (%表示)} \dots\dots\dots (5-3)$$

$$TRAM = \frac{AM \times d}{\alpha} \dots\dots\dots (5-4)$$

式中： FC 為田間容水量(%)、 WP 為永久凋萎點(%)、 C 為土壤黏粒百分比(%)、 AM 為有效水分(mm)、 d 為作物根系 4 層之各層有效根層深度(mm)、 α 為吸水百分率(%)、 $TRAM$ 為總速效性有效水分。

七、灌溉頻率之決定：TRAM 計算之意義在於土壤水分由田間容水量降至永久凋萎點時水量，多久需灌溉一次？則需配合田區每日消耗性水量推估，若不考量降雨，平時田區之消耗水量為蒸發散量及土壤層之入滲量，由(5-5)式可推估適當之灌溉期距，或推算一日之灌溉頻率；向為民等(2005)指出利用高頻度灌溉(一日一次或數日一次者)或稱少量頻繁灌溉法，可以精準控制維持土壤水分張力在適當範圍內，以保持良好通氣、水分及疏鬆的土壤物理狀；由於作物生長適當溫度為 15~25 °C，作物於土溫超過 30 °C 時可能受抑制。本計畫配合智慧節水灌溉系統之操作，將灌溉頻率定為每日 1 次，依據田區時序需求水量給水；初始設定為溝灌供水 1 小時(定額 17 噸水量)、省水滴灌系統設定為 1 小時(4 噸)，供水頻率視氣候及田區土壤水分臨前條件予以調整。

$$I_d = TRAM / C_d \dots\dots\dots (5-5)$$

式中： I_d 為入滲量(mm/day)， C_d 為灌溉期距(day)。

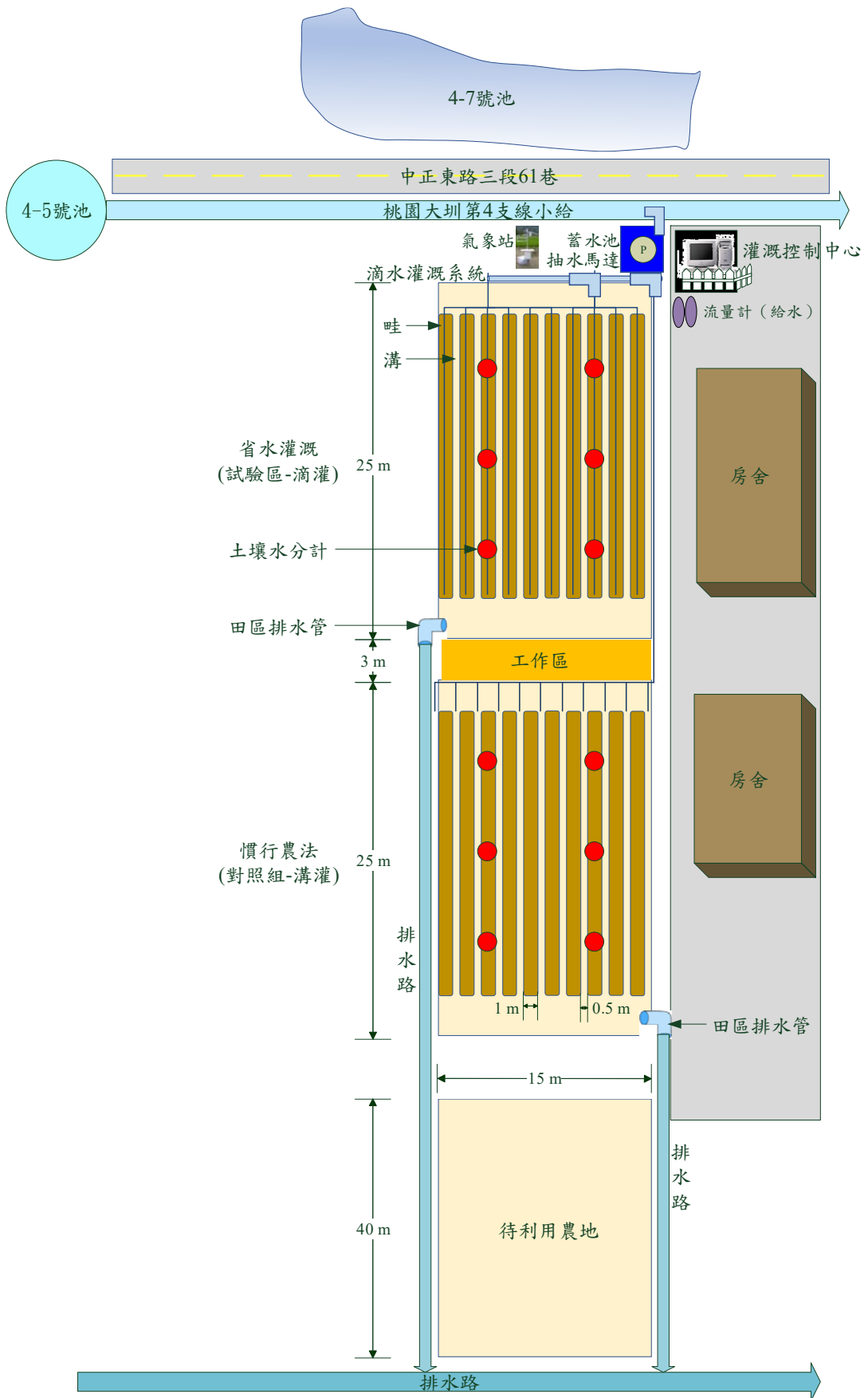


圖 5-7 示範場域(試驗田區)之感測元件及灌溉設備布置示意圖

第六章 智慧節水管理系統試驗歷程及效益評估

農田經以適時適量灌溉後，方可充分發揮灌溉效益。灌溉效益一般分為可計效益與不可計效益，可計效益又分為直接效益與間接效益兩種，由灌溉增加之農產效益，如作物增產、品質提昇、作業效率及改善農業經營條件與提高地價等，均屬提高農家所得，屬直接效益；其他關聯效益，則屬間接效益，係由直接效果影響到農業以外之行業，如工商、運輸服務業等之就業機會，並增加稅收及繁榮社會，是屬國家整體經濟與社會方面者。不可計效益範圍甚廣，舉凡安定民心、促進農村經濟富裕、增進工商業發達、提高人民生活水準、維持農業生產穩定等都屬不可計效益，不可計效益可作為計畫執行之參考，尤其政府機關及公部門對不可計效益之因素較為重視，不可計效益可以可計效益一定比例估算之。

灌溉直接效益範圍廣泛，相關因素亦多，管理人員可於管轄區記錄田間管理作業，包括灌溉方式、次數、用水量、灌溉時期及產量等，本計畫則可透過作物環境感測器與作物環境控制系統之整合進行紀錄。針對智慧節水管理系統之效益進行評估、探討。

6-1 智慧節水試驗歷程

本計畫共進行 2 次短期蔬菜作物栽培智慧節水試驗，第 1 次以小白菜為試驗對象、第 2 次則為萵苣，依據表 5-1 之試驗期程規劃，試驗期間之初期田區整備(整田、製畦、挖溝、工作區配置、系統測試)如圖 6-1；茲將 2 次作物栽培智慧節水試驗執行過程說明如下。



試驗田區整田製畦作業



田區排水路挖掘



田區土壤水分計安裝



田區排水管暨自記水位計安裝



縮時拍攝像機安裝



工作區整備



滴灌管試水測試



溝灌試水測試

圖 6-1 智慧節水灌溉試驗田區初期整備歷程

一、作物栽培歷程說明：

(一).第 1 次作物栽培智慧節水試驗-小白菜

本計畫第 1 次作物栽培試驗以小白菜為試驗作物，蔬菜種植採用移苗方式，於 2019 年 7 月 12 日委請蔬菜育苗場播種於植穴盆，並於種苗約 10 日規模時，於 7 月 23 日~24 日移苗至試驗田區，每一畦種植 400 株(共 100 排，每一排種植 4 株)，每一試驗區種植 4,000 株，本次試驗總計種植 8,000 株小白菜；試驗起訖期間以正式供水灌溉 7 月 25 日起算至作物收成 8 月 13 日止，共計於田區進行灌溉試驗 20 日；小白菜作物移苗及試驗觀測等歷程如圖 6-2 所示。

(二).第 2 次作物栽培智慧節水試驗-萵苣

本計畫第 2 次作物栽培試驗以萵苣為試驗作物，蔬菜種植採用移苗方式，於 2019 年 8 月 10 日委請蔬菜育苗場播種於植穴盆，並於種苗約 6-7 日規模時，於 8 月 16 日~17 日移苗至試驗田區，根據第 1 次試驗進行株距調整，每一畦種植 300 株(共 75 排，每一排種植 4 株)，每一試驗區種植 3,000 株，本次試驗總計種植 6,000 株小白菜；試驗起訖期間以正式供水灌溉起算(溝灌區為 8 月 16 日、滴灌區為 8 月 17 日)至作物收成止(溝灌區為 9 月 16 日、滴灌區為 9 月 17 日)，共計於田區進行灌溉試驗 30 日；萵苣菜作物移苗及試驗觀測等歷程如圖 6-3 所示。



種苗盆準備



小白菜-菜苗移植作業



菜苗移植作業完成(滴灌試驗組)



菜苗移植作業完成(溝灌對照組)



株高量測作業



葉面數量調查作業



滴灌試驗組生長情形



溝灌對照組生長情形

圖 6-2 第 1 次智慧節水灌溉試驗(小白菜)田區試驗觀測歷程



種苗盆準備



萵苣-菜苗移植作業



菜苗移植作業完成(滴灌試驗組)



菜苗移植作業完成(溝灌對照組)



除草作業



葉面數量調查作業



滴灌試驗組生長情形



作物收成情形

圖 6-3 第 2 次智慧節水灌溉試驗(萵苣)田區試驗觀測歷程

二、病蟲害防治:本計畫作物栽培試驗執行期間，不使用除草劑及化學肥料，為確保試驗期間之作物正常收成；針對常見之病蟲害(夜紋斜盜蛾、黃條葉蚤、番茄斑潛蠅等)採用生物防治方法包括 3 種，分別為(一).噴灑蘇力菌、(二).黃條葉蚤於黃色黏紙、(三).生物費洛蒙引誘捕抓法；防治情形如圖 6-4 所示。其中蘇力菌(*Bacillus thuringiensis*, Bt)是一種微生物，也是一種成熟的生物性農業用植物保護藥物，1938 年至今全世界蘇力菌產品超過 100 種以上，佔生物農藥販售量 90%以上，蘇力菌是一種昆蟲病原細菌，會產生結晶毒蛋白，結晶毒蛋白具有專一性的殺蟲效果，並且對目標昆蟲以外的生物完全無傷害，因其專一性和作用機制，使用蘇力菌無安全採收期之限制，可隨時採收，是一種安全又無殘毒、環保的植物保護劑，對於講求不使用化學性農藥的有機栽培，蘇力菌是目前通過農藥管理註冊登記之生物性殺蟲劑。蘇力菌在田間應用時，因毒素為非接觸性毒效，需要被昆蟲吃下進入中腸，在高鹼性下才會被活化，但一旦活化發生作用，中毒的昆蟲很快就停止取食，呈現麻痺狀，雖未見立即死亡落下，但也不再為害作物。本計畫於實驗田區固定每周二及周五傍晚施用蘇力菌以預防田間害蟲之發生。

作物施肥部份，本計畫第 1 次及第 2 次試驗分別於 7 月 31 日、8 月 26 日施用肥料，品牌為臺益燕子牌特 1 號有機質複合肥，特點為採用粕類、天然有機質經充分混合調配後再結合三要素製成，含有均衡的氮、磷、鉀三要素，除能提高作物的肥料吸收率，同時可改良土質，並可增進土壤中有益微生物的繁殖，補充有機物提高地力，長期使用不會酸化土壤，具有速效兼緩效性作用，能迅速補充植物養分，又有長效有機態肥分穩定供肥，適用各種作物基肥或追肥使用。試驗期間之病蟲害防治及施肥過程如圖 6-4 所示。



黃條葉蚤肆虐狀況



番茄斑潛蠅肆虐狀況



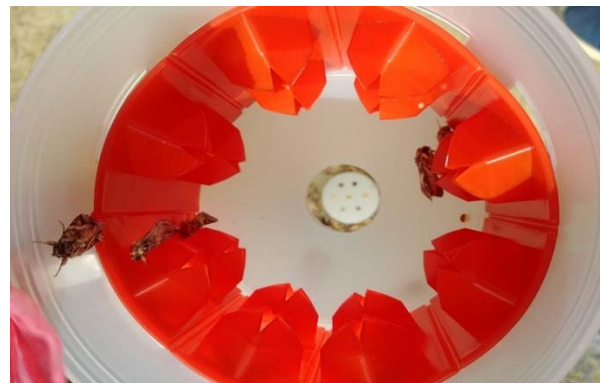
黃條葉蚤於黃色黏紙



田間布置黃色黏紙一覽



性費洛蒙誘蟲器佈置情形



性費洛蒙誘蟲器誘引成果



蘇力菌蟲害防治噴灑作業



施肥作業

圖 6-4 智慧節水灌溉試驗田區病蟲害防治及施肥歷程

6-2 感測元件資料蒐集分析

智慧節水灌溉試驗重點之一為透過水文及氣象感測元件布設，藉以紀錄作物栽培過程之各項氣候條件及施放水量，以作為後續調整灌溉頻率或供水量之調整依據，茲將氣象、水量及土壤水分計測定結果說明如下。

一、氣象資料觀測：本計畫氣象資料之觀測自氣象站裝置完成且開始進行監測(7月18日)蒐集至10月2日，監測時間共77天(惟9月13日至29日設備異常未能正常蒐集資料)，其中第1次智慧節水試驗為7月25日至8月12日(氣象監測數據之試驗天數第8~26天)，第2次智慧節水試驗為8月16日至9月17日(氣象監測數據之試驗天數第30~62天)。為釐清試驗期間之氣象條件及評估氣象資料對於試驗作物之影響，於試驗田區附近架設之環境感測器整合相關氣象資料包含日射量(W/m^2)、大氣壓力(hPa)、雨量(mm)、溫度($^{\circ}C$ ，包含當日最高溫度、平均溫度、最低溫度)、相對溼度(%，平均相對溼度及最大相對溼度)及風速(m/s)等。前述感測元件觀測數據彙整如下：平均日射量於試驗期間約為58.95~269.64 W/m^2 間、大氣壓力介於989.44~1,008.82 hPa。第1次試驗期間歷經7月27日之午後雷陣雨及8月7日~8月10日利奇馬颱風過境之降雨事件，試驗期間之總降雨量為1,468 mm，單日最大降雨量為614 mm/day，溫度則介於26.9~30.9 $^{\circ}C$ ，相對溼度介於46.29~61.69 %、平均風速約2.65~12.00 m/s，最大風速約5.38~20.61 m/s。

第2次作物栽培智慧節水試驗期間歷經8月18日至21日及9月4日至6日等2場主要降雨事件，總降雨量為104 mm，單日最大降雨量為33.6 mm/day(8月18日)，試驗期間溫度則介於25.5~30.4 $^{\circ}C$ ，相對溼度介於45.43~61.33 %、平均風速約1.55~22.69 m/s，最大風速約3.44~37.49 m/s，各項氣象結果分別如圖6-5所示，由圖中可觀察出於氣象觀測第22天(8月8日)之平均日射量、大氣壓力、溫度均有明顯下降，雨量及相對溼度則有上升現象，其原因為利奇馬颱風來襲所夾帶之雨勢。

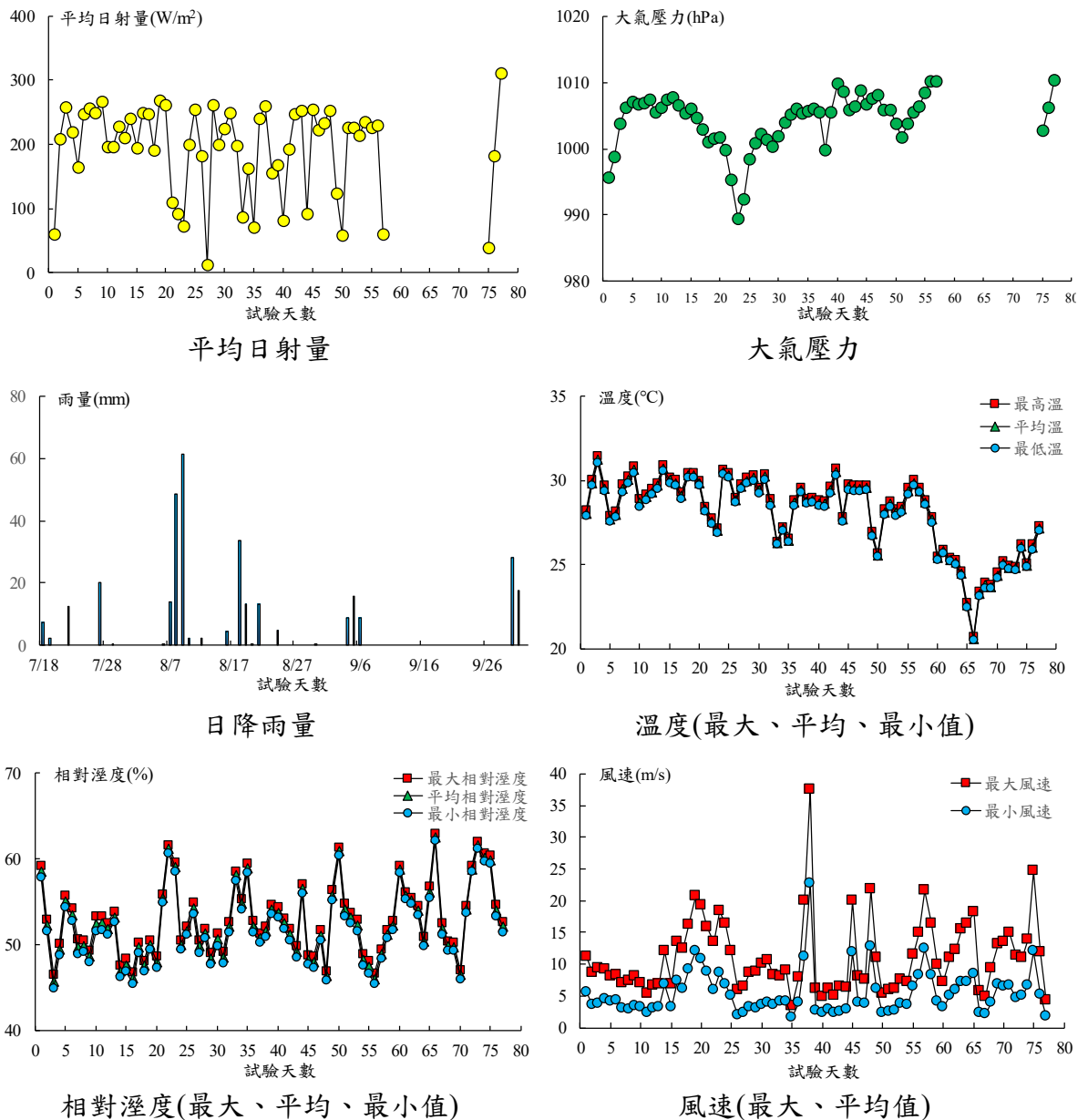


圖 6-5 智慧節水灌溉試驗期間之氣象觀測資料一覽

二、田區土壤水分觀測：為釐清各氣象參數與試驗田區灌溉資料之影響，茲蒐集試驗期間土壤水份計之監測數據(單位為%)與每日供灌水量(cms)，滴灌區之土壤水份計為編號 NO.1~6，其中 NO.1~3 水份計分別位於滴灌區第 3 畦之上游、中游及下游位置，NO.4~6 等 3 處水份計則位於第 8 畦之上、中及下游位置；溝灌區之土壤水份計為 NO.7~12，NO.7~9 等 3 處水份計位於第溝灌區第 3 畦之上游、中游、下游處，NO.10~12 等 3 處水份計則位於溝灌區第 8 畦之上游、中游及下游處，滴灌區及溝灌區土壤水份計土壤含水率分別如圖 6-6 所示，圖中可看出於試驗

第 13 天(8 月 6 日)之後土壤含水率上升至第 16 天(8 月 9 日)達到最高點，此結果與該期間颱風帶來之降雨量相符；另滴灌區與溝灌區之土壤含水率於試驗第 12 天(8 月 5 日)前均有土壤含水率為 0%之結果，可能原因為土壤水份計埋設位置過深(25 cm)，試驗前田區土壤過乾，水分可能無法滲透至較深之區域，故顯示為 0%。

由於第 1 次試驗時土壤水份計之埋設主要為評估田區空間分布是否一致性，因此統一埋設於土層下最大根系深度 25 cm 處，然而試驗結果發現埋設深度過深，無法適時反應土壤水分之變化程度；為能客觀呈現土壤深度及土壤含水率之變化，第 2 次試驗期間調整各土壤水份計之埋設位置，滴灌區之土壤水份計 NO.1~3 之水份計埋設於滴灌區第 3 畦之中游位置，其中 NO.1、2、3 等 3 支水份計分別埋設於距離地表 5、10、15 cm，另 NO.4~6 等 3 支水份計則埋設於滴灌區第 6 畦之下游位置，同理 NO.4、5、6 等 3 支水份計分別埋設於距離地表 5、10、15 cm；溝灌區之土壤水份計進行同樣調整，土壤水份計 NO.7~9 之水份計埋設於溝灌區第 3 畦之中游位置，其中 NO.7、8、9 等 3 支水份計分別埋設於距離地表 5、10、15 cm，另 NO.10~12 等 3 支水份計則埋設於溝灌區第 6 畦之下游位置，即 NO.10、11、12 等 3 支水份計分別埋設於距離地表 5、10、15 cm。

第 2 次試驗之滴灌區及溝灌區土壤水份計土壤含水率分別如圖 6-7 所示(溝灌區第 6 畦之 NO.11 及 NO.12 之土壤水份計於試驗第 1~11 天故障(8 月 15 日至 25 日)，故顯示為 0%)，由於移苗初期為避免植物缺水死亡，故於試驗初期澆灌較多之水量，故可看出約於試驗第 5 天(8 月 19 日)土壤含水率為最高，滴灌區土壤含水率約介於 70~80%、溝灌區約介於 70~90%，另由於 8 月 18 日至 21 日之降雨事件使得試驗第 5~12 天(8 月 19 日至 24 日)土壤含水率不至於快速下降，且均維持超過 60%土壤含水率，該次降雨事件後土壤水份下降至約 40%~50%，至試驗第 21~23 天(9 月 4 日至 6 日)歷經第 2 次降雨事件，此次降雨規模較小，土壤水份含量僅微幅上升。

此外，為觀察滴灌區、溝灌區土壤水份之差異，及不同埋設深度對於土壤水份是否會有影響，另針對單一土壤水份計於第 2 次作物試驗期間之數據計算平均值後進行比較，比較結果如圖 6-8 所示，溝灌區普遍土壤水份較滴灌區高，滴灌區土壤水份約介於 40~60%，而溝灌區土壤水份約介於 60~80%；不同埋設深度對於土壤水份之探討方面，滴灌區之數據顯示土壤水份與埋設深度無明顯之關係，其原因可能為滴灌供應水量之方向為由上至下，然而土壤並非均質，水份容易向土壤孔隙較大之地方入滲，而溝灌區之數據顯示土壤水份計埋設深度越深、土壤含水率越高，其主要原因為溝灌區之灌溉方式為利用畦溝間充滿之水份進行入滲，水份從田畦之兩旁受毛細作用影響由下向上，故田畦越深處其含水率也較高。

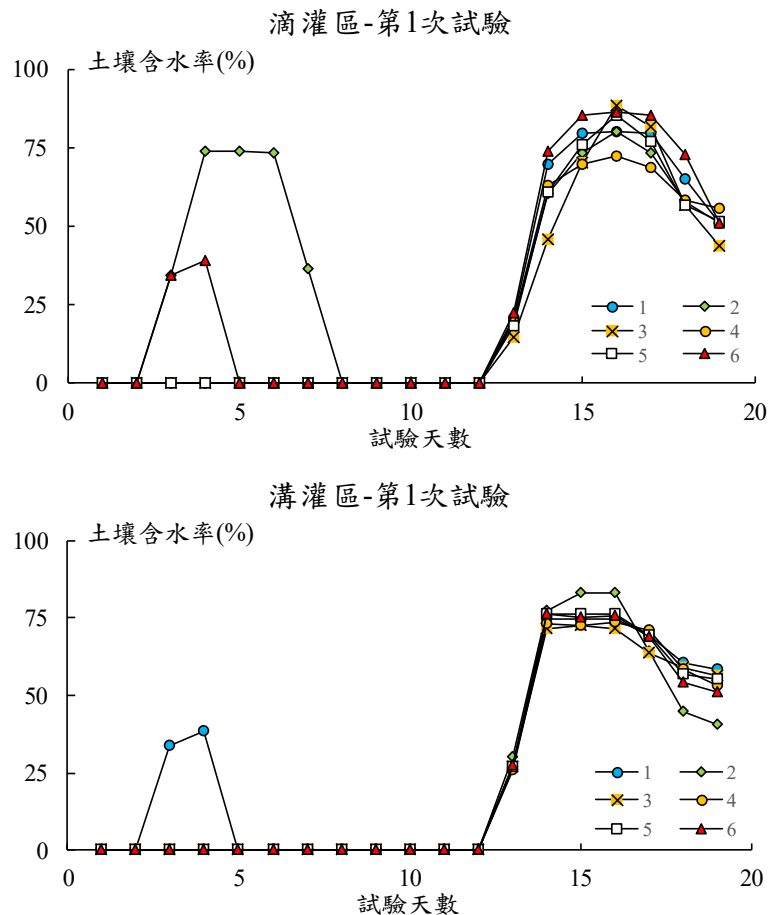


圖 6-6 第 1 次智慧節水灌溉試驗期間之土壤水份觀測資料一覽

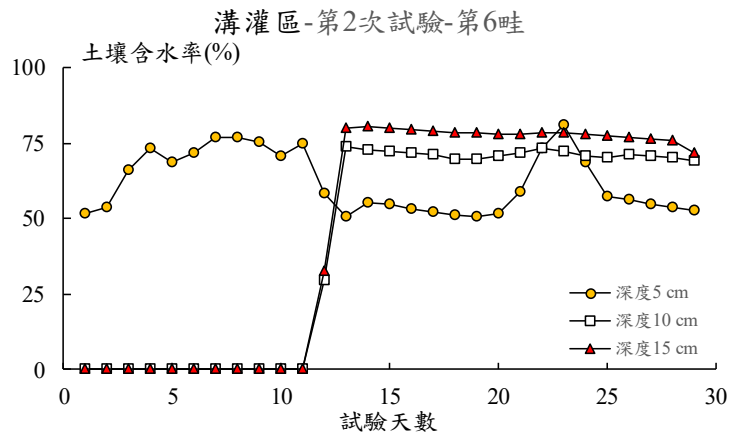
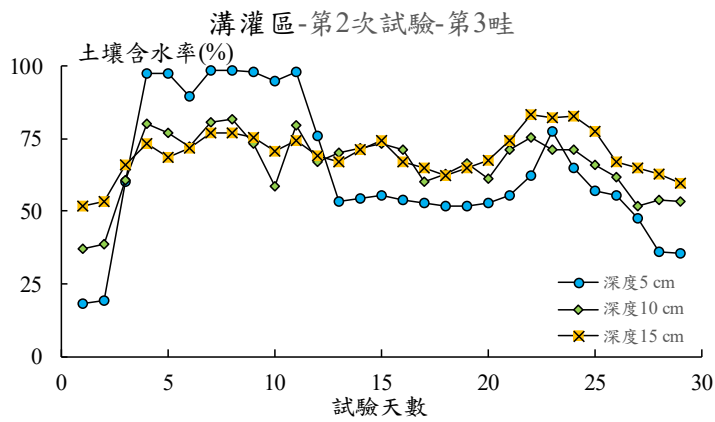
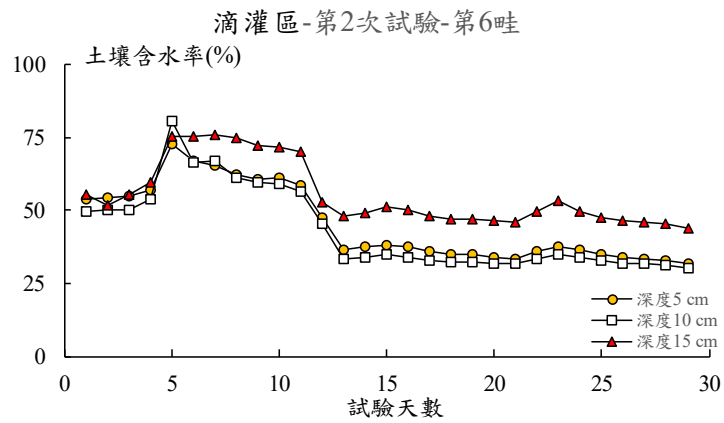
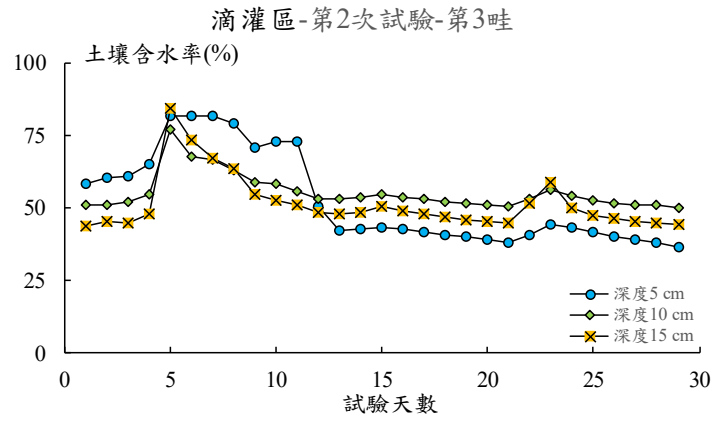


