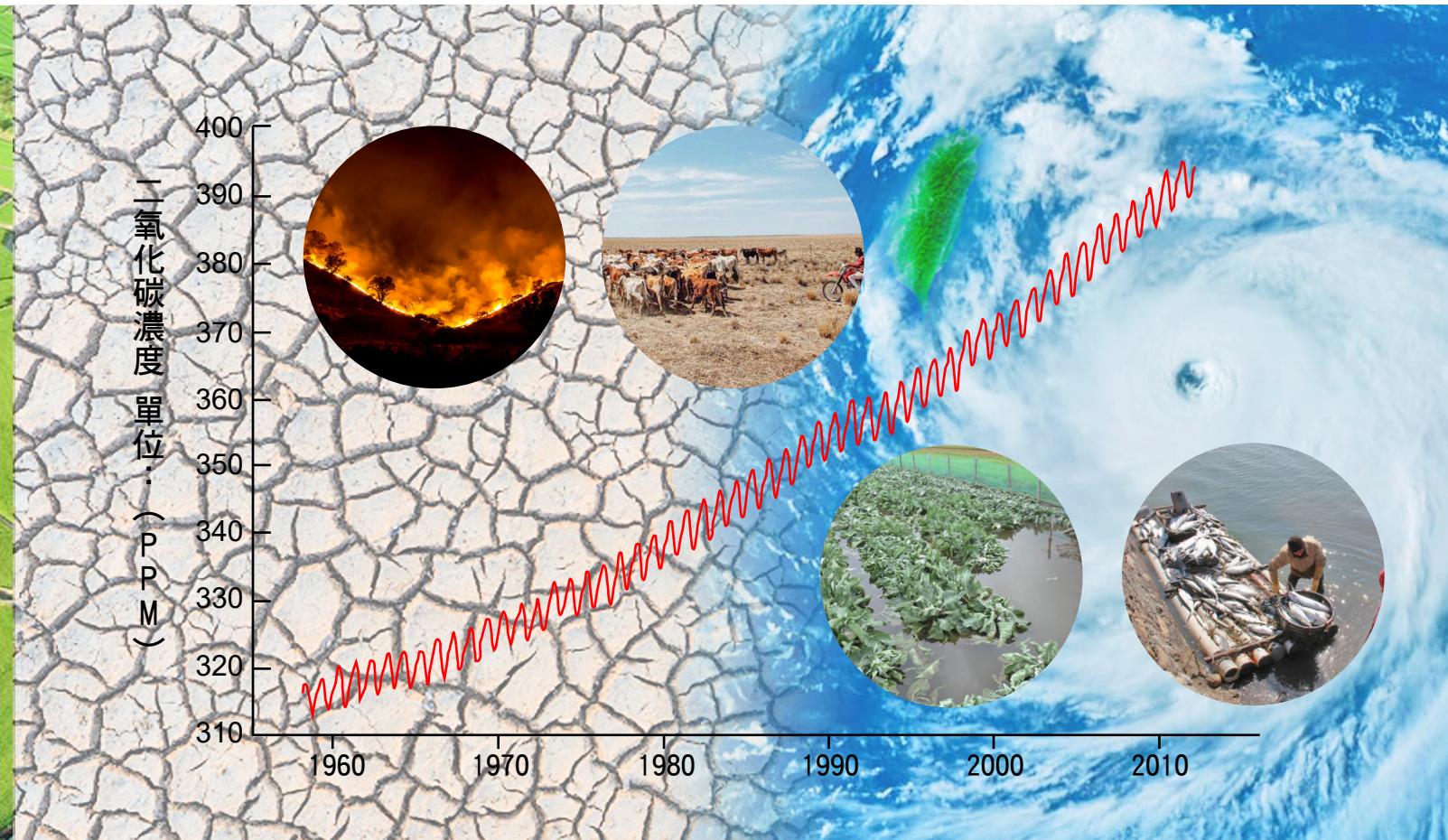


2020 因應氣候變遷之韌性農業研討會

行政院農業委員會農業試驗所125周年所慶系列活動

摘要與簡報集



1958年至2012年間，夏威夷莫納瑞亞天文臺監測的二氧化碳濃度

主辦機關：行政院農業委員會農業試驗所

執行單位：台灣水資源與農業研究院

目 錄

目 錄	I
議 程	III
節次一：氣候變遷對農業之衝擊及調適行動	1-1
1.1 氣候變遷對我國農業體系之衝擊影響評估	1-3
1.2 氣候變遷下農業水資源調適因應策略	1-19
1.3 世界各國對於因應氣候變遷農業調適作為	1-27
1.4 從臺灣氣候變遷大數據看農業可能的衝擊與風險	1-39
節次二：農林漁畜生產之調適與韌性	2-1
2.1 調適氣候變遷之氣候智慧農林業	2-3
2.2 因應氣候變遷之作物生產技術與耕作系統—從防減災的立場	2-15
2.3 臺灣漁業因應極端天氣災害之調適現況與發展	2-23
2.4 臺灣乳牛產業因應氣候變遷之生產調適現況與未來發展	2-31
節次三：環境資源之調適與韌性	3-1
3.1 氣候變遷下農林漁牧環境資源衝擊與調適方案	3-3
3.2 氣候變遷下農業災害預警及防範	3-11
3.3 氣候變遷下作物病害的預防與災後復耕	3-19
3.4 建立因應氣候變遷之重要害蟲發生分布與調適策略	3-33

2020「因應氣候變遷之韌性農業」研討會

時間：109年10月21日(星期三)

地點：台灣水資源與農業研究院(新北市淡水區中正東路二段27-5號)20樓會議室

時間	議程	講者
09:00~09:30	報到	
09:30~09:50	開幕式/團體照	主持人：林學詩所長
09:50~10:10	茶敘時間	
節次一：氣候變遷對農業之衝擊及調適行動，主持人：林裕彬副院長		
10:10~10:40	氣候變遷對我國農業體系之衝擊影響評估	臺灣大學農業經濟學系 /徐世勳、張靜貞教授
10:40~11:10	氣候變遷下農業水資源調適因應策略	台灣水資源與農業研究院 /虞國興院長
11:10~11:40	世界各國對於因應氣候變遷農業調適作為	台灣水資源與農業研究院 /蘇騰鉅副院長
11:40~12:10	從臺灣氣候變遷大數據看農業可能的衝擊與風險	國家災害防救中心氣候變遷組 /陳永明組長
12:10~12:50	午休(餐)	
節次二：農林漁畜生產之調適與韌性，主持人：陳尊賢副院長		
12:50~13:20	調適氣候變遷之氣候智慧農林業	台灣水資源與農業研究院 /黃裕星顧問
13:20~13:50	因應氣候變遷之作物生產技術與耕作系統 -從防減災的立場	臺中區改良場作物改良課 /葉文彬副研究員
13:50~14:20	臺灣漁業因應極端天氣災害之調適現況與發展	水產試驗所水產養殖組 /許嘉閔助理研究員
14:20~14:50	臺灣乳牛產業因應氣候變遷之生產調適現況與未來發展	畜產試驗所新竹分所 /涂柏安副研究員
14:50~15:10	茶敘時間	
節次三：環境資源之調適與韌性，主持人：蔡致榮副所長		
15:10~15:40	氣候變遷下農林漁牧環境資源衝擊與調適方案	農業試驗所農業化學組 /陳柱中助理研究員
15:40~16:10	氣候變遷下農業災害預警及防範	農業試驗所農業工程組 /姚銘輝研究員
16:10~16:40	氣候變遷下作物病害的預防與災後復耕	農業試驗所植物病理組 /蘇俊峯助理研究員
16:40~17:10	建立因應氣候變遷之重要害蟲發生分布與調適策略	農業試驗所應用動物組 /黃毓斌副研究員
17:10~17:30	綜合討論/閉幕式	主持人：林學詩所長

節次一：氣候變遷對農業 之衝擊及調適行動

氣候變遷對我國農業體系之衝擊影響評估

張靜貞¹

近年氣候變遷現象越趨頻繁且明顯，在溫度升高、降雨量型態改變、極端氣候發生頻率及強度增加的情況下，對農業生產與生物多樣性可能造成衝擊，並危及我國的糧食安全。過去農業部門在氣候變遷調適路徑之研擬，脆弱度與影響評估僅止於文獻回顧，尚缺乏具有共識之未來氣候變遷推估情境，亦缺乏系統性、整體性之脆弱度、危害度、影響評估與風險分析。因此，建立農業體系共通之模擬情境，並進行各面向之風險分析與影響評估，係為調適策略研擬與檢討之基礎，以建構因應氣候變遷之韌性農業。

本計畫首先蒐整過去農林漁牧產品受氣候變遷影響之科學監測或研究結果，結合產業、經濟、人口、勞動力、貿易、災害等社會經濟面資料，初步分析中長期氣候變遷對農林漁牧業生產影響，以釐清導致農業體系風險增加之主要氣候因子，建立我國農業體系之風險分析模式。

其次，本計畫以動態可計算一般均衡分析及產業關聯表為架構，建立我國農業體系之社會經濟資料庫以及整合型之氣候變遷影響評估模型-台灣可計算一般均衡模型(General Equilibrium Model for Taiwanese Economy and Environment, 簡稱GEMTEE)。本計畫考量國際通用之 IPCC AR5 或 AR6 之「代表性濃度路徑」(Representative Concentration Pathway, RCPs)，作為本研究之氣候變遷模擬情境等，並運用科技部 TCCIP 提供之未來氣候變遷統計與動力降尺度預測成果。除此之外，並參考 IPCC 以及國外研究機構所提出之未來「社會經濟路徑情境」(Shared Socio-Economic Pathway, SSPs) 的內涵，考量未來台灣各地區之社會經濟路徑情境(SSP)，並結合 AR5 或 AR6 之模擬情境與三大假設情境(農業受到氣溫上升 1.5°C 臨界值、農業可用水資源短缺 10%、災變天候事件)，進行包括農林漁牧各產業之生產、市場、消費、所得、整體社會經濟及糧食安全等面向的未來基線預測及影響評估，供未來我國研擬農業體系調適路徑與政策之參考。

¹ 中央研究院經濟研究所研究員暨國立台灣大學農業經濟研究所合聘教授

2020「因應氣候變遷之韌性農業」研討會

氣候變遷對我國農業體系之衝擊影響評估

(初稿)