圖 6-7 第 2 次智慧節水灌溉試驗期間之土壤水份觀測資料一覽

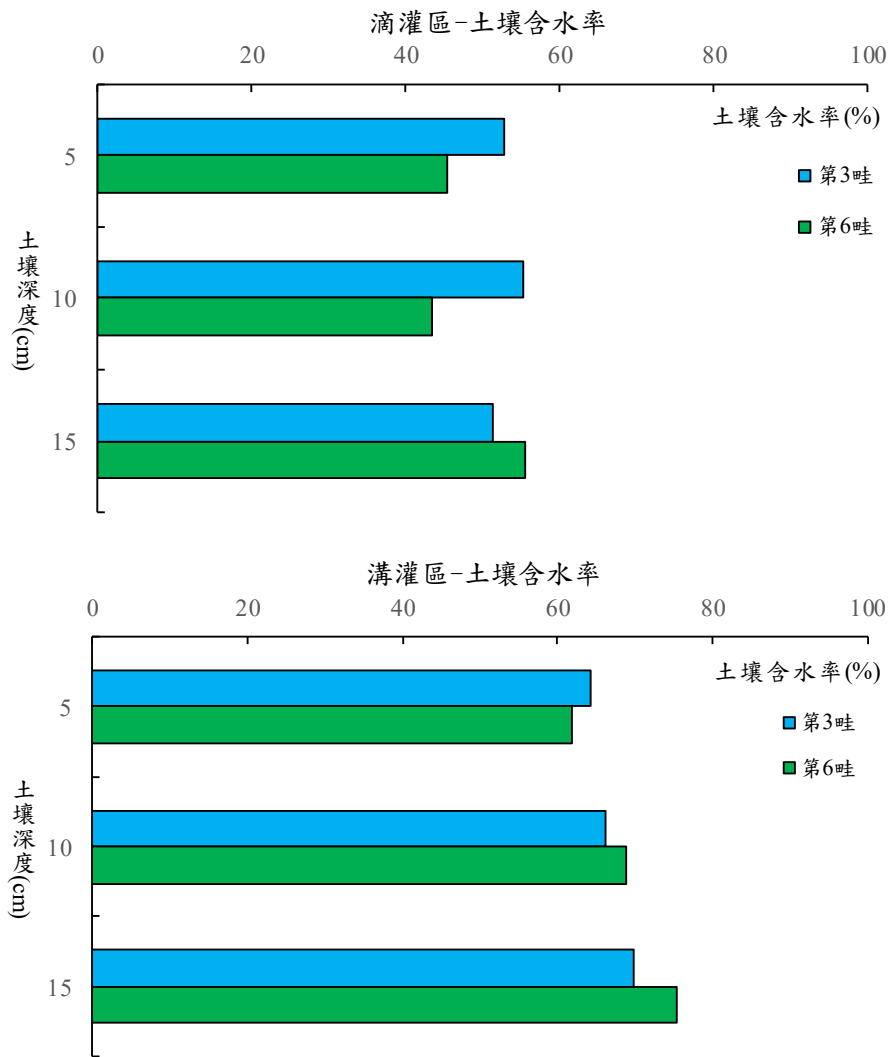


圖 6-8 第 2 次智慧節水灌溉試驗期間之滴灌區、溝灌區土壤水份比較

6-3 灌溉用水量差異評估

為分析試驗區用水期間之節水量及節水效率，擬以以下幾項重要評估項目進行對照組與試驗組之評析。

- 一、實際用水量：由進水量監測資料累計，進而評估兩種灌溉方式之差異。
- 二、施灌效率：指在作物根系土層中所儲留水量與引入田間水量之比(%表示)，其式為：

$$E_a = \frac{W_s}{W_f} \times 100 \dots\dots\dots(6-1)$$

式中： E_a 為施灌效率(Water-application efficiency)； W_s 為根系土層儲留水量； W_f 為引達田間之水量

上述兩項效率觀念可用於規劃及田間配水之估計。但施灌效率並未考慮及田間灌溉技術上之困難。土壤水分難以平均分布於根系土層，地面可能有逕流損失，地下可能有滲漏損失。若不計少量之蒸發損失，引達田間之水量可以下式表示：

$$W_f = W_s + R_f + D_f \dots\dots\dots(6-2)$$

$$E_a = \frac{W_f - (R_f + D_f)}{W_f} \times 100\% \dots\dots\dots(6-3)$$

式中： R_f 為地面逕流量； D_f 為地下滲漏量。

其中本計畫試驗過程以實際用水量進行節水效益評估，另施灌效率 E_a ，因試驗期間並無流量流失(迴歸水)，因此實驗組與對照組之施灌效率相同，以下僅針對試驗期間之用水情形及成果分析如下。

第 1 次及第 2 次試驗期間之灌溉水量觀測結果分別彙整如表 6-1 及圖 6-9、表 6-2 及圖 6-10 所示，圖 6-9 及圖 6-10 中藍色長條圖為滴灌區之給水量，綠色長條圖為溝灌區之給水量。

第 1 次試驗期間滴灌區之給水量約為 1.88~4.39 (cmd)，平均值為 3.01 (cmd)；給水量多寡需視當日溫度及田面乾溼程度，於試驗第 1 天為確保試驗作物能順利度過苗期，故給予較多之灌溉水量，而後開始降滴灌溉水量於 1.88~1.90 (cmd)，然至試驗第 9 天(8 月 2 日)，連日不雨、土壤表面龜裂，故將滴灌時間延長增加滴灌灌溉水量約 3.77~3.82 (cmd)，溝灌區之灌溉水量則較固定約 4.36~8.43 (cmd)，平均值為 6.62 (cmd)；

試驗第 15 天(8 月 8 日)，為避免颱風夾帶之雨勢造成試驗田區土壤水份過高以至於根系泡水腐爛，將 2 處試驗田區之灌溉閘關閉，故試驗第 15~19 天(8 月 8 日至 12 日)均無給水紀錄，總給水量方面滴灌區及溝灌區分別為 39.19 m³ 及 92.73 m³，初步估算節水量約 57.74 %。

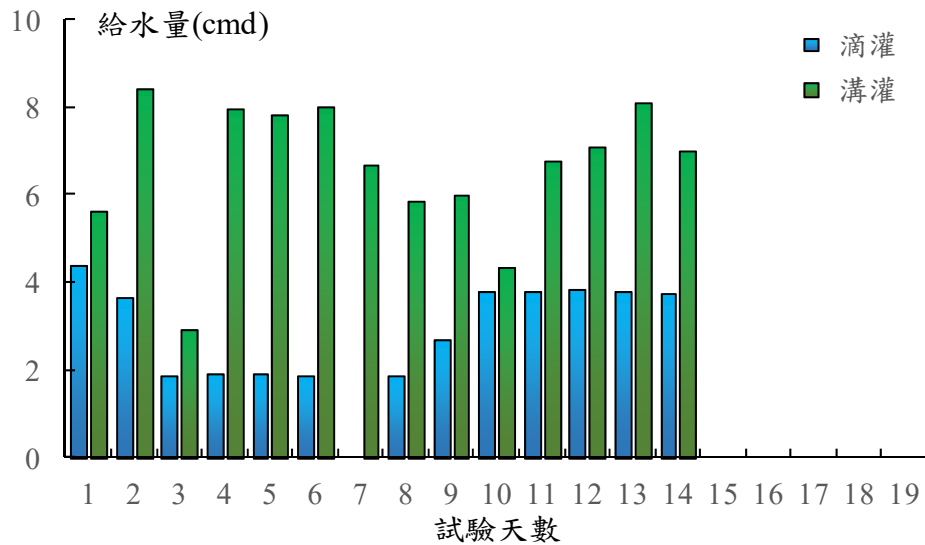


圖 6-9 第 1 次智慧節水灌溉試驗期間之給水量觀測資料一覽

表 6-1 第 1 次智慧節水灌溉試驗之灌溉水量節水效益分析

天數	試驗組(滴灌區)			對照組(溝灌區)			節水評估	
	給水量(m ³)	流量(cms)	灌溉時間(min)	給水量(m ³)	流量(cms)	灌溉時間(min)	節水量(m ³)	節水率(%)
1	4.39	0.0021	70	5.63	0.0031	30.0	1.24	22.02
2	3.65	0.0010	60	8.43	0.0039	31.4	4.78	56.70
3	1.89	0.0010	30	2.93	0.0016	30.0	1.04	35.49
4	1.90	0.0011	30	7.99	0.0044	30.0	6.09	76.22
5	1.90	0.0010	30	7.82	0.0045	30.0	5.92	75.70
6	1.88	0.0010	30	8.03	0.0045	30.0	6.15	76.59
7			0	6.69	0.0043	26.7	6.69	100.00
8	1.89	0.0010	30	5.87	0.0037	28.7	3.98	67.80
9	2.68	0.0015	60	5.98	0.0033	30.0	3.30	55.18
10	3.81	0.0011	60	4.36	0.0024	30.0	0.55	12.61
11	3.80	0.0011	60	6.79	0.0038	30.0	2.99	44.04
12	3.82	0.0011	60	7.09	0.0038	30.0	3.27	46.12
13	3.81	0.0011	60	8.12	0.0038	30.0	4.31	53.08
14	3.77	0.0010	60	7.00	0.0039	30.0	3.23	46.14
總計	39.19		640	92.73		416.8	53.54	57.74

第 2 次試驗滴灌區之給水量約為 0.9~4.14 (cmd)，平均值為 1.81

(cmd)；給水量多寡需視土壤水份計之數據進行調整，於試驗初期為確保試驗作物能順利度過育苗期，故給予較多之灌溉水量(4.14 cmd)，而後開始降低灌溉水量於 0.9~2.03 (cmd)，至試驗第 3 天(8 月 17 日)，依據土壤水份計數據將滴灌時間延長增加滴灌灌溉水量約 1.97~1.99 (cmd)，溝灌區之灌溉水量則約 5.01~7.84 (cmd)，試驗初期為使得畦溝之間充滿水份增加灌溉水量為 14.99~15.58(cmd)；試驗第 22~26 天(9 月 5 日至 9 日)，因應 9 月 4 日至 6 日降雨事件之雨勢可能有土壤水份過高、根系腐爛之虞，故將 2 處試驗田區之灌溉閥關閉，故該期間內均無給水紀錄，總給水量方面滴灌區及溝灌區分別為 19.88 m³ 及 87.79 m³，節水率經計算分析約 77.36 %。

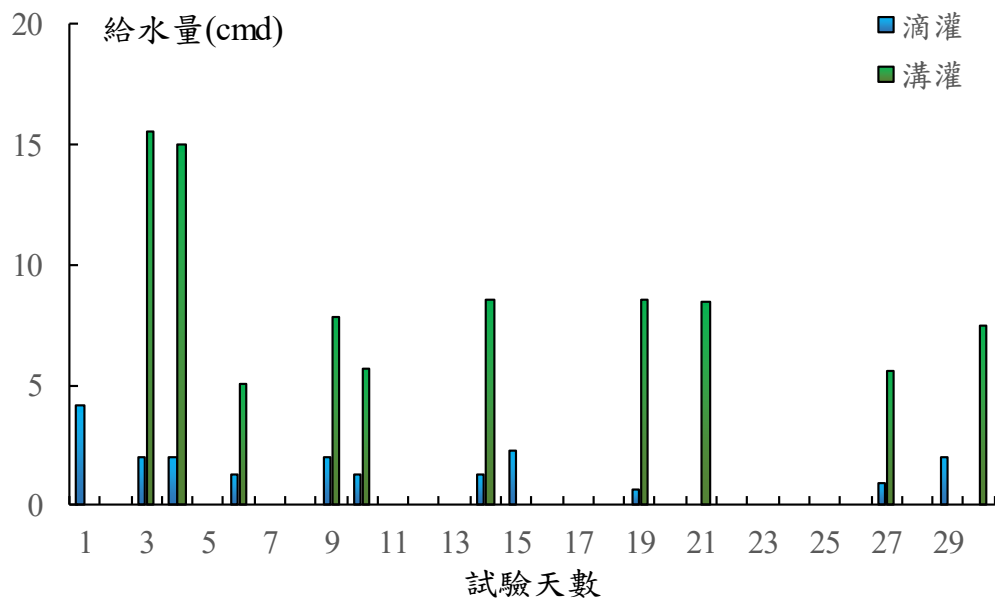


圖 6-10 第 2 次智慧節水灌溉試驗期間之給水量觀測資料一覽

表 6-2 第 2 次智慧節水灌溉試驗之灌溉水量節水效益分析

天數	試驗組(滴灌區)			對照組(溝灌區)			節水評估	
	給水量 (m ³)	流量 (cms)	灌溉時間 (min)	給水量 (m ³)	流量 (cms)	灌溉時間 (min)	節水量 (m ³)	節水率 (%)
1	4.14	0.0012	60				-4.14	
2							0.00	
3	1.97	0.0011	30	15.58	0.0042	62	13.61	87.36
4	1.99	0.0011	30	14.99	0.0042	60	13.00	86.72
5							0.00	
6	1.31	0.0011	20	5.01	0.0042	20	3.70	73.85
7							0.00	
8							0.00	
9	1.97	0.0011	30	7.84	0.0037	35	5.87	74.87
10	1.31	0.0011	20	5.71	0.0048	20	4.40	77.06
11							0.00	
12							0.00	
13							0.00	
14	1.30	0.0011	20	8.56	0.0036	40	7.26	84.81
15	2.30	0.0011	35				-2.30	
16							0.00	
17							0.00	
18							0.00	
19	0.66	0.0011	10	8.53	0.0036	40	7.87	92.26
20							0.00	
21				8.49	0.0034	41	8.49	100.00
22							0.00	
23							0.00	
24							0.00	
25							0.00	
26							0.00	
27	0.90	0.0005	30	5.57	0.0031	30	4.67	83.84
28							0.00	
29	2.03	0.0011	30				-2.03	
30				7.51	0.0032	39	7.51	100.00
總計	19.88		315	87.79		387	67.91	77.36

6-4 短期標的作物品質差異評估

為探討實施智慧節水管理(試驗組)與慣行灌溉農法(對照組)下之短期標的作物品質差異，本計畫針對第 1 次試驗進行完整測試；第 2 次試驗則針對收成時株高、葉面總寬度、單株重量及總收成進行評估分析。

以第 1 次試驗組及對照組種植之 4,000 株小白菜成果為例，抽樣調查 10% (各組 400 株)，總計 800 株；試驗期間為 7 月 25 日至 8 月 14 日，茲將試驗期間之株高、單株葉數之觀測資料及作物收成前(8 月 12 日)觀測之單葉葉寬及單株總葉寬進行量測調查；其中單葉葉寬是以取大之葉片為主，取其最寬之部分測量；葉長度以最大之葉片為主，量測範圍以葉背基部之葉痕至葉尖；單株總葉寬為量測植株左右葉片之最寬間距；茲將株高及單株葉數調查成果歸納分析如表 6-3 及圖 6-11、圖 6-12 所示。

其中本計畫針對生長株高及葉片數量紀錄分別以株高生長倍數 $Rg(H) = (H_{(D)}/H_{(T)}) \times 100\%$ 即以智慧節水灌溉試驗組(D)的每日平均株高 $H_{(D)}$ 除以慣行灌溉對照組(T)每日的平均株高 $H_{(T)}$ 評估兩組灌溉管理方式之生長情形， $Rg(H)$ 作為判斷智慧節水灌溉試驗組(D)與慣行灌溉對照組(T)之株高差異性比較。其次另以葉數生長倍數 $Rg(L) = (L_{(D)}/L_{(T)}) \times 100\%$ 即以智慧節水灌溉試驗組(D)的每日單株葉片數量 $L_{(D)}$ 除以慣行灌溉對照組(T)每日單株葉片數量 $L_{(T)}$ 評估兩組灌溉管理方式之葉片生長情形， $Rg(L)$ 作為判斷智慧節水灌溉試驗組(D)與慣行灌溉對照組(T)之葉片生長差異性比較。表 6-3 及圖 6-11 及圖 6-12 顯示，試驗組採用滴灌方式者(用水量較少)，其 400 株小白菜株高平均值顯示生長期間，試驗區之株高約為對照組(溝灌區)之 0.86~1.05 倍(株高生長倍數 $Rg(H)$)，兩者差異甚小，生長後期顯示滴灌區之株高略高於用水量大之溝灌者；單株葉片數量方面，試驗區之株高約為對照組(溝灌區)之 0.91~1.04 倍(株高生長倍數 $Rg(H)$)，兩者於整個生長期間差異甚小，上述成果顯示使用省灌溉方式對於小白菜的株高及葉片生長不受影響。

表 6-3 第 1 次智慧節水試驗-小白菜株高及葉片數量試驗結果

生長日數	株高生長觀測 (cm)			葉片數量觀測 (片)		
	滴灌區 抽樣平均	溝灌組 抽樣平均	株高生長倍數 $Rg(H)$	滴灌區 抽樣平均	溝灌組 抽樣平均	葉數生長倍數 $Rg(L)$
1	1.28	1.28	1.00	4.66	4.66	1.00
2	1.61	1.69	0.96	4.78	4.91	0.97
3	1.37	1.54	0.89	4.83	5.14	0.94
4						
5	1.58	1.66	0.95	5.43	5.77	0.94
6	1.61	1.60	1.01	5.92	6.23	0.95
7	1.59	1.64	0.97	5.99	6.61	0.91
8	1.60	1.53	1.05	6.14	6.50	0.94
9	1.60	1.75	0.91	6.29	6.30	1.00
10	1.81	1.87	0.97	5.66	5.95	0.95
11						
12	1.89	1.93	0.98	6.57	6.58	1.00
13	1.63	1.90	0.86	7.11	6.83	1.04
14	1.66	1.93	0.86	7.25	7.22	1.00
15						
16						
17	2.44	2.33	1.04	7.83	8.00	0.98

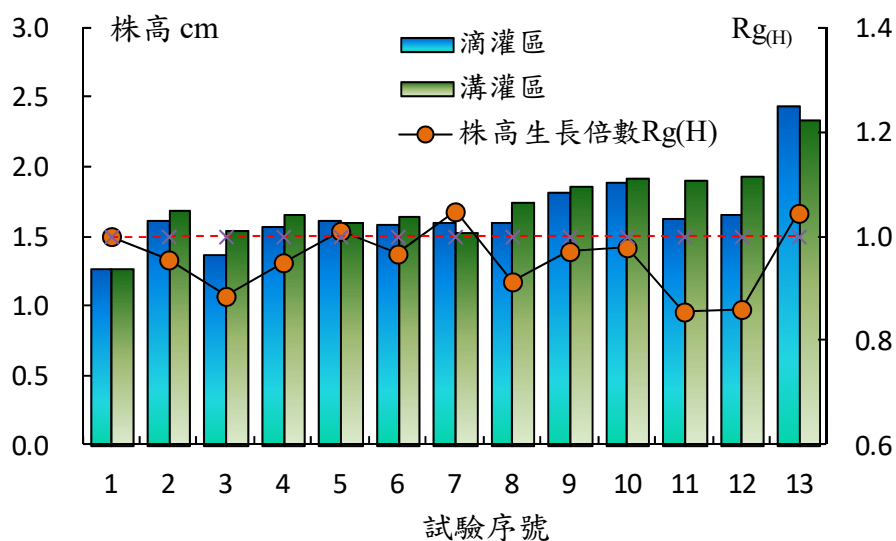


圖 6-11 第 1 次智慧節水試驗-小白菜株高試驗結果比較

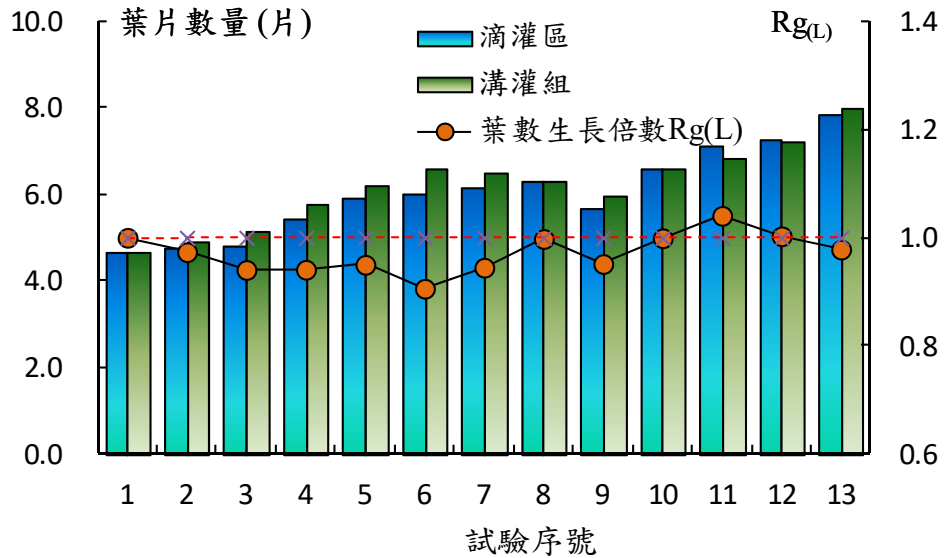


圖 6-12 第 1 次智慧節水試驗-小白菜葉片數量試驗結果比較

本計畫於第 1 次作物(小白菜)收成前進行一次單葉葉寬及單株總葉寬進行量測調查，共計調查每一試驗區之 10 畦(分別調查 400 株)，成果彙整如表 6-4 及圖 6-13、圖 6-14 所示，調查成果顯示單株葉寬部分，試驗組(滴灌區)之平均值為 10.03cm，低於對照組(溝灌區)的 11.52 cm，惟進一步分析各畦之生長狀態可顯示滴灌區的第 1-4 畦生長狀況不佳，而第 5-10 畦狀況皆優於溝灌組；單株總葉寬部分，滴灌區單株總寬度平均約 20.32 cm、溝灌組平均約 19.74 cm，顯示滴灌區再水量供應較低的條件下，葉面伸展仍能略優於溝灌區之小白菜。

表 6-4 第 1 次智慧節水試驗-小白菜葉寬試驗結果

組別 (畦)	單葉葉寬 (cm)		單株總葉寬 (cm)	
	滴灌組	溝灌組	滴灌組	溝灌組
1	826	1526	2065	2298
2	668	1070	1895	2048
3	630	1100	1690	1950
4	517	1345	1406	1920
5	1343	1000	2248	2037
6	1030	880	2090	2030
7	1083	1058	1981	1830
8	1208	1248	2148	2090
9	1330	1178	2288	1825
10	1398	1118	2513	1712
總平均	1003	1152	2032	1974

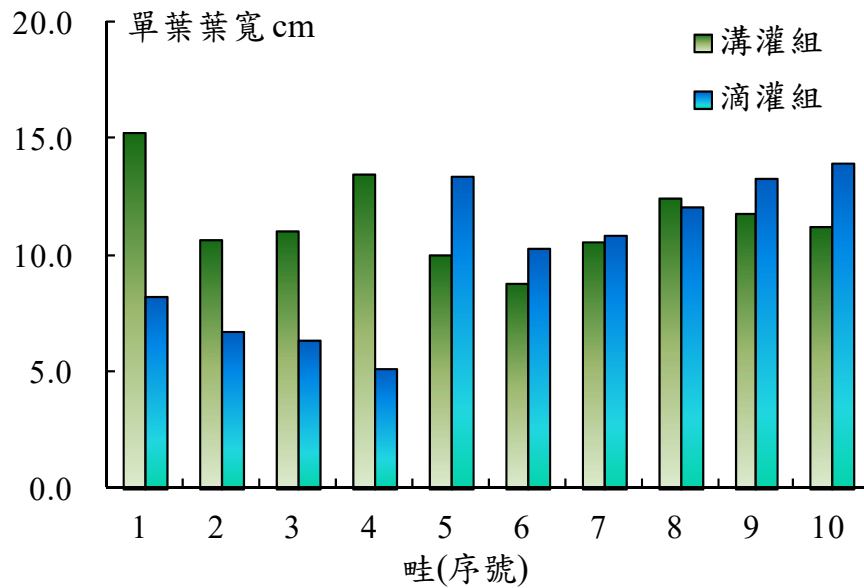


圖 6-13 第 1 次智慧節水試驗-小白菜單葉葉寬試驗結果比較

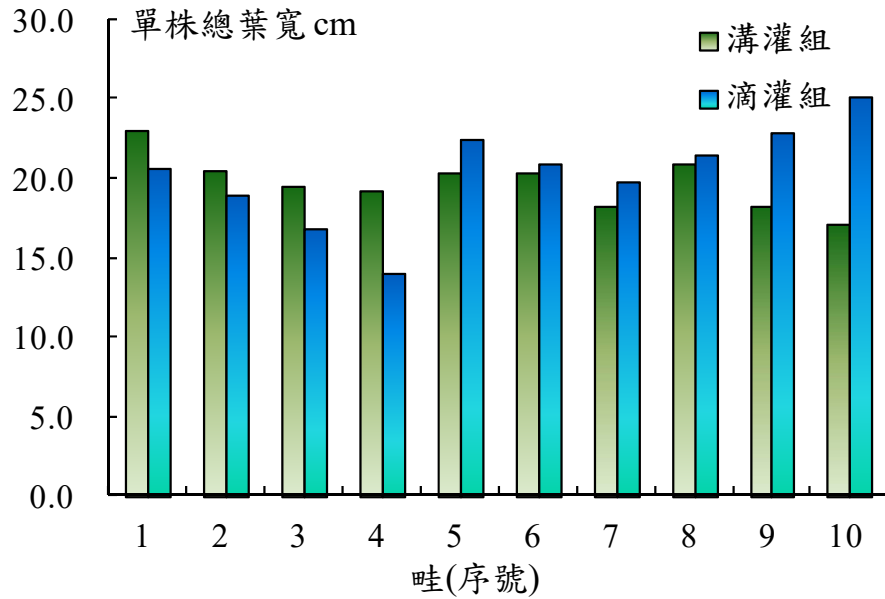


圖 6-14 第 1 次智慧節水試驗-小白菜單株總葉寬試驗結果比較

本計畫於第 2 次作物(萵苣)試驗亦於 6,000 株萵苣作物中共抽樣 400 株針對單一蔬菜株高、單株重量、單株總葉面寬進行觀測，該次試驗於作物種植 30 日後收成當日進行株高量測，結果如表 6-5 及圖 6-15~圖 6-17 所示；其中單株高度部分，滴灌區平均株高為 13.71 cm，為溝灌區 11.09 cm 的 1.24 倍；收成日量測之單株重量部分，滴灌區平均單株重量為 39.78 g，為溝灌區平均單株重量 20.82 g 的 1.91 倍；單株總葉面寬部分，滴灌區平均單株總葉面寬為 16.01 cm，為溝灌區平均單株總葉面寬 12.85 cm 的 1.25 倍。上述成果顯示第 2 次作物省水試驗，滴灌區僅使用慣行農法(溝灌)的 22% 水量，作物生長的品質均明顯優於用水量高的溝灌區，顯見針對田區土壤水分狀況適當給予灌溉水量，獲得的作物品質更優於持續供水保持土層濕潤者。

表 6-5 第 2 次智慧節水試驗-萵苣單株高、株重、葉面寬試驗結果

畦別	單株株高(cm)		單株重量(g)		單株總葉寬(cm)	
	溝灌區	滴灌區	溝灌區	滴灌區	溝灌區	滴灌區
1	10.09	12.68	15.54	31.76	12.59	14.92
2	11.63	13.41	20.57	39.60	13.61	15.72
3	10.40	13.81	14.94	38.13	10.82	16.08
4	11.63	14.23	27.51	38.73	13.18	16.68
5	9.77	13.01	14.60	36.74	10.90	15.00
6	11.84	14.17	28.29	51.86	14.14	17.61
7	10.70	14.56	17.49	51.72	12.22	16.62
8	12.25	13.81	24.02	38.25	12.93	16.46
9	12.55	13.32	30.68	32.19	15.79	14.96
10	10.07	14.14	14.51	38.81	12.35	16.02
總平均	11.09	13.71	20.82	39.78	12.85	16.01

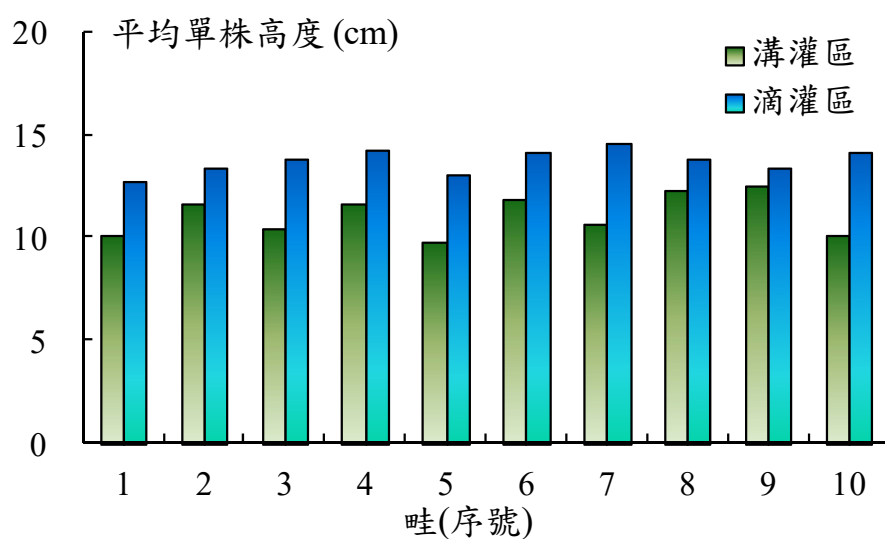


圖 6-15 第 2 次智慧節水試驗-萵苣單株高度試驗結果比較

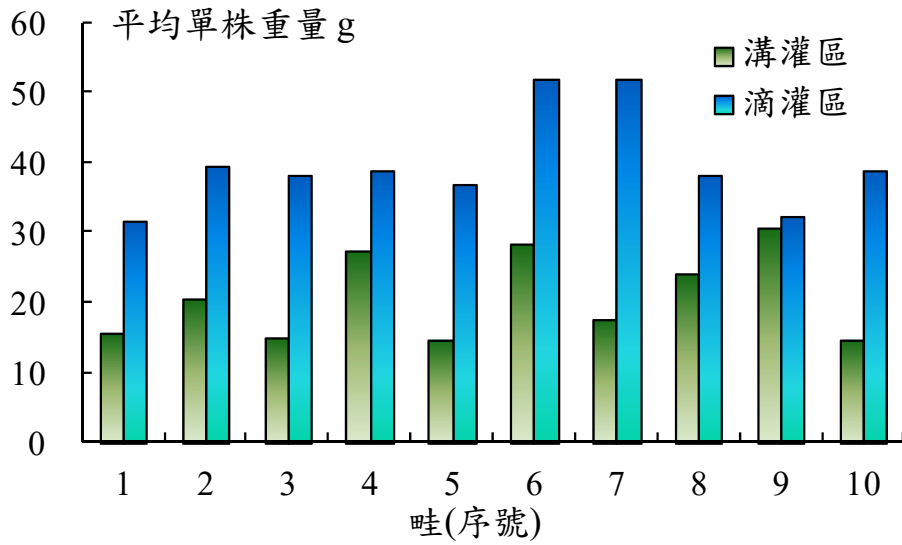


圖 6-16 第 2 次智慧節水試驗-萵苣單株重量試驗結果比較

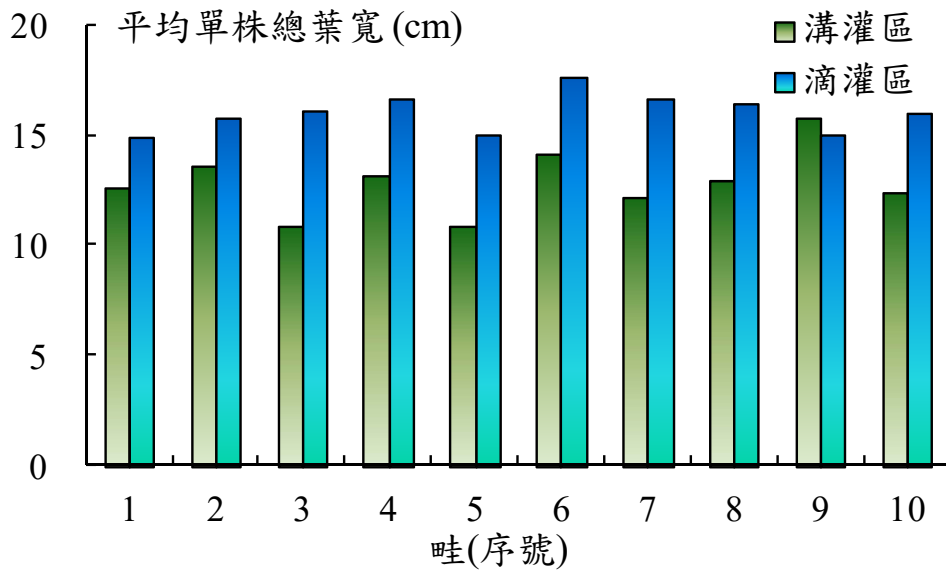


圖 6-17 第 2 次智慧節水試驗-萵苣單株總葉寬試驗結果比較

6-5 短期標的作物產量差異評估

由於作物產量優劣直接影響農民收益，亦是影響農民是否願意使用智慧節水管理系統之關鍵因子。本計畫針對第 1 次作物省水試驗(小白菜)及第 2 次作物省水試驗(萵苣)之作物產量試驗結果彙整如表 6-6 及表 6-7、圖 6-18 及圖 6-19，其中第 1 次的小白菜試驗成果顯示試驗期間存活株數比例甚高，滴灌區折損率約為溝灌區的 1/3，滴灌區的總收穫量為 3,965 株，總重為 89,570 g，略高於溝灌區的 3,906 株(84,961g)，若以每一單株評估，滴灌區為 25.4 (g/株)，約為溝灌區 24.1 (g/株)的 1.05 倍。第 2 次的萵苣試驗成果顯示試驗期間受作物類別特性、溫度及蟲害的影響，株數折損比例較第 1 次試驗相對偏高，滴灌區折損數量 620 株與溝灌區 618 株數量相似，滴灌區的總收穫量為 2,380 株，總重為 74,458 g，明顯高於溝灌區的 2,382 株(40,207 g)，若以每一單株評估，滴灌區為 33.6 (g/株)，約為溝灌區 18.1 (g/株)的 1.86 倍；滴灌區第 2 次試驗所用水量更低於第 1 次，溝灌區維持相同的灌溉頻率及原則，顯見利用滴灌系統配合氣象及數壤水分感測元件操控灌溉及排水，可獲得良好之作物收穫量及品質；後續建議朝向系統自動判斷及操作的方式，逐步達成智慧灌溉、智慧省水、智慧管理的目標。

表 6-6 第 1 次智慧節水試驗-小白菜作物收成統計一覽

滴灌區						溝灌區					
畦別	試驗株數	不良或死亡	收成株數	總重量	單株重量	畦別	試驗株數	不良或死亡	收成株數	總重量	單株重量
D-1	400	2	398	9,648	27.3	T-1	400	7	393	11,523	32.9
D-2	400	3	397	6,255	18.4	T-2	400	20	380	8,687	21.4
D-3	400	4	396	5,503	16.0	T-3	400	15	385	6,089	16.7
D-4	400	6	394	3,548	10.8	T-4	400	30	370	7,796	19.4
D-5	400	7	393	9,260	26.1	T-5	400	5	395	12,445	35.3
D-6	400	3	397	11,309	32.0	T-6	400	7	393	9,899	30.5
D-7	400	4	396	9,477	26.6	T-7	400	4	396	7,366	20.7
D-8	400	1	399	9,672	26.9	T-8	400	1	399	7,450	26.0
D-9	400	2	398	11,491	32.1	T-9	400	2	398	7,499	20.5
D-10	400	3	397	13,407	37.6	T-10	400	3	397	6,207	17.4
總計	4,000	35	3,965	89,570		總計	4,000	94	3,906	84,961	

註：試驗株數、不良或死亡、收成株數單位為株；總重量及單株重量單位為 g。

表 6-7 第 2 次智慧節水試驗-萵苣作物收成統計一覽

滴灌區						溝灌區					
畦別	試驗株數	不良或死亡	收成株數	總重量	單株重量	畦別	試驗株數	不良或死亡	收成株數	總重量	單株重量
D-1	300	66	234	6,485	30.3	T-1	300	24	276	4,409	17.2
D-2	300	32	268	10,373	41.8	T-2	300	25	275	4,964	19.5
D-3	300	55	245	6,430	28.6	T-3	300	54	246	3,718	16.5
D-4	300	32	268	8,185	33.0	T-4	300	60	240	5,409	24.6
D-5	300	60	240	6,523	29.7	T-5	300	85	215	3,340	17.1
D-6	300	14	286	11,324	42.6	T-6	300	40	260	5,973	24.9
D-7	300	80	220	7,749	38.7	T-7	300	75	225	3,330	16.2
D-8	300	71	229	7,761	37.1	T-8	300	62	238	4,358	20.0
D-9	300	130	170	3,915	26.1	T-9	300	89	211	3,405	17.8
D-10	300	80	220	5,713	28.6	T-10	300	104	196	1,301	7.4
總計	3,000	620	2,380	74,458		總計	3,000	618	2,382	40,207	

註：試驗株數、不良或死亡、收成株數單位為株；總重量及單株重量單位為 g。

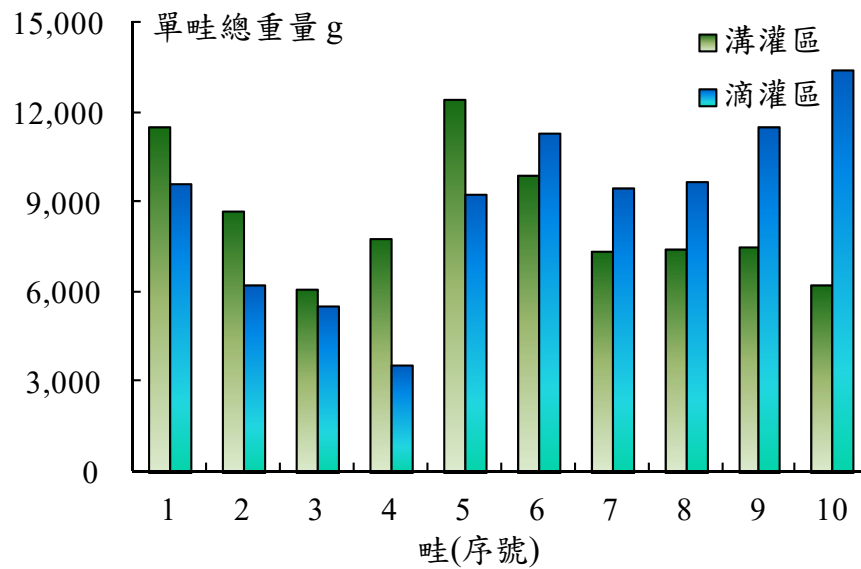


圖 6-18 第 1 次智慧節水試驗-小白菜各畦之收成重量比較

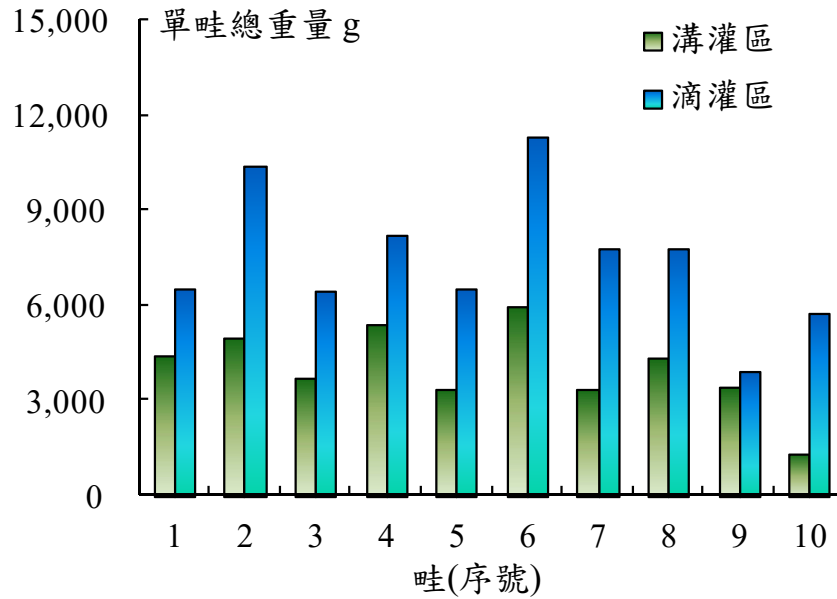


圖 6-19 第 2 次智慧節水試驗-萵苣各畦之收成重量比較

6-6 成本分析

農工中心為針對短期標的作物在試驗場域規劃之智慧節水管理系統，分析系統內各元件之成本組成，分析總設置費(工程費及營運管理費)、年投資成本、每單位用水量之成本、單一系統對應不同組數感測元件之成本分析等，以作為後續推廣或系統元件重組之參考依據。因此現階段擬使用(6-4)、(6-5)式估算所列各項元件組成之成本及作為後續效益之益本比，並使用，還本因子(CRF)以工程使用年限及年利率 40%之條件視規劃方案所用之材質而定，智慧灌溉系統平時操作時之營運運轉成本包含勞力及電費，電費部分根據臺灣電力公司之公告電價計算(表 6-8)操作運轉費用，以評估後續之投資成本及操作單價。本計畫研究團隊現階段僅針對所提以色列滴灌系統進行個元件組成之成本分析如圖 6-20，其中以養液系統為主要成本支出(42%)，若不設置養液系統，則自動控制系統(23%)及內建氣象元件(20%)之成本相對比較較高。

$$CRF(I, T) = \frac{I(1+I)^{T=N}}{(1+I)^{T=N} - 1} \dots\dots\dots (6-4)$$

$$C_T = C_{Total} \times CRF(I, T) \dots\dots\dots (6-5)$$

式中：CRF(I, T)為還本因子、I為年利率，本文採4%、T=N為分攤年限，本文採用10年、C_T為年投資固定成本、C_{Total}為總投資成本。

表 6-8 電費使用級距及單價一覽表

收費等級	用電量級距 (度)	夏季用電		非夏季用電	
		計算期間	用電單價 (元/度)	計算期間	用電單價 (元/度)
一	330 以下	6/1~9/30 月	253	1/1~5/31 月	212
二	331-700		355		10/1~12/31 月
三	701-1500		425		
四	1501 度以上		643		505

註：本表為台灣電力公司公告之營業用表燈用電費率。

資料來源：台灣電力公司網站 (<https://www.taipower.com.tw/tc/index.aspx>)。

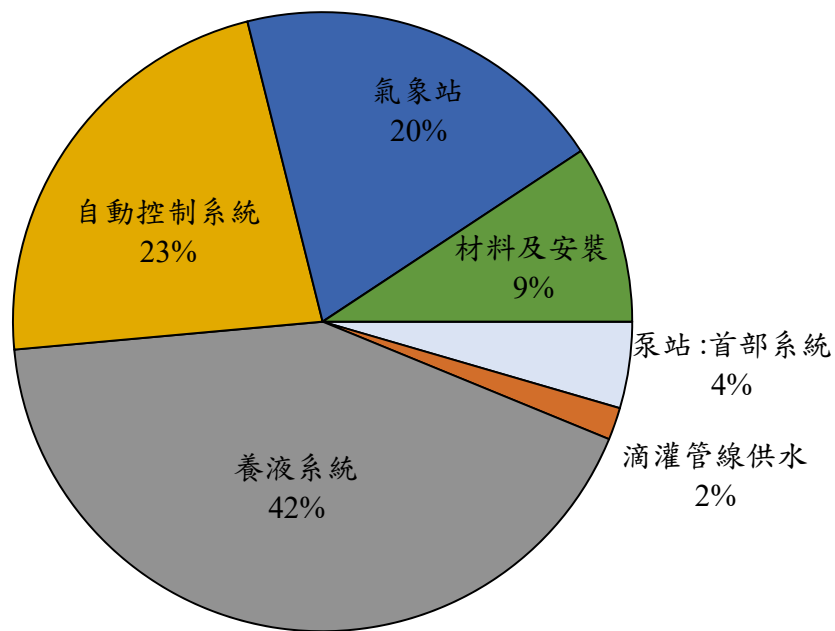


圖 6-20 滴灌系統各元件組成之成本分析

針對智慧節水灌溉系統之成本，本計畫採用以色列 Netafim 出產之 UNIRAM CNL16010 -16 LPH @ 02m 系統，若以 1 分地(0.1 公頃)為單

位進行設置，硬體成本包含首部系統(Head control)、控制系統、二級首部(Secondary head control)、滴灌管路等項目；其中首部系統(Head control)主要是包含灌溉泵浦、過濾系統、流量計、管路系統；二級首部(Secondary head control)主要是電磁閥、管路系統、電路系統；首部系統可供應 50 分區，唯增加一分區需增加一套二級首部系統。由於 1 套滴灌系統最大可供應 50 分區，因此本計畫以分區數量進行成本單價之探討，由最小的 1 區(面積 0.1 公頃)區分至最大的 100 區(供灌面積規模 10 公頃)，共計區分為 8 組，成果如表 6-9 所示；其中只灌溉 1 分區(0.1 公頃)所需設置硬體成本約 38.46 萬元，擴充至 50 分區時(供灌面積規模 5 公頃)，總成本為 204.96 萬；超過單一控制系統最大 50 分區數量後，需使用 2 套控制系統，以 100 個分區為例，總成本約 409.9 萬；比較施設同一套灌溉系統時，當灌溉 1 區與 50 區的條件下時，面積擴充為 50 倍，總成本僅增加 5.3 倍，若以單位面積負擔成本而言，則可由 1 分區的 38.5(萬/0.1ha)下降至 50 分區的 4.1(萬/0.1ha)，單位面積成本僅為原有之 10%；因此應用滴灌省水灌溉系統，應以大面積農地聯合應用，較具經濟使用規模。

表 6-9 以色列 Netafim 滴灌系統供應面積與成本分析一覽

分區數量	供灌面積 (ha)	首部系統		控制系統		二級首部		滴灌管路		總成本 (元)	單位成本 (元/0.1ha)
		套	費用	套	費用	套	費用	套	費用		
1	01	1	62,400	1	288,225	1	9,700	1	24,279	384,604	384,604
5	05	1	62,400	1	288,225	5	9,700	5	24,279	520,520	104,104
10	1	1	62,400	1	288,225	10	9,700	10	24,279	690,415	69,042
20	2	1	62,400	1	288,225	20	9,700	20	24,279	1,030,205	51,510
30	3	1	62,400	1	288,225	30	9,700	30	24,279	1,369,995	45,667
40	4	1	62,400	1	288,225	40	9,700	40	24,279	1,709,785	42,745
50	5	1	62,400	1	288,225	50	9,700	50	24,279	2,049,575	40,992
100	10	2	62,400	2	288,225	100	9,700	100	24,279	4,099,150	40,992

第七章 回收水應用於農業灌溉之可行性評估

7-1 回收水利用之探討

回收水利用會隨其用途不同，所要求的水質及處理程度也有所差異且亦有不同風險，一般回收水利用之用途有：農業灌溉、景觀澆灌、工業用水、地下水補注、都市非飲用水等，茲將各國廢污水再生利用方式整理如表 7-1，使用回收水應用於農業、工業、民生、地下水補注等之水質標準彙整於表 7-2~表 7-6。以下分述不同回收水再應用目的如下(農工中心，2006)。

一、農業灌溉

農業灌溉用水是水資源利用之最大宗者，其全球 67%的用水量與農業生產有關(洪仁陽，2002)，而農業用水對於水質要求並沒有較其他用水標的那麼高，因此將廢水回收再利用於農業灌溉用水，可作為水再生利用最主要的用途。而且使用回收水灌溉農田可降低水資源的成本，另可增加農作物的產量及減少使用化學肥料的使用量，在乾旱地區如埃及、以色列、突尼西亞等地，廢水回收再利用於農業灌溉乃是農業生產之重要水源。回收水再利用於農業，其主要限制為生物性標準；規範值隨著與人體接觸程度多寡有所差異，與人體接觸機會較高者規範較嚴格(林修德，2009)。

二、景觀澆灌

一般澆灌用水係指提供公園、學校草地、保育、樹木灌溉及澆花等用途，將廢水經二級處理並配合混凝、過濾及消毒等處理後，作為澆灌使用以取代原灌溉水量，可節省更多水資源，如台灣、東南亞等亞熱帶地區，因夏季蒸發散量較高，對於景觀用水可多利用回收水澆灌。

三、工業用水

工業用水的用途可分為：冷卻用水、製程用水、鍋爐用水、廠內其他用水等，若直接將工廠內產生的廢水回收再利用提供工業用水，其中

以冷卻用水最為常見。日本在 1951 年執行工業廢水回收利用計畫最早之一，位於東京 Mikawashima 廢水處理廠之放流水作為附近一間造紙廠的用水。回收水再利用於工業，其主要限制為懸浮固體物、大腸桿菌群及退伍軍人症桿菌群，尤其用於製程及冷卻系統需注意退伍軍人症桿菌之含量；惟基於衛生及健康考量，回收水不適用於食品工業(林修德，2009)。

四、地下水補注

以人工補注地下水有幾項優點，(一).較少量或無蒸發散量；(二).不須龐大的建物；(三).不影響地表的土地利用；(四).不受乾旱影響；(五).儲水容量大。其地下水補注之目的包括：(一).避免因用水需求量大而超抽地下水，故藉由人工補注地下水以減緩地下水水位下降；(二).保護海岸含水層，避免海水入侵；(三).貯存回收水於地下水水庫做為未來之用。

五、娛樂及環境用水

將處理後之回收水用於人工湖泊或生態池之用途，一方面可美化環境，一方面可提供魚類或其他野生動物之繁殖或釣魚、划船等娛樂用途。

六、都市非飲用水

一般生活用水如沖洗用水、清洗用水，若能以回收水取代乾淨的自來水，除可有效率利用水資源外，亦能降低對自來水水源的供應負荷，該回收水應用於生活用水方面，在日本、美國行之多年有不錯的成效，此方式稱為中水道系統或二元供水系統。目前在台灣也有實際應用案例，如中山大學、雲林科技大學、高雄長庚醫院等，將生活廢水回收處理後，作為澆灌花草、廁所沖洗等用途，均有不錯的成效。

將回收水作為次級民生用水(非飲用水)，本標的用水與一般大眾接觸之機會最大、影響層面廣，其規範亦為各標的用水中最嚴格者，尤以水體外觀、氣味須達到一般民眾可接受之程度，且不可含有對人體有害之病菌。若回收水為應用於地表水及地下水補注，因承受水體(地下水

層、河川或水庫)將被做為自來水或飲用水水源等公共用水之用，其主要規範條件為放流水排入自然水體中(如河川、水庫)與滲入(或注入)土壤含水層後與須符合公共用水水源標準。

七、小結

歸納前述目前世界各地區應用回收水之方式如下：在歐洲沿海及島嶼區域，北歐工業發達地區其回收水應用方式多為農業或工業再利用；南歐觀光、農業區域，其回收水應用方式則為農業灌溉或景觀灑水顯示南北歐區域性之差異。在非洲及南美洲等地為了維持沙漠區域農業之發展，採用回收水(或未處理污水)澆灌農作物；亞洲使用回收水之區域為沙漠區域、島嶼及沿海地帶等缺水區域，中東沙漠地區的國家以農業再利用為主，東亞島嶼或沿海地區則以景觀灑水、工業用水或河川補注水居多；美國雖在回收水應用規範較晚起步，但其回收水利用卻為最多元者，使用區域多以美國境內人口密集處為主。各地開始進行污水再生利用相關行動年份詳表 7-7。

除了生活廢水、都市廢水、工業廢水外，「綜合廢水」為生活污水(或都市廢水)與工業廢水混合後稱之。針對綜合廢水國外使用案例包含(一).法國：採取土壤處理方式，在巴黎近郊設置約 5,000 ha 之散佈場(spreading-field)，將廢水經過鋼筋混凝土管網分散至場區內，並水平滲透至植物根部土層，往下滲透至地下集水管，最後排入塞納河或華司河，作物嚴禁種植易受感染且生食之蔬菜，以確保農民和消費者的衛生安全。(二).義大利：薩丁尼亞島(Sardegna)直接使用 Is Arenas 工廠所產生之放流水(約 35×10⁶ 噸/年)用於灌溉，將污水流經貯水池中貯存，經三級污水處理後將供作 200 公頃之灌溉水源。(三).約旦：首都安曼由 Zarqa 河提供都市用水，而安曼之部分都市廢污水可補充 Zarqa 河被取用之基流量，都市廢污水經由處理廠的穩定池放流後匯入 King Talal 水庫，使用於約旦河谷下游之無限制灌溉。

由法國、義大利及約旦的綜合污水再利用於農業灌溉案例顯示，綜合污水需經過三級處理或混合地表水體(如水庫)後再行灌溉使用；若採

直接灌溉，則需使用滲透之方式避免水體與農民及植株接觸，且需限制種植作物種類，以確保農民和消費者的衛生安全。

綜合上述，基於衛生及健康考量，回收水不適用於食品工業，且與人體接觸機會較高者規範較嚴格；此與再生水資源發展條例第 7 條「再生水不得供作直接食用及食品業、藥品業之用水，故除再生水資源發展條例所規範外之用途，可依據各標的用水之目的事業主管機關訂定之標準供作使用。」相呼應，本計畫應用回收水之可能性探討將依水體後續應用標的之目的事業主管機關訂定標準為準則辦理評估事宜。

表 7-1 各國廢污水回收利用方式一覽

地區	國家/州	廢(污)水 來源	應用方式										
			農業			民生				工業	補注用水		
			灌溉	畜牧	養殖	飲用水 (間接使用)	景觀 灑水	消防	洗滌		地表水 補注	地下水 補注	
歐洲	法國	綜合廢水	●										
	英國	生活污水	●		●	●	●			●	●		
	比利時					●				●		●	
	瑞典		●										
	荷蘭		●							●			
	塞浦路斯	都市廢水	●										
	義大利	綜合廢水	●				●	●		●			
	葡萄牙	都市廢水	●				●						
	希臘	生活污水	●										
	馬爾他		●										
	捷克	工業廢水								●			
南美洲	巴西		●							●			
	智利	生活污水	●										
	阿根廷	生活污水	●										
美國	加州	綜合廢水	●	●		●	●			●	●	●	
	佛羅里達	生活污水					●					●	
	喬治亞	生活污水	●			●					●		
	華盛頓	生活污水				●	●						
非洲	突尼西亞		●				●						
	南非		○			●	○			○	●		
	肯亞		●										
	埃及		●										
亞洲	日本	都市廢水	●				●		●	●	●		
	香港	生活污水					●		●				
	新加坡	都市污水				●				●	●		
	以色列	都市廢水	●							●		●	
	約旦	綜合廢水	●								●		
	伊朗		●									●	
澳洲	澳大利亞	生活污水	●				●		●				
小計			23	1	1	6	11	1	3	11	7	5	

註 1：回收水再利用於飲用水皆為間接使用。

註 2：●為直接使用、○為間接使用。

註 3：「綜合廢水」為生活污水(或都市廢水)與工業廢水混合後稱之。

資料來源：林修德(2009)。

表 7-2 回收水應用於農業之水質標準

類別 檢測項	生食作物	熟食及加工 食用作物	飼料作物 (含養殖)	工業作物	限制區域 (例林產地區)	灌溉 渠道
寄生蟲卵(egg/l)	ND ^{cp} ≤ 1 sp, sp-a	ND ^{cp} ≤ 1 gr, sp, sp-a	ND ^{cp} ≤ 1 sp, sp-a	≤ 1 sp, sp-a	ND ^{cp} ≤ 1 gr, sp, sp-a	--
E.Coli. (CFU/100ml)	≤ 200 ^{sp}	1,00 ^{cp} ≤ 1,000 ^{sp}	≤ 1,000 ^{sp}	≤ 10,000 ^{sp}	<10,000 ^{au}	--
F.Coli. (m.=MPN/100ml) (c.=CFU/100ml)	1,000 ^{(m.)cp}	≤ 1,000 ^{(c.)gr}	5,000 ^{(m.)cp}	10,000 ^{(m.)cp}	1,000 ^{(m.)cp} ≤ 10,000 ^{(c.)gr}	--
Coliform (m.=MPN/100ml) (c.=CFU/100ml)	2~20 ^{(m.)it-c, it-a} 3,000 ^{(m.)it-s} ND ^{us} <1,000 ^{(c.)sp-a} 100 ^{(c.)kw}	≤ 200 ^{(c.)us} 10,000 ^{(c.)kw}	--	--	--	--
TSS (mg/l)	45 ^{cp} 單日平均=7 ^{it-c} 10 ^{it-a, kw} 、30 ^{it-s} ≤ 20 ^{sp}	15 ^{cp} ≤ 35 ^{gr, sp} ≤ 30 ^{us}	45 ^{cp} ≤ 35 ^{sp} ≤ 30 ^{us}	≤ 35 ^{sp}	≤ 35 ^{gr, sp}	30 th
BOD (mg/l)	30 ^{cp} 15 ^{it-a} 、40 ^{it-s} ≤ 10 ^{us, kw}	15 ^{cp} ≤ 30 ^{us} 10 ^{kw}	30 ^{cp} ≤ 30 ^{us}	70 ^{cp}	--	20 th
餘氯(mg/l)	0.2 ^{it-a} ≥ 1 ^{us, kw}	≥ 1 ^{us, kw}	≥ 1 ^{us}	--	--	1.0 th
濁度(NTU)	≤ 10 ^{sp} ≤ 2 ^{us}	--	--	--	--	--
COD (mg/l)	40 ^{it-a} 、160 ^{it-s}	--	--	--	--	--
pH	6.5~8.5 ^{it-a, it-s} 6~9 ^{us}	6~9 ^{us}	6~9 ^{us}	--	6~8.5 ^{au}	6.5~8.5 th
TDS (mg/l)	1,000 ^{it-s}	--	--	--	1,000 ^{au}	1,300
EC (μS/cm)	--	--	--	--	1,600 ^{au}	2,000
SAR	<15 ^{it-c} 、15 ^{it-a} 10 ^{it-s}	--	--	--	--	--
持久性有機化合物(μg/l)	ND ^{it-c}	--	--	--	--	--
其他	Legionella spp. <100 (CFU/100ml) ^{sp}	--	--	Legionella spp. <10 (CFU/100ml) ^{sp}	Legionella spp. <10 th (CFU/100ml) ^{sp}	--

註 1：各國縮寫代碼：塞浦路斯(cp)、義大利國家標準(it-c)、義大利 Apulia 地區(it-a)、義大利 Sicily 地區(it-s)、西班牙(sp)、西班牙 Andalusia 地區(sp-a)、希臘(gr)、美國(us)、澳洲(au)、泰國(th)、科威特(kw)。

註 2：寄生蟲卵包含下列種類：Strongyloides, Trichostrongylus, Toxacara, Enterobius, and Capillaria。

註 3：ND 為檢測不出；--為無限制條件。Legionella spp.為退伍軍人桿菌屬。

註 4：澳洲限制區域為採用噴灌方式之水質限值。

資料來源：Takashi Asano, P.E. et al 1998；李文聖等(2004)；K.P. Tsagarakis, 2004；F. Brissaud, 2008；US EPA, 2004；Queensland EPA, 2005；D. Fatta, 2007；Thailand PCD Water Quality Standards: Water Characteristics Discharged into Irrigation System；林修德(2009)整理。

表 7-3 回收水應用於工業之水質標準

類別 檢測項	工業使用	冷卻系統 (無特別限制)	開放式冷卻系統	半開放式 冷卻系統
寄生蟲卵 (egg/l)	≤ 1 gr	--	--	--
E. Coli (CFU/100ml)	--	$\leq 10,000$ sp	--	--
F.Coli. (CFU/100ml)	$\leq 10,000$ gr	--	--	--
Coliform (CFU/100ml)	≤ 200 us	≤ 200 us	$< 1,000$ sp-a	$< 10,000$ sp-a
TSS (mg/l)	≤ 35 gr ≤ 30 us	≤ 35 sp ≤ 30 us	--	--
BOD (mg/l)	≤ 30 us	≤ 30 us	--	--
濁度(NTU)	--	15 sp	--	--
其他	此規則不適用 於食品工業 gr	Legionella spp. < 10 (CFU/100ml) sp, gr	--	--

資料來源：Takashi Asano, P.E. et al 1998；李文聖等(2004)；K.P. Tsagarakis, 2004；F. Brissaud, 2008；US EPA, 2004；林修德(2009)整理。

表 7-4 回收水應用於民生之水質標準

類別 檢測項	沖廁及洗滌 用水	消防及灑水 用水	景觀用水	親水用水
寄生蟲卵(egg/l)	≤0.1 ^{gr}	≤1 ^{gr}	ND ^{cp} < 1 ^{sp-a}	< 1 ^{sp-a} ≤ 1 ^{gr}
E. Coli (CFU/100ml)	ND ^{jp}	ND ^{jp}	1,000 ^{jp} <10 ^{au-nr} <1,000 ^{au-sf}	ND ^{jp}
F. Coli. (m.=MPN/100ml) (c.=CFU/100ml)	≤ 10 _(c.) ^{gr}	≤ 100 _(c.) ^{gr}	100 _(m.) ^{cp}	≤ 100 _(c.) ^{gr, eu}
Coliform (CFU/100ml)	<1,000 ^{tw-沖廁} ND ^{tw-洗車}	ND ^{tw}	< 200 ^{sp-a} ≤ 200 ^{us}	< 2,000 ^{sp-a} 、ND ^{us} 、≤ 500 _(c.) ^{eu} <50 ^{tw}
TSS (mg/l)	≤ 10 ^{gr}	≤ 20 ^{gr}	< 10 ^{jp} 、15 ^{cp} 、≤ 30 ^{us} 、5 ^{au-nr} 、30 ^{au-sf}	≤ 20 ^{gr}
BOD (mg/l)	<10 ^{tw-洗車}	--	< 10 ^{jp} 、15 ^{cp} 、≤ 30 ^{us} 20 ^{au-nr, au-sf}	≤ 10 ^{us, tw}
餘氯 (mg/l)	保持有 ^{jp} 保持有 ^{tw-沖廁}	> 0.4 ^{jp, tw}	≥ 1 ^{us} 保持有 ^{jp}	≥ 1 ^{us} > 0.4 ^{jp}
pH	5.8~8.6 ^{jp} 6.0~8.5 ^{tw}	5.8~8.6 ^{jp} 6.0~8.5 ^{tw}	5.8~8.6 ^{jp} 6~9 ^{us}	5.8~8.6 ^{jp} 、6~9 ^{us, eu} 、 6.0~8.5 ^{tw}
濁度(NTU)	<2 ^{jp} 、<5 ^{tw-洗車}	<2 ^{jp}	<2 ^{au-nr, jp}	≤ 2 ^{us, eu, jp} 、<5 ^{tw}
色度	無 ^{jp}	無 ^{jp}	<40 ^{jp}	<10 ^{jp}
臭度	無 ^{jp, tw}	無 ^{jp, tw}	無 ^{jp}	無 ^{jp, tw}
其他	--	--	TDS 1,000 mg/l & EC 1,600 μS/cm _{au-nr, au-sf}	NO ₃ ⁻ 含量需小於 100 mg/l。 ^{gr} 水中需有 80~120 %之 DO 含量。 ^{eu}

註 1：各國縮寫代碼：日本(jp)、澳洲公共景觀灑水(au-nr)、澳洲公共區域滴灌(au-sf)、歐盟游泳用水標準(eu)、台灣(tw)。

註 2：「無」表示對人體無不舒適之感覺。

註 3：ND 為檢測不出；--為無限制條件。

註 4：英國游泳用水標準與歐盟游泳用水標準相同。

資料來源：Takashi Asano, P.E. et al 1998; K.P. Tsagarakis, 2004; F. Brissaud, 2008; US EPA, 2004；国土交通省都市、地域整備局下水道部，2005；經濟部水利署，2005；林修德(2009)整理。

表 7-5 回收水應用於地表及地下水補注之水質標準

類別 檢測項	地下水補注		地表水補注 (河川、湖泊、溼地、水庫...等)
	入滲法	注入法	
寄生蟲卵(egg/l)	≤ 1 ^{gr} < 1 ^{sp}	≤ 1 ^{gr} < 1 ^{sp}	≤ 1 ^{gr}
E. Coli (CFU/100ml)	< 1,000 ^{sp}	ND ^{sp}	--
F. Coli. (m.=MPN/100ml) (c.=CFU/100ml)	≤ 100 (c.) ^{gr}	≤ 100 (c.) ^{gr}	$\leq 10,000$ (c.) ^{gr} ND(河川) ^{sa}
Coliform (CFU/100ml)	--	ND ^{us}	≤ 200 (溼地) ^{us} ND(河川) ^{us}
TSS (mg/l)	≤ 10 ^{gr} < 35 ^{sp}	≤ 10 ^{gr} < 10 ^{sp}	≤ 35 ^{gr} ≤ 30 (溼地) ^{us} (水源地) ^{sg} 10(河川) ^{sa}
BOD (mg/l)	--	--	≤ 35 (溼地) ^{us} 20(水源地) ^{sg}
COD (mg/l)	--	--	≤ 30 (河川) ^{sa} ND(河川) ^{sa} ≤ 60 (水源地) ^{sg}
餘氯(mg/l)	--	≥ 1 ^{us}	≥ 1 (溼地) ^{us} 1(水源地) ^{sg}
pH	--	--	6.5~8.5(河川) ^{us} 5.5~7.5(河川) ^{sa} 6~9(水源地) ^{sg}
濁度(NTU)	--	< 2 ^{sp} ≤ 2 ^{us}	≤ 2 (河川) ^{us}
TN (mg/l)	< 50 ^{gr, sp}	< 15 ^{gr, sp}	--
NO ₃ ⁻ (mg/l)	--	--	< 100 ^{gr}
其他	補注飲用水層入滲後 須符合飲用水標準。 ^{us}	補注飲用水層入滲後 須符合飲用水標準 ^{us} ， 且注入深度須大於 5m。 ^{gr}	回收水排入之承受水體 須符合飲用水標準。(溼地) ^{us}