張靜貞

中央研究院經濟研究所研究員
暨國立台灣大學農業經濟研究所合聘教授



2020 / 10 / 21

2 |

大綱

- 1 背景介紹
- 2 農畜漁林產品與氣候因子相關文獻
- 3 統計估計方法與資料
- 4 初步估計結果
- 5 氣候變遷對農業體系經濟評估
- 6 結論

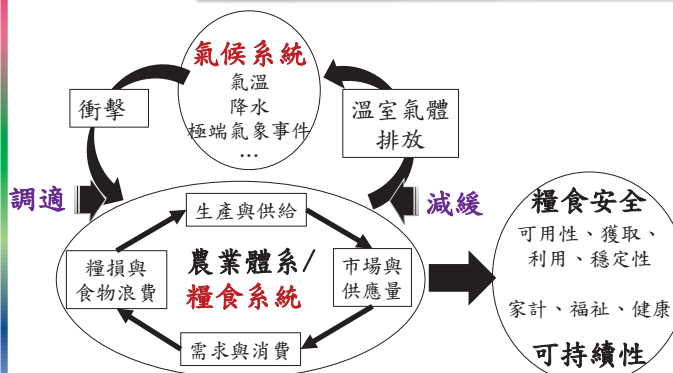
1. 背景介紹



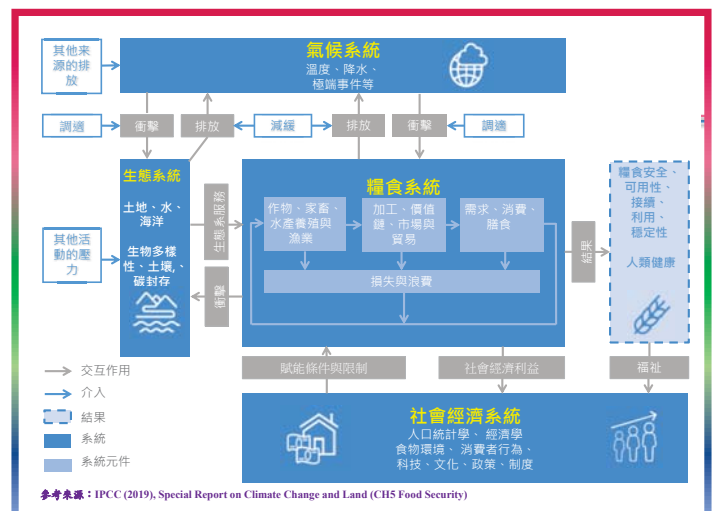
4 | 背景介紹

- 「氣候變遷」對「農業」的影響，已是世界農糧組織（FAO）等國際機構這幾年積極納入在「可持續發展」議程的重要議題。
 - 氣候變遷對於農業生產力所帶來的直接、間接影響，包括強降雨、乾旱、病蟲害，甚至是海水的酸化。
 - 氣候變遷可能造成糧食生產面臨很多困境，不僅僅只是溫度的改變和雨量的分布不均，也會影響病蟲害的發生，是非常複雜的課題。
- 目前氣候變遷情況或極端氣候現象的成因與機制仍未確定與完全瞭解，需持續加強資訊蒐集與分析，包含氣候觀測資訊、氣候變遷影響評估工作等。

5 | 「氣候系統」與「糧食系統」雙向影響



IPCC (2019), Special Report on Climate Change and Land (SRCCL)



參考來源：IPCC (2019), Special Report on Climate Change and Land (SRCCL)

7 | 氣候變遷對農業「產業供應鏈」之可能影響

<p>1. 農業生產</p> <ul style="list-style-type: none"> 作物減產 畜禽廠房損毀 海洋魚群多樣性下降 魚塭損毀 水資源匱乏 	<p>3. 加工與包裝</p> <ul style="list-style-type: none"> 加工廠與包裝廠發生毀壞風險上升 包裝材料價格上漲 	<p>5. 終端消費</p> <ul style="list-style-type: none"> 極端天氣事件發生頻率上升，影響食物品質 作物多樣性下降，消費者選擇變少
<p>2. 處理與儲存</p> <ul style="list-style-type: none"> 倉儲設備毀壞風險上升 處理過程水資源匱乏機率上升 	<p>4. 分配與行銷</p> <ul style="list-style-type: none"> 能源價格上漲 運輸成本與難度增加 極端高溫頻率增加，加速運送過程之禮損 	

8 | 研究目的

- 過去農業部門在氣候變遷調適路徑之研擬，脆弱度與影響評估僅止於文獻回顧，尚缺乏具有共識之未來氣候變遷推估情境，亦缺乏系統性、整體性之脆弱度、危害度、影響評估與風險分析。
- 建立農業體系共通之情境(Scenario)，並進行各面向之風險分析與影響評估，係為調適策略研擬與檢討之基礎，以建構能因應氣候變遷之韌性農業。

9 | 擬解決問題

缺乏我國農業體系之氣候變遷與社會經濟相連結之長期資料庫

- 包括蒐整農業試驗單位對農業生產環境之科學監測結果、農業氣象與氣候變遷科學資料數據庫與技術參數、以及農產產業鏈相關之經濟、人口、勞動力、水土資源、貿易、災害暴露量、脆弱度等時間和空間動態資訊。

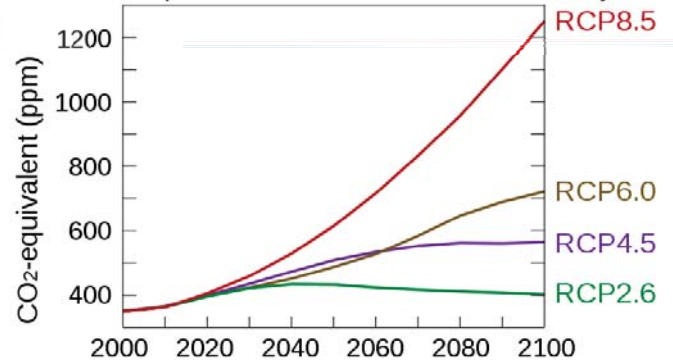
缺乏以我國農業體系為主之整合性氣候變遷影響評估模型

- 包括根據歷史資料與大數據資料庫，分析氣候變遷對農業單位產量(或生產力)到對整體供應熱點(Hotspot)之影響，主要的氣候風險因子有哪些，所造成衝擊與脆弱度如何評估，以及如何整合本計畫三大假設情境(農業受到氣溫上升1.5°C臨界值、農業可用水資源短缺10%、災變天候事件)及國際通用之IPCC AR5或AR6之「代表性濃度路徑」(Representative Concentration Pathway, RCPs)，作為本研究之氣候變遷模擬情境等。

缺乏我國農業體系未來情境設計與基線預測

- 運用科技部TCCIP提供之未來氣候變遷統計與動力降尺度預測成果，並參考IPCC以及國外研究機構所提出之未來「社會經濟路徑情境」(Shared Socio-Economic Pathway, SSPs)設計的內涵，檢視我國未來農業體系所面臨之風險因子，並針對農林漁牧各產業之生產、市場、消費、所得、整體社會經濟及糧食安全等面向，進行未來基線預測與情境模擬，以解析未來中長期氣候變遷之可能影響，作為研擬氣候變遷調適政策之依據。

IPCC Representative Concentration Pathways



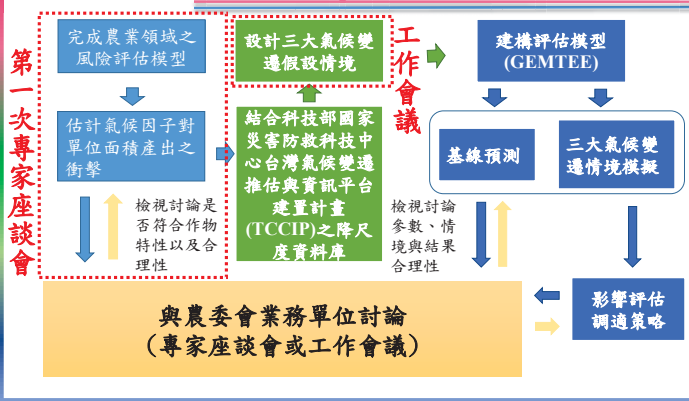
Efbrazil / CC BY-SA
(<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)



12 | 計畫目標

- 建立我國農業體系之風險分析模式**
 - 蒐整過去農產品受氣候變遷影響之科學監測或研究結果
 - 分析中長期氣候變遷對農林漁牧業生產影響
 - 釐清導致農業體系風險增加之主要氣候因子
- 建立我國氣候變遷與經濟社會變遷之整合性影響評估模型**
 - 參考國內外氣候變遷模擬情境與預測成果設計未來三大氣候變遷假設情境(農業受到氣溫上升1.5°C臨界值、農業可用水資源短缺10%、災變天候事件)
 - 建立我國氣候變遷與經濟社會變遷之整合性影響評估模型
- 研擬氣候變遷調適決策**
 - 基線預測與未來三大氣候變遷情境模擬
 - 針對農林漁牧各產業之生產、市場、消費、所得、整體社會經濟及國際間糧食安全等面向進行衝擊影響評估
 - 提出農業調適路徑與措施之政策建議

13| 影響評估流程圖： 結合「由下而上」(bottom up)評估方式



農委會業務單位:包含企劃處、農糧署、畜牧處、漁業署、林務局、農試所、林試所、畜試所、水試所、農水處

2.農、畜、漁、林產品與氣候因子關係相關文獻



15| 相關文獻 (影響農作物產量之氣候因子)

- 作物生長大多是接受太陽輻射的照射行光合作用 (photosynthesis)，產生與累積碳水化合物，因此**溫度增加的情況之下，產量通常會逐漸增加。**
- 當溫度高過一個臨界值時，常係因為光照過強，會讓植物的光合作用光系統I與II (photosystem I and II) 產生過多的激發態電子，進而產生活性氧物質 (Reactive oxygen species, ROS) (Apel and Hirt, 2004; Pospisil et al., 2004)，會破壞作物細胞的磷脂雙層膜 (Mueller, 2004)、DNA及酶等 (Møller et al., 2007)，產生光及熱逆境。因此，當作物的環境溫度高於某一臨界值，反而會導致作物減產。

16| 相關文獻 (影響農作物產量之氣候因子)

- Lal 等 (1998) 分析小麥和稻米
 - 在二氧化碳濃度上升現在背景值2倍的情況下，**產量增加28%與15%**；
 - 然而氣溫上升3°C和2°C時，則會完全**抵消**小麥與稻米因為二氧化碳濃度上升促使**產量增加的部分。**
- Schlenker & Roberts (2009) 分析美國玉米、大豆、棉花與溫度變化的關係
 - 發現這3種作物與溫度變化呈現**非線性關係**
 - 針對3種農作物分析出一個**溫度上升臨界值**，玉米29度、大豆30度、棉花32度之下，**產量才會開始下降**，若是溫度在此臨界值以下，**產量與溫度則會有正影響。**
- Dos Santos & Sentelhas (2014) 評估未來巴西南部在平均氣溫與CO₂濃度增加，且水資源短缺的情況下，**甘蔗產量將會增加 (51-82%)**

17| 相關文獻 (影響農作物產量之氣候因子)

- Hannah et al., (2013)
 - 在全球範圍內，預估到2050年，許多種植**葡萄**的地區將過炎熱，在RCP 4.5的情境下，適合種植葡萄的面積可能減少19-62%在RCP 8.5的情境下，則可能減少25-75%。
 - 導致原本在較低海拔的葡萄園，**往高海拔移動。**
- Pauline et al., (2018)
 - 蒐集1975年至2016年之間溫度、降水量、二氧化碳 (CO₂) 與臭氧 (O₃) 濃度對**蔬菜**和**豆類**的產量影響。
 - 當環境基礎溫度>20°C時，溫度增加4°C會**導致產量衰減 (-31.5%)**
 - 如果**可用水量減少50%**，則**產量衰減 (-34.7%)**；
 - 如**CO₂濃度增加250ppm**，則**產量增加 (22%)**；
 - 如**臭氧濃度增加25%**，則**產量減少 (-8.9%)**。

18| 相關文獻 (影響農作物產量之氣候因子)

- 賴永昌等人(1996)以探討不同氣象條件下春秋作甘藷產量差異。
 - 春作時期莖重則高於秋作，可能因為春作生育期間平均氣溫及月累積雨量高於秋作力，利於地上部生長
 - 秋作甘藷生育期月平均日夜溫差高於春作，利於甘藷塊根肥大，使得秋作塊根重高於春作。
- 姚銘輝等人 (2009) 以作物模式評估氣候變遷對水稻生長及產量的衝擊。
 - **增溫**使水稻生育日數縮短，影響**水稻穀粒充實而減產。**
 - 氣候變遷下水到產量空間分部，北部種植水稻有明顯減產，而中南部則有增產現象。
 - 預估2020年、2050年及2080年減產3.5%、4.7%及7%。

19| 相關文獻 (影響農作物產量之氣候因子)

- 黃子彬(2010)
 - 國際稻米研究所佐證，夜溫每增加1°C，稻米產量降低10%。
 - 烏魚對水溫極度敏感，只在冷鋒過後轉暖的20至22°C的海中產卵，水溫一旦變暖，烏魚就不再南下，烏魚子產量立即銳減。
 - 地表平均溫度每上升1°C，就有10%的物種面臨絕種危機。
- 許家勝等人(2016)指出乾旱指數和玉米、小麥產量為正關係，越乾旱越不利生產。另外濕度指數則對玉米小麥有負面影響。

20| 相關文獻 (影響畜產品產量之氣候因子)

- 畜禽產品只要超過一定的溫度或溫溼度指標 (THI) 通常會造成禽畜的減產，甚至死亡率上升。
- 顏念慈、蕭宗法 (2017)
 - 牛與乳牛如果受到熱緊迫，會降低消化道的收縮力、血流至腸道、降低消化速率，也會降低採食量，也會影響甲狀腺素因而干擾代謝、心跳、細胞降低消化道的收縮力、修復，甚至使濾泡發展及生長受損。
 - 溫溼度指數 (temperature-humidity index, THI) 畜試所版本：

$$THI=9/5*T+32-0.55*(1-RH)*(9/5*T-26)$$
 T=氣溫 (單位°C)
RH: 相對溼度 (%)

21| 相關文獻 (影響畜產品產量之氣候因子)

- Armstrong (1994)
 - THI < 72 為無緊迫，牛隻生產正常
 - 72 ≤ THI < 79 為輕度緊迫，乳牛會藉由尋覓遮蔭而調整整體溫增加呼吸率及血管擴張，對乳量之影響較少
 - 80 ≤ THI < 89 為中度熱緊迫，牛隻增加流涎量及呼吸率，減少採食量，增加飲水量，增加體溫，乳量及繁殖效率下降
 - 90 ≤ THI < 98 為嚴重熱緊迫，牛隻由於體溫高，呼吸急促(喘氣)及過度流涎，乳牛感覺非常不舒服，乳量及繁殖效率顯著降低
 - THI > 98 為危險熱緊迫狀態，可能發生牛隻死亡。

22| 相關文獻 (影響畜產品產量之氣候因子)

- 陳佳萱等 (2017)
 - 當豬隻暴露在熱緊迫的環境中，其呼吸速率增加，脈搏跳動減少；豬隻因而開始用力喘氣和減少採食，因採食導致更多熱的生成，一般哺育仔豬舒適溫度範圍為29-33°C；生長肥育豬則為15-25°C；哺乳母豬則為16-18°C。
- 王得吉 (2017)
 - 羊舒適溫度在0-30°C之間，30-35°C會有輕微熱緊迫現象，35-40°C則已達可承受極限。
 - 當熱緊迫發生時，THI指數每增加一單位，產羊乳量將減少1%，且乳蛋白、乳脂及乳糖含量顯著下降，其原因為採食量下降而此同時增加維持額外活動之需要，諸如喘息之肌肉活動、較多的出汗、增加身體的化學反應、增加熱休克蛋白的生產而致大量ATP之消耗等，導致提供於維持所需之能量不足以滿足產乳作用。

23| 相關文獻 (影響畜產品產量之氣候因子)

- 林德育與蔡銘洋 (2017)
 - 飼養後期之雞隻當環境溫度超過28°C~30°C時，加上濕度增高，便會引起明顯的熱緊迫反應，造成雞隻採食量降低與熱中暑死亡，在31°C的環境中約有26%的死亡率，21°C則沒有雞隻死亡。
- 張慧斌 (2017)
 - 環境溫度大於25°C，北京鴨(肉鴨)會有氣喘現象，將北京鴨飼養在29°C高溫時，與飼養在18.3°C的對照組相比較，則在熱緊迫下的北京鴨其每日生肉速率減少30% (Bouverot et al., 1974)。
 - 蛋鴨飼養在34°C時，則會發現鴨隻氣喘現象與攤翅現象 (spreading wings) 頻率增加，也許會影響鴨蛋生產速率。

24| 相關文獻 (影響漁產品產量之氣候因子)

- 過往的研究顯示某些漁產品在氣候變遷的情況下可能增產或減產，然根據全球變遷中心模擬結果預測，臺灣周邊海域的海表溫在2055年將上升1.2~1.3°C，2085年將上升2.0~2.5°C，可能面臨整體海洋基礎生產力下降及漁獲潛能 (Catch potential) 嚴重減少等問題。
- 李明安與呂學榮 (2013)
 - 養殖漁業與苗業則可能因為氣候變遷，導致環境狀態改變而影響產量。例如，牡蠣因為生殖行為與附苗狀態改變，產量減少超過20%；九孔則因為水質與水相改變，減產超過90%。
 - 受到極端氣象的影響，養殖漁業也可能有慘痛的衝擊。例如石斑等養殖魚類，在2008年莫拉克颱風侵襲時，725公頃的養殖魚池全毀，占總產區95%。

25| 相關文獻 (影響漁產品產量之氣候因子)

- 李明安與呂學榮 (2013)
 - 因為氣候變遷與海水增溫的影響，臺灣周邊為水溫上升的熱區，過去 20 年水溫上升的速度高於世界平均 2 倍。
 - 對於某些近海鮪延繩釣的魚種，例如正鯷與黃鰭鮪等相對加入量增加 10%-20%；但某些則相對加入量減少，例如長鰭鮪與大目鮪等相對加入量減 10%-20%。
 - 某些使用中著網捕獲的洄游魚類則因為越冬迴流南界北移，減少超過 90% (例如烏魚和黑鯛)
 - 大型圍網捕獲的鯖魚類則依不同種類互有增減。
 - 吻仔魚漁業的日本鯷與刺公鯷與異葉公鯷北部從 90% 大幅下降至 5-20%；南部則全部由公鯷取代。

26| 相關文獻 (影響林產品產量之氣候因子)

- 雖然溫度、降水量與大氣中二氧化碳濃度增加可能會促使林木生長量增加，但影響台灣木材與竹材產量決定因素主要是政策與消費需求，氣候因子可能只能估算出未來碳匯的變動，與木、竹材產量也許較無直接關聯；而森林副產品則可能與農產品類似，例如竹筍、愛玉子等。
- Hibberd and Quick (2002)
 - 溫度與降水量會影響到林木生長的速度之外，二氧化碳濃度也會影響林木生長的速率。當大氣中的二氧化碳分壓上升時，RuBisCO 更容易與二氧化碳結合，使光合作用暗反應合成碳水化合物化合物的速率提升。

27| 相關文獻 (影響林產品產量之氣候因子)

- 詹為巽與林俊成 (2017)
 - 1990 年代全面禁伐天然林及限制年伐採量以來，國內年木材生產量更衰竭，再加上環境保護意識的興起，近 10 年來每年林木伐採量僅約 4-6 萬 m³，但國人每年對木材相關製品之需求並未減少，國內總木質材料年需求量約為 4-600 萬 m³，即超過 99% 之木材原料係透過進口取得，木材自給率不足 1%。
- 王仁與陳財輝 (2017)
 - 國內竹材生產量自 1960 年代起，因中國與越南的竹業興起而衰竭，現今國內的竹材供給已衰退；竹筍產量則不斷上升。

3. 統計估計方法與資料



29| 農漁領域之風險評估模型

推估溫度變動對單位面積生產力影響

- 利用各縣市農漁產品之單位面積產出(生產力)及相關氣候條件(如溫度、雨量、相對溼度、超過 28.5°C 積溫、日最大降水等)資料，並以結合時間數列與橫斷面資料之 Panel data model 方法，估計氣候因子對單位面積產出之衝擊函數。

完成風險評估

- 應用上述之 Panel data model 方法估算在未來氣候變遷情境與三大假設情境 (農業受到氣溫上升 1.5°C 臨界值、農業可用水資源短缺 10%、災變天候事件) 下，對於農漁業生產與糧食安全所帶來的風險以及經濟損失。

研析專屬風險因子

- 針對農、林、漁、牧不同產業鏈體系之特性，進一步透過專家深度訪談、調查或座談會等質性分析方式，研析出具共通性及專屬性之風險因子，進一步建立我國未來的基線預測與政策模擬之情境。

30| 估計方法

氣溫、降雨量、氣候因子變異以及時間趨勢為影響農作物產出之重要因素，故本研究將氣候條件對作物產量之衝擊函數設定如下：

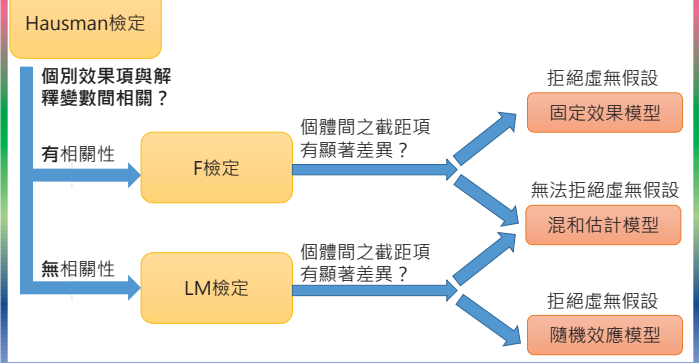
$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_0 + \beta_1 TEMP_{it} + \beta_2 RAIN_{it} + \beta_3 VTEMP_{it} + \beta_4 VRAIN_{it} + \beta_5 Trend + \epsilon_{it}$$

- i : 作物產地區別(縣市)； t : 年份
- Y_{it} : i 產地第 t 年的每公頃平均產量(公斤)
- $TEMP_{it}$: i 產地第 t 年的平均溫度(°C)
- $RAIN_{it}$: 產地 i 第 t 年的平均雨量
- $VTEMP_{it}$: 產地 i 第 t 年的溫度之年變異數
- $VRAIN_{it}$: 產地 i 第 t 年的雨量之年變異數
- $Trend$: 時間趨勢
- α_i : 個別效果項

31 | 估計方法

- 三種縱橫資料模型
 - ① 混和估計模型(Pooled OLS)
 - ② 固定效果模型(Fixed effect)
 - ③ 隨機效應模型(Random effect)
- 模型選擇：
 - ① 分別以OLS型、固定效果模型及隨機效果模型進行估計，得到三種不同模型假設下之迴歸係數估計量
 - ② 再分別以Hausman檢定、LM檢定以及F檢定，判別何者為最適估計量