註 1：各國英文縮寫代碼：南非(sa)、新加坡(sg)。

註 2：回收水補注至非飲用之地下水層依場址特性及用途而定^{us}。

資料來源：Takashi Asano, P.E. et al 1998; K.P. Tsagarakis, 2004; US EPA, 2004; South Africa Government Gazette, 1984; Singov NEA, 2005；林修德(2009)整理。

表 7-6 回收水應用於補注用水其他限制條件

其他一般項目	單位	限值	重金屬項目	單位	限值
DO	%	75 ^{sa}	Arsenic (As)	mg/l	0.1 ^{sa} 0.01 ^{sg}
Total dissolved solids (TDS)	mg/l	1,000 ^{sg}	Total chromium (Cr)	mg/l	0.05 ^{sa} 0.05 ^{sg}
EC	μS/cm	250 ^{sa}	Copper (Cu)	mg/l	0.02 ^{sa} 0.1 ^{sg}
Soap, oil and grease	mg/l	ND ^{sa} 1 ^{sg}	Lead (Pb)	mg/l	0.1 ^{sa} 0.1 ^{sg}
Free and saline ammonia (NH ₃ & NH ₄ ⁺)	mg/l	1.0 ^{sa}	Iron (Fe)	mg/l	0.3 ^{sa} 1 ^{sg}
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	1.5 ^{sa} 20 ^{sg}	Manganese (Mn)	mg/l	0.1 ^{sa} 0.5 ^{sg}
Soluble ortho-phosphate (P)	mg/l	1.0 ^{sa} 2 ^{sg}	Cyanides (CN ⁻)	mg/l	0.5 ^{sa} 0.1 ^{sg}
Phenolic compounds (phenol)	mg/l	0.01 ^{sa} ND ^{sg}	Zinc (Zn)	mg/l	0.3 ^{sa} 0.5 ^{sg}
Sulphides (S)	mg/l	0.05 ^{sa} 0.2 ^{sg}	Cadmium (Cd)	mg/l	0.05 ^{sa} 0.003 ^{sg}
Boron (B)	mg/l	0.5 ^{sa, sg}	Mercury (Hg)	mg/l	0.02 ^{sa} 0.001 ^{sg}
colour	lovibond	7 ^{sg}	Selenium (Se)	mg/l	0.05 ^{sa} 0.01 ^{sg}
Chloride (氯離子)	mg/l	250 ^{sg}	Barium (Ba)	mg/l	1 ^{sg}
Fluoride (F)	mg/l	1.0 ^{sa}	Tin (Sn)	mg/l	5 ^{sg}
Calcium (Ca)	mg/l	150 ^{sg}	Beryllium (Be)	mg/l	0.5 ^{sg}
Magnesium (Mg)	mg/l	150 ^{sg}	Nickel (Ni)	mg/l	0.1 ^{sg}
			Silver (Ag)	mg/l	0.1 ^{sg}

註：各國英文縮寫代碼：南非(sa)、新加坡(sg)。

資料來源：South Africa Government Gazette, 1984; Singov NEA, 2005. 林修德(2009)整理。

表 7-7 世界各地開始進行污水回收利用相關行動一覽

時間	地點與執行事項	時間	地點與執行事項
西元前	✧ 古希臘-最早的二元供排水系統	1989	✧ 突尼西亞-修正水法 ✧ 泰國-頒佈放流水補注灌溉系統標準
1884	✧ 馬爾他-建立廢水回收應用灌溉系統	1990	✧ 日本-擬定「下水道處理水之景觀、親水利用水質研究。」
1894	✧ 美國-佛羅里達發展一小型污水處理系統	1991	✧ 法國-訂定廢水排放指導方針 ✧ 澳洲-開始研究回收水利用可行性 ✧ 歐盟-訂定廢水處理相關法令
1900	✧ 埃及-開始使用污水灌溉	1992	✧ 美國-修正污水再利用指南 ✧ 歐盟-訂定廢水排放指導方針
1956	✧ 南非-制訂水法	1994	✧ 英國-開始進行水資源規劃
1960	✧ 美國-加州成功操作污水再生系統 ✧ 突尼西亞-開始利用回收水輔助灌溉	1997	✧ 英國-完成歐洲第一個回收水間接用於飲用水計畫 ✧ 賽普勒斯-頒定再生水利用標準 ✧ 巴西-制訂國家水資源政策
1968	✧ 南非-興建第一座污水再生廠(三級處理) ✧ 約旦-興建第一座二級污水處理廠	1998	✧ IAWQ 會議-提出廢水處理再利用之概念 ✧ 新加坡-新生水開發計畫開始
1975	✧ 突尼西亞-制訂水法	1999	✧ 西班牙-頒佈 14 種可應用再生水方式
1977	✧ 義大利-制訂廢水再利用準則	2002	✧ 海德拉巴(Hyderabad) 宣言-關於污水回用於農業
1980	✧ 美國-頒佈污水再利用指南 ✧ 突尼西亞-開始執行廢水再利用政策	2003	✧ 新加坡-正式供應新生水 ✧ 義大利-訂定明確之再生水使用方式
1981	✧ 日本-擬定「下水道處理水循環利用技術指針」	2005	✧ 日本-頒佈污水處理再生利用水質標準
1985	✧ 西班牙-政府開始推動廢水再利用政策		

資料來源：D. Bixio, 2006; US EPA, 2004; Takashi Asano, 1998; 林修德(2009)整理。

7-2 桃園市應用回收水之可能性探討

農工中心以多元水資源利用的考量，針對桃園市既有水資源回收中心，盤點其回收水可再利用之用途及潛在供水農地範圍，以評估本市回收水應用於農業灌溉之可行性及潛在效益。考量工業廢水組成種類複雜、水質狀態變化大且易含對人體有害之重金屬或化學物質，若應用於農業灌溉則具較高之公共衛生與環境污染之風險性，故建議選用水量較穩定且組成較為單純之生活污水回收水作為農業灌溉應用可行評估項目。

林修德(2009)彙整國外回收水回收再利用之演進如圖 7-1 所示，部分開發中國家或地區(如：埃及、肯亞、巴西、阿根廷、伊朗…等)使用回收水之方式為圖 7-1a 之方式，直接使用未處理之生活廢污水或是水質惡劣之河川澆灌農作物，其未經處理之污水對作物或人體造成不良影響(農作物徒長或發育不良、生活環境品質低落…等)，台灣目前仍有此類型之污水回用。

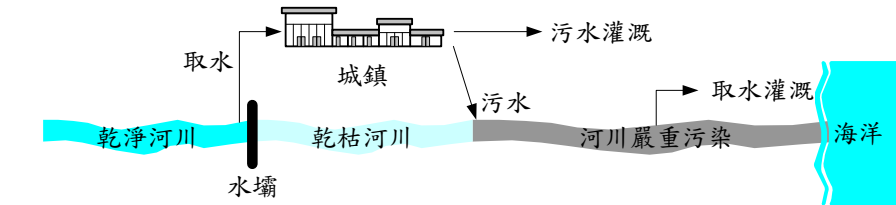
圖 7-1b 之污水回收利用方式較圖 7-1a 為佳，但仍存在河川水質不良之情形。生活污水雖經水資源回收中心之二級處理，但放流水水質仍無法達到自然水體之水準。承受放流水之自然水體除農業利用或工業冷卻用水外，無法用於民生或親水用途；台灣目前正朝向此階段進行改善。

圖 7-1c 為已開發國家缺水地區常利用之方式(如：以色列、美國喬治亞州 Gwinnett 郡、英國…等)，污水經過三級處理後直接進行農田灌溉或都市綠帶景觀灑水使用；或是將三級處理後之放流水排入自然水體中如圖 7-1d 所示，將其視為乾淨自然水體，並於下游地區取水作為飲用水水源之用。圖 7-1d 之方法常見於已開發國家(如：英國、美國、比利時、日本、新加坡、南非…等)，將三級處理後之放流水注入地下水層、排入河川或水庫，作為飲用水水源之用。

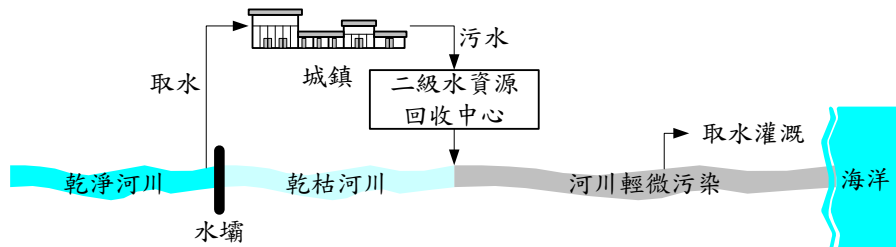
綜合上述資料顯示，回收水再利用為補充水資源之可行辦法之一。若污水再生後未使用，直接排入河川中亦可改善河川水質、改善水體

品質，對環境改善亦有正面幫助；故回收水開發及利用可於缺水時期增加額外水資源，或補注地下水層防止沿海地區地層下陷，為台灣增加額外可用之水源。

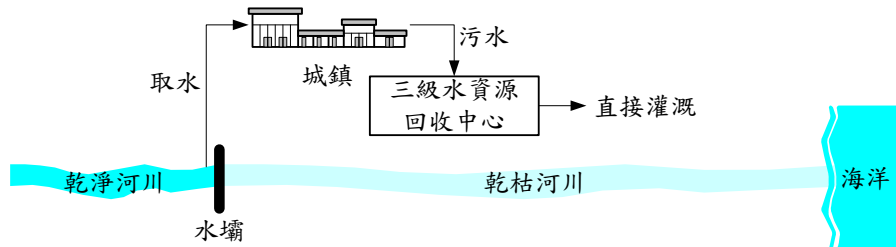
a. 未處理直接排放



b. 二級處理後排放



c. 三級處理後再利用(一次再利用)



d. 三級處理後再利用(二次再利用)

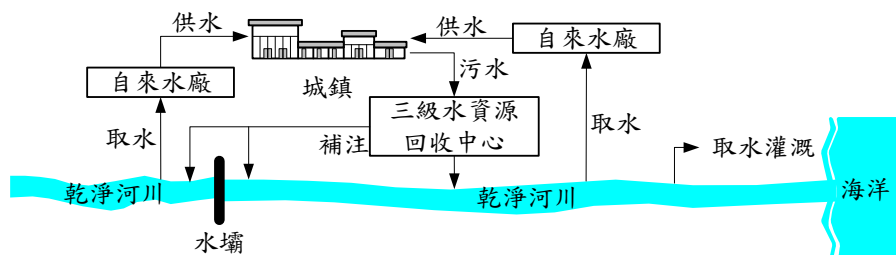


圖 7-1 污水及回收水回收利用演進圖

考慮桃園市境內各水資源回收中心及其周圍灌區位置，本計畫選定大溪水資源回收中心及桃園北區水資源回收中心等 2 處水資源回收中心，作為回收水應用於農業灌溉之可行性評估廠區。

一、大溪水資源回收中心回收水應用可行性評估：

大溪水資源回收中心回收水現行放流承受水體為大漢溪支流街口溪排水，為桃園市市管區域排水，灌排系統分布位置如圖 7-2。其最近一期申報之回收水為 2018/10/01~2018/12/31，平均每日放流量約 2,058.74 噸(約 0.02 CMS)，尚未達到大溪水資源回收中心最大設計處理容量 3,750 cmd (約 0.04 CMS)，詳細水質狀態如表 7-8；回收水目前用途分別為一、娛樂及環境用水；二、景觀澆灌及都市非飲用水及三、地面水補注用水，詳細利用概況說明如下：

(一).娛樂及環境用水：

大溪水資源回收中心回收水匯入街口溪排水前，設有一人工生態濕地，濕地設有環境教育之解說牌說明自然處理工法功能；人工生態濕地每日最大處理水量為 9,000 CMD、水力停留時間(HRT)為 4.39 日，可進一步削減回收水中 60%之污染物質，並提供環境生態棲地、教育、休憩、景觀…等功能。

(二).景觀澆灌及都市非飲用水：

水資源回收中心設有回收水加壓設備，平日供景觀澆灌、水處理程序用水、洗街用水...等供民眾取用；此外，枯旱時期回收水亦可做為緊急應變使用(如：消防用水)。

(三).地面水補注用水：

大溪水資源回收中心位於新北市板新自來水廠上游，平日回收水即會經由街口溪市管區域排水匯入大漢溪，為鳶山堰地面水補助水源之一，鳶山堰取入水體分別供應臺灣自來水公司第十二區管理處板新自來水廠(供水能力 120 萬噸/日，約 13.8 CMS)，以及桃園農田水利會海山工作站石頭溪圳(276 ha)、隆恩埔圳(73 ha)、公館後圳(6 ha)灌區，現行補注受益面積約 355 公頃。

經農工中心至大溪水資源回收中心周遭調查耕地種植作物結果顯示，鳶山堰供灌之石頭溪圳灌區，種植作物多為短期作物(葉菜類蔬菜)；鄰近大溪水資源回收中心，位於放流口上游之月眉圳灌區則以水稻為主、蔬菜各半，大溪水資源回收中心周遭現場概況詳圖 7-3。

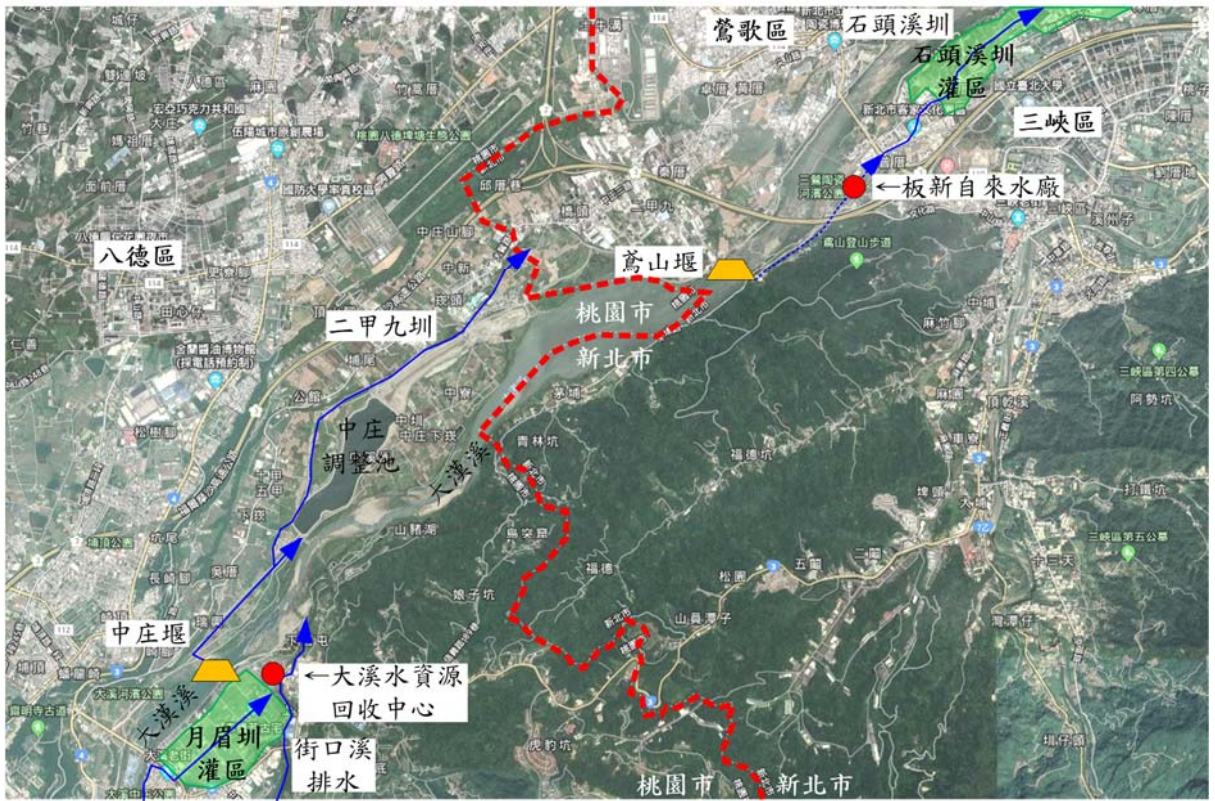


圖 7-2 大溪水資源回收中心周遭灌排系統分布圖



A. 鳶山堰石頭溪圳灌區



B. 鳶山堰取水口



C. 月眉圳灌區(水稻)



D. 月眉圳灌區(蔬菜)



E. 水資源回收中心正門



F. 回收中心旁既設灌渠

圖 7-3 大溪水資源回收中心周遭環境概況

表 7-8 大溪水資源回收中心回收水水質狀態一覽

項目	單位	申報 檢測 數值	放流水水質 標準	灌溉 用水 水質 標準	環境景觀及生活次級用水 之水質標準	
					沖廁	景觀、澆灌、灑水抑制揚 塵、洗車或洗地板者
申報排水量	M ³ /申報 區間	187,345				
大腸桿菌群	CFU/100 ml	1,900	200,000	未規範	200	未規範
水溫	攝氏	24.10	5~9 月：<38 其他月：<35	<35	未規範	未規範
總氮(TN)	mg/l	8.96	15	3.0	未規範	未規範
pH 值		6.90	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~8.5	6.0~8.5
化學需氧量 (COD)	mg/l	9.30	100	未規範	未規範	未規範
懸浮固體 (SS)	mg/l	2.80	30	100	未規範	未規範
生化需氧量 (BOD)	mg/l	2.60	30	未規範	15	15
總磷(TP)	mg/l	0.8650	2.0	未規範	未規範	未規範

註 1：本次申報區間為 2018/10/01~2018/12/31，申報資料匯入日期為 2019/07/31。

註 2：申報排水量換算每日排水量約為 2,058.74 cmd

資料來源：行政院環保署列管汙染源資料查詢系統，本計畫整理。

由表 7-8 之水質數據顯示，大溪水資源回收中心回收水為可利用於景觀澆灌之水體，本計畫規劃以月眉圳灌區末流、大溪水資源回收中心周遭 12ha 土地中約 10.6 ha 農牧用地為示範區域，因該區域位於月眉圳灌區末流，屬水源相對缺乏之區域。用水範圍與大溪水資源回收中心相對位置如圖 7-4 所示，規劃區域內各類土地資料筆數及面積如表 7-9、表 7-10 所示。

規劃區域內種植之作物為稻作、火龍果、樹苗及景觀作物(盆栽)，經初步訪查得知當地里長正積極推廣地方社區發展生態教育，為潛在回收水應用使用者及推廣者之一，本計畫依現場地勢規劃 2 種供水方案進行評估，方案說明如下：

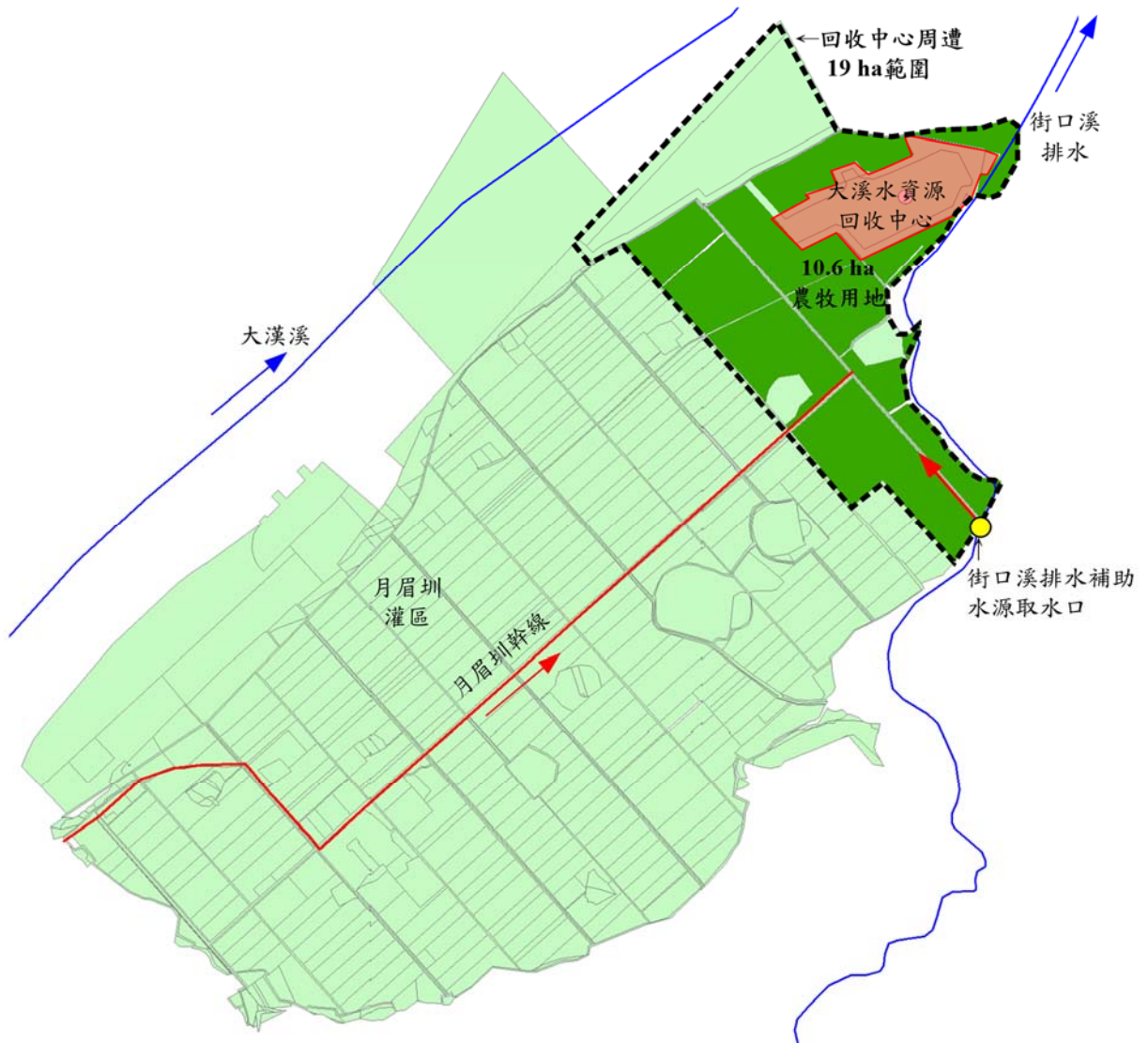


圖 7-4 大溪水資源回收中心回收水應用示範區域範圍

表 7-9 大溪水資源回收中心回收水應用示範區域用地類別資料筆數

使用分區 使用地類別	特定農業區	特定專用區	河川區	小計
甲種建築用地	1	0	0	1
農牧用地	75	0	0	75
特定目的事業用地	0	2	0	2
國土保安用地	0	4	0	4
水利用地	9	1	4	14
交通用地	4	0	1	5
小計	89	7	5	101

註：單位為筆。

表 7-10 大溪水資源回收中心回收水應用示範區域用地類別面積

使用分區 使用地類別	特定農業區	特定專用區	河川區	小計
甲種建築用地	0.31	0.00	0.00	0.31
農牧用地	10.60	0.00	0.00	10.60
特定目的事業用地	0.00	1.83	0.00	1.83
國土保安用地	0.00	0.81	0.00	0.81
水利用地	0.61	0.05	4.02	4.68
交通用地	0.81	0.00	0.04	0.85
小計	12.33	2.70	4.06	19.09

註：單位為 ha。

方案一：分散式加壓供水系統

設置 3 組灌溉水路系統，由現行放流口抽水至各自管線末流之配水池，有用水需求之農民再自行自配水池引水灌溉或於私有農地設置配水箱引水灌溉，3 組灌溉水路分別為北區系統、南 1 系統、南 2 系統，主幹線長度分別約 330m(北區系統)、240 m (南 1 系統)、700 m (南 2 系統)，本方案配置詳圖 7-5。

配水工程以 40 萬元/處概估，3 處配水池之工程經費約 120 萬元；輸水工程以 4" PVC 管每進行米 350 元/米估算，需佈設管線總長約 1,270 m，工程經費約 45 萬元；抽水工程設置 5 台 15 hp 抽水機(3 台常態運轉、2 台備援)，以每台 25 萬元估算(含安裝)，購置費用約 125 萬元；分散式加壓供水系統方案概估工程總經費約 290 萬元。

方案二：重力式供水系統

設置 1 座直徑 10 m、總高 10 m，蓄水量約 100 噸之蓄水塔且於塔頂設置觀景台，由現行放流口抽水至蓄水塔貯存，其下方配水管線分為北區配水系統、南區配水系統等 2 組水路系統，由水塔底部洩水閘放水至管路沿線之配水箱，有用水需求之農民自行於私有農地設置配水箱引水灌溉，蓄水塔塔頂觀景台亦可作為環境教育平台使用，本方案配置詳圖 7-6。

配水工程以 60 萬元/處概估，1 處蓄水塔之工程經費約 60 萬元；輸水工程以 4" PVC 管每進行米 400 元/米估算(含配水接頭預留口)，需佈設管線總長約 2,075 m，工程經費約 90 萬元；抽水工程設置 2 台 15 hp 抽水機(1 台常態運轉、1 台備援)，以每台 25 萬元估算(含安裝)，購置費用約 50 萬元；重力式供水系統方案概估工程總經費約 200 萬元。

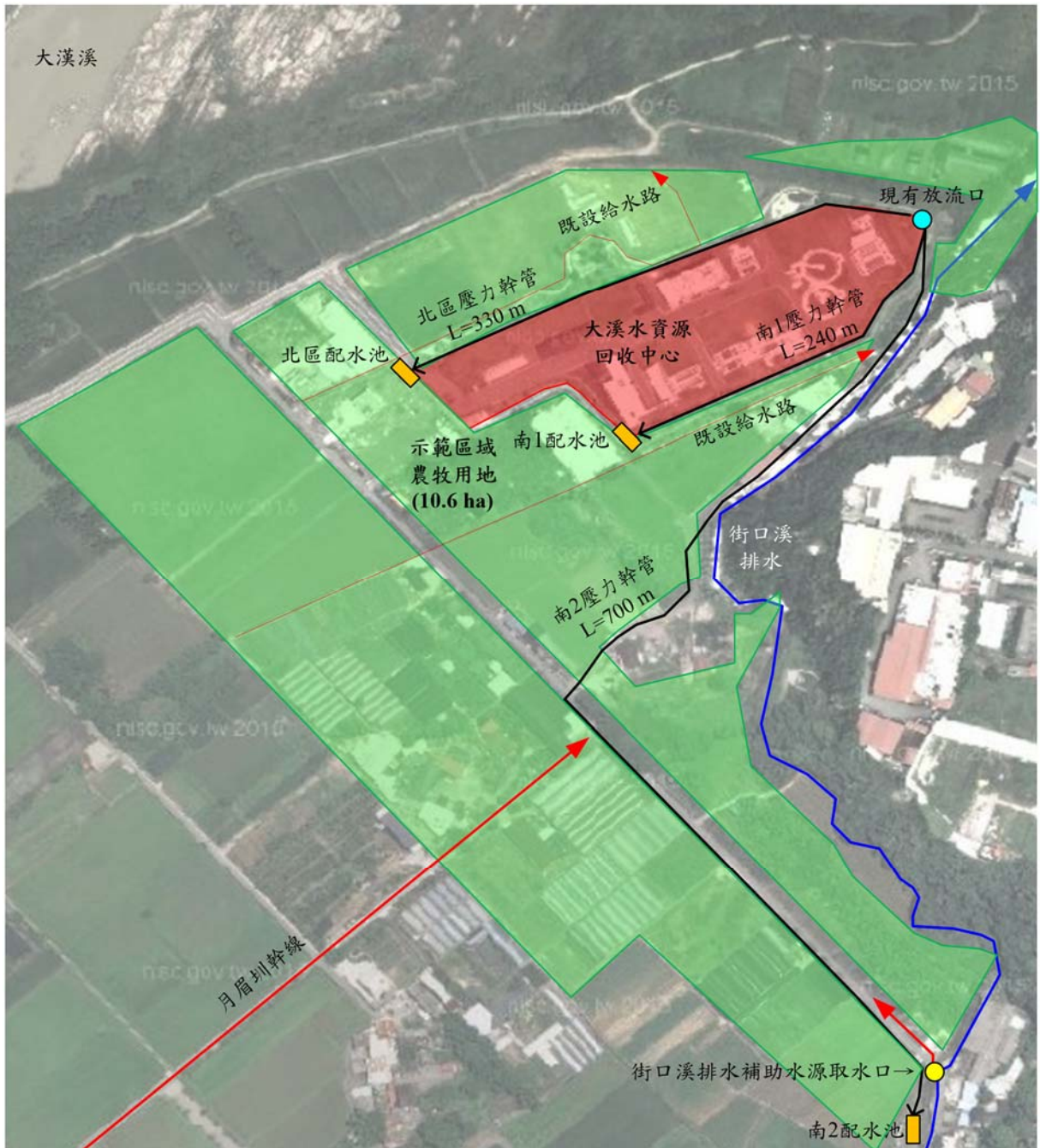


圖 7-5 大溪水資源回收中心回收水應用方案一

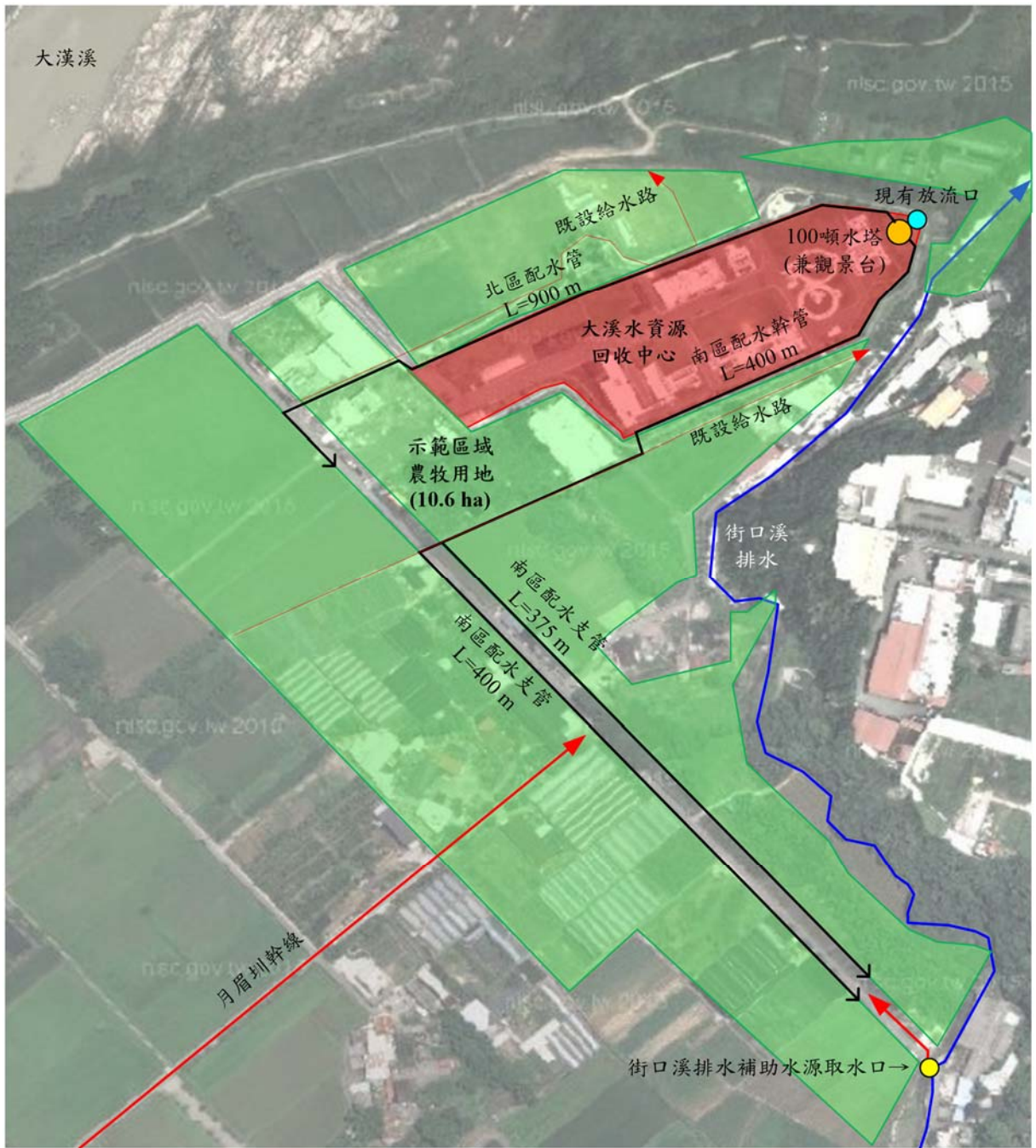


圖 7-6 大溪水資源回收中心回收水應用方案二

二、桃園北區水資源回收中心回收水應用可行性評估：

桃園北區水資源回收中心回收水現行放流承受水體為南崁溪，灌排系統分布位置如圖 7-7。其最近一期申報之回收水為 2018/10/01~2018/12/31，平均每日放流量約 28,096.03 噸(約 0.33CMS)，尚未達到桃園北區水資源回收中心最大設計處理容量 50,000 CMD(約 0.58 CMS)，詳細水質狀態如表 7-11；回收水目前用途分別為(一).娛樂及環境用水及(二).景觀澆灌及都市非飲用水，詳細利用概況說明如下：