32 | 模型檢定



33 | 資料說明

項目	產品項目	時間長度	區域別	來源
氣候因子	平均溫度	1998-2019	縣市	中央氣象局觀測資料查詢系統
	平均雨量	1998-2019	縣市	
	溫度變異數	1998-2019	縣市	
	雨量變異數	1998-2019	縣市	
農糧作物	稻米、玉米、小麥、高粱、香蕉、鳳梨、檳榔、檳榔、文旦、柳丁、檸檬、葡萄柚、芒果、檳榔、芭樂、蓮霧、葡萄、枇杷、梅子、桃子、柿子、李、荔枝、楊桃、梨子、蘋果、木瓜、釋迦、百香果、椰子、大豆、落花生、紅豆、番薯、馬鈴薯、茶、製糖甘蔗、生食甘蔗、芝麻、蘿蔔、紅蘿蔔、薑、蔥、蔥頭、蒜頭、青蒜、竹筍、蘆筍、茭白筍、甘藍花椰菜、越瓜、胡瓜、苦瓜、番茄、碗豆、毛豆、西瓜、哈密瓜、香菇 (共60種)	1998-2019	縣市	農業統計年報 農委會動態查詢

34 | 資料說明

項目	產品項目	時間長度	區域別	來源
畜產品	豬、牛、羊、雞、鴨、鵝、火雞、牛乳、羊乳、鹿茸、雞蛋、鴨蛋、蜂蜜、蜂蠟 (共14種)	1998-2019	縣市	農業統計年報 農委會動態查詢
漁業品	正鯉、其他鯉類、長鰭鱒、大目鱒、黑皮旗魚、鎖管、魷魚、鬼頭刀、水鯊、吳郭魚類、鰻魚、鱸魚、虱目魚、嘉鱻魚、石斑魚苗、虱目魚苗、日本對蝦苗、草蝦苗、蟹蟳蟹苗 (共19種)	1998-2018 1998-2013	縣市	農業統計年報 農委會動態查詢
林產品	針葉樹、闊葉樹、薪材、枝梢材、竹材、竹筍、愛玉子、其他灌藤類、菌類、樹實類 (共10種)	1998-2019	全台	林業統計年報 農業統計年報

35 | 敘述統計(氣候因子)

地區	縣市	平均溫度				溫度變異				平均降雨量				降雨量變異			
		平均值	最大值	最小值	標準差	平均值	最大值	最小值	標準差	平均值	最大值	最小值	標準差	平均值	最大值	最小值	標準差
北區	1=台北	23.47	24.11	22.73	25.17	32.74	19.87	201.83	367.06	99.38	33.261	161.265	4.404				
	2=桃園	23.22	23.80	22.58	25.49	32.74	20.70	185.69	367.06	94.75	32.232	161.265	4.404				
	3=新竹	22.97	23.65	22.28	26.80	34.39	21.20	144.51	228.43	73.14	21.659	98.563	4.575				
	4=苗栗	22.78	23.67	22.00	26.27	33.17	21.47	134.73	191.09	64.71	21.692	98.563	3.517				
中區	5=台中	23.83	24.43	23.30	20.23	26.95	13.67	155.54	214.54	78.38	39.738	104.701	6.207				
	6=南投	20.16	24.31	18.90	12.09	18.22	6.70	185.09	320.94	78.38	50.202	188.062	8.571				
	7=彰化	23.93	24.69	23.28	20.48	26.90	13.87	149.63	214.54	78.38	36.537	104.701	7.199				
	8=雲林	23.62	24.31	23.13	20.83	26.36	14.72	155.29	248.80	78.43	51.196	149.728	4.559				
南區	9=嘉義	23.70	24.58	23.13	20.47	26.30	13.88	159.86	248.80	78.43	53.205	149.728	4.559				
	10=台南	24.70	25.26	23.98	18.86	25.30	12.93	152.26	262.38	74.88	59.299	174.486	14.945				
	11=高雄	25.51	26.30	24.91	12.84	17.45	7.92	171.22	258.63	86.46	70.922	241.287	9.950				
	12=屏東	25.54	26.34	24.67	8.31	11.70	5.49	180.58	258.33	123.34	66.169	164.336	23.487				
東區	13=台東	24.74	25.31	24.01	12.68	19.06	9.05	149.79	237.71	91.03	32.859	82.511	5.800				
	14=花蓮	23.73	24.38	23.08	15.28	21.16	11.59	174.48	296.46	88.53	40.084	216.425	5.433				
	15=宜蘭	22.91	23.55	22.14	21.13	27.94	16.12	235.57	412.11	123.39	45.647	250.320	10.034				

4.初步估計結果

37| 初步估計結果(稻穀類)

單位:公斤/公頃

作物/變數	Constant	TEMP	RAIN	VTEMP	VRAIN	Trend	Adj. R ²	模型	樣本數 (bx)
稻米(c1)	7060.68***	-45.13	-3.83***	-11.46	0.001	48.48***	0.418	RE	22x15

註 1: ***, **, *分別表示在 1%, 5%, 10%信賴水準下拒絕虛無假設。
註 2: OLS 表示 Pooled OLS; RE 表示 Random effect; FE 表示 Fixed effect。

- 降雨量增加不利稻米之產出

38| 初步估計結果(雜糧類)

單位:公斤/公頃

作物/變數	Constant	TEMP	RAIN	VTEMP	VRAIN	Trend	Adj. R ²	模型	樣本數 (bx)
玉米/c2	7874.09***	-29.94	-3.45***	-11.19	0.001	-9.12	0.048	RE	22x15
小麥/c3	-994.727	238.693	-5.0332	-22.982	0.013	-0.861	-0.307	OLS	22x1
高粱/c4	-4696.619	312.143	4.3562	66.902	-0.001	34.148	0.006	OLS	22x1
大豆/p1	-545.95	87.62	-1.38	-14.22	0.001	9.46	0.011	RE	22x4
落花生/p2	889.37	41.82*	-0.55	5.83	0.000	22.7***	0.271	RE	22x15
紅豆/p3	-1067.87	105.65*	0.74	-31.43***	0.002	5.04	0.053	RE	22x5
番薯/r1	7553.84	498.90**	-4.1	54.42	0.001	-16.05	0.022	RE	22x15
馬鈴薯/r2	48728.34***	-1621.17**	5.11	-163.06	-0.0097	291.03***	0.075	RE	22x5

39| 初步估計結果(特作類)

單位:公斤/公頃

作物/變數	Constant	TEMP	RAIN	VTEMP	VRAIN	Trend	Adj. R ²	模型	樣本數 (bx)
茶/s1	1177.70**	-8.77	-0.22	0.04	0.000	-1.14	-0.009	RE	22x14
製糖甘蔗/s2	-90697.11**	5671.63**	-14.81	61.68	0.011	-1205.62***	0.214	RE	22x5
生食甘蔗/s3	83550.710***	-1104.56	-10.94	-153.64	-0.003	-421.60***	0.102	FE	22x13
芝麻/s4	3325.995*	47.27*	-0.48	-1.38	0.0002	12.74***	0.07	FE	22x4

- 氣溫上升
 - 正面影響: 製糖甘蔗、芝麻

40| 初步估計結果(水果類)

單位:公斤/公頃

作物/變數	Constant	TEMP	RAIN	VTEMP	VRAIN	Trend	Adj. R ²	模型	樣本數 (bx)
香蕉/f1	26226.19***	85.14	-20.33***	-260.38***	0.006	-20.66	0.075	RE	22x15
鳳梨/f2	42332.74***	113.47	-16.6	-164.48	0.004	343.88***	0.143	RE	22x11
檳榔/f3	6780.991	475.26	0.6	87.89	0.001	315.81***	0.191	FE	22x12
榴槤/f4	10778.7*	3.72	-3.8	50.32	-0.0006	150.41***	0.146	RE	22x10
文旦/f5	31080.61***	-640.58*	-7.9*	-115.4**	0.001	99.24***	0.065	RE	22x15
柳丁/f6	14836.93	-637.25*	-6.56	17.63	-0.0004	259.69***	0.128	FE	22x15
檸檬/f7	11321.83**	23.69	-3.6	-10.99	-0.002	78.24***	0.048	RE	22x15
葡萄柚/f8	7457.458	67.03	-1.95	-15.21	-0.005	8.81	-0.038	FE	22x13
芒果/f9	28144.59***	-543.72***	-12.53***	-125.95***	0.007	-81.56***	0.164	RE	22x13
檳榔/f10	3709.44***	12.56	-0.99	-13.4	0.0008	-57.33***	0.352	RE	22x15
芭樂/f11	28336.70***	-244.12	-6.28	-135.29**	-0.007	7.95	0.028	RE	22x15
蓮霧/f12	2998.946	296.34	-5.07	-19.16	0.006	33.38	-0.044	FE	22x14
葡萄/f13	25824.93	-24.32	-98.39	-98.39	0.027	-15.2	-0.002	RE	22x5
枇杷/f14	11915.280***	107.83	-0.47	17.76	-0.002	-45.01**	-0.034	FE	22x8

41| 初步估計結果(水果類)

單位:公斤/公頃

作物/變數	Constant	TEMP	RAIN	VTEMP	VRAIN	Trend	Adj. R ²	模型	樣本數 (bx)
梅子/f15	17826.900***	-782.61***	-3.5	50.59	0.0008	-130.10***	0.126	FE	22x12
桃子/f16	4132.312	155.985	-3.134	46.025	0.004	65.584**	0.023	RE	22x15
柿子/f17	14252.12***	-242.21	-10.79***	103.78***	0.005	-7.86	0.07	RE	22x15
李/f18	10259.81**	-102.93	-0.46	50.04	-0.004	-19.74	0.001	RE	22x14
荔枝/f19	21529.49***	-470.24***	-23.14***	77.49***	0.018***	-105.29***	0.191	RE	22x12
楊桃/f20	28288.75***	-395.48	-17.42***	-73.82	0.011	-202.35***	0.14	RE	22x14
梨子/f21	24763.67***	-535.71**	-9.39**	-16.7	0.009	135.44***	0.107	RE	22x15
蘋果/f22	-16394.930*	728.48**	5.84	-30.11	-0.003	-79.01*	0.06	FE	22x2
木瓜/f23	83297.11***	-1584.92***	-31.16**	-394.42***	0.005	212.51***	0.069	RE	22x15
釋迦/f24	27264.260**	-386.29	-10.31	-67.69	-0.008	-43.09	-0.038	FE	22x12
百香果/f25	40353.57***	-807.53**	-16.12*	-195.48**	0.002	-46.07	0.022	RE	22x9
椰子/f26	7172.355	42.066	-6.428	46.46	0.015*	119.460***	0.715	RE	22x9

42| 初步估計結果(蔬菜類)

單位:公斤/公頃

作物/變數	Constant	TEMP	RAIN	VTEMP	VRAIN	Trend	Adj. R ²	模型	樣本數 (bx)
蘿蔔/v1	3913.53	1012.31**	-17.77**	102.25	0.005	44.76	0.053	RE	22x15
紅蘿蔔/v2	11714.62	395.66	-13.77	12.83	0.039***	301.77***	0.136	RE	22x7
薑/v3	25079.250**	313.68	-15.12	70.56	0.011	197.2***	0.014	FE	22x13
蔥/v4	8613.56*	486.36**	-10.77***	-21.81	0.0009	-58.94***	0.083	RE	22x15
蔥頭/v5	-149.31	-1.59	45.38	-0.14	0.0002	27.67**	0.056	RE	22x3
蒜頭/v6	1224.38	17.76	-2.98***	31.05***	0.002	26.165***	0.12	RE	22x4
青蒜/v7	1482.7	710.27***	-1.96	14.57	-0.001	-110.23***	0.072	RE	22x14
竹筍/v8	10266.21***	178.2	-5.95**	-66.24**	0.0005	-138.73***	0.258	RE	22x15
蘆筍/v9	15341.440***	335.53**	-0.05	20.78	-0.002	-15.63	-0.032	FE	22x11
茭白筍/v10	-6182.89	776.926**	-2.777	92.53	0.009	52.985	0.861	FE	22x11
甘藍/v11	45333.53***	-463.58	-22.88***	-145.9	0.008	725.65***	0.435	RE	22x15