(一).娛樂及環境用水：

桃園北區水資源回收中心內設有一生態池，提供環境生態棲地、教育、休憩、景觀…等功能，該濕地原為桃園農田水利會 2-23 號池(瓦窯埤)的一部分，因興建高鐵而分割為上池及下池；上池即為桃園北區水資源回收中心內之生態池，下池則為桃園農田水利會桃園大圳第 2 支線灌區之 2-23 號池。

(二).景觀澆灌及都市非飲用水：

水資源回收中心設有回收水加壓設備，平日供景觀澆灌、水處理程序用水、洗街用水等供民眾取用；此外，枯旱時期回收水亦可做為緊急應變使用(如消防用水)。

由於桃園北區水資源回收中心位於南崁溪流域內，平日回收水即會經由區域排水匯入南崁溪，目前未發現下游有取水再利用之狀況；北區水資源回收中心周遭為桃園大圳第 2 支線灌區，主要種植作物均為稻作。

由表 7-11 之水質數據顯示，桃園北區水資源回收中心回收水為可利用於景觀澆灌之水體，本計畫考量桃園北區水資源回收中心緊鄰桃園農田水利會 2-23 號池，且現有生態池原為該池之一部分，故初步規劃於生態池興建一連絡水路至 2-23 號池，並於生態池端設制水門一座，平日將回收水蓄存於生態池內，連絡水路制水門之起閉操作則依桃園農田水利會 2-23 號池灌區需求調配，受益之供灌面積以 2-23 號池灌區計算，受益面積約 143.56 ha，方案配置詳圖 7-8。

水路連接工程以 6,000 元/m 概估，生態池連接至 2-23 號之連絡水路總長約 50 m，連接工程總經費約 30 萬元，周邊雜項工程以 15 % 計算(含水門、操作設備、道路交通管制…等)，工程總經費約 35 萬元。

表 7-11 桃園北區水資源回收中心回收水水質狀態一覽

項目	單位	申報 檢測 數值	放流水水質 標準	灌溉 用水 水質 標準	環境景觀及生活次級用水 之水質標準	
					沖廁	景觀、澆灌、灑水抑制揚 塵、洗車或洗地板者
申報 排水量	M ³ /申報 區間	2,556,739				
大腸 桿菌群	CFU/100 ml	10	200,000	未規範	200	未規範
水溫	攝氏	26.70	5~9 月：<38 其他月：<35	<35	未規範	未規範
總氮(TN)	mg/l	14.70	15	3.0	未規範	未規範
pH 值		6.80	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~8.5	6.0~8.5
化學需氧 量(COD)	mg/l	26.30	100	未規範	未規範	未規範
懸浮固體 (SS)	mg/l	13.20	30	100	未規範	未規範
生化需氧 量(BOD)	mg/l	2	30	未規範	15	15

註 1：本次申報區間為 2018/10/01~2018/12/31，申報資料匯入日期為 2019/10/21。

註 2：申報排水量換算每日排水量約為 28,096.03 cmd

資料來源：行政院環保署列管汙染源資料查詢系統，本計畫整理。

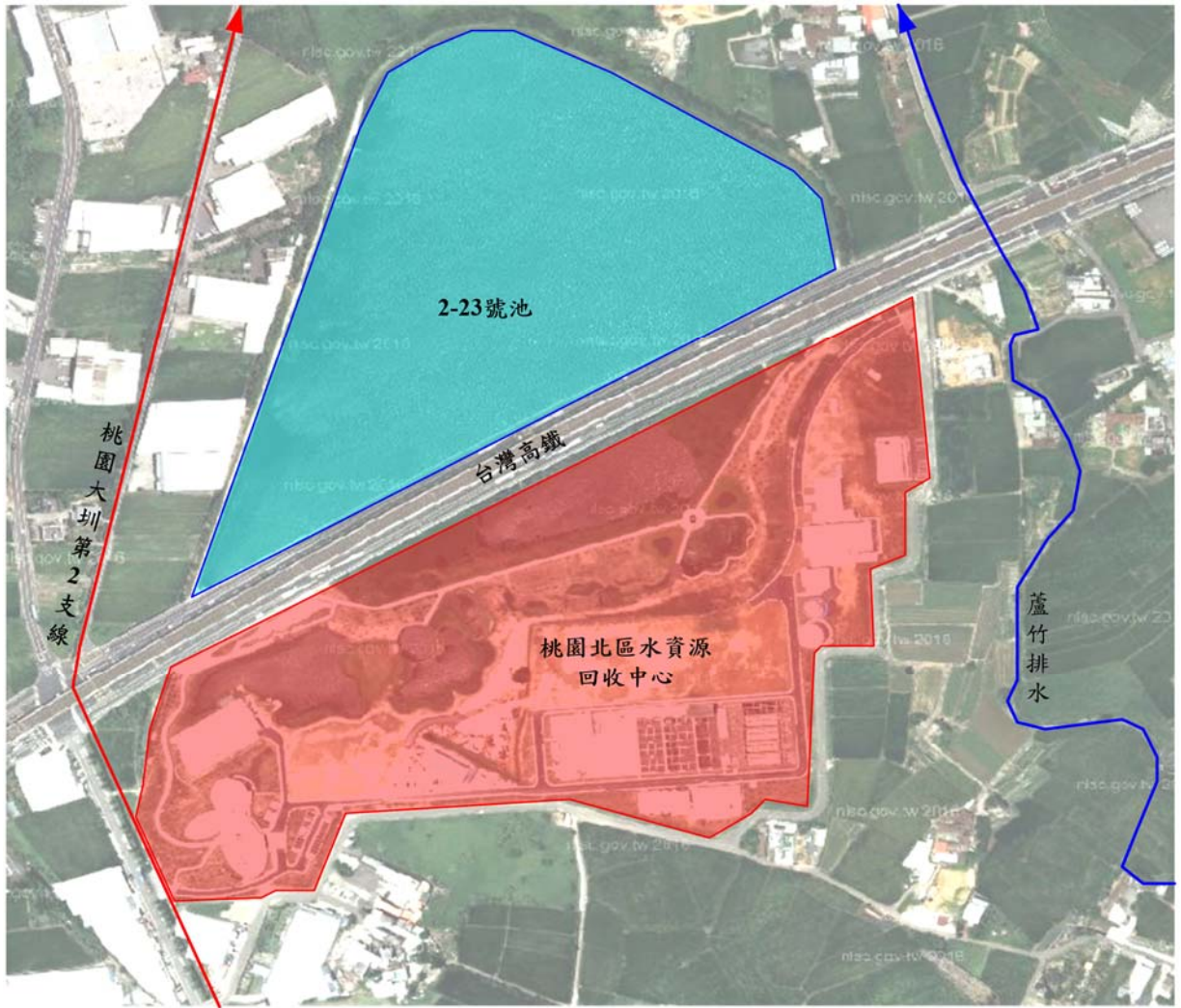


圖 7-7 桃園北區水資源回收中心周遭灌排系統分布圖

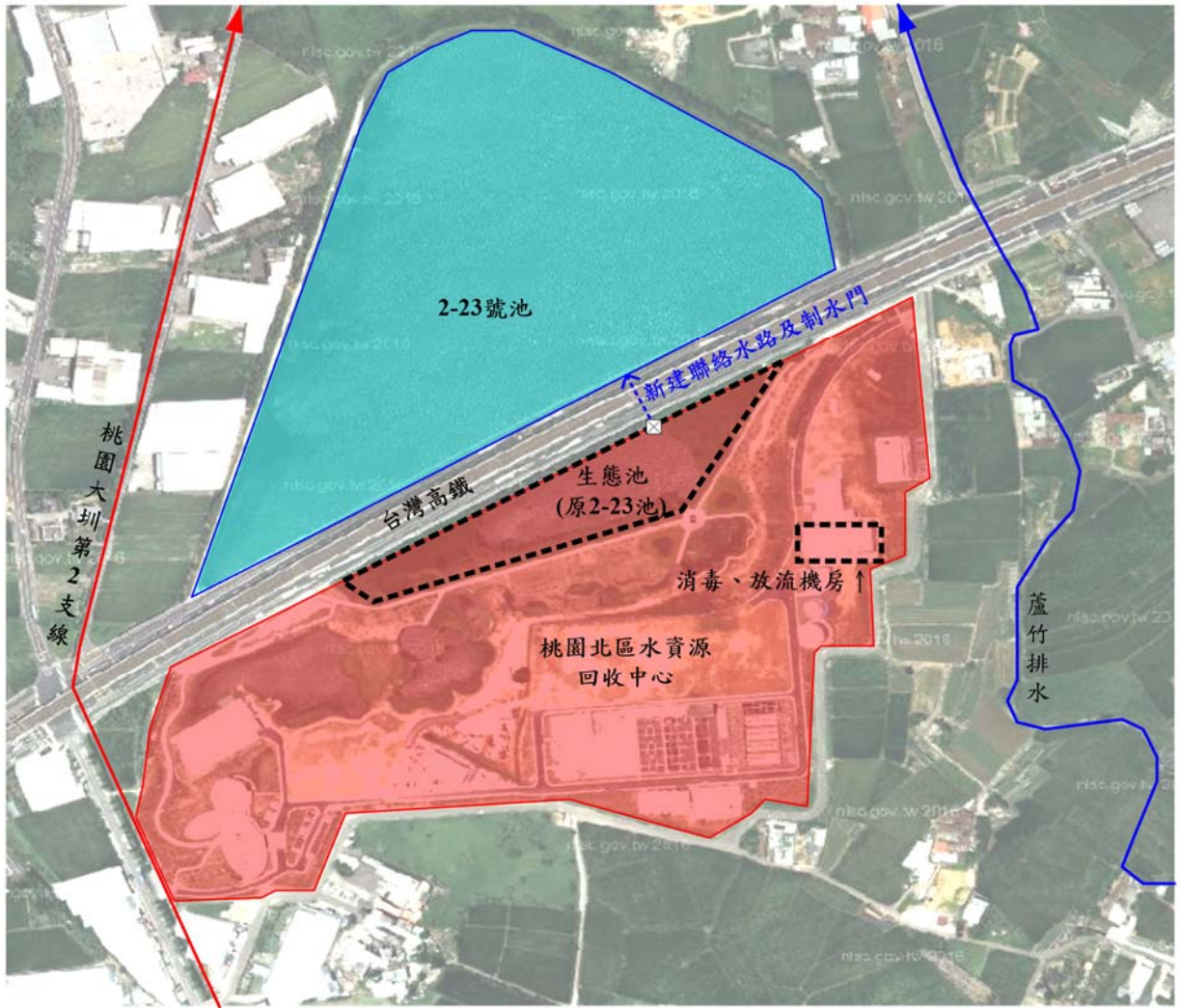


圖 7-8 桃園北區水資源回收中心回收水應用方案

第八章 宣導推廣影片製作

為有利後續節水系統之應用與推廣，針對本年度應用於短期標的作物之智慧節水系統，包含感測元件、控制及展示系統等之說明及應用以影片方式記錄，作為計畫成果宣傳用途，茲將影片製作構想說明如下：

一、企劃緣起

由於科技資訊日新月異，AI 人工智慧更是蓬勃發展，而「智慧」便是透過新一代的資訊科技例如：物聯網、雲端運算、移動互聯網、智慧型終端等，應用到城市中的電力系統、自來水系統、交通系統、建築物和油氣管道、工廠、辦公室及居家生活等生產或生活系統的各種物件中，將我們的感知與所有的設備系統能形成經濟、有效的互動，讓人們可以有更好的工作效率及生活品質。

建設智慧城市是國際間提升城市競爭力的重要指標，桃園市政府近年來對於推展桃園市逐步邁向智慧城市更是不遺餘力，積極以新一代資訊科技應用與創新技術強化公共市政的服務品質，便是希望利用人工智慧與物聯網的結合應用帶給民眾帶來更多便利的服務。

其中，智慧節水管理系統研發與水資源多元應用即是桃園市政府逐步建立智慧城市的一環，以本計畫為例，執行內容將以境內重要農業生產為節水的產業對象，透過物聯網(IoT)之感測技術整合、智慧環控技術、智慧管理技術等，藉由作物栽培過程之相關生長與環境參數組合，以及利用大數據分析技術，建立不同作物之前瞻智慧節水管理系統，作為氣候變遷下提升水資源韌性的重要調適策略方案，以達成精進農業節水管理技術、提高作物產量及提升作物品質等目標。

計畫研究本身是靜態的，執行成果的影響卻是全面化的，是故將依據本計畫執行過程中，選定之主要短期作物進行示範、實地試驗、測試智慧環境監測與控制系統、作物栽培管理分析平台建置等，拍攝紀錄這一系列所研發出的完整性前瞻智慧節水管理系統。將靜態的研究精華轉化為動態的、生活的、思考的、有張力的、具創新的、省思性的，讓觀

賞影片的市民，不僅可瞭解桃園市推動智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫的執行過程與成果，並且能豐富桃園市的農業意象以及桃園市邁向成為智慧城市的新形象。

二、影片拍攝說明

本團隊與年代網際事業股份有限公司(以下簡稱年代電視)合作，分別於 2019 年 06 月 21 日、2019 年 07 月 08 日就影片拍攝重點、腳本內容、時程規劃等進行討論，針對宣導推廣影片內容討論重點整理如下：

(一).影片長度：約 5 分鐘

(二).內容重點：

- 1.示範場域介紹及設計基礎原理與架構概述
- 2.作物氣象設備及土壤水分等監測設備說明
- 3.作物環境感測器整合(感測元件之整合與控制)介紹與應用
- 4.作物實地試驗過程(種植、收成等)與資料擷取
- 5.作物栽培管理分析平台操作與說明

(三).拍攝方式

- 1.數位影像攝影：影片拍攝、後製之攝製器材，達 HD 高畫質標準影片，製作完成檔解析度需達 1920X1080。
- 2.數位影像空拍：畫質空拍機攝影，以提供影片更多元不同視角，提升影片品質。

(四).內容規劃

有關宣傳腳本內容規劃包含引言、片頭、各片段落及結語，詳如表 8-1、8-2，第一次拍攝於 2019 年 07 月 18 日完成，就灌溉系統設備安裝、土壤感測元件與氣象設備佈置等進行拍攝，拍攝情形如圖 8-1，已初步製作完成片長約 90 秒之影片成品，內容如圖 8-2 所示。後續配合第二期試驗作物(萵苣)，拍攝計畫排定如表 8-3，於 9 月 16 日完成拍攝工作，並於 9 月底完成宣導推廣影片初版製作，10 月 29 日完成完整影片製作；另配合水務局之智慧水利及智慧城市政策宣傳，相關成果配合年代電視拍攝，於本年度 11 月 2 日晚上 9 時年代電視台「台灣向前衝」

播出。

表 8-1 宣導影片腳本規劃(I)

場次序	文字/聲音	畫面
場次一 30 秒	片頭與開場 1.音樂 2.短 BIT(訪問)暫定，討論後執行	1.片名題字動畫 2.空拍動態效果剪接 3.空拍埤塘，4-5 號池至農工中心實驗田區 4.片頭字幕： 桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫 5.字幕： <u>農業 3.0→農業 4.0</u> <u>精密設施栽培進步到 智慧栽培</u>
場次二 60 秒	▲實驗建置與方法一 主要內容： 1.氣象設備/土壤水分感測/滴灌/無線傳輸等監測設備，施作與整合說明 2.實驗介紹 (場地/時間/目標)	1.時間碼：KEY IN 地點：桃園水利會 4-5 號埤塘灌區 單位：財團法人農業工程研究中心 2. CG 動畫：作物環境控制系統整合圖 3.現場施作畫面加上字幕： <u>(1).氣象/土壤偵測設備～</u> <u>(2).無線傳輸設備～(補充說明)</u> <u>(3).三滴水灌溉系統～(補充說明)</u>
場次三 30 秒	▲實驗建置與方法二	1.實驗組與對照組空拍，框線描述呈現實驗組與對照組數據圖表 2.小白菜田間種植畫面(縮時運用)
場次四 50 秒	▲期待/難度/心得 主要內容：紀錄試驗操作過程，資料分系作業。穿插主管機關或實驗者的訪問，談論對計畫的期待，或過程中操作的困難說明。在硬體資訊工程後，需要一群堅持努力的研究者。	1.訪問 (1).計畫主持人 (2).水務局代表 計畫主持談，『特色性』『難度』『期待』短訪剪接 30 秒 2.田間辛勤照料 3.CG 智慧節水系統架構圖(擇一 待決定)

表 8-2 宣導影片腳本規劃(II)

場次序	文字/聲音	畫面
場次五 90 秒	<p>▲揭曉： 主要內容</p> <p>1.會議室投影成果數據發表 (NS 收音, 15 秒)</p> <p>2.實驗組 VS 對照組主要數據成果 發表：產量/省水量/本益比</p>	<p>1.時間碼：KEY IN 地點：財團法人農業工程研究中心研究室</p> <p>2.研究室電腦前、或會議室，研究數據發表。</p> <p>3.實驗組 VS 對照組 CG 表格 產量/水量/設施成本(本益比) (以三張圖表為主)</p>
場次六 40 秒	<p>▲願景與應用 訪問建議：市長 / 局長 談智慧農業與計畫願景</p>	訪問畫面 + 重點字幕
場次七 10 秒	END 結尾	<p>畫面：空拍，農田，埤塘</p> <p>字幕： ▲智慧灌溉 智慧節水 智慧城市 ▲單位 LOGO 桃園市政府水務局 財團法人農業工程研究中心</p>



圖 8-1 年代電視拍攝情形

表 8-3 宣導推廣影片拍攝計畫

日期	項次	內容
7/18	場地：試驗田區 時間：08：00 起	1.作物氣象設備/土壤水分感測元件裝設 2.無線傳輸設備安裝 3.滴水灌溉系統裝設(給排水系統) 4.縮時攝影定位與空拍設計
8/16	場地：試驗田區 時間：06：00~09：00	1.田間節水試驗設施 / 田區整理 2.菜苗種植
8/16	場地：桃園水務局 時間：10：00 起	訪問安排(水務局副局長)
8/16	場地：農工中心 時間：14：00 起	1.簡報發表第 1 期(小白菜)試驗成果 2.農工中心畫面補充拍攝
9/16	場地：農工中心 時間：10：00 起	1.簡報發表第 2 期(萵苣)試驗成果 2.農工中心畫面補充拍攝
9/16	場地：桃園水務局 時間：14：00 起	訪問安排(水務局局長)

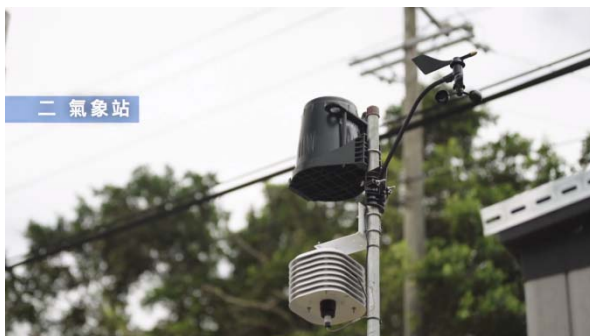
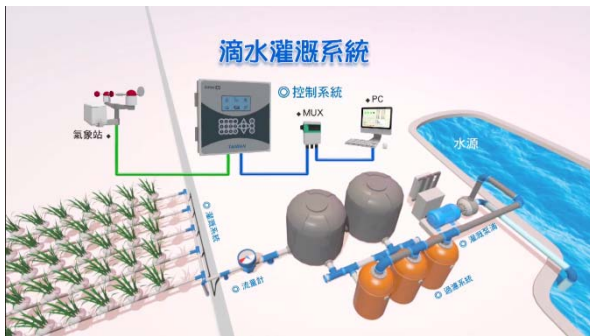


圖 8-2 宣導推廣影片成品擷取畫面

第九章 結論與建議

9-1 結論

- 一、因應臺灣水資源短缺以及氣候變遷的雙重挑戰下，本計畫以農業行為的灌溉管理為出發點，在不破壞環境平衡、水資源使用更有效率的前提下，於農業生產過程導入智慧化管理，盼可達成節水且同時兼顧農業生產，作為氣候變遷下提升水資源韌性的可行方案。
- 二、本計畫完整蒐集桃園市境內作物基本資訊、多元水源盤查、國內外案例與相關文獻後，就(1).作物需水特性、(2).用水來源、(3).作物代表性、(4).國土規劃適宜性、(5.)是否為地方重點發展作物等篩選原則進行綜合評析，篩選出本計畫本年度與後續推動之標的作物。本年度標的作物以短期旱作物為主，分別為葉菜類蔬菜的小白菜及萵苣等 2 種；後續 2 年度標的作物篩選建議分別為 2020 年的(1).果菜類蔬菜(胡瓜或蕃茄)、(2).常綠果樹(火龍果)；2021 年的(1).水稻、(2).根莖類蔬菜(馬鈴薯或芋頭)。
- 三、本計畫以桃園境內重要農業生產為節水的產業對象，透過物聯網(IoT)之感測技術整合、智慧環控技術、智慧管理技術等，透過作物栽培過程之相關生長與環境參數組合，建立不同作物之前瞻智慧節水管理系統。除建立田區微氣候監測站，並於試驗田區構建環境監測系統，感測元件包含(1).溫度、(2).濕度、(3).風速風向計、(4).日輻射計、(5).大氣壓力計、(6).雨量計、(7).土壤水分張力計、(8).自記水位計、(9).自動資料蒐集記錄器；智慧灌溉系統採用以色列 Netafim 滴灌設備作；透過 NMC PRO 灌溉控制器及網路傳輸裝置(4G)進行資料紀錄及傳輸整合。
- 四、作物栽培智慧管理平台擬分年完成，本年度為前導計畫，耕地僅有實驗田，故目前完成前臺監看耕地環境及作物生長狀況功能之開發，系統建置功能主要為環境監控、作物生長紀錄、用水分析、耕地地理資訊儲存、用戶耕地管理等。因應用戶及管理者需求提供展示、查詢、管理之視覺化管理功能，同時為便於後續推廣使用，已同時開發視窗版及手機版等兩種介面。

- 五、本計畫智慧節水試驗於農工中心位於大園區試驗田區執行，2次試驗作物依序為小白菜及萵苣，試驗期間為7~9月，示範場域包含試驗組(滴灌區)及對照組(溝灌區)，每一區試驗田長25m、寬15m(面積375m²)，試驗水源為桃園大圳灌溉原水，各試驗田區設置10畦，每畦種植400株，每1試驗田區4,000株，總計第1次試驗蔬菜總株數為8,000株；第2次試驗則改種植福山萵苣，總株數為6,000株。
- 六、第1次智慧節水試驗期間為移苗(7/25)至作物收成(8/13)，田間試驗共計20日；本計畫依據智慧節水管理系統試驗成果初步顯示採用智慧節水系統應用於試驗組(滴灌區)較傳統農法的對照組(溝灌區)節省水量約57.7%；另作物品質評估，針對作物抽樣800株進行(1).生長株高、(2).葉片數量、(3).單葉葉寬、(4).單株總葉寬等4項參數觀測，利用Rg(H)(株高生長倍數)、Rg(L)(葉數生長倍數)等指標進行評估，以釐清省水灌溉對於生長及產量之影響；試驗成果顯示Rg(H)及Rg(L)分別介於0.86~1.05及0.91~1.04，綜合評估顯示滴灌或溝灌方式對作物生長無明顯趨勢，惟產量具增產5%之正面影響。第2次智慧節水試驗期間為移苗(8/16)至作物收成(9/17)，田間試驗共計30日；依據智慧節水管理系統試驗成果顯示採用智慧節水系統(滴灌)較傳統農法(溝灌)節省水量約77.3%；另作物品質評估，針對作物抽樣400株於收成日進行(1).單株株高、(2).單株重量、(3).單株總葉寬等3項參數觀測，以釐清省水灌溉對於生長及產量之影響；試驗成果顯示使用滴灌之水量僅約溝灌水量22%的前提下，單株株高約為1.24倍、平均總葉面寬為1.25倍、平均單株重量高達1.91倍；顯見灌溉方法選用及感測元件之搭配決定灌排時機，有助於大幅節省水源又可確保(提升)原有作物品質及產量之雙贏目標。
- 七、考慮桃園市境內各水資源回收中心及其周圍灌區位置，本計畫選定大溪水資源回收中心及桃園北區水資源回收中心等2處水資源回收中心，作為再生水應用於農業灌溉之可行性評估廠區。以多元水資源利用的考量，綜合評估及盤點水資源回收中心之再生水可再利用之用途及潛在供水農地範圍及潛在效益。由水質數據顯示，大溪水資源回收中心再生水為可利用於景觀澆灌之水體，本計畫規劃以月眉圳灌區末流、大溪水資源回收中心周遭12ha土地中約4.8ha農牧用地為示範區域。

另由桃園北區水資源回收中心再生水水質數據顯示，亦為可利用於景觀澆灌之水體，考量中心緊鄰桃園農田水利會 2-23 號池，且現有生態池原為該池之一部分，故初步規劃於生態池興建一連絡水路至 2-23 號池，並於生態池端設制水門一座，平日將放流水蓄存於生態池內，連絡水路制水門之起閉操作則依桃園農田水利會 2-23 號池灌區需求調配，受益之供灌面積以 2-23 號池灌區計算，受益面積約 143.56 ha。

- 八、為有利後續節水系統之應用與推廣，針對本年度之短期標的作物之智慧節水系統，包含感測元件、控制及展示系統等之說明及應用等內容，製作 1 支宣導推廣影片，以利後續節水系統之應用與推廣，影片內容包含灌溉系統簡介、作物種植情形、作物採收現況、計畫內容說明、工作討論、系統操作、水務局訪談等情境進行拍攝剪輯完成長度 5 分鐘之宣導推廣影片製作。

9-2 建議

- 一、本年度計畫為前導試驗性質，經由氣象、水文感測元件的建置並透過4G穩定傳輸方式，兩次作物栽培省水試驗期間均能隨時掌握田區資料，惟後續若於系統技術成熟及整合完成後，欲推廣至其他區域，則須考慮偏遠地區用電及無線傳輸覆蓋率是否完善之問題，因此有必要進一步嘗試太陽能或低功耗傳輸的方式，以提高於都會區或偏遠區域均能適用。
- 二、本年度建立之智慧節水系統採用以色列的滴灌系統，該系統之操作模式為封閉式，無法提供規劃者將針對特定作物之給水及排水的時機原則及量體設定進程式撰寫的方式，讓系統以自動感測及執行決策的方式操作，因此尚未能達成智慧化的階段，現階段僅能稱為自動化灌溉系統；因此後續仍須針對如何將程式可與智慧節水的控制系統連結進行系統的調整及改進。
- 三、本年度計畫安裝多種感測器、氣象儀器及一套灌溉系統於示範田區。其中氣象儀器重要性對於農民而言相對較低，針對旱作物栽培，主要設備仍為田間土壤水分感測器及灌溉系統。前者監測土壤含水量，決定是否啟動灌溉系統，後者則配合適時、適量供水。兩者若充分配合則可達到自動化灌溉，有效降低人力管理時間。依據本計畫使用經驗，發現仍有改善空間，例如土壤水分計的探腳長度多在5~10公分，無法涵蓋全部根系範圍，可朝向開發探腳長度更長的產品，另土壤水分計的原始量測值與土壤含水量之間的率定關係跟標準程序仍有待進一步研究；以上為後續試驗選擇合適相關產品之參考。
- 四、日本在智能農業的推動已有多年的經驗及成果。全日本至2014年已有半數以上農戶，選擇使用資訊與通信科技(ICT)與物聯網(IoT)技術，且大幅提高農產品生產效率與行銷效益，亦改善從農人口老化及勞動力不足問題。考量日本農業生產環境及農田水利設施與台灣高度相似，加上日本以智慧化設施導入農業生產已有相當多的成功案例，未來可引進日本智慧灌溉系統及其應用經驗，作為臺灣智慧節水試驗之學習對象。

- 五、由於台灣多數農民為小農性質，單一農民使用之農地面積偏小，生產成本相對歐美國家偏高，因此面對智慧節水系統高成本但可擴大應用至 50 種不同作物分區之特性，建議朝向「小農結盟」方式降低成本、共同創造效益的方式為之，另政府若能針對設備(系統)以水資源節水獎勵金的方式補助用戶購置，將有助於節水系統的推廣，相關配套措施仍需進一步研擬。
- 六、農田水利產業除了旱田透過智慧節水系統操作達成節水目標之外，台灣豐富的降雨亦是最豐沛的灌溉替代水源，因此水田如何於水稻生長期間善用歷次降雨事件產生的雨量做為灌溉用水，其量體效益、影響因子、供水及用水機關如何操作值得進一步研討。
- 七、本年度計畫建置之智慧節水系統乃針對旱作栽培為應用對象進行感測元件的佈設；由於水田灌溉用水為國內作物栽培用水量之首，因此建議後續智慧節水系統亦可以擴充發展以水稻栽培為主的設備元件，考量水稻及旱作物栽培的農機使用方式、用水期程及特性的不同，水稻田的智慧省水感測元件建議朝向給水及排水閘門自動化、地表及地下水位感測連結操作之方式發展，以期後續可全面性應用於不同作物栽培的智慧省水系統之遠程目標。
- 八、再生水為水資源多元應用的方式之一，桃園市境內具多座以生活污水為主要處理目標的各水資源回收中心，經處理後之再生水均具可再利用之潛力，用於工業、生活雜用水、取代灌溉水質不佳的用水等多種用途均有助於提升水資源利用價值，後續可整體規劃其應用之可行性。