43|初步估計結果(蔬菜類)

單位:公斤/公頃

作物/變數	Constant	TEMP	RAIN	VTEMP	VRAIN	Trend	Adj. R ²	模型	樣本數 (bd)
花椰菜/v12	12616.13**	278.18	-13.11***	48.62	0.012***	62.99***	0.086	RE	22x15
越瓜/v13	23791.88	-2143.89***	-6.81	-187.80**	-0.005	-136.78***	0.079	FE	22x11
胡瓜/v14	10267.4*	471.62**	-8.07**	-153.14***	0.006	74.19***	0.071	RE	22x15
苦瓜/v15	18892.19***	120.16	-12.12***	-97.20**	0.004	-59.75***	0.065	RE	22x15
番茄/v16	61519.53***	-1418.10***	-11.23**	-170.01***	0.004	-13.57	0.091	RE	22x15
豌豆/v17	22456.98***	-584.73***	3.67	-73.87**	-0.001	45.46***	0.06	RE	22x9
毛豆/v18	16725.32	911.94***	-0.39	33.86	-0.0002	40.50*	0.006	FE	22x7
西瓜/v19	21391.04**	58.32	-25.64***	61.65	-0.001	-10.66	0.101	RE	22x15
哈密瓜/v20	37673.75***	-880.28**	-11.90*	-79.5	0.008	-20.38	0.012	RE	22x12
香菇/v21	39.070***	-10.74**	-0.03	1.67*	3.00E-05	0.003	-0.035	FE	22x9

44|初步估計結果(畜產品)

作物/變數	TEMP	RAIN	VTEMP	VRAIN	Trend	Adj. R ²	模型	樣本數 (bd)	單位
豬/h1	0.30	0.038***	0.07	-0.00003	1.09***	0.28	OLS	22x15	公斤/頭
牛/h2	-2.31***	-0.03***	0.002	0.00001	0.32***	0.16	FE	22x15	公斤/頭
羊/h3	-586.54	9.04	-96.86	-0.01*	-386.92***	0.31	FE	22x15	公斤/頭
雞/h4	1100.91***	-4.85	-109.63*	-0.006	-167.44***	0.14	RE	22x15	公斤/千隻
鴨/h5	47.07	-0.65	-35.05**	-0.001	12.43	0.02	RE	22x15	公斤/千隻
鵝/h6	-42.12	0.08	-3.15	-0.0001	-16.05***	0.12	RE	22x15	公斤/千隻
火雞/h7	-0.28	-0.004	0.07	-0.00001	-1.08***	0.22	RE	22x15	公斤/千隻
牛乳/h8	1657.54***	-10.36	-225.45*	0.006	232.97	0.12	RE	22x15	公噸
羊乳/h9	-63.57	1.27	-6.01	-0.002*	-52.52***	0.29	FE	22x15	公噸
鹿茸/h10	-440.79***	0.38	-42.23***	0.00007	26.49***	0.18	RE	22x15	公斤
雞蛋/h12	17509.32***	26.12	-2941.10**	-0.20	658.38	0.04	RE	22x15	千個
蜂蜜/h13	3082.26	-52.72	-569.11	0.01	-188.73	0.01	RE	22x15	千個
蜂蟻/h14	-121657.77***	-163.22	27485.56***	-0.25	18716.64***	0.31	FE	22x15	公噸
蜂蠟/h16	-4517.37	25.08*	323.24**	-0.06***	921.44***	0.25	FE	22x15	公斤

45|初步估計結果(漁產品-1)

單位:公噸

作物/變數	TEMP	RAIN	VTEMP	VRAIN	Trend	Adj. R ²	模型	樣本數 (bd)
正鯧/f1	170.38	-2.65	65.45	-0.001	7.45	0.07	FE	22x8
其他鯧類/f2	-3.56	0.05	1.009	0.00008	-2.09**	0.02	RE	22x15
長鰱/f3	-109.39	-3.34	-46.70	0.005**	33.72**	0.04	OLS	22x4
大目鰱/f4	366.22	1.91	31.20	-0.002	-22.11	0.09	OLS	22x4
黑皮旗魚/f5	276.31	-1.35	38.57	0.0008	18.80	0.05	OLS	22x5
鎖管/f6	700.90	7.9**	91.45	-0.007	-138.34***	0.16	RE	22x7
魷魚/f7	-16516.94	-362.19	-4694.51	0.71	-897.57	0.18	OLS	22x2
鬼頭刀/f9	161.15	2.40	-3.76	-0.009*	53.06*	0.03	OLS	22x5
水鯨/f10	-1559.52	31.64	-38.76	0.02	205.01	0.26	OLS	9x2
吳郭魚類/f11	105.17	9.77*	79.48	0.02***	63.02	0.05	FE	22x14
鱧魚/f12	-2189.83***	-16.31*	-6.58	0.01	-261.47***	0.31	RE	22x6
鱸魚/f13	40.14	-3.42	-58.37	0.009	186.98***	0.20	RE	22x10
虱目魚/f14	3652.42**	-6.77	250.11	-0.003	-25.80	0.02	RE	22x7
嘉鱧魚/f15	-60.31	-5.64**	-9.60	0.01*	-123.98***	0.43	OLS	22x2

46|初步估計結果(漁產品-2)

單位:千尾

作物/變數	TEMP	RAIN	VTEMP	VRAIN	Trend	Adj. R ²	模型	樣本數 (bd)
石斑魚苗/f16	-7366.86	34.04	-156.97	-0.06	726.26	0.07	OLS	20x4
虱目魚苗/f17	-17120.58	319.68	-3974.98	-0.21	-5057.02	0.28	OLS	20x3
日本對蝦苗/f18	4863.10	234.49*	-1337.71	-0.06	-4080.85***	0.43	OLS	20x2
草蝦苗/f19	-16773.74	115.41	-838.68	-0.72	-24398.80	0.24	OLS	20x4
蟹蟬蟹苗/f20	13864.81**	40.34	793.79	-0.08	-164.25	0.09	OLS	20x4

47|初步估計結果(林產品)

作物/變數	TEMP	RAIN	VTEMP	VRAIN	Trend	Adj. R ²	模型	樣本數 (bd)	單位
針葉樹/fo1	-48.73	16.75	629.97	0.005	352.58	-0.02	OLS	22x1	立方公尺
闊葉樹/fo2	1553.12	-8.18	66.10	0.005	-281.17*	-0.04	OLS	22x1	立方公尺
薪材/fo3	-1156.08*	-10.09	-106.35	0.005	1.69	0.01	OLS	22x1	立方公尺
枝梢材/fo4	710.59***	5.22	-79.61	-0.008	-27.48	0.58	OLS	22x1	立方公尺
竹材/fo5	-712748.30	1606.31	35233.90	-6.09	-2302.34	-0.10	OLS	22x1	支
竹筍/fo6	-2976038.79	15228.80	-464701.16	-2.95	-1140114.70***	0.67	OLS	22x1	公斤
慶玉子/fo7	7045.52	50.55	397.46	-0.005	-1623.92	0.49	OLS	22x1	公斤
其他灌藤類/fo8	6649.03	44.13	-71.99	-0.08	-780.83	0.30	OLS	22x1	公斤
菌類/fo9	7573.22	-72.03	-27.55	0.07	-893.95	0.64	OLS	22x1	公斤
樹實類/fo10	-4418107.29	-69811.93	361743.08	15.36	-900010.97***	0.43	OLS	22x1	公斤

5.氣候變遷對農業體系經濟評估

- 經濟模型
- 三大情境

49|GEMTEE 模型_1

- 中研院永續科學中心2012-2020年主題計畫補助與澳洲農業與資源經濟局(ABARES)共同研發
 - 台灣經濟與環境動態一般均衡(General Equilibrium Model for Taiwan Economy and Environment, GEMTEE)模型與資料庫的建置
- 模型架構
 - ✓同時加入資本與人口中長期預測之動態機制；
 - ✓透過次模組化系統(Sub-Modules)，包括：產業關聯價值鏈、糧食供需、財政收支、人口結構、能源供需、環境品質等帳表，進行橫向連結。

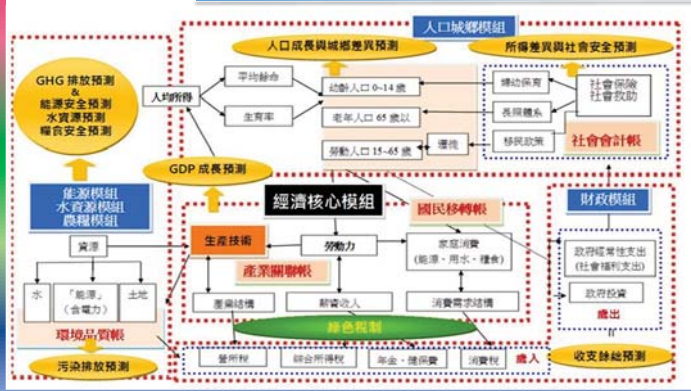
50|GEMTEE 模型_2

• GEMTEE為傳統「產業關聯模型」的延伸

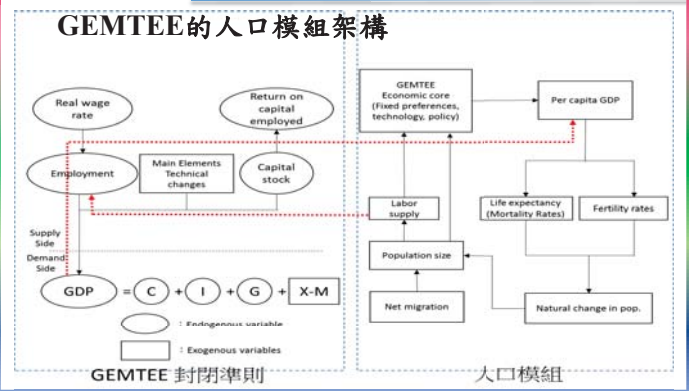
特點

1. 資源有限性→水、土地、能源、勞動力
2. 價格內生調整機制
3. 動態人口與資本結構
4. 基線預測
 - 產生指標：總體經濟指標、產業經濟指標、溫室氣體排放指標、所得不均指標、糧食安全指標等
5. 政策模擬與決策支援
 - 政策應用：減量與調適政策、能源政策、產業政策、國際貿易政策、財政政策、水資源政策、人口政策等