參考文獻

1. Allen, Lucy, 2013, 「Smart Irrigation Scheduling: Tom Rogers' Almond Ranch」, Pacific Institute。
2. Ashraf, M., and Majeed, A 2006, “Water requirements of major crops for different agro-climatic zones of Balochistan”, IUCN, Pakistan.
3. Bošnjak, D., Gvozdenovic D., Moldovan S., 1997, “Water Requirements of Pear William Grown on Loamy Sand Soil”, Acta Hort. (ISHS) 449: 133-138.
4. Critchley, W., Siegert, K., Chapman, C., Finkel, M., 1991, “Water harvesting”, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, Rome.
5. Corinne Reichert, 2018, “NNNCo deploys IoT network for cotton farmers”, <https://www.zdnet.com/article>, ZDNet.
6. Muhammad A., Abdul M., 2006, “Water requirements of major crops for different agro-climatic zones of balochistan”, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Pakistan.
7. Sharma, K. D., Pareek, O. P., Singh, H. P., 1986, “Microcatchment water harvesting for raising Jujube orchards in an arid climate. In: Transactions of the ASEA 29 (1): 112-118.
8. Simonne, E. H., Dukes, M. D., Zotarelli, L., 2011, “Principles and practices of irrigation management for vegetables”, AE260, Horticultural Sciences Dept., University of Florida.
9. The Ministry of Agriculture and Agro-Based Industry, 2004, “Technical document for market access on star fruit (carambola)”, Kuala Lumpur, Malaysia.
10. Takashi Asano, Ph.D.編著，洪仁陽等譯，2002，「水回收再利用(上、下)」，國立編譯館。
11. 王三太、林子凱，2005，「台灣農家要覽-貳.蔬菜 五.葉菜類 (十四)小白菜」，行政院農業委員會出版，第 423-428 頁。
12. 王俊，1954，「灌溉渠流量與斷面之研究」，台灣水利，第 1 卷，第 3 期，第 23-57 頁。
13. 台灣省水利局，「灌溉排水工程設計(下冊)」，農復會特刊新二十八號，1978。
14. 田雲生、張金元、曾宥紘、郭雅紋、戴振洋、陳盟松、陳世芳、白桂芳，2018，「建置節水灌溉與雨水收集循環利用處理系統之試驗研究」，行政院農業委

員會臺中區農業改良場。

15. 向為民、劉禎祺，2005，「合理化施肥之土壤水分管理」，農業試驗所特刊第 121 號，合理化施肥專刊，行政院農業委員會農業試驗所、中華永續農業協會出版，第 87-101 頁。
16. 行政院農業委員會，2017，「106 年度灌溉設施補助宣導手冊」。
17. 行政院農業委員會，1999，「農田水利業務簡介」，第 24-26 頁。
18. 行政院農業委員會，2006，「臺灣農家要覽」，2006 年農委會增修 3 版。
19. 行政院農業委員會，2015，「農業統計年報」。
20. 行政院農業委員會，2016，「農業統計年報」。
21. 行政院農業委員會，2017，「農業統計年報」。
22. 行政院農業委員會，2017，「農業科技有三寶，讓你當個遠端科技智慧農」，農傳媒網頁(網址略)。
23. 行政院農業委員會農業試驗所，2018，
<http://www.intelligentagri.com.tw/Home/About>。
24. 行政院農業委員會農糧署，2019，「農情報告資源網」，
https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp
25. 行政院農業委員會農糧署、農業試驗所，2011，稻米良好農業規範(TGAP)。
26. 行政院農業委員會茶業改良場，2007，茶葉良好農業規範(TGAP)。
27. 行政院農業委員會桃園區農業改良場，2007，竹筍類良好農業規範(綠竹筍、麻竹筍、孟宗竹筍、桂竹筍)(TGAP)。
28. 行政院農業委員會嘉義大學，2008，柑橘類良好農業規範(TGAP)。
29. 行政院農業委員會臺中區農業改良場，2011，番茄良好農業規範(TGAP)。
30. 行政院農業委員會臺中區農業改良場，2018，短期葉菜類《十字花科非結球葉菜、蕓菜、茼蒿、芥菜、莧菜》良好農業規範(TGAP)。
31. 行政院農業委員會臺南區農業改良場，2007，洋香瓜良好農業規範(TGAP)。
32. 行政院農業委員會臺南區農業改良場，2016，小果番茄設施栽培及健康管理技術，臺南區農業改良場技術專刊，105-3 (NO.164)。
33. 吳東鴻、林孟誼、卓緯玄、李長沛、顏信沐、賴明信，2014，多元化調整抽穗期以穩定稻作生產結構，行政院農業委員會農業試驗所技術服務季刊，99 期。
34. 林子凱、蕭吉雄，2005，「台灣農家要覽-貳.蔬菜 七.果菜類 (四)胡瓜」，行政

- 院農業委員會出版，第 475-480 頁。
35. 林修德，2009，「推估自然循環水處理方式之設計參數研究」，中原大學土木工程學系碩士學位論文。
 36. 林棟樑，2005，「台灣農家要覽-貳.蔬菜 五.葉菜類 (十)萵苣」，行政院農業委員會出版，第 409-412 頁。
 37. 施嘉昌，1989，「玉米灌溉用水量之研究」，台灣水利，第 37 卷，第 4 期，第 1-14 頁。
 38. 施嘉昌，1991，「玉米實際灌溉之檢定研究」，台灣水利，第 39 卷，第 1 期，第 5-8 頁。
 39. 施嘉昌、何信賢、張文亮，1996，「大豆用水量與產量關係之研究」，台灣水利，第 44 卷，第 3 期，第 1-11 頁。
 40. 桃園市政府水務局，2016，桃園市水權精進暨旱災應變規劃委託技術服務。
 41. 洪嘉鎡，2018，「缺工荒下導入智慧管理，臺灣茶產業能否脫胎換骨？」，農傳媒網頁(網址略)。
 42. 范仁志，2019，「日政府攜手 NEC、富士通打造農業 IT 平台，帶動智慧農業進一步發展」，<https://www.digitimes.com.tw/iot/article>，DIGITIMS。
 43. 倪禮豐，「小胡瓜有機栽培之肥培管理技術」，花蓮區農業專訊第 37 期，行政院農業委員會花蓮區農業改良場出版，第 19-20 頁，花蓮(2001)。
 44. 桃園市政府水務局，2018，桃園市再生水評估規劃委託技術服務正式報告書。
 45. 桃園市政府農業局，2018，桃園好米，神農傳奇網頁。
 46. 財團法人農業工程研究中心，1994，「作物灌溉技術實務」，行政院農業委員會科技計畫成果報告。
 47. 財團法人農業工程研究中心，2000，「管路設計基準」(草擬)。
 48. 財團法人農業工程研究中心，2006，「提升灌溉排水工程及營運管理技術(第 1 年/全程 3 年)」，行政院農業委員會 95 年度科技計畫研究報告，計畫編號：95 農科-4.1.1-利-b2(z)。
 49. 財團法人農業工程研究中心，2006~2008，「再生水應用及節水灌溉之理論、技術與設備研發(全程 3 年)」，行政院農業委員會科技計畫研究報告。
 50. 財團法人農業工程研究中心，2018，農地雷射整平技術之田間用水量觀測試驗。
 51. 曹幸之、謝哲進、蔡永福，2005，「台灣農家要覽-貳.蔬菜 三.莖菜類 (八)馬鈴薯」，行政院農業委員會出版，第 305-310 頁。

52. 郭儀蕙，2018，「以色列精準灌溉 沙漠變良田」，經濟日報(2018年6月24日)。
53. 陳正次，2005，「台灣農家要覽-貳.蔬菜 七.果菜類 (十二)番茄」，行政院農業委員會出版，第517-532頁。
54. 陳治官、賴明信、李長沛、曾清山、顏信沐，2004，國內水稻育種事業與重要栽培品種之特性簡介，水稻健康管理研討會。
55. 陳端武，2019，「印度公司 Oizom 推 Agribot 智慧農業方案替農民監控土壤狀況」，<https://www.digitimes.com.tw/iot/article>，DIGITIMS。
56. 陳豐文、陳獻、林筠，2008，自來水及再生水應用於瓜類灌溉之試驗研究，臺灣水利第56卷第3期。
57. 陳豐文、劉振宇、蔡西銘、林修德，2013，「臺灣農業水權量計算方法對長年作物灌區灌溉管理之影響」，臺灣水利，第61卷，第1期，p.53~74。
58. 曾盟群，2015，「基礎蔬菜作物栽培管理」，行政院農委會桃園區農業改良場作物改良課。
59. 黃文意、方怡丹、郭坤峯，2016，「2016 智慧農業日本觀摩研習團-行政院農業委員會出國報告」。
60. 黃柏傑，1999，桃園地區地下水資源之評估與應用，國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。
61. 黃祥益、黃賢喜，2005，「台灣農家要覽-貳.蔬菜 三.莖菜類 (六)芋」，行政院農業委員會出版，第295-300頁。
62. 經濟部水利署，2009，「地面水水權(臨時用水)登記申請手冊」。
63. 經濟部水利署，2015，氣候變遷下臺灣九大地下水資源區地下水潛能變化之研究。
64. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2007，「地下水防災緊急備援井網規劃-桃園地區」。
65. 經濟部水利署南區水資源局，2017，「精進灌溉節水管理技術-以嘉南灌區為例」。
66. 農田水利會聯合會，2015，農田水利會管理類業務規範。
67. 農田水利會聯合會，2007，「第二冊 作物栽培灌溉」，農田水利技術人員訓練教材灌溉管理類合訂本，第15-30頁。
68. 環保署土壤及地下水污染整治網，<https://sgw.epa.gov.tw/public>。
69. 綠田園基金，<http://www.producegreen.org.hk>。

70. 臺灣省水利局，1977，「水稻栽培灌溉」。
71. 戴元利，2019，「農業拚外銷！預測產期減少損失，新創團隊科技助攻」，
<https://news.tvbs.com.tw/politics>，TVBS。

附 錄 一

期初報告審查會議紀錄及辦理情形

「桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫」 期初報告審查會議紀錄及辦理情形

一、會議案由：「桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫」期初審查會議

二、會議日期：民國 108 年 05 月 09 日(星期四)上午 10 時 00 分

三、會議地點：水情中心會議室(7F)

四、主席：李副局長金靖 紀錄：林震也

五、出席單位及人員：楊鐘時委員、林柏璋委員、李岳壇委員、
李金靖委員

農業工程研究中心：陳豐文、方文村、張雅婷、廖翊鈞

六、主席致詞：略

七、委員審查意見(依發言順序)：

審查意見	辦理情形
楊鐘時委員	
1.P.2-7，地面水章節之農業用水次之(56%)，應修正為 10%。	感謝委員指導；內文已修正。
2.P.3-4，表 3-2 蔬菜種植面積中其他蔬菜及 P.3-5 一、短期旱作物中其他蔬菜面積數字不一致，請修正。	感謝委員指導；內文已修正。
3.P.4-2，圖 4-1 示範場域周邊區位圖請用紅框標示示範場域實際位置。	感謝委員意見，遵照辦理。
4.建議成本分析應考量監測元件及系統之成本及維護費用，另軟體應用程式是否免費提供，若計費，亦應加入成本分析。	感謝委員意見，遵照辦理；滴灌設備之控制系統軟體為免費提供，因此不列入成本計算。
5.長年作物以火龍果、文旦柚及茶樹作為研究對象，其是否於全國具有誘因，請補充說明，如此作為標的作物執行，方具可行性。	感謝委員意見，長年作物初步規劃以桃園市常見作物代表說明，擬補充桃園市各區域推廣之長年作物種類及其作物產值、農家賺款等資料，以協助研提適種於桃園市且具推廣可行性之長年作物。

審查意見	辦理情形
楊鐘時委員	
6. 是否有相關歷史資料說明各項農作物之最低耕作面積，方符合智慧節水管理系統之可行性。	感謝委員意見，不同的灌溉系統能供應之面積均不相同，本計畫採用以色列滴灌系統為例，分析 0.1 公頃至 10 公頃之單位成本，提供參考，以 5 公頃為例，硬體成本為最低。
林柏璋委員	
1.P.5-1，每一田區規模為 $L \times W = 25 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ ，與 P.4-1 所提試驗田區為長 20 m 與寬 17 m 是否相同？。	感謝委員指導；試驗田區規模為 $L \times W = 25 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ ，內文已修正。
2.P.6-4，上半部分所提與下半部份之間的關係是什麼，宜有連接或說明，另表 6-2 之試驗組總收成數 7 與 28 差距頗大，可知其原因？又該頁內所提不同灌溉水源宜加以說明，並說明其影響。	感謝委員意見，本計畫擬參考相對成長率、葉面積比例、淨同化率等生長指數；以生長株高、單株葉片數量、單葉葉寬及單株總葉寬進行作物品質差異評估，期初報告所列之表 6-2 為農工中心過去相關研究之比較範例，單區收成數量差異大受限於土壤或作物本身健康條件等，確實會有差異性存在，因此評估作物產量或品質時，各小試驗區及整體試驗區之平均數據均會納入探討，以客觀釐清試驗成果之貢獻或影響。
3.P.6-8，表 6-4 之效益欄，請再檢視並修正。	感謝委員意見，表 6-4 為溝灌與穿孔管系統施設前後之比較範例，本計畫試驗完成後會依範例格式分為試驗組、對照組進行傳統漫灌與智慧節水管理系統之成本與效益比較。
4. 章節排序請一致，如第五章用一、二、三，餘者為 1-1、1-2；建議章節排列與計畫工作項目盡量可對照，俾利閱讀。	感謝委員意見，遵照辦理。

審查意見	辦理情形
林柏璋委員	
5.P.6-2，表 6-1 之桃園大圳組之用水為水圳水或自來水，請補充說明。	感謝委員意見，桃園大圳組之用水為自石門水庫供應至桃園大圳之原水，內文已補充；該範例為本計畫試驗前之範例參考說明，期中報告將以本計畫試驗成果進行說明。
6.P.8-3，表 8-1 之結語內容預留 10 秒可能不足，建議再調整。	感謝委員意見，宣傳影本腳本修正如表 8-1。
李岳壇委員	
1.P.7-9，應用再生水之可能性探討一節，報告中初步建議優先選用非食用作物，為利有效節省水資源，請以水稻為主要規劃作物。另本節請補充法規探討(水質、水量等)，未來若規劃於桃園水利會灌區進行試驗，建議亦需先取得農委會、桃園水利會同意書後方可進行。	感謝委員意見，再生水利用初步規劃以桃園農田水利會月眉灌區為試驗區域，試驗前擬規劃水量需求、進行水質檢測，並取得農委會、桃園農田水利會同意書後方可進行。該灌區現行作物為水稻為主、蔬菜各半，實際試驗規劃擬以水稻為主要規劃作物。
2.本局有另案辦理龍潭高低揚灌區恢復之可行性探討，後續可否將高低揚灌區納入本案茶樹試驗田區之考量	感謝委員意見，遵照辦理。
3.本案作物栽培智慧管理平台發展請依水利署水資源物聯網之安全要求辦理。	感謝委員意見，遵照辦理。
4.為利後續前瞻計畫經費爭取，請協助研擬二年期工作執行計畫書於 7 月提交。	感謝委員意見，遵照辦理。
李金靖委員	
1.依據施設成本與效益分析範例，施設穿孔管進行灌溉，每公頃施設成本約 15,000~21,000 元，成本金額不高。本案後續計算智慧節水管理系統建議由農業單位以獎勵方式補助農民施設，以減輕農民負擔。	感謝委員意見；本計畫擬就試驗場域規劃之智慧節水管理系統，分析系統內元件之成本組成，並蒐集農業單位補助農民施設獎勵方式，以作為後續推廣之參考依據。

審查意見	辦理情形
李金靖委員	
2. 為利計畫成果可參加相關水資源或智慧城市展覽、論壇，建議試驗過程可以縮時攝影方式留下紀錄。	感謝委員意見，遵照辦理。
3. 作物環境控制整合中過濾系統是否必要，因其會增加系統成本，若水質良好可否不經過濾系統直接引水耕作？	滴灌系統對於水質要求較高，過濾系統為必要性，因過濾系統為可拆洗式，不會具體增加成本，但是水質不佳條件下時，人工清洗的頻率會提高；若水質良好時，確實不需仰賴過濾系統，惟確保系統長期整體穩定運作，過濾系統已為標準配備。
4. 影片製作可找具備影片製作與行銷能力，有助提高本案宣導推廣影片之能見度。	感謝委員意見，本計畫為達宣傳推廣之效，擬委請年代電視製作本案宣導影片，並由該公司協助以新聞方式宣導智慧節水管理系統成效。
張德鑫委員(書面意見)	
1.P.2-11 中系統供水能力採 cmd，石門系統計畫供應 207 萬人及復興系統供應 2200 人，其供水量分別為 16.9cmd 及 0.015cmd，單位應有錯誤。	感謝委員指導；內文已修正。
2. 表 2-8 之供水能力單位為 cms，其又與內文之 cmd 單位不同。	感謝委員指導；內文已修正。
3.P.2-13 說明桃園地區之水井數量 257 處，其資料來源應有誤。	感謝委員指導；內文已修正。
4. 第三章之內容多為一般性之描述，建議應針對桃園地區之立地條件多做說明。	感謝委員意見；內文已補充說明。

審查意見	辦理情形
張德鑫委員(書面意見)	
5.各種不同作物之需水量與現地土壤性質、灌溉方式，以及當地之氣候條件(如蒸發散量與有效雨量等)有關，但工作執行計畫書針對桃園地區此方面之著墨不足。	感謝委員意見；內文已補充說明。
6.由圖 4-4 之滴灌系統配置圖中進入田區之滴灌系統採用流量計，請補充說明流量計之型式。另外於 P.4-1 之說明田間流量甚小，故採用水位計配合三角堰推估，請補量水堰尺寸及流量推估式。	感謝委員意見；內文已補充說明。
7.第六章成本分析中除建置成本之每年攤提費用作為年計成本攤提(6-8 式)，另外應加上系統之每年操作及維護費用後方為年計成本。	感謝委員意見；期中報告已優先將硬體設備費用進行分析，後續將針對試驗過程之電費及人力操作列入探討。
8.第七章中說明再生水利用面向中，其中多項如農業灌溉、補注地下水、景觀環境用水等，其均有相關之水質標準要求(報告中有附)，但請於相關文中敘明需依何標準？	感謝委員意見；內文已補充說明不同用途之水質標準要求。
劉振隆委員(書面意見)	
1.計畫可行的前提至少需滿足產量差異不大、有節水量及推廣效益(農民意願)，因此可就三個量化指標。	感謝委員意見；本計畫之智慧節水管理系統實施效益評估擬就灌溉用水量差異、作物產量差異、作物品質差異及投資成本、效益評估等，進行評估探討。
2.因計畫期程而選擇的短期早作蔬菜作為示範作物，基本可行。但是短期作物會因面積大小、季節或需求有所差異，僅有一次性試驗，如何具有代表性？應有說明。	感謝委員意見，為利試驗結果具代表性，擬於 7~10 月試驗期間，針對莧菜、小白菜二種短期作物各種植二次，以獲取更多試驗數據進行比較探討。

審查意見	辦理情形
劉振隆委員(書面意見)	
3.蒸發量是推求作物需水量的重要數據，但作物環境感測並無相關觀測，另土壤水分計埋設幾層？及深度、密度應說明。	感謝委員意見，氣象感測元件設置之目的除了即時感應當下的氣候條件外，其次為可作為估算當地作物蒸發散量之參數來源之一(以學術推估為主、農民甚難應用)。另土壤水分計共計 12 個，每一試驗區 6 個(均勻分布於上游、中游、下游)，埋設深度為土層下 25 cm(蔬菜根系範圍最大值)，因感測器數量限制，無另外針對垂直深度進行埋設。
4.示範區之管路進水前，是否佈置水塔或調整池，以穩定水頭。	感謝委員意見，擬規劃於示範區前設置調整池再以管路輸水至田區。
5.施肥會影響作物產量及成本效益，建議應納入紀錄及考量。	感謝委員意見，擬針對示範區施用肥料數量與頻率記錄，以作為完整紀錄試驗過程。
6.圖 4-5，LPWAN 如何採用？是 NB-IOT 及 LO-RA 兩套具備援概念？目前智慧河川為採 NBIOT 方式，已無備援需求。	考量桃園地區的資訊通達性，目前 NB-IoT 之涵蓋範圍尚不普及，因此本計畫採傳輸費用較高之 4G LTE，如此，不僅可滿足資訊雙向傳輸，亦可達到資料續傳之目的。
7.目前農委會也有省水灌溉旱作管路的推廣，本計畫雖可節省人力，或更有效率灌溉，是否會影響到農民意願，建議可以施作調查表。	感謝委員意見，本中心長期協助農委會辦理省水灌溉旱作管路推廣，擬補充桃園市推廣成果以供參考。
8.本次為工作計畫書，報告中有很多的協力廠商(資拓宏宇及設備商)，其分工應該說明清楚。	感謝委員意見，本計畫中智慧節水管理系統中感測元件由玖廷公司協助，滴灌系統由耒碩公司協助，作物栽培智慧管理平台則由資拓宏宇公司協助開發。
9.試驗佈置前，應完成試驗計畫書交甲方同意後才可實施。	感謝委員意見，依據計畫契約要求，針對作物環境感測器之元件與整合研提「感測器規劃說明書」，經水務局核備後辦理。

八、會議結論

會議結論	辦理情形
1.本案期初報告審查原則通過，後續請農工中心參酌委員意見修正，並將會議記錄與回覆意見納入期中報告。	感謝指導，遵照辦理。

九、散會：108年05月09日12時00分。

附 錄 二

期中報告審查會議紀錄及辦理情形

「桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫」 期中報告審查會議紀錄及辦理情形

一、會議案由：「桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫」期中審查會議

二、會議日期：108 年 08 月 20 日(星期二)上午 10 時 00 分

三、會議地點：水情中心會議室(7F)

四、主席：李副局長金靖 紀錄：林震也

五、出席單位及人員：楊鐘時委員、林柏璋委員、劉振隆委員、
李岳壇委員、徐浩仁委員、曾一祐委員、
胡明豐委員

農業工程研究中心：陳豐文、方文村、張雅婷、廖翊鈞

六、主席致詞：略

七、委員審查意見(依發言順序)：

審查意見	辦理情形
楊鐘時委員	
1.P.1-3，請補充說明溫度計、溼度計、壓力計、雨量計等之監測數量。	感謝指導；內文已補充。
2.P.2-4，潛在可利用耕地 6,662.4ha 與表 2-3 之 2,687.7ha，數字不一致。	感謝指導；內文已修正。
3.P.2-9，圖 2-8 修正為彩色。	感謝委員意見；遵照辦理。
4.P.2-12，文字內容與表 2-5 數字一致性，請說明。	感謝指導；內文已修正。
5.P.3-2，竹筍文字數量與表 3-2 不一致。	感謝指導；內文已修正。
6.P.3-2，表 3-2 無莧菜類數量表。	感謝指導；內文已修正。
7.P.3-2，西瓜文字數量與表 3-2 不一致。	感謝指導；內文已修正。
8.P.3-2，表 3-2 無蒿苳數量表。	感謝指導；內文已修正。

審查意見	辦理情形
楊鐘時委員	
9. 資料管理系統平台其功能編排方式，國內是否有以此模式編列，是否執行上有其修正之建議。	感謝委員意見；此功能編排方式在水利署「水資源物聯網感測基礎雲端作業平臺建置計畫」中曾使用，目前在執行上尚無修正建議，唯因本年度為前導型計畫，故僅有實驗田，使用者情境尚未包括如溫室、果園等，未來擬配合更多作物種類予以調整修正。
10.P.5-1，圖 5-1 示範場域請以紅色虛線表示範圍。	感謝委員意見；遵照辦理。
11.P.5-7， \bar{i} 、 \overline{ET}_{crop} 請標註其代表意義。	感謝指導；內文已修正。
12.P.6-1，最後一段流程改為歷程，以符合圖說一致。	感謝指導；內文已修正。
13.P.6-13，單葉寬或單株總葉寬為何 1 至 4 畦生長狀況不佳，可否分析其原因。	感謝委員意見；內文已補充。
14. 監控不正常，是否有警訊通知維修。	感謝指導；當監控設備異常，以簡訊方式通知維修，在技術上已成熟，實務上可行。然而是否應用於未來本計畫的運轉模式，仍待探討。主因為架設簡訊發布系統有費用問題，即便沒有發送訊息，也須繳納一筆租用金。其次，農田裡的設備應屬於低單價的商品，未來設備經農民買斷，除短暫保固外，往後時間廠商不一定會免費維修，因此仍需農民與廠商洽詢維修費用。目前本計畫在實際運作時，是由耕地管理人員透過平台發現監測異常後，再以電話方式聯絡廠商。

審查意見	辦理情形
林柏璋委員	
1.P.1-4，監測系統網傳輸朝低成本、低功耗，請於內文中補充說明。	感謝指導；幾種通訊方式的選擇原則已補充說明於第 4-4 節。
2.P.2-12，水權量擬請再次確認	感謝指導；內文已修正。
3.表 2-6、表 3-6 等請加單位。	感謝指導；內文已修正。
4.P.2-24 至 P.2-35，宜有彙整一覽表，說明地區、作物、灌溉方式、節水情形、管理系統或特別之處；另有些案例並無節水情形說明，如日本宮崎、日本九州橫竹、日本四國等，請補充。	感謝委員意見；遵照辦理。
5.P.6-9，請加 mm/day 或 mm，俾利閱讀。	感謝指導；內文已修正。
6.試驗田區節水控制因子及操作請詳予說明。	感謝指導；內文已補充。
7.P.9-3 至 P.9-6，宜加入期中審查標準，內文位址(頁碼及是否完成)，俾利審查。	感謝委員意見；遵照辦理。
劉振隆委員	
1.計畫目標應可再補述，在智慧水管理過程中，應可分為「系統建置」、「智慧化」、「決策化」階段，而本計畫目標屬於哪一階段或整體目標可加以說明。	感謝委員意見；遵照辦理。
2.在國內外案例蒐集，也可依上述說明目前之階段，而本計畫之試驗目的屬於哪一階段。	感謝委員意見；遵照辦理。

審查意見	辦理情形
劉振隆委員	
<p>3.目前試驗啟動給水機制為何？由土壤水分計感應後給水，再蒐集用水量及產量分析，但本計畫以經驗式灌溉，維持土壤水分計數值，其文敘有差異，請再確認。又慣行農法較無定義，相較之下想必可省水。下次試驗建議水分計垂直埋設於尾水端較為保守。</p>	<p>感謝指導；現階段給水的機制是事先設定好行程，再由電腦依據時程自動灌溉。如遇降雨事件，則改變電腦排程，當日不灌溉。本年度採用經驗式灌溉原因是有利於比較滴灌與慣行農法的供水量差異。依據一般認知，滴灌用水量應會低於慣行農法，但實際差異卻有可能因不同的控制手段而失真，例如滴灌方法又搭配極端的省水方式(含水量僅高過枯萎點)供水，更能突顯出滴灌的優點。本年度計畫針對對照組(溝灌區)灌溉方式皆採用農民的傳統經驗，不考慮元件測得數據，僅滴灌區控制土壤水分於35~80%之間，試驗成果同時評估水量差異比率及產量品質，成果顯示滴灌節水及作物品質均符合計畫預定期待。唯利用土壤水分計感應予以自動給水及停水，將是下階段計畫結合感測器與水閥達到自動操作的目標。水分計垂直埋設於尾水端的方式可在下階段試驗進行。</p>
<p>4.慣行農法尚有均勻度，但滴灌則較無均勻度，可加強論述。</p>	<p>感謝指導；內文已補充。</p>
<p>5.試驗區環境條件，如土壤、水質等屬試驗個案，未來如何推廣請補充說明。</p>	<p>感謝指導；內文已補充。</p>
<p>6.各感測元件之功能與本計畫之應用可再說明。</p>	<p>感謝指導；內文已補充。</p>
<p>7.試驗步驟、方法可加強論述。</p>	<p>感謝指導；內文已補充。</p>
<p>8.滴灌及漫灌之基本原理與節水效益本就不同，請補述試驗目的。</p>	<p>感謝指導；內文已補充。</p>

審查意見	辦理情形
劉振隆委員	
<p>9.試驗條件複雜，亦無法一體適用，建議重點應建置或規劃系統研發與測試，作物需水量以文獻加經驗式滾動修正，而本次試驗僅為示範及驗證角色。</p>	<p>感謝委員意見。</p>
李岳壇委員	
<p>1.簡報 P.61，提及滴灌區於試驗第 9 天(8/2)，連日不雨、土壤表面龜裂，故將滴灌時間延長，為何以雨量作為灌溉與否之依據，而非參考土壤水分計數值，請說明。</p>	<p>感謝指導；本年度第 1 次試驗時之土壤水分計統一埋設於土下 25cm，試驗過程發現水分不易到達(僅降雨事件有顯著改變)，因此第 1 次試驗主要參考降雨事件及田面乾溼程度為灌溉與否之採用原則；上述現象則於第 2 次試驗變更土壤水分計安裝位置後(土下 5cm、10cm、15cm)，改為依據土壤水分變化及降雨事件作為灌溉與否之決定(僅滴灌區)，溝灌區則維持採用農民日常的操作經驗，以證實不同的灌溉設施及元件輔助下之差異程度為何。</p>
<p>2.報告中針對再生水應用於農業灌溉之可行性評估，以大溪水資源回收中心為評估案例，可供灌面積僅 4.8ha。可否增加評估北區水資源回收中心供灌鄰近灌區之可行性，以解決該地區因取用水質不佳之區域排水導致農地遭受污染之問題。</p>	<p>感謝委員意見；遵照辦理。</p>
<p>3.原建議利用高低揚灌區作為茶樹試驗區，因本局有另案辦理龍潭高低揚灌區恢復之可行性探討，受限於水利會無意願恢復供灌，故近期內可暫不考慮將高低揚灌區納入本案茶樹試驗田區之考量。</p>	<p>感謝委員意見。</p>

審查意見	辦理情形
李岳壇委員	
4.目前完成之推廣宣導影片 90 秒版本著重於系統建置與田區試驗，請增加節水效益與推廣效果以利爭取後續計畫。	感謝委員意見；遵照辦理。
徐浩仁委員	
<p>1.本計畫未來如何逐層落實農委會農試所擘劃圖 2-15 之智慧農業概念圖，應有全盤考量。以目前執行框架，似僅達實體與感知層之建構。未來如智慧化供灌系統之應用範疇擴大，或將涉及施設更多數量與系統化 sensors；IoT gateway 層的架構是否要重新規劃、網路通訊協定層是否應考量資料傳輸距離、速度、封包數量與傳輸成本等，重新審慎釐定整體方案。此外，應用層部分未來亦應有加值運用的規劃，包含資料分析、互動查詢、遠端控制、決策支援等功能之整體規劃，以更符合智慧灌溉管理之目標。</p>	<p>感謝指導；相關論述已補充於第四章。未來智慧化平台建議朝向大資料池(Data Pool)方向規劃，即在平台前端設置一臨時資料庫(資料池)，所有感測器資料先傳送到資料池，再由平台分類匯入正式的資料庫。這種做法的好處在於：</p> <p>(1).目前感測器系統商的格式、網路通訊協定等不一，部分設備可能來自國外，強制採用統一格式可能造成許多價廉、高品質廠商無法加入。</p> <p>(2).目前已有青農自製自動化系統應用於自己的田間，若智慧平台可以更廣泛之傳輸格式包容各種自製系統，應可對數據蒐集更有助益。</p> <p>(3).未來較易更新或更換智慧平台版本。</p> <p>對於通訊協定，原則上建議以 MQTT 為主，然而平台仍會支援其他格式如 HTTP、CoAP、FTP 等。除了包容性廣之外，對於系統不致於造成顯著負擔。另關於通訊設備建議不作限制，因為 RF、LoRa、NB-IOT、4G/5G 等各有其優、缺點，若農民需監看現場畫面，以 LoRa 將難以進行。因此通訊設備將由農民視需要和現場條件共同研判、採用即可。至於應用層部分則規劃於後台，將於後續計畫進行。</p>