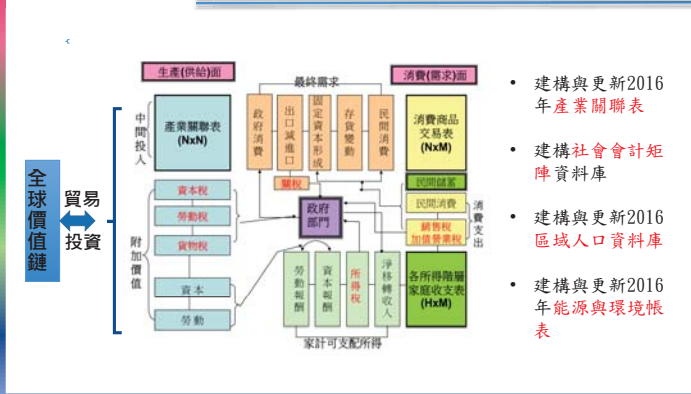
51|GEMTEE之政策分析模組與資料庫架構



52|人口成長內生化



53|模型架構-GEMTEE資料庫



2016年產業關聯簡表

單位：億元

	農業	工業	服務業	要中間需	消費	投資	輸出	要合計	最終需	總供給	產國內生	輸入
農業	978	2,815	528	4,321	3,100	34	356	3,490	7,811	6,313	1,498	
工業	1,456	118,840	18,543	138,839	19,419	24,662	96,439	140,520	279,359	197,675	81,684	
服務業	582	20,257	37,279	58,119	90,322	12,263	21,089	123,675	181,793	168,828	12,965	
小計	3,016	141,912	56,350	201,278	112,841	36,960	117,885	267,685	468,964	372,816	96,147	
勞動報酬	1,540	22,867	63,181	87,588								
營業盈餘(利潤)	1,722	17,030	32,610	51,363								
資本消耗	209	12,912	13,889	27,010								
間接稅	-174	2,954	2,798	5,578								
小計	3,297	55,763	112,478	171,538								
合計	6,313	197,675	168,828	372,816								

中間投入
原始投入

部門對照

001	稻作
002	雜糧
003	特用作物
004	蔬菜
005	水果
006	其他農作物
007	豬
008	其他畜牧產品
009	農事服務
010	林產品
011	漁產品

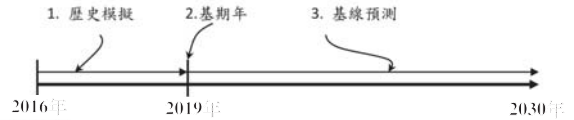
再將第一步驟推估氣候變遷對於農業部門未來細項作物生產影響結果對應到產業關聯表部門別分類。

55| 基線預測 (Baseline)

- 基線預測為某國家地區在給定的人口、技術與經濟成長率等外在變數成長值，不考慮溫室氣體減量或調適政策措施情況下，相關內生經濟變數成長率的預測。
 - 過去研究都將人口成長外生假設每年2%成長。
 - 未反映實際人口結構變化可能對於經濟、CO₂排放基線的影響
 - 2018年臺灣地區育齡婦女總生育率已降至1.06人，幾為世界最低。
- 過去其他國家相關研究也大多沒有反映內生人口變動對於CO₂排放的影響。
- AR5也開始關注人口驅動力
- 糧食安全的考量？

56| GEMTEE基線預測相關參數設定

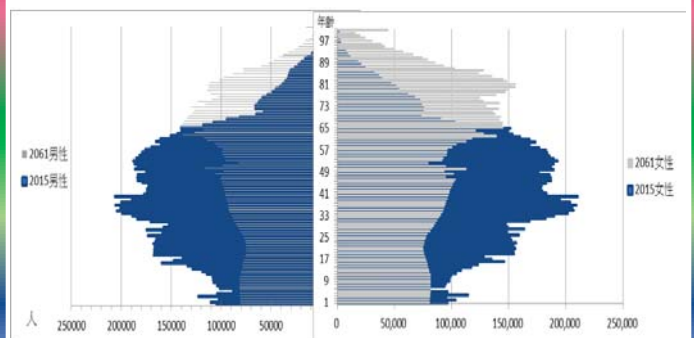
1. 2016-2019年的模擬，引用**歷史模擬封閉準則**；
 - 利用農業部門各產業歷史產量與耕種面積計算技術效率
2. 2019-2030年的模擬，則將歷史模擬中的內外生變數互換，並將**主要的外生經濟變數改設為內生**。
 - 包含歷史計算出的各產業每年技術成長率
 - 產業既定政策目標(如新農業創新推動方案、因應貿易自由化調整產業結構及永續農業發展目標)
 - 社會經濟路徑情境(SSPs)(如未來人口變動)
 1. 歷史模擬
 2. 基期年
 3. 基線預測



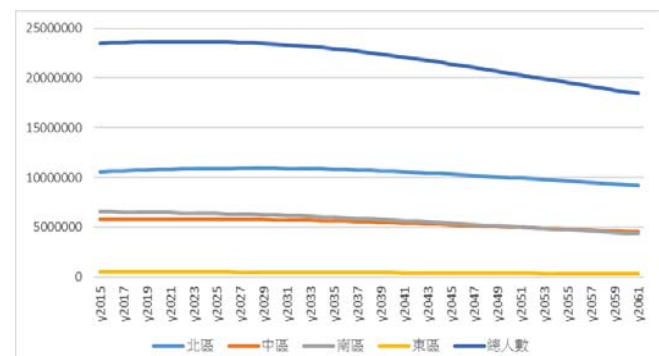
57| 社會經濟路徑情境

- 目前已確立五種「社會經濟路徑情境」(Shared Socio-Economic Pathway, SSPs)，分別為SSP1-SSP5 (Riahi et al., 2017)。
- 情境設計內容主要為針對未來全球各國之**人口變動**(出生率、死亡率、遷移率以及教育發展)、**都市化程度**以及**經濟發展程度**進行情境假設。
- 未來人口變化之假設將連動影響到SSPs之都市化及經濟成長假設，故**人口預測為未來氣候變遷下SSPs情境設定之關鍵**。

附錄二 GEMTEE台灣未來區域人口推估 (考慮縣市之間遷移)_1



附錄二 GEMTEE台灣未來區域人口推估 (考慮縣市之間遷移)_2



60| 三大假設情境_1

- 根據1910年至2010年的氣象資料
 - 過去一百年間台灣平均溫度上升1.4度
 - 同期間全球平均溫度上升0.74度，將近1.8倍。
 - 2016年也為1880年代有紀錄以來的平均溫度最高溫的一年，台灣全年高溫天數也創新高
 - 台北市全年超過73天為高溫日(中央氣象局氣候統計)
- 在雨量部分
 - 自1940年代開始，台灣降雨分佈不均愈發嚴重，全台降雨天數持續減低，降雨強度持續增加。
- 面對全球暖化的現象，台灣在極端氣候發生的頻率與強度更明顯嚴重於全球平均。

61| 三大假設情境_2

- TCCIP選取源自IPCC AR5共41組完整的模式結果的月平均降雨資料(與月平均地表溫度資料)。
- 使用未來推估部分為2006-2100共95年。
- 世紀末之溫度改變量與降雨變化率之基期為1986-2005共20年。

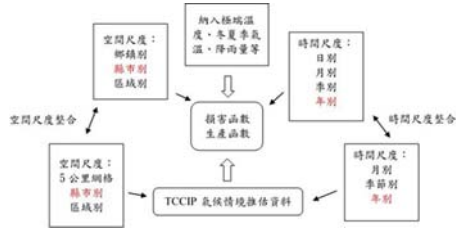


圖1 氣候情境推估資料與估計資料之空間、時間尺度整合

62| 情境一：氣溫上升1.5°C 臨界值_1



圖2 TCCIP推估未來氣候變遷情境下之平均溫度變化
資料來源: TCCIP (2018)

氣溫變化:

- 明顯可看出排放濃度越高之情境，暖化越嚴重，而隨著時間前進至2100年時，四個氣候情境之增溫情形有明顯差異，相較於1986至2005年之年平均溫度。

63| 情境一：氣溫上升1.5°C 臨界值_2

- 由圖3可看出年平均溫前三高之地區分別為台南市、高雄市以及屏東市
- RCP 8.5之增溫情形，在2081-2100年之模擬氣溫顯示台南市之年平均溫會接近27°C

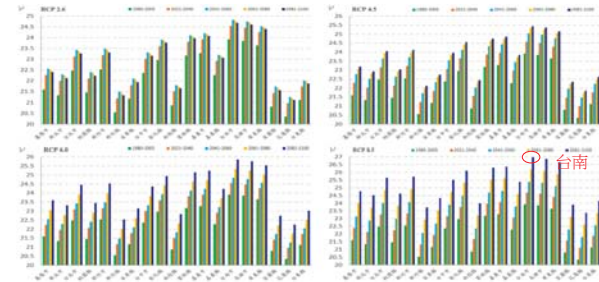


圖3 2021-2100年氣候變遷情境下各縣市之氣溫變化

64| 情境一：氣溫上升1.5°C 臨界值_3

- 除了RCP 2.6情境在2060年之後增溫情形減緩，其餘三個氣候情境之增溫情形皆是逐漸上升，RCP 8.5之增溫情形更是比RCP 4.5及RCP 6.0來的明顯

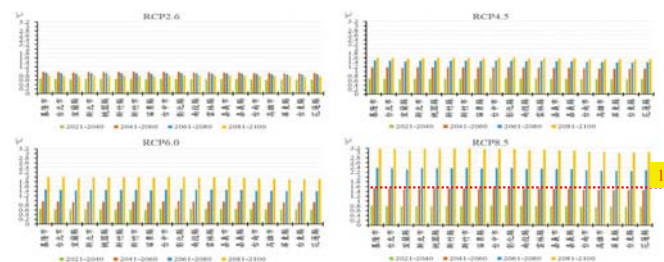


圖4 TCCIP統計降尺度氣候情境資料(各縣市氣溫變化)

65| 情境一：氣溫上升1.5°C 臨界值_4

- 根據推估作物單位面積產出之溫度的產量彈性，運用彈性值我們可以解析出溫度對不同作物產出的影響，彈性值的運算採用以下公式：

$$\text{平均溫度彈性值} = \frac{dY}{dTEMP} \times \frac{TEMP}{Y} \quad (1)$$

- Y 是各作物的產出，而TEMP是各作物種植地區月均溫之平均值。所以考慮未來各地區平均溫度變動之下，氣候變遷對於生產之直接衝擊影響。

66| 情境二：農業可用水資源短缺10%_1

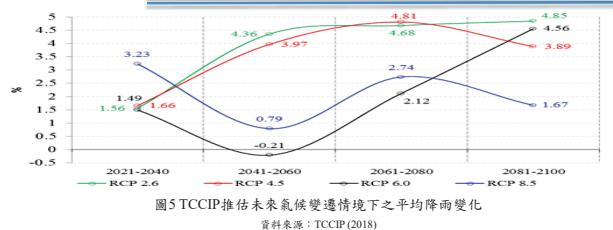


圖5 TCCIP推估未來氣候變遷情境下之平均降雨變化
資料來源: TCCIP (2018)

降雨變化:

- 在RCP2.6情境下之年平均降雨量變化於2021-2040年期間成長最為快速，之後至世紀末則緩步成長至4.85%；RCP6.0之模擬結果顯示於2041-2060年間之平均降雨量會較過去之平均降雨量少，假設未來臺灣用水量與過去相近，則在此情況下可能會出現缺水危機。

67| 情境二：農業可用水資源短缺10%₂

圖6為本研究以TCCIP模擬氣候資料計算之縣市別降雨量，可看出全台灣年降雨量前三多的縣市為基隆市、宜蘭縣以及新北市。



圖6 2021-2100年氣候變遷情境下各縣市之降雨量變化

68| 情境二：農業可用水資源短缺10%₃

據RCP6.0的路徑，2041-2060期間各地區降雨量減少的地區有基隆市、台北市、新北市、桃園縣、南投縣、嘉義市、高雄市、屏東縣、台東縣與花蓮縣。



圖7 TCCIP統計降尺度氣候情境資料(各縣市降雨量變化)