審查意見	辦理情形
徐浩仁委員	
<p>2. 本計畫所產製之監測資料與管理系統等相關成果，於現今 open platform 與 open data 之趨勢下，未來能否介接或納入其他部會或單位之平台，以供整體性之縱向延伸與橫向擴充應用？如前瞻建構民生公共物聯網項下水資源物聯網之精進灌溉節水管理推廣建置計畫之系統平台。</p>	<p>感謝委員意見；已於第四章補充建議未來智慧化平台設置提供對外服務的 API 介接功能。</p>
<p>3.4-1 節之作物環境感測器整合，涉及十數項 sensors 之建置，然此諸多不同類項之環境監測儀器同時佈設，應回歸以智慧管理為目的導向之釐清或簡化，以利聚集展現其執行成效。此外，基於 4.0 架構下所包含的物聯網與 CPS 技術體系，其需求之未來整合型 sensors，仍應朝微型化、耐候性與一體成型等方向推動，非僅搜羅既有各類感測器之拼湊或拼裝。如能透過相關模組封裝及系統化整合，方可因應未來可能的廣域運用與持續推廣。</p>	<p>感謝委員意見；監測系統朝向微型化、耐候性與一體成型等方向推動應是未來趨勢，唯由設計、撰寫程式、系統整合、製作電路板、封裝、測試、生產等角度探討，除非可達到相當之數量(即經濟規模)，否則系統單價很可能超出農民負擔。因此如何降低微型化系統價格，為未來需進一步探討及重視的課題。</p>
<p>4.4-3 節之智慧管理平台，目前架構較似單純之環境與作物即時監控查詢平台，包含前端使用者介面(UI)及後端資料管理系統。待相關系統初步建構完成後，建議朝新增監測資料之分析處理核心、導入雲端運算模組，並開發決策支援功能等方向推動。此外建議未來之使用者介面除監控及查詢外，可建置雙向互動功能，如提供農民依系統決策支援建議，透過遠端自行調整設定相關澆灌頻率、型態或水量等。</p>	<p>感謝委員建議；前述建議已說明及補充於第四章，將於下階段計畫分年辦理。</p>

審查意見	辦理情形
曾一祐委員	
1.針對系統內懸浮物清洗是否會衍生其他費用造成農民負擔？	感謝委員意見；系統內懸浮物累積程度可透過水閘兩頭壓力差讀數判斷，再以放流方式沖出堆積雜質即可，不會造成農民費用的負擔。
2.針對系統內伺服器選用，是否會衍生其他費用需由農民繳納？	感謝委員意見；本計畫屬前導計畫，用戶量不多，因此尚無伺服器衍生費用問題。未來若正式運轉後，是由政府機構提供數個 VM 建構伺服器，則應無農民繳納費用等負擔，而政府也可透過大數據分析農作物生產、供水等策略，應可達到雙贏目的。
李金靖委員	
1.請重新釐清各標的用水量後進行修正。	感謝委員指導；內文已修正。
2.為有效節省水資源，本計畫以用水標的最大宗之農業用水為節水目標進行試驗，若可利用水資源回收中心之再生水進行灌溉，將可達到有效節水與水資源再利用之雙贏目標，請再研議北區水資源回收中心供灌鄰近灌區之可行性，以擴大再生水利用之效益。	感謝委員意見；遵照辦理。

八、會議結論

會議結論	辦理情形
1.本案期中報告審查原則通過，後續請農工中心參酌委員意見修正，並將會議記錄與回覆意見納入期末報告。	感謝指導；遵照辦理。

九、散會：108年08月20日中午12時15分。

附 錄 三

期末報告審查會議紀錄及辦理情形

「桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫」 期末報告審查會議紀錄及辦理情形

一、會議案由：「桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫」期末審查會議

二、會議日期：108 年 11 月 18 日(星期一)上午 10 時 00 分

三、會議地點：桃園市政府水務局 601 會議室(6F)

四、主席：李金靖副局長 紀錄：林震也

五、出席單位及人員：楊鐘時委員、林柏璋委員、劉振隆委員、
李岳壇委員、徐浩仁委員、吳炳賢委員、
胡明豐委員

農業工程研究中心：陳豐文、張雅婷、廖翊鈞、惠士奇

六、主席致詞：略

七、委員審查意見(依發言順序)：

審查意見	辦理情形
楊鐘時委員	
1.P.1-6，第二行何謂滾定檢討，是否為滾動檢討，請確認後更正。	感謝指導；內文已修正。
2.P.2-2，表 2-1 各項所佔百分比加總 99.8%，是否細項數字應修正調整。	感謝指導；內文已修正。
3.如何確定滴灌區之需水判斷，其滴灌時如何判斷停止供水，如何運用土壤水份計作為判斷，溝灌亦同。	感謝指導；本計畫裝設土壤水分計用來判斷土壤含水量，滴灌區之土壤含水量應高於作物的永久凋萎點，因此目前是建議含水量操作範圍在 30~80%之間，低於 30%施以灌溉，高於 80%則停止灌溉。
4.請加註說明式 6-4、6-5 中之參數 w 、 A 、 dw 、 dt 定義為何？。	感謝指導；內文已補充。
5.P.6-18，作物生長，說明清楚。葉面大小如何量測？標準需說明清楚。	感謝指導；內文已補充。

審查意見	辦理情形
楊鐘時委員	
6. P.6-19，表 6-3 是否為調查抽樣樣本之平均值，若是請加註，且株高、葉面寬度之測量如何定義？	感謝指導；表 6-3 為樣本平均值，量測方式已補充說明。
7.建議提供大溪水資源回收中心及桃園北區水資源回收中心再生水應用之各方案經費概估金額，以提供機關預算編列。	感謝委員意見；已針對目前規劃之再生水應用方案概估經費，並補充於第 7 章。
8.監測及供水系統軟體之連結是否可依各作物之特性，輸入其特性需求，以利節省人事成本，以達自動化之需求。	感謝委員意見；自動決策化是本計畫預期達成之遠程目標，未來亦需要設備供應商充分配合。軟體端在技術上可做到雙向操作，已說明在 4-4 節第六點。
林柏璋委員	
1.智慧節水管理系統試驗歷程及效益評估，二次試驗立地條件的控制有所差異，對於所提效益評估是否有影響？另摘要第 2 頁所提「滴灌或溝灌方式對作物生長無明顯正面或負面影響」有違滴灌正面效益，宜加以檢討說明。	感謝指導；該段文字已修改為：「本年度試驗中滴灌或溝灌方式對作物生長雖無明顯正面或負面影響，但是滴灌節水量遠高於溝灌，且灌溉時間也較短。」滴灌系統對於產量的效益則為顯著。
2.摘要第 2 頁第 7 點所提再生水應用方面，再生水水質符合景觀澆灌用途，進一步評估稀釋後可初步應用於農業灌溉，宜再精確表示辦理進度或成果。	感謝委員意見；依據水資源回收中心回收水水質狀態尚不符灌溉用水水質標準，需經稀釋處理後，方可進行農業灌溉。
3.應用以色列滴灌系統，本案試驗效益與該系統在以色列或其他地區效益比較檢討，未來有機會宜加以檢討。	感謝委員意見。
4.P.2-34，以色列國土總面積有誤，請確認後更正。	感謝指導；內文已修正。

審查意見	辦理情形
林柏璋委員	
5.本報告引用國外案例除了成果介紹外，其應用檢討及建議，未來年度亦可進行介紹，俾利提供水務局長官參考。	感謝委員意見。
6.P.2-38，單位採用英吋、加侖等，宜加註公制單位。	感謝指導；內文已補充。
7.表 2-16，國外推動案例請盡量有量化數字。	感謝指導；內文已補充。
8.紅龍果、火龍果宜擇一為宜，或加以說明。	感謝指導；內文統一依 2008 年果樹品種審議委員會正式定名之「紅龍果」進行修正。
9.P.6-29，成本分析請再確認內容正確性。	感謝指導；內文已修正。
10.結論可聚焦於本計畫重點，建議則可盡量思考，提供更多檢討、建議，俾利思考未來可精進方向。	感謝委員意見；遵照辦理。
11.期末查核項目與期末報告書內容對照表，建議可放在摘要前或 9-3 節，或依水務局規定。	感謝指導；對照表已調整於摘要前以利對照。
劉振隆委員	
1.摘要建議可按章節成果摘錄為長摘要。	感謝委員意見；遵照辦理。
2.建議說明本計畫分階段目標，就報告而言，第一階段可視為監測化及自動化，下一階段為智慧化，因此下一階段可更精進、節省人力且具即時性。	感謝委員意見；遵照辦理。
3.本計畫效益除解決水資源短缺、少子化之困境外，另一個應是提升國內智慧感測廠商研發生產能力，請著墨說明。	感謝指導；已補充說明在第 4-4 節第七點。

審查意見	辦理情形
劉振隆委員	
<p>4.就作物產量與節水效益而言，試驗並無顯著差異，是否與選擇作物有關或其他原因？後續如何吸引推廣？另省水效益與投資經費是否符合經濟？亮點為何？</p>	<p>感謝委員意見；本計畫的試驗作物均為短期蔬菜，蔬菜種類判斷並非節水效益的關鍵因子，本計畫兩次蔬菜試驗成果顯示可能種植田區條件(裸露地及鋪設防草蓆等)對於整體節水效益有顯著影響。其次，省水效益與投資經費經過分析顯示國是小農經營的方式，單一農戶使用單一設備的投入成本過高，若採用集團式耕作或小地主大佃農的經營方式，由農民共同使用設備，則具備高度經濟效益，可成為後續推廣的誘因及亮點。</p>
<p>5.試驗中最佳之智慧節水管理系統是什麼？誘因是什麼？而不是探討各個作物的需水量，因此需說明後年繼續測試不同作物之需水與產量關係之意義為何。</p>	<p>感謝委員意見；試驗中預期的智慧節水管理系統應為省工、省水、自動決策及自動化操作；上述目標非一年可立即達成，需分階段逐步針對各階段之關鍵因素進行研究，田間試驗並非計畫的主體，而是作為驗證計畫建立的智慧節水系統功能及實用性之驗證途徑，並嘗試經由試驗獲得優缺點特性；藉由正面的成果及數據，以利作為後續正式推廣時的輔佐依據、同時藉由缺點的發現，作為後續逐步改善及修正系統的依據。</p>
<p>6.報告中敘及諸多儀器廠商似乎不宜，請修正。</p>	<p>感謝指導；內文已修正。</p>
<p>7.本次試驗是設定行程與 P.4-1 之設備儀器較無關，請說明功能。</p>	<p>感謝指導。土壤水分計敘述已修正為：「土壤水分計用於偵測土壤含水量，作為是否啟動灌溉之重要依據。本年度僅先研究安裝密度及深度，作為未來裝設之參考。」</p>

審查意見	辦理情形
劉振隆委員	
8.P.2-13，引用水量比例與一般認知不同，請補充說明。另 P.6-8，8 月 18 日 單 日 最 大 降 雨 量 336mm/day，與總降雨量 104mm 不符，請修正。	感謝指導；P.2-13 係引用桃園市境內地面水水權資料，其中淡水河因含臺北市、新北市家用及公共給水，故將其加總後與一般認知之農業用水為最大宗有所差異。另單日最大降雨量為誤植，內文已修正。
9.水稻田如何佈設感測元件需再詳細思考。	感謝委員意見。本計畫於田區埋設的感測器(土壤水份計)主要用於旱作灌溉，並不適用於具湛水深的水稻田灌溉，土壤水份於期作用水期間，多數時間呈現飽和狀態；其次基於水田耕作各階段的農機操作及用水方式，不適合也無需裝設土壤水份元件；水稻田的感測元件建議朝向水門自動化及自動給排水設備進行發展。
李岳壇委員	
1. P.6-28，成本分析中養液系統佔成本 42%，但報告中未說明養液系統之組成，為何佔如此高之成本？	感謝委員意見；滴灌系統中若含養液及自動控制系統，成本約佔 42%，因其包含養液桶、碟式過濾器、養液控制系統等；考量本計畫以節水為主軸，若此時將養液系統納入分析，恐因成本因素導致智慧節水系統無法具經濟亮點，不利於後續推廣。由於本智慧節水系統組成為模組化方式，現階段以供水系統為必要設備，養液系統屬於選用設備，推廣時若農民有相關需求，可同時並用，因此成本分析是以整套完整之 Netafim 滴灌系統進行分析。唯本計畫使用之控制系統未包含養液系統，故未於報告說明。
2. P.6-29，01ha 是否有誤，請確認後更正。	感謝指導；應為 0.1ha，內文誤植已修正。

審查意見	辦理情形
李岳壇委員	
3. 萵苣試驗結果產量有 1.7 倍之效益，可再加強說明此成果。	感謝委員意見。
4. 本計畫效益分析建議就政府部門、農民、投資方等三部份進行分析。	感謝委員意見。
李金靖委員	
1. 宣傳推廣影片最後畫面有本局的 logo，建議可調整融入畫面，另外可否增加由一區延伸至 50 區的示意圖。	感謝指導；遵照辦理。
2. 本計畫使用以色列的灌溉系統；基於提升國內相關水利產業之願景，報告內容請調整以改良以色列灌溉系統，逐步發展適合本土的灌溉系統為目的。	感謝委員意見；研發灌溉系統、感測元件之建議已補充在 4-4 節第七點。
3. 請補充本計畫試驗作物小白菜、萵苣之平均需水量，以利比較實際節水效益。並補充說明本年度以露天種植，而不採用溫網室種植之原因。	感謝指導；國內尚無針對特定蔬菜提出需水量的結論，僅針對作物類別提出生長期間之整體用水量，此部分資料已表列於報告。另考量農民並非全面採用溫室種植，因此本年度計畫優先針對常見的農地耕作（無使用溫室的裸露地）作為試驗條件，溫網室設備則建議於後續年度計畫實施，已進行不同田間環境設備下之省水差異。
4. 文獻中引用日本案例，可將以納入後續建議中。	感謝指導；遵照辦理。
5. 系統架構設計為商業化發展或是由公部門統一進行管理，其應有不同規劃與設計。若以推廣為目標，應以商業化發展進行系統開發設計。	感謝委員意見；智慧省水系統涉及元件開發、建立；本土化水利產業鏈及農民使用需求等，涉及層面甚廣，建議整體計畫目標優先確認後，逐步推動實施為宜。

審查意見	辦理情形
李金靖委員	
6.本計畫不僅有節水效益，可再補充節省人力效益，以利推廣。	感謝指導；遵照辦理；惟本年度的智慧節水系統尚處於測試試驗階段，因此人力效益尚無法立即凸顯，待後續自動決策及操作化功能完成後，節省人力效益即可凸顯；省水及省工即為系統的兩大亮點。
7.第七章針對水資源回收中心「再生水」進行後續規劃，建議以「回收水」或「放流水」表示為佳。文中污水廠請統一改為水資源回收中心。	感謝委員意見；已統一以「回收水」與「水資源回收中心」表示。
8.表 6-9，滴灌系統的首部系統與二級首部，請再補充說明內容或修正名詞。	感謝委員意見；首部系統(Head control)主要是包含灌溉泵浦、過濾系統、流量計、管路系統；二級首部(Secondary head control)主要是電磁閥、管路系統、電路系統。內文已補充說明。
9.第七章，引用其他國家文獻皆有引用都市或生活污水，請再針對綜合污水歸納並提出建議。	感謝委員指導；已補充於 7-1 節之小結。
10.請以三年計畫完成之願景進行規劃，以健康新農業－施肥要健康、耕作要健康、食用要健康、灌溉要健康、環境要健康等為目標，並提出後續建議，例如系統發展性，或研發灌溉系統、感測元件等可協助新南向事業之推行。	感謝委員意見；研發灌溉系統、感測元件的建議已補充在 4-4 節第七點。
張德鑫委員(書面意見)	
1.P.2-10 中說明解除污染農地管制之場址可列為再生水優先供應作為替代水源區域之選擇，其理由及說法為何，請於報告中補充說明。	感謝指導；內文已補充說明。

審查意見	辦理情形
張德鑫委員(書面意見)	
2.P.2-15 中有關未公告管理單位之區域排水，其應修正為未公告之區域排水，其管理單位依權責區分為第二河川局桃園市政府水務局。	感謝指導；內文已修正。
3.有關於地下水資源之調查，可參考歷年之研究補充說明其年使用量以及推估之補注量與安全出水量等資料。	感謝指導；內文已補充說明。
4.現地之土壤水份計安裝深度為 25 cm，有無考量分別於不同深度裝設，以確認是否有超量灌溉之情形。	感謝指導；第 1 次試驗原安裝於土層下最大根系深度 25 cm 處，試驗結果發現埋設深度過深，無法適時反應土壤水分之變化程度；第 2 次試驗期間調整各土壤水份計之埋設位置，深度改為 5、10、15cm，更能符合作物根系。
5.在作物栽培智慧管理系統方面，是否有設定人數及頻寬之限制等條件，請補充說明。	感謝指導；目前本年度為前導計畫，尚未推廣，登入人數方面沒有限制，但是大約能提供 50 人同時上線。待未來確定推廣後，再行評估選用合適頻寬。
6.在作物栽培智慧管理系統之輸入資料方面，其輸入給水量為立方公尺，系統中是否可轉為灌溉深度之功能，以確認灌溉水量之合理性。	感謝指導；給水量是供水泵出水端設有檢校過的流量計，因此給水量是精確的。但是到田間後灌溉區域非均勻的，尤其是滴灌，供水區是點狀分布，只能量測含水量；後續會以系統於建立欄位進行灌溉水深之換算，與總用水量同時並列呈現。
7.在作物栽培智慧管理系統之輸入生長記錄功能方面，其需輸入之狀態為何，可否有照片檔直接輸入之選項。	感謝指導；該項欄位是手動輸入的數值資料，目前沒有規劃上傳照片功能，因為未來如果耕地持續增加，照片檔一方面佔用較大儲存設備，一方面也佔用較多頻寬，基於上述考量，現階段暫無照片輸入的功能設定。

審查意見	辦理情形
張德鑫委員(書面意見)	
<p>8.智慧節水管理之作物評估方面，其採用滴灌及溝灌，兩田區相鄰會不會造成溝灌之水滲流致影響試驗數據，請補充說明。</p>	<p>感謝指導；本計畫規劃試驗時有考量本項因素，因此已有於兩試驗田劃定寬 3m 的工作區隔開兩試驗區，因為採用旱作試驗，並無採用高水量或續灌方式，因此無滲流現象發生。</p>
經濟部水利署	
<p>1.第七章再生水應用於農業灌溉之可行性評估，目前已就各國應用於各標的之概況與相關政策行動，以及應用於各產業之水質標準進行彙整呈現。此外，聚焦於桃園市應用再生水之可行性探討部分，如大溪水資源回收中心再生水應用規劃評估，係以不同供水方案進行初步評估與配置等技術性規劃，惟未來如落實推動階段，如面臨各界對於再生水應用於灌溉之疑慮，請預擬相關說明與因應對策。</p>	<p>感謝委員意見；為避免回收水應用於農業灌溉之疑慮，建議後續計畫作物試驗可進一步針對作物對再生水水質的容忍程度；使用再生水灌溉對作物品質之影響(針對果實、根莖、土壤等進行檢測)；再生水對田間漫灌、旱作管路灌溉之影響等，評估使用回收水之節水、降低缺水風險、降低農地污染效益，以利落實推動。</p>
<p>2.第四章智慧節水管理系統之先期規劃部分，其內容較期中階段豐富許多。其中，4-3 節作物栽培智慧管理平台，針對平台管理端與應用端之雙向使用介面功能開發；4-4 節智慧管理平台之後續規劃部分，已就後端伺服器設定、資料傳輸協定、通訊系統擇取，乃至未來加值應用功能延伸開發與對外介接服務等面向進行闡述與擘劃未來方向，值得肯定。本計畫以智慧管理為最初研提之推動方針，往後尚有持續推動之規劃，未來之執行成效應可期待。</p>	<p>感謝委員意見。</p>

審查意見	辦理情形
經濟部水利署	
<p>3.承上，本案智慧節水管理系統之未來發展，包含後端伺服器建構、資料庫系統、管理介面開發，以及後續規劃之大數據分析、機器學習、區塊鏈等前瞻技術引入，預計將僅置於貴局資訊室機房作近端之研發運用，抑或考量將上述伺服器、資料庫、系統平台與運算核心，與雲端服務機構合作，置於雲端叢集以利橫向擴充與對外雙向介接應用，其後續推動方向建議審慎評估。</p>	<p>感謝委員意見；關於平台最終建置於何處，將於後續計畫中再進一步進階評估。</p>
桃園市政府農業局	
<p>1.本計畫試驗作物為小白菜及萵苣，唯本市種植小白菜多在溫網室，種植條件與本計畫試驗條件不同，可能影響推廣效果。另明年度規劃之試驗作物小黃瓜、蕃茄在本市亦為溫網室種植，且這2種作物對於水量反應較為敏感，請再留意。</p>	<p>感謝委員意見，桃園市普遍存在一般無設施農地(裸露地)及栽培高經濟作物之溫(網)室栽培，其主要是依作物別而定，因此本年度優先以農地(裸露地)作物栽培試驗為主，作物亦為常見的蔬菜類別；後續建議將溫室設施及高經濟作物納入試驗驗證。</p>
桃園農田水利會	
<p>1.第七章所研擬之再生水利用方案，若確認再生水水質較原引用之灌溉水質佳，可研議其於農業或工業之再利用。</p>	<p>感謝委員意見。</p>

八、會議結論

審查意見	辦理情形
1.本案期末報告審查原則通過，後續請農工中心參酌委員意見修正，並將會議記錄與回覆意見納入期末報告(修正版)。	遵照辦理。
審查意見	辦理情形
2.請農工中心提交 2 份期末報告(修正版)，經本局認可後，再依契約規定於 20 日曆天內提送成果報告書(含光碟)。	遵照辦理。

九、散會：108 年 11 月 18 日中午 12 時。

附 錄 四

作物栽培智慧管理平台
網頁弱點初檢結果與建議報告

桃園市政府水務局資訊安全防護作業服務
作物栽培智慧管理平台
108 年度網頁弱點初檢結果與建議報告



中華資安國際股份有限公司
CHT Security Co., Ltd.

機密 等級	<input type="checkbox"/> 公開	<input type="checkbox"/> 一般
	<input type="checkbox"/> 機密	<input checked="" type="checkbox"/> 極機密

中華民國 108 年 10 月 28 日

章節目錄

第一章 前言.....	3
第一節 目的.....	3
第二節 作業規範.....	3
第三節 測試時程.....	4
第四節 掃描範圍.....	4
作物栽培智慧管理平台網頁弱掃範圍.....	4
第二章 執行步驟與項目.....	5
第一節 掃描工具簡介.....	5
(一) 全球資訊網站應用程式安全掃描.....	5
第二節 執行流程.....	6
一、前置作業.....	7
二、執行弱點掃描.....	7
三、提交弱掃結果報告與建議.....	7
四、複測作業.....	8
第三節 掃描政策設定.....	8
一、網頁掃描政策設定.....	8
第三章 弱點掃描執行結果.....	9
第一節 桃園市政府水務局弱點分佈狀況.....	9
一、弱點數嚴重程度分佈狀況.....	9
二、資訊網頁風險等級分佈.....	11
二、Top 5 中高風險弱點說明.....	12
第二節 桃園市政府水務局弱點數量統計歷史軌跡.....	13
一、Top 5 高風險弱點與網頁初複測比較.....	13
第三章 桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站應用程式安全掃描.....	14
第一節 弱點統計.....	14
一、依據風險等級進行統計.....	14
二、依據弱點類別進行統計.....	14
三、依據前 10 大風險進行網站統計.....	15
第二節 依網頁弱點風險等級分析.....	15
一、本次檢測高度風險、中度風險、低度風險之網頁設備列表.....	15
三、整體風險統計表.....	16
第三節 附件.....	16
一、弱點描述與建議修補方式.....	16
二、弱點掃描清單.....	16

圖目錄

圖-1 全球資訊網站應用程式安全掃描軟體—Acunetix 主畫面.....	6
圖-2 弱點掃描流程圖.....	6
圖-3 Acunetix Web Vulnerability 掃描政策設定截圖.....	8
圖-4 弱點數嚴重程度分佈狀況.....	10
圖-5 資訊網頁風險等級分佈.....	11

表目錄

表-1 本次掃描結果各等級風險弱點總數量統計表.....	9
表-2 弱點數嚴重程度分佈狀況.....	10
表-3 資訊網頁風險等級分佈.....	11
表-4 Top 5 高風險弱點.....	12
表-5 Top 5 中度風險弱點.....	12
表-6 前五大高風險弱點歷史數量統計.....	13
表-7 前五大高風險網頁歷史數量統計.....	13
表-8 風險等級統計表.....	14
表-9 高風險弱點類別統計表.....	14
表-10 中風險弱點類別統計表.....	14
表-11 低風險弱點類別統計表.....	14
表-12 前 10 大風險網站統計表.....	15
表-13 高風險之網頁列表.....	15
表-14 中風險之網頁列表.....	15
表-15 低風險之網頁列表.....	15
表-16 整體風險統計表.....	16

第一章 前言

第一節 目的

本服務係利用系統自動化工具，結合資訊安全專家（以下簡稱本團隊）之專業知識、資訊安全技術，對於雙方所約定之目標系統進行弱點掃描，並提供客戶專屬測試報告及系統補強建議。

本服務將由本團隊專業的資通安全專家，配合 貴單位需求，從外部或內部環境對受測目標系統進行安全非破壞性弱點掃描，找出系統潛在風險，並將於測試完成後提供專業之評估報告、改善建議及專業諮詢，協助 貴單位做好各種資通安全防護措施。

第二節 作業規範

- (一) 貴單位同意、授權且委託本團隊因執行本服務所需，須對 貴單位之網際網路資訊系統環境進行測試安全檢測服務。
- (二) 於本服務中所獲得與蒐集之資訊，僅用來作為本服務執行之發現事項佐證資訊使用，不做其它用途之使用，且採取適當及必要之保護措施，不得在未經書面授權下洩露予第三者，或供非職務目的加以使用、拷貝、隱藏，並得經 貴單位同意及簽訂保密切結書辦理。
- (三) 其它保密事項之規範，遵循貴我雙方所簽訂之專案合約規範及保密合約。

第三節 測試時程

執行期間	作業項目	開始日期	結束日期
	專案需求確認	108-10-16	108-10-18
	執行弱點掃描(初測)	108-10-21	108-10-24
	提交弱掃結果分析報告(初測)	108-10-25	108-10-28
檢測時段	<input type="checkbox"/> 上班時段：星期一至星期五 AM 9:00 開始作業。 <input checked="" type="checkbox"/> 非上班時段：星期一至星期五 PM 6:00 開始作業。 <input type="checkbox"/> 夜間時段：星期一至星期五 PM 11:00 開始作業。 <input type="checkbox"/> 假日：包含國定假日及星期六、星期日 AM 9:00 開始作業。 <input type="checkbox"/> 特定時段：		

第四節 掃描範圍

作物栽培智慧管理平台網頁弱掃範圍

項次	Domain/URL	用途
1	http://210.59.250.44/TYWRB	桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台

第二章 執行步驟與項目

第一節 掃描工具簡介

(一) 全球資訊網站應用程式安全掃描

全球資訊網站應用程式安全掃描服務採用的是 Acunetix 公司出品的 Acunetix Web Vulnerability Scanner，是一個自動化網路應用程式安全檢測工具，用來掃描 web 應用程式，檢查駭客可能會利用的各種漏洞。資料庫中有超過 2,000 種駭客常用手法和應用程式弱點檢測規則，可自行訂定檢測項目，將能夠充分發掘網站的漏洞，具有自動偵測以下弱點：

- 1、跨網站指令碼。
- 2、SQL 程式碼注入攻擊(SQL injection)。
- 3、Google hacking database。
- 4、程式碼執行。
- 5、目錄遊走。
- 6、檔案引入。
- 7、網站程式原始碼洩露。
- 8、CRLF injection。
- 9、跨頁框指令碼。
- 10、自動查詢備份檔或目錄功能。
- 11、自動搜尋具有敏感性資料的檔案或目錄。
- 12、自動搜尋一般檔案，如記錄檔，應用程式追蹤等。
- 13、自動查詢目錄清單功能。
- 14、搜尋弱點權限之目錄功能，如可新建、編輯或刪除檔案之目錄。
- 15、具有自動搜尋可用的網站伺服器技術之功能。

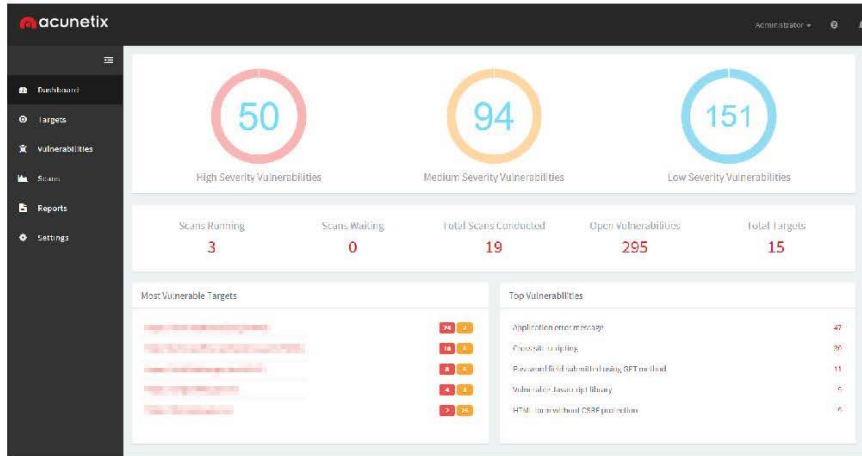


圖-1 全球資訊網站應用程式安全掃描軟體—Acunetix 主畫面

第二節 執行流程

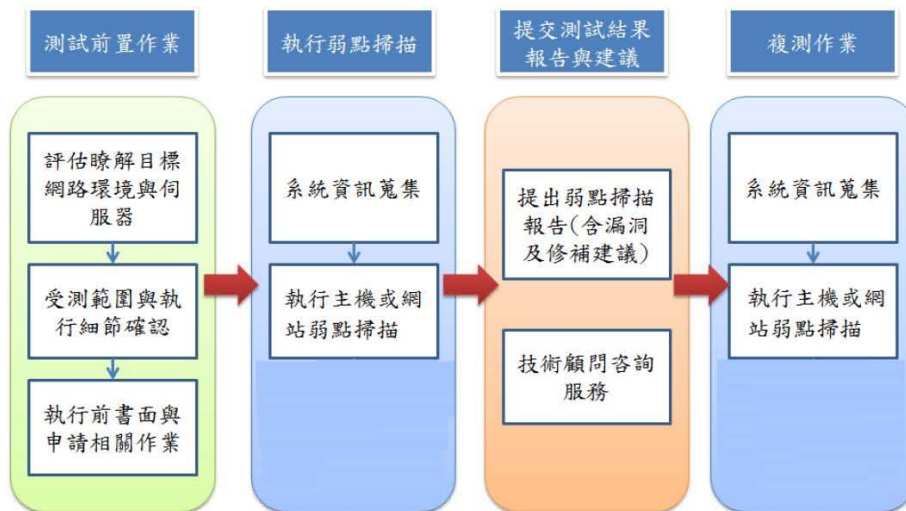


圖-2 弱點掃描流程圖

一、前置作業

弱點掃描開始前，弱掃小組將事先與 貴單位承辦人員開會討論各項測試內容，說明整個作業流程，進行潛在風險溝通與需求訪談，以完成下方前置工作：

- (1) 定義工作範圍及項目。
- (2) 確認測試時程及執行時間。
- (3) 參與測試之系統、伺服器及人員數量。
- (4) 評估現有網路環境架構以及確認其他特殊需求。
- (5) 溝通潛在風險項目，提供檢測前建議安控措施。
- (6) 取得正式弱點掃描執行授權。

二、執行弱點掃描

(1) 系統資訊蒐集

透過搜尋引擎及資訊蒐集工具，蒐集客戶的公開資訊、開啟的通訊埠及服務、系統及軟體版本、網站架構等資訊，找出容易成為攻擊標靶的途徑所在。

(2) 執行弱點掃描

根據客戶需求及蒐集資訊進行分析及評估，選擇各種適當之弱點掃描工具進行安全檢測，瞭解系統以及網頁程式的脆弱點所在，尤其針對目前最常發生的網頁及應用程式弱點，包含 Web 程式碼與服務程式漏洞。

三、提交弱掃結果報告與建議

本團隊將在測試結束後二週內提交中文化「弱點掃描報告」，報告內容包含弱掃所發現之漏洞、風險統計、相關修補與建議措施等。另於 貴單位進行安全強化修補期間，視需求本團隊可協助提供相關技術諮詢服務。