69| 情境三：災變天候事件₁

- 因為天候造成農業災害的類型主要有颱風、豪雨(可能是梅雨季或熱帶低壓)、低溫、寒流、遲發性鋒面、冰雹、強風、乾旱、霜害、地震、龍捲風等11種天然災害。
- 而很多災害不是每年都會發生，但颱風與豪雨幾乎是每年都會發生的天災，並且每次造成的損失也較大。
- 受災的財產類別主要有「產物損失」與「設施損失」兩類。

70| 情境三：災變天候事件₂

- 根據農委會2018年各縣市別天然災害農林漁牧損失，對於農作物的天候災害種類較多，全年農糧產品全年災損44.71億元，主要影響較大的天候災害為低溫跟降雨(水災、豪雨)之影響。
- 若以占全年生產的損失比例，水災損失占全年各縣市農糧生產百分比為0.01 ~ 3.81%，低溫造成的損失為0.01 ~ 2.73%。
- 全年天候災損又以高雄市、屏東縣以及雲林縣受損最大。

71| 情境三：災變天候事件₃

2018年天然災害農業損失-按縣市別

災害別	水災	冰雹	低溫	乾旱	強風	豪雨	颱風	霜害	震災	合計
新北市	0	0	1.92	0	0	0	1.88	0	0	3.80
台北市	0	0	0	0	0	0	0.67	0	0	0.67
桃園市	0	0	1.73	3.19	0	0	6.23	0	11.14	21.19
台中市	6.42	0	98.60	2.61	0	2.17	0	2.22	0	112.03
台南市	460.74	5.41	26.17	0	0	14.33	0	0	0	506.66
宜蘭縣	0	0.00	28.07	0	0	0	0	0	0	28.07
高雄市	618.54	0.00	171.05	0	0	17.03	0	0	0	806.63
新竹縣	0.40	0.00	34.11	0	0	6.85	0	0	0	41.37
苗栗縣	6.33	0	60.65	0	0	1.36	2.23	99.00	0	169.57
彰化縣	0	0	0.80	0	0	53.63	0	0	0	54.43
南投縣	2.02	17.81	56.21	0	0	0	0	0	0	76.03
雲林縣	996.52	0	2.15	0	0	11.61	0	0	0	1010.29
嘉義縣	350.11	0	13.61	0	0	5.95	0	0	0	369.67
屏東縣	322.32	0	674.81	0	0	0	1195.43	16.17	0	2108.73
台東縣	0	0	0	0	0	52.79	0.10	0	0	52.88
花蓮縣	0	0	14.93	0	0	0	1.57	0	0	17.28
澎湖縣	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06
基隆市	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新竹市	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
嘉義市	2.09	0	0	0	0	0.13	0	0	0	2.22
金門縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
連江縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	2765.55	23.22	1184.81	5.80	0.00	354.44	35.71	101.22	0	7744.72

2018年天然災害農業損失占全年可能生產百分比-按縣市別

災害別	水災	冰雹	低溫	乾旱	強風	豪雨	颱風	霜害	震災	合計
新北市	0	0	0.06	0	0	0	0.06	0	0	0.13
台北市	0	0	0	0	0	0	0.13	0	0	0.13
桃園市	0	0	0.02	0.05	0	0	0.09	0	0	0.16
台中市	0.02	0	0.32	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.37
台南市	1.63	0.02	0.09	0	0	0.05	0	0	0	1.79
宜蘭縣	0	0	0.46	0	0	0	0	0	0	0.46
高雄市	3.81	0	1.05	0	0	0.10	0	0	0	4.96
新竹縣	0.01	0	0.89	0	0	0.18	0	0	0	1.08
苗栗縣	0.06	0	0.55	0	0	0.01	0.02	0.90	0	1.54
彰化縣	0	0	0	0	0	0.20	0	0	0	0.21
南投縣	0.01	0.06	0.19	0	0	0	0	0	0	0.25
雲林縣	2.56	0	0.01	0	0	0.03	0	0	0	2.70
嘉義縣	1.43	0	0.06	0	0	0.02	0	0	0	1.51
屏東縣	1.30	0	2.73	0	0	0.79	0.07	0	0	4.88
台東縣	0	0	0	0	0	0.47	0	0	0	0.47
花蓮縣	0	0	0.20	0	0	0	0.02	0.01	0	0.23
澎湖縣	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05
基隆市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新竹市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
嘉義市	0.36	0	0	0	0	0.02	0.01	0	0	0.38
金門縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
連江縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

72| 情境三：災變天候事件₄

2018年天然災害漁業損失-按縣市別

地區	損失金額			損失百分比		
	豪雨	颱風	合計	豪雨	颱風	合計
新北市	1807	0	1807	0.05	0	0.05
宜蘭縣	0	16543	16543	0	0.39	0.39
雲林縣	3834	0	3834	0.06	0	0.06
嘉義縣	0	1725	1725	0	0.03	0.03
屏東縣	0	163143	163143	0	1.26	1.26
花蓮縣	1608	0	1608	0.35	0	0.35

資料來源：農委會天然災害農業損失與本研究整理。

2018年天然災害畜牧業損失-按縣市別

地區	損失金額		百分比
	損失金額	損失金額	
臺南市	57394.44		0.2761
高雄市	3658.3		0.0392
雲林縣	1377.85		0.0042
嘉義縣	112076.9		0.8413
屏東縣	1946.61		0.0061
嘉義市	108		0.1158

73|情境三：災變天候事件_5

- 透過過去2014~2018之五年歷史資料計算主要農作物生產地去曾經因為低溫、強降雨...等各種天候災害所造成的損失
- 以過去平均每年天後災害損失的幅度(近三年或近五年平均)作為未來平均每年直接損失，模擬未來因天候災害造成作物生產與經濟損失。

74|情境三：災變天候事件_6

2014~2018年天然災害農業損失百分比-按縣市別 2014~2018年天然災害漁業損失百分比-按縣市別

地區別	2014	2015	2016	2017	2018	單位-%	
						近三年平均	近五年平均
新北市	0.13	8.23	2.82	2.76	0.11	1.90	2.81
台北市	0.04	7.37	11.20	0.62	0.13	3.98	3.87
台中市	2.34	0.29	0.62	0.18	0.16	0.32	0.72
台南市	0.18	7.99	8.36	2.58	0.37	3.77	3.90
高雄市	0.57	10.12	16.55	0.10	1.79	6.15	5.83
宜蘭縣	1.93	60.91	73.18	31.30	0.46	34.98	33.56
桃園市	0.78	10.91	7.97	6.31	4.96	6.42	6.19
新竹縣	0.38	0.83	5.79	0.61	1.08	2.50	1.74
苗栗縣	1.72	5.10	9.03	2.25	1.54	4.27	3.93
彰化縣	1.82	7.58	8.88	0.76	0.21	3.28	3.85
南投縣	0.41	1.69	4.29	0.45	0.25	1.67	1.42
雲林縣	0.26	5.41	8.82	2.76	2.70	4.76	3.99
嘉義縣	0.15	6.85	11.74	0.88	1.51	4.71	4.23
屏東縣	1.61	4.22	10.69	0.71	4.88	5.43	4.42
台東縣	1.46	0.21	19.08	0.44	0.47	6.66	4.33
花蓮縣	10.28	7.48	5.17	1.12	0.23	2.17	4.86
澎湖縣	0.00	1.61	5.01	0.10	0.05	1.72	1.35
基隆市	0.00	9.79	4.33	1.69	0.00	2.00	3.16
新竹市	0.00	0.98	2.05	0.00	0.00	0.68	0.61
嘉義市	0.30	5.44	5.61	0.14	0.38	2.04	2.37
金門縣	0.00	0.00	8.29	0.00	0.00	2.76	1.66

75|情境三：災變天候事件_7

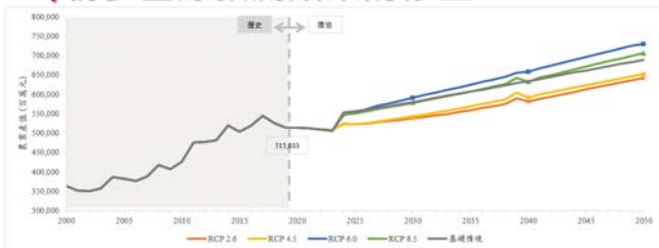
2014~2018年天然災害畜牧業損失百分比-按縣市別 單位-%

地區別	2014	2015	2016	2017	2018	單位-%	
						近三年平均	近五年平均
臺南市	0.00	0.03	0.10	0.01	0.28	0.13	0.08
高雄市	0.00	0.04	0.12	0.00	0.04	0.05	0.04
宜蘭縣	0.00	0.27	0.13	0.01	0.00	0.05	0.08
雲林縣	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01
嘉義縣	0.00	0.03	0.02	0.01	0.84	0.29	0.18
屏東縣	0.00	0.01	0.07	0.03	0.01	0.04	0.02
臺東縣	0.00	0.00	0.49	0.21	0.00	0.23	0.14
花蓮縣	0.12	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03
嘉義市	0.00	0.07	0.00	0.00	0.12	0.04	0.04
金門縣	0.00	0.00	2.29	0.00	0.00	0.76	0.46

76|未來三大假設情境(基線預測的修正)

- 在原本的基線預測基準上，分別考量三大氣候變遷情境假設加以修正(農業受到氣溫上升1.5°C臨界值、農業可用水資源短缺10%、災變天候事件)，並與原基線預測結果進行比較，其差異即為氣候變遷對於我國農業部門之衝擊影響。
- 評估指標：農林漁牧各產業之生產、市場、消費、所得、整體社會經濟及糧食安全。
 - 並依據前述影響評估結果，確定優先之改善項目或採取措施，以利調適路徑研擬，強化調適政策之執行，強化農業之經濟恢復力與產業韌性，確保我國糧食安全。

77|初步基線預測結果的修正



年份	2021-2030	2031-2040	2041-2050
基礎情境	549206	610320	665174
RCP2.5	523911	563608	615833
	-4.61%	-7.65%	-7.42%
RCP4.5	524977	573548	626817
	-4.41%	-6.03%	-5.77%
RCP6.0	551752	629093	700271
	0.46%	3.08%	5.28%
RCP8.5	546552	611977	675454
	-0.48%	0.27%	1.55%

6.結論

79| 結論_1

- 農糧作物
 - 氣溫的上升、氣溫及降雨的變異對於作物單位產量的影響有正有負。
 - 降水量增加普遍會使得作物之產量下降。
- 畜產品
 - 氣溫、降雨、氣溫的變異三者的上升對於作物單位產量的影響有正有負。
 - 降水量變異增加普遍使畜產品之產量下降。

80| 結論_2

- 漁產品
 - 氣溫、降雨、雨量的變異三者的上升對於作物產量的影響有正有負。
 - 氣溫變異對漁產品產量影響不顯著。
- 林產品
 - 降雨、氣溫變異、雨量變異對林產品產量影響皆不顯著。
 - 溫度上升僅造成枝梢材產量顯著提高、薪材產量顯著減少
- 後續將根據推估之結果(溫度與雨量對於作物影響)，結合三個未來氣候情境，進一步評估氣候變遷對於農業部門衝擊影響評估。

氣候變遷下農業水資源調適因應策略

虞國興¹

近臺灣因地形高山陡峭而河川短急，降雨進入河川逕流快速流入大海，能夠留住的水資源相當有限。隨著社會環境變遷，民生與工業用水需求日益增加，水資源開發不易，農業灌溉用水占大宗，且耕地逐年減少，當水資源不足時，移用農業用水之休耕與限縮農業用水政策，將影響臺灣的糧食生產與供給穩定、安全。