第三章 弱點掃描執行結果

第一節 桃園市政府水務局弱點分佈狀況

下列統計表將列示本次受測目標範圍中，各個受測系統的弱點總數，並分別列出各等級弱點數，讓 貴單位主管及系統管理者可透由本表瞭解貴單位的脆弱系統為何。

表-1 本次掃描結果各等級風險弱點總數量統計表

單位/科別	網站數量	弱點總數	高	中	低
桃園市政府水務局	1	4	0	1	3

一、弱點數嚴重程度分佈狀況

本次檢測掃描範圍為：桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站，由弱點數嚴重程度分佈狀況圖表可得知此次掃描弱點總數為 4 個，其中，高風險弱點數為 0 個；中風險弱點數為 1 個；低風險弱點數為 3 個。

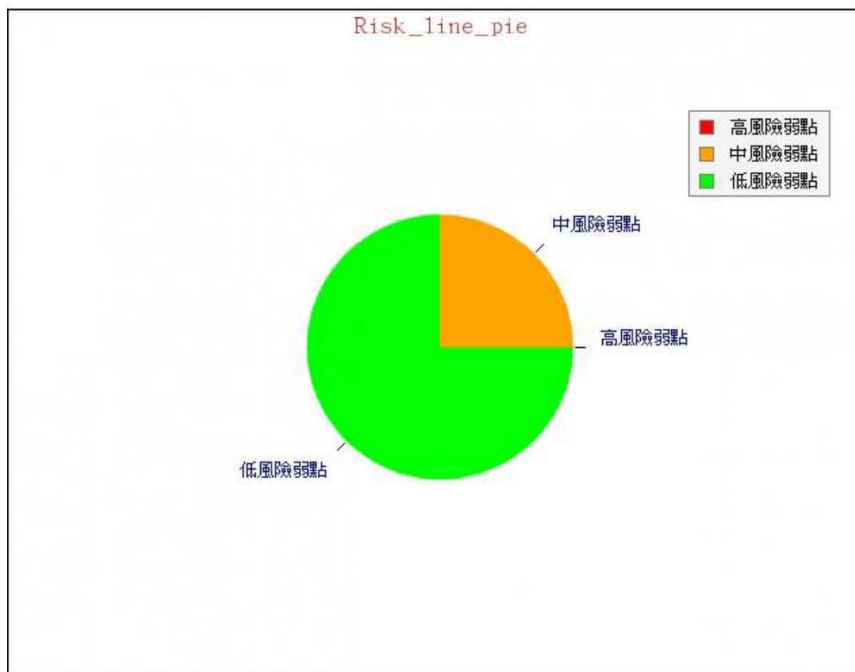


圖- 4 弱點數嚴重程度分佈狀況

表- 2 弱點數嚴重程度分佈狀況

受測範圍	高風險	中風險	低風險	弱點總數
桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台	0	1	3	4

二、資訊網頁風險等級分佈

本次檢測結果發現，高風險網頁占了 0.00%，分布如下圖。

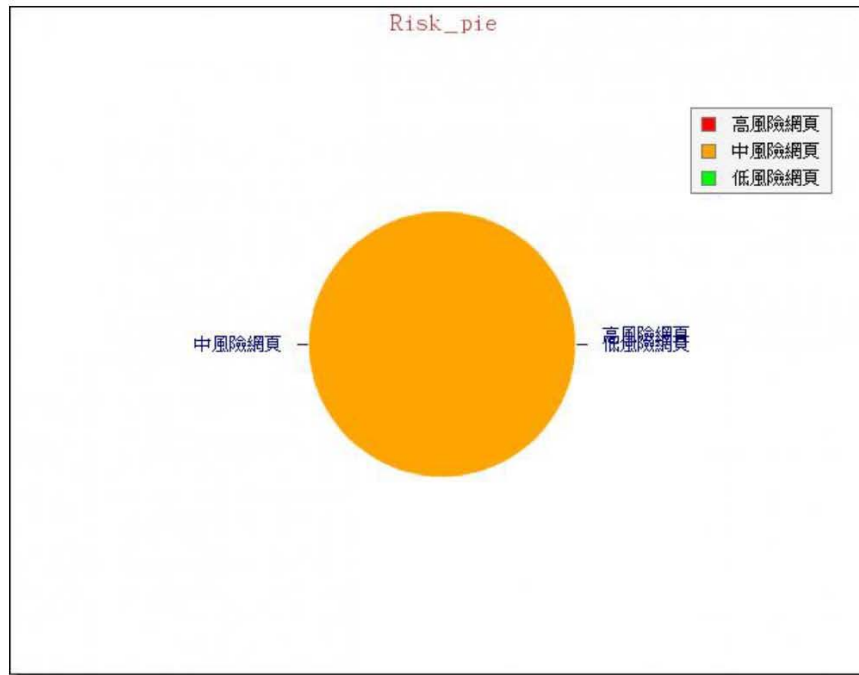


圖-5 資訊網頁風險等級分佈

表-3 資訊網頁風險等級分佈

受測範圍	高風險網頁	中風險網頁	低風險網頁	設備總數
桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台	0	1	0	1

二、Top 5 中高風險弱點說明

- (一) 桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站資訊設網頁 Top 5 中高風險弱點，詳細弱點資訊及建議修補方式請參閱附件。

表- 4 Top 5 高風險弱點

高風險弱點名稱	弱點數量
無	無

表- 5 Top 5 中度風險弱點

中風險弱點名稱	弱點數量
User credentials are sent in clear text	1

第二節 桃園市政府水務局弱點數量統計歷史軌跡

一、Top 5 高風險弱點與網頁初複測比較

表-6 前五大高風險弱點歷史數量統計

項次	弱點名稱	108-1-1(初測)
無	無	無

表-7 前五大高風險網頁歷史數量統計

項次	網站	108-1-1(初測)
無	無	無

第三章 桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站 應用程式安全掃描

第一節 弱點統計

一、依據風險等級進行統計

貴單位桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站弱點等級分佈表，以網址排序列表，依照個別網頁進行風險等級數量統計。

表- 8 風險等級統計表

索引	主機	URL	管理單位	伺服器	高	中	低	總計
1	210.59.250.44	http://210.59.250.44/TYWRB	桃園市政府水務局	Microsoft-IIS/10.0	0	1	3	4
總計					0	1	3	4

二、依據弱點類別進行統計

貴單位桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站所有的弱點類別列表，依照弱點數量進行統計。

表- 9 高風險弱點類別統計表

索引	高風險弱點名稱	弱點數量
總計		0

表- 10 中風險弱點類別統計表

索引	中風險弱點名稱	弱點數量
1	User credentials are sent in clear text	1
總計		1

表- 11 低風險弱點類別統計表

索引	低風險弱點名稱	弱點數量
1	ASP.NET version disclosure	1
2	Clickjacking: X-Frame-Options header missing	1
3	Unencrypted connection (verified)	1
總計		3

三、依據前 10 大風險進行網站統計

貴單位桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站前 10 大風險網站弱點統計如下表，依風險等級由高至低，以及弱點數量進行排序。

表- 12 前 10 大風險網站統計表

排名	主機	URL	管理單位	伺服器	高	中	低	總計
1	210.59.250.44	http://210.59.250.44/TYWRB	桃園市政府水務局	Microsoft-IIS/10.0	0	1	3	4
總計					0	1	3	4

第二節 依網頁弱點風險等級分析

一、本次檢測高度風險、中度風險、低度風險之網頁設備列表

貴單位各風險等級網頁列表，並且標識出其部門和管理者。

表- 13 高風險之網頁列表

索引	IP	URL	伺服器	管理單位
-	-	-	-	-

表- 14 中風險之網頁列表

索引	IP	URL	伺服器	管理單位
1	210.59.250.44	http://210.59.250.44/TYWRB	Microsoft-IIS/10.0	桃園市政府水務局

表- 15 低風險之網頁列表

索引	IP	URL	伺服器	管理單位
1	210.59.250.44	http://210.59.250.44/TYWRB	Microsoft-IIS/10.0	桃園市政府水務局

三、整體風險統計表

貴單位桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站歷次檢測高中低風險等級網頁列表統計。

表-16 整體風險統計表

	108-1-1(初測)
高度風險網站	0
中度風險網站	1
低度風險網站	0

第三節 附件

一、弱點描述與建議修補方式

(一) 網站修補建議。

二、弱點掃描清單

(一) 網站弱點清單總表。

(二) 網站弱點誤判清單。

(三) 網站排除弱點清單。

附 錄 五

作物栽培智慧管理平台
網頁弱點複檢結果與建議報告

桃園市政府水務局資訊安全防護作業服務
作物栽培智慧管理平台
108 年度網頁弱點複檢結果與建議報告



中華資安國際股份有限公司
CHT Security Co., Ltd.

機密 等級	<input type="checkbox"/> 公開	<input type="checkbox"/> 一般
	<input type="checkbox"/> 機密	<input checked="" type="checkbox"/> 極機密

中華民國 108 年 10 月 31 日

章節目錄

第一章 前言.....	4
第一節 目的.....	4
第二節 作業規範.....	4
第三節 測試時程.....	5
第四節 掃描範圍.....	5
作物栽培智慧管理平台網頁弱掃範圍.....	5
第二章 執行步驟與項目.....	6
第一節 掃描工具簡介.....	6
(一) 全球資訊網站應用程式安全掃描.....	6
第二節 執行流程.....	7
一、前置作業.....	8
二、執行弱點掃描.....	8
三、提交弱掃結果報告與建議.....	8
四、複測作業.....	9
第三節 掃描政策設定.....	9
一、網頁掃描政策設定.....	9
第三章 弱點掃描執行結果.....	10
第一節 桃園市政府水務局弱點分佈狀況.....	10
一、弱點數嚴重程度分佈狀況.....	10
二、資訊網頁風險等級分佈.....	12
三、Top 5 中高風險弱點說明.....	13
第二節 桃園市政府水務局弱點數量統計歷史軌跡.....	13
一、弱點數量統計歷史軌跡.....	13
二、Top 5 高風險弱點與網頁初複測比較.....	14
第四章 桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站應用程式安全掃描.....	15
第一節 弱點統計.....	15
一、依據風險等級進行統計.....	15
二、依據弱點類別進行統計.....	15
三、依據前 10 大風險進行網站統計.....	16
第二節 依網頁弱點風險等級分析.....	16
一、本次檢測高度風險、中度風險、低度風險之網頁設備列表.....	16
二、整體風險統計歷史軌跡.....	17
三、整體風險統計表.....	17
第三節 附件.....	18

一、弱點描述與建議修補方式	18
二、弱點掃描清單.....	18

圖目錄

圖-1 全球資訊網站應用程式安全掃描軟體—Acunetix 主畫面.....	7
圖-2 弱點掃描流程圖.....	7
圖-3 Acunetix Web Vulnerability 掃描政策設定截圖.....	9
圖-4 弱點數嚴重程度分佈狀況.....	11
圖-5 資訊網頁風險等級分佈.....	12
圖-6 弱點數量統計歷史軌跡.....	13
圖-7 整體風險統計歷史軌跡圖.....	17

表目錄

表-1 本次掃描結果各等級風險弱點總數量統計表.....	10
表-2 弱點數嚴重程度分佈狀況.....	11
表-3 資訊網頁風險等級分佈.....	12
表-4 Top 5 高風險弱點.....	13
表-5 Top 5 中度風險弱點.....	13
表-6 弱點數量統計歷史軌跡.....	13
表-7 前五大高風險弱點歷史數量統計.....	14
表-8 前五大高風險網頁歷史數量統計.....	14
表-9 風險等級統計表.....	15
表-10 高風險弱點類別統計表.....	15
表-11 中風險弱點類別統計表.....	15
表-12 低風險弱點類別統計表.....	15
表-13 前 10 大風險網站統計表.....	16
表-14 高風險之網頁列表.....	16
表-15 中風險之網頁列表.....	16
表-16 低風險之網頁列表.....	16
表-17 整體風險統計表.....	17

第一章 前言

第一節 目的

本服務係利用系統自動化工具，結合資訊安全專家（以下簡稱本團隊）之專業知識、資訊安全技術，對於雙方所約定之目標系統進行弱點掃描，並提供客戶專屬測試報告及系統補強建議。

本服務將由本團隊專業的資通安全專家，配合 貴單位需求，從外部或內部環境對受測目標系統進行安全非破壞性弱點掃描，找出系統潛在風險，並將於測試完成後提供專業之評估報告、改善建議及專業諮詢，協助 貴單位做好各種資通安全防護措施。

第二節 作業規範

- (一) 貴單位同意、授權且委託本團隊因執行本服務所需，須對 貴單位之網際網路資訊系統環境進行測試安全檢測服務。
- (二) 於本服務中所獲得與蒐集之資訊，僅用來作為本服務執行之發現事項佐證資訊使用，不做其它用途之使用，且採取適當及必要之保護措施，不得在未經書面授權下洩露予第三者，或供非職務目的加以使用、拷貝、隱藏，並得經 貴單位同意及簽訂保密切結書辦理。
- (三) 其它保密事項之規範，遵循貴我雙方所簽訂之專案合約規範及保密合約。

第三節 測試時程

	作業項目	開始日期	結束日期
執行 期間	專案需求確認	108-10-16	108-10-18
	執行弱點掃描(初測)	108-10-21	108-10-24
	提交弱掃結果分析報告(初測)	108-10-25	108-10-28
	執行弱點掃描(複測)	108-10-29	108-10-29
	提交弱掃結果分析報告(複測)	108-10-30	108-10-31
	檢測 時段	<input type="checkbox"/> 上班時段：星期一至星期五 AM 9:00 開始作業。 <input checked="" type="checkbox"/> 非上班時段：星期一至星期五 PM 6:00 開始作業。 <input type="checkbox"/> 夜間時段：星期一至星期五 PM11:00 開始作業。 <input type="checkbox"/> 假日：包含國定假日及星期六、星期日 AM 9:00 開始作業。 <input type="checkbox"/> 特定時段：	

第四節 掃描範圍

作物栽培智慧管理平台網頁弱掃範圍

項次	Domain/URL	用途
1	http://210.59.250.44/TYWWRB	桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台

第二章 執行步驟與項目

第一節 掃描工具簡介

(一) 全球資訊網站應用程式安全掃描

全球資訊網站應用程式安全掃描服務採用的是 Acunetix 公司出品的 Acunetix Web Vulnerability Scanner，是一個自動化網路應用程式安全檢測工具，用來掃描 web 應用程式，檢查駭客可能會利用的各種漏洞。資料庫中有超過 2,000 種駭客常用手法和應用程式弱點檢測規則，可自行訂定檢測項目，將能夠充分發掘網站的漏洞，具有自動偵測以下弱點：

- 1、跨網站指令碼。
- 2、SQL 程式碼注入攻擊(SQL injection)。
- 3、Google hacking database。
- 4、程式碼執行。
- 5、目錄遊走。
- 6、檔案引入。
- 7、網站程式原始碼洩露。
- 8、CRLF injection。
- 9、跨頁框指令碼。
- 10、自動查詢備份檔或目錄功能。
- 11、自動搜尋具有敏感性資料的檔案或目錄。
- 12、自動搜尋一般檔案，如記錄檔，應用程式追蹤等。
- 13、自動查詢目錄清單功能。
- 14、搜尋弱點權限之目錄功能，如可新建、編輯或刪除檔案之目錄。
- 15、具有自動搜尋可用的網站伺服器技術之功能。



圖-1 全球資訊網站應用程式安全掃描軟體—Acunetix 主畫面

第二節 執行流程

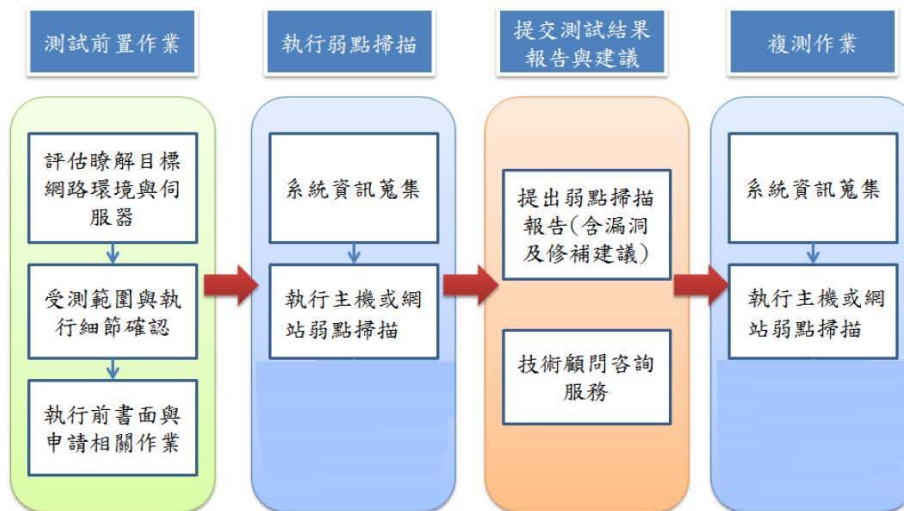


圖-2 弱點掃描流程圖

一、前置作業

弱點掃描開始前，弱掃小組將事先與 貴單位承辦人員開會討論各項測試內容，說明整個作業流程，進行潛在風險溝通與需求訪談，以完成下方前置工作：

- (1) 定義工作範圍及項目。
- (2) 確認測試時程及執行時間。
- (3) 參與測試之系統、伺服器及人員數量。
- (4) 評估現有網路環境架構以及確認其他特殊需求。
- (5) 溝通潛在風險項目，提供檢測前建議安控措施。
- (6) 取得正式弱點掃描執行授權。

二、執行弱點掃描

(1) 系統資訊蒐集

透過搜尋引擎及資訊蒐集工具，蒐集客戶的公開資訊、開啟的通訊埠及服務、系統及軟體版本、網站架構等資訊，找出容易成為攻擊標靶的途徑所在。

(2) 執行弱點掃描

根據客戶需求及蒐集資訊進行分析及評估，選擇各種適當之弱點掃描工具進行安全檢測，瞭解系統以及網頁程式的脆弱點所在，尤其針對目前最常發生的網頁及應用程式弱點，包含 Web 程式碼與服務程式漏洞。

三、提交弱掃結果報告與建議

本團隊將在測試結束後二週內提交中文化「弱點掃描報告」，報告內容包含弱掃所發現之漏洞、風險統計、相關修補與建議措施等。另於 貴單位進行安全強化修補期間，視需求本團隊可協助提供相關技術諮詢服務。

四、複測作業

於 貴單位系統及網站管理人員完成安全強化與修補作業後，建議經需求評估後執行弱掃複測作業，以確保弱點及問題確實得到修補與改善。

第三節 掃描政策設定

一、網頁掃描政策設定

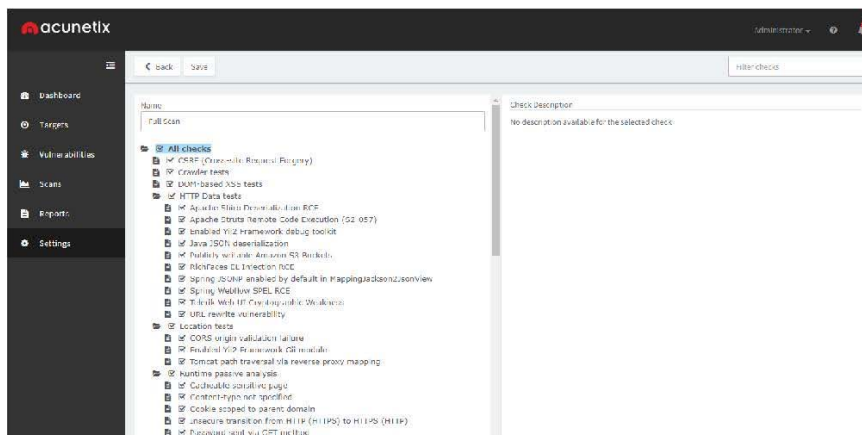


圖- 3 Acunetix Web Vulnerability 掃描政策設定截圖

第三章 弱點掃描執行結果

第一節 桃園市政府水務局弱點分佈狀況

下列統計表將列示本次受測目標範圍中，各個受測系統的弱點總數，並分別列出各等級弱點數，讓 貴單位主管及系統管理者可透由本表瞭解貴單位的脆弱系統為何。

表-1 本次掃描結果各等級風險弱點總數量統計表

單位/科別	網站數量	弱點總數	高	中	低
桃園市政府水務局	1	3	0	0	3

一、弱點數嚴重程度分佈狀況

本次檢測掃描範圍為：桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站，由弱點數嚴重程度分佈狀況圖表可得知此次掃描弱點總數為 3 個，其中，高風險弱點數為 0 個；中風險弱點數為 0 個；低風險弱點數為 3 個。

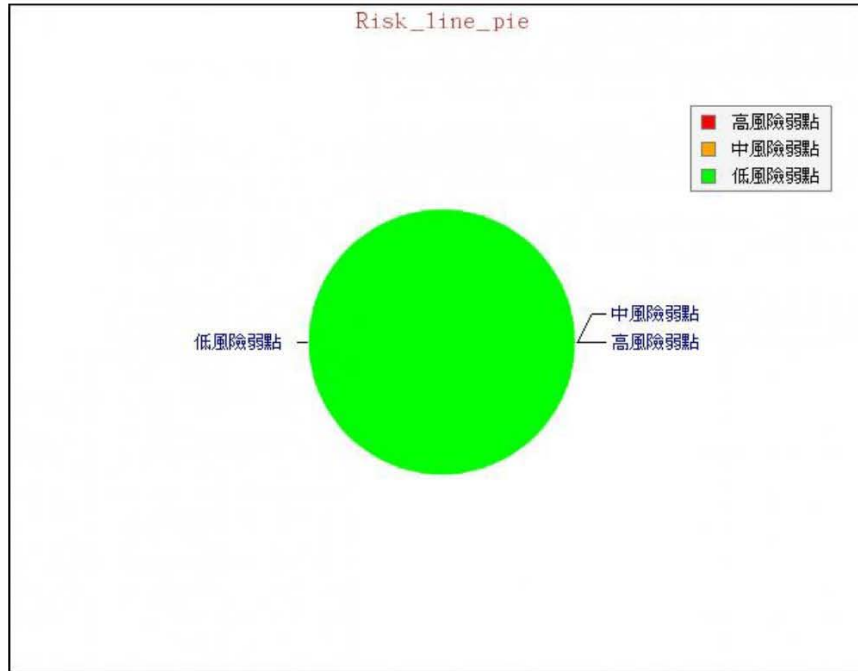


圖-4 弱點數嚴重程度分佈狀況

表-2 弱點數嚴重程度分佈狀況

受測範圍	高風險	中風險	低風險	弱點總數
桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台	0	0	3	3

二、資訊網頁風險等級分佈

本次檢測結果發現，高風險網頁占了 0.00%，分布如下圖。

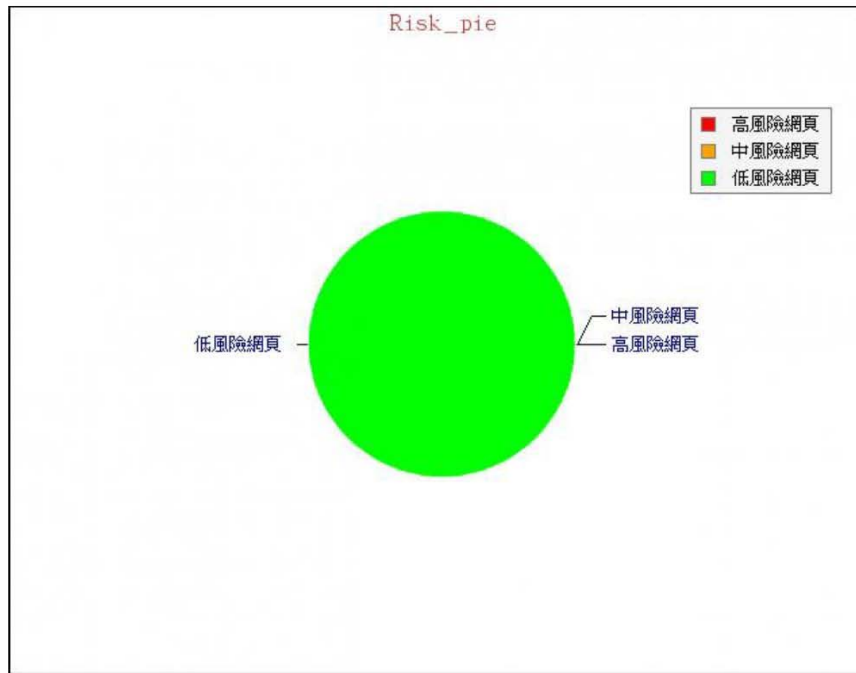


圖-5 資訊網頁風險等級分佈

表-3 資訊網頁風險等級分佈

受測範圍	高風險網頁	中風險網頁	低風險網頁	設備總數
桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台	0	0	1	1

三、Top 5 中高風險弱點說明

(一) 桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站資訊設網頁 Top 5 中高風險弱點，詳細弱點資訊及建議修補方式請參閱附件。

表- 4 Top 5 高風險弱點

高風險弱點名稱	弱點數量
無	無

表- 5 Top 5 中度風險弱點

中風險弱點名稱	弱點數量
無	無

第二節 桃園市政府水務局弱點數量統計歷史軌跡

一、弱點數量統計歷史軌跡

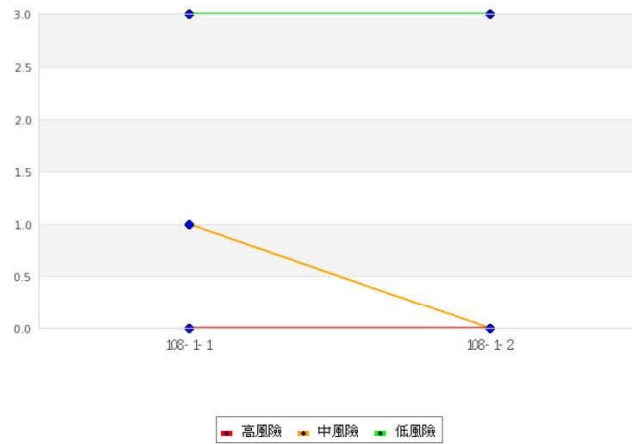


圖- 6 弱點數量統計歷史軌跡

表- 6 弱點數量統計歷史軌跡

風險等級	108-1-1(初測)	108-1-2(複測)
高風險	0	0
中風險	1	0
低風險	3	3

二、Top 5 高風險弱點與網頁初複測比較

表-7 前五大高風險弱點歷史數量統計

項次	弱點名稱	108-1-1(初測)	108-1-2(複測)
無	無	無	無

表-8 前五大高風險網頁歷史數量統計

項次	網站	108-1-1(初測)	108-1-2(複測)
無	無	無	無

第四章 桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站 應用程式安全掃描

第一節 弱點統計

一、依據風險等級進行統計

貴單位桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站弱點等級分佈表，以網址排序列表，依照個別網頁進行風險等級數量統計。

表-9 風險等級統計表

索引	主機	URL	管理單位	伺服器	高	中	低	總計
1	210.59.250.44	http://210.59.250.44/TYWWRB	桃園市政府水務局	Microsoft-IIS/10.0	0	0	3	3
總計					0	0	3	3

二、依據弱點類別進行統計

貴單位桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站所有的弱點類別列表，依照弱點數量進行統計。

表-10 高風險弱點類別統計表

索引	高風險弱點名稱	弱點數量
總計		0

表-11 中風險弱點類別統計表

索引	中風險弱點名稱	弱點數量
總計		0

表-12 低風險弱點類別統計表

索引	低風險弱點名稱	弱點數量
1	Unencrypted connection (verified)	1
2	ASP.NET version disclosure	1
3	Clickjacking: X-Frame-Options header missing	1
總計		3

三、依據前 10 大風險進行網站統計

貴單位桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站前 10 大風險網站弱點統計如下表，依風險等級由高至低，以及弱點數量進行排序。

表- 13 前 10 大風險網站統計表

排名	主機	URL	管理單位	伺服器	高	中	低	總計
1	210.59.250.44	http://210.59.250.44/TYWWRB	桃園市政府水務局	Microsoft-IIS/10.0	0	0	3	3
總計					0	0	3	3

第二節 依網頁弱點風險等級分析

一、本次檢測高度風險、中度風險、低度風險之網頁設備列表

貴單位各風險等級網頁列表，並且標識出其部門和管理者。

表- 14 高風險之網頁列表

索引	IP	URL	伺服器	管理單位
-	-	-	-	-

表- 15 中風險之網頁列表

索引	IP	URL	伺服器	管理單位
-	-	-	-	-

表- 16 低風險之網頁列表

索引	IP	URL	伺服器	管理單位
1	210.59.250.44	http://210.59.250.44/TYWWRB	Microsoft-IIS/10.0	桃園市政府水務局

二、整體風險統計歷史軌跡

下圖為網站整體風險統計歷史軌跡圖，圖中橫軸為時間軸標示出各弱點掃描的期別，縱軸為各風險等級網頁數量，以不同顏色的數線標示各風險等級網頁數量的歷史軌跡。下為相對應的整體風險等級統計表。

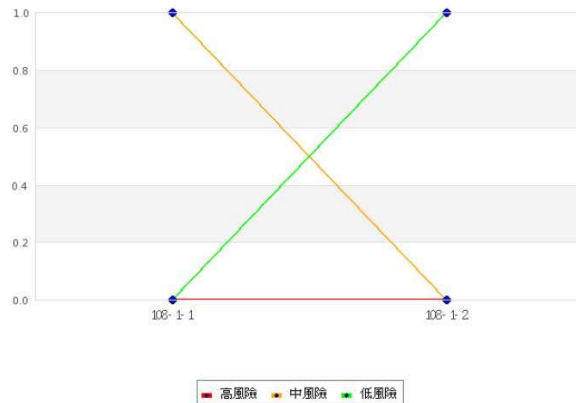


圖-7 整體風險統計歷史軌跡圖

三、整體風險統計表

貴單位桃園市政府水務局作物栽培智慧管理平台網站歷次檢測高中低風險等級網頁列表統計。

表-17 整體風險統計表

	108-1-1(初測)	108-1-2(複測)
高度風險網站	0	0
中度風險網站	1	0
低度風險網站	0	1

第三節 附件

一、弱點描述與建議修補方式

(一) 網站修補建議。

二、弱點掃描清單

(一) 網站弱點清單總表。

(二) 網站未修補弱點清單。

(三) 網站弱點初複測比較表。

國家圖書館出版品預行編目資料 CIP

桃園市智慧節水管理系統研發與水
資源多元應用計畫 / 財團法人農
業工程研究中心編著. -- 初版. --
臺北市：經濟部水利署，2019.12
面；公分

ISBN 978-986-533-007-1 (平裝附
光碟片)

1. 農業水利 2. 灌溉 3. 水資源管理

432.57

108021717

桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫

出版機關：經濟部水利署

地址：台北市大安區信義路三段 41-3 號 9-12 樓

電話：(02) 37073000

傳真：(02) 37073124

網址：<http://www.wra.gov.tw>

編著者：財團法人農業工程研究中心

出版年月：2019 年 12 月

版次：初版

定價：新台幣 500 元

展售門市：五南文化廣場

台中市中山路 6 號 (04) 22260330

<http://www.wunanbooks.com.tw>

國家書店松江門市 台北市松江路 209 號 1 樓 (02) 25180207

<http://www.govbooks.com.tw>

GPN：1010802524

ISBN：9789865330071

著作權利管理資訊：經濟部水利署保有所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求經濟部水利署同意或書面授權。

聯絡資訊：經濟部水利署

電話 (02) 37073000



廉潔、效能、便民



經濟部水利署

台北辦公區(出版)

地址：台北市信義路三段 41 之 3 號 9-12 樓

總機：(02)3707-3000

傳真：(02)3707-3166

免費、服務專線：0800-212239

台中辦公區

地址：台中市黎明路二段 501 號

總機：(04)2250-1250

傳真：(04)2250-1628

免費、服務專線：0800-001250

GPN：1010802524

定價：新台幣 500 元