依據 2017 年經濟部水利署統計資料顯示，臺灣年用水量僅占年雨量 18%，而高達 66% 降雨流入大海。而年用水量中僅有 25% 來自水庫供水，穩定水源比例偏低；由河川引水占 42%；其餘為抽取地下水使用占 33%。其中，生活、工業與農業用水比例占年用水量比例分別為 20%、10% 及 70%，能夠有效利用的地表水資源相當有限，而地下水源已長期存在超抽及地層下陷問題。自 1982 年起至 2015 年農業灌溉用水平均每年減少約 27 億噸，民生與工業用水平均每年增加 14 億噸，顯示灌溉減少的水量並未反應在民生與工業用水上，而讓寶貴的水資源無形之中流失。

在 109 年 10 月 1 日農田水利署成立後，規劃在 10 年之內，將所有耕作農地納入灌區、適地適灌及保障良好水質。然而，面對未來極端天氣風險，依長期水資源計畫(經濟部，2016)評估，15 年後(2031 年)，在自來水漏水率自當時 17% 降到 12% 之後，全台仍有 7 個縣市面臨缺水，且每天達 64 萬噸。可預期的，未來面對高溫、暴雨、長期乾旱等天氣情境，農業水資源將面臨農業用水限縮、移用、減少及農業政策壓力等複合式的挑戰。

在鄰近臺灣的日本，長期為降低缺水風險而積極興建水庫，且從未考量永久性移用農業用水來支應生活與工業用水。其政策思惟主要在於加強回收利用可減少工業廢水對環境的污染，並肯定農業用水對維護自然環境生態的正向回饋。

綜觀整體環境、政策，面對氣候變遷，臺灣農業水資源的挑戰，不在於提升農業用水效率或乾旱情境，而在於水資源的流失。因此，將雨水留住是幫我們停住惡性循環的唯一有效解決之道。例如，嘗試打造水鄉型社會，善加利用既有農業取水口設施，於中水位時超量引取河川水量流入田區，並規劃設置多個系統性中小型蓄水池，增加土壤入滲，作為灌溉補助水源及涵養生態環境。

全球暖化仍會持續，氣候變化還會更極端，2020 年面臨的旱象，在未來會是個常態，面對此等挑戰，除須改善灌溉系統，提升灌溉效率外，最重要的工作就是「將雨水留住」，不論是在地表上或地下，這也是阻止現行用水結構陷於惡性循環的唯一解決之道。

¹財團法人台灣水資源與農業研究院 院長



氣候變遷下農業水資源調適因應策略



虞國興 院長

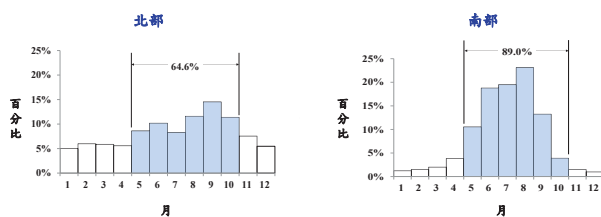
2020.10.21

大綱

- 前言
- 農業水資源面臨複合式的挑戰
- 台灣缺水的關鍵因素何在？
- 日本能，台灣何以不能？
- 打造台灣成為「水鄉型社會」
- 結語

前言

- 台灣地區降雨在時間與空間上分佈均極為不均，豐枯時期降雨量之比率，北部地區為 6：4，南部地區高達 9：1。



前言

● 用水結構

- 台灣地區年雨量約936億噸，其中16%蒸發，5%入滲地下，78%形成河川逕流量，且66%流入大海。
- 年用水量約167億噸，僅佔年雨量936億噸之18%。
- 年用水量僅25%來自水庫，河川取水高達42%，抽用地下水佔33%。



農業水資源面臨複合式的挑戰

- 限縮農業水資源
 - 移用農業水資源
 - 部分地區農業水資源不足
 - 提升糧食自給率
 - 擴大灌區服務
 - 氣候變遷的衝擊

農業水資源面臨複合式的挑戰

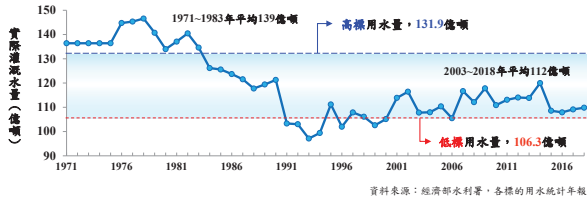
● (1) 限縮農業水資源

- 於民生與工業用水需求日益增大，且水資源開發不易下，因農業灌溉用水占大宗，且耕地逐年減少，遂有限縮農業水資源之倡議。
- 行政院2000年核定「農業用水量化目標及總量清查報告」，高、低標灌溉用水量分別設定為131.9與106.3億噸。

農業水資源面臨複合式的挑戰

● (1) 限縮農業水資源

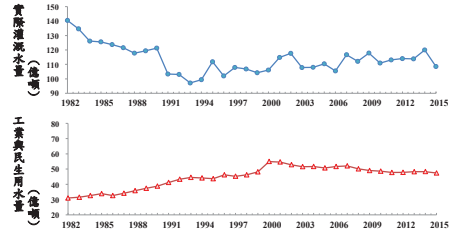
- 2003~2018年間農業灌溉用水平均約112億噸，已接近灌溉用水量低標106.3億噸，與早年用水高峰期(1971~1983年)平均約139億噸相較，平均每年減少27億噸。



農業水資源面臨複合式的挑戰

● (1) 限縮農業水資源

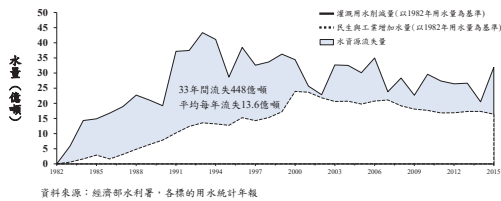
- 農業灌溉用水自1982年140億噸，逐年減少至2010~2015年之平均110億噸。
- 工業與民生用水自1982年30億噸，逐年增加至2000年達高峰58億，至2010-2015年之平均48億噸。



農業水資源面臨複合式的挑戰

● (1) 限縮農業水資源

- 農業灌溉用水自1982年起逐年減少，累積減少灌溉用水量至2015年達913億噸，平均每年約減少27億噸。同時期民生與工業用水卻僅增加465億噸，平均每年僅增加約14億噸，顯示所減少的灌溉用水量並未呈現在民生與工業用水上，換言之，33年間流失448億噸，平均每年平流失了13.6億噸的寶貴水資源。



農業水資源面臨複合式的挑戰

● (2) 移用農業水資源

- 自1960年起，60年中：
 - 發生嚴重乾旱10次，小規模乾旱22次，共計32年具有旱象。
 - 2000年後，20年間計有14年發生旱象，嚴重乾旱佔7次，小規模乾旱7次。



農業水資源面臨複合式的挑戰

● (2) 移用農業水資源

年度	停灌範圍	停灌面積 (公頃)	補償經費 (億元)	調用水量 (億噸)
2002	石門、新竹	15,000	11.3	2.3
2003	桃園、新竹	28,000	10.6	2.4
2004	桃園、石門、新竹 苗栗、嘉南	65,000	27.9	4.0
2006	桃園、新竹、苗栗	31,000	14.0	4.3
2010	苗栗、嘉南	22,000	14.2	3.0
2015	桃園、新竹、苗栗 台中、嘉南	43,700	26.4	4.1
2018	苗栗	1,175	0.659	0.038
2020	桃園、新竹、苗栗	19,000	—	—

農業水資源面臨複合式的挑戰

● (3) 部分地區農業水資源不足

- 水源不足地區，農民需自覓灌溉水源，全國登記有案合法水井計29,058口。惟仍約有30萬口非法水井，其抽取量並未納入統計，台灣地下水實際抽取量遠較公佈數字為高。



縣市	歷年查獲井數	縣市	歷年查獲井數
宜蘭縣	6,878	嘉義市	488
臺北市	966	嘉義縣	33,696
新北市	1,384	臺南市	24,862
桃園市	1,567	高雄市	20,114
新竹市	774	屏東縣	18,071
新竹縣	1,761	花蓮縣	—
苗栗縣	8,608	臺東縣	—
臺中市	1,162	金門縣	—
南投縣	—	連江縣	—
彰化縣	75,266	澎湖縣	4,427
雲林縣	107,785	合計	307,809

資料來源：地下水管理暨地層下陷防治第2期計畫(104~109年)

農業水資源面臨複合式的挑戰

- (4) 提升糧食自給率
 - 新農業創新推動方案



資料來源：國家發展委員會

農業水資源面臨複合式的挑戰

- (5) 擴大灌區服務
 - 迄今納入水利會灌區的農地僅約31萬公頃，改制後目標十年內將全國37萬公頃非灌區農地也納入供灌。

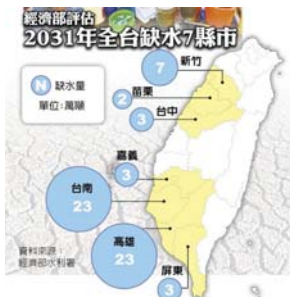
農田水利署10/1掛牌 編153億建設 / 前任署長蔡昇雨：10年內全國耕地納入灌區，保障良好水質



2020.9.28 自由時報

農業水資源面臨複合式的挑戰

- (6) 氣候變遷的衝擊
 - 除農業水資源減少10%外，當民生與工業不足時，常以移用農業水資源的解決措施。
 - 面對未來極端氣候風險，經濟部2016年發佈，依長期水資源計畫評估，15年後(2031年)，在自來水漏水率(2015年17%，至2031年降為12%)後，全台仍將有7縣市面臨缺水，每天達64萬噸。



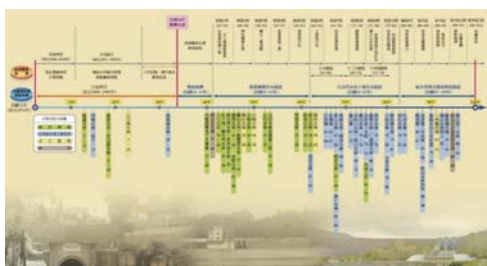
2016.4.10 中國時報

台灣缺水的關鍵因素

- 穩定的水庫水源稀少
 - 高度仰賴河川取水
 - 地下水日益枯竭
 - 河川基流量逐年減少
 - 未將雨水留住

台灣缺水的關鍵因素

- (1) 穩定的水庫水源稀少
 - 台灣自1990年起甚少興建蓄水設施，近年完工之蓄水設施，僅湖山水庫(2016年，0.51億噸)、中庄調整池(2017年，0.05億噸)。
 - 台灣水庫計有95座，有效容量僅19.8億噸，僅占年用水量12%，遠較世界各國偏低。



台灣缺水的關鍵因素

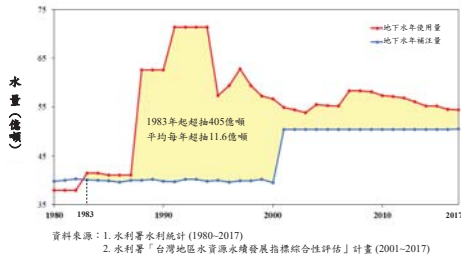
- (2) 高度仰賴河川取水
 - 以高雄供水情勢為例，高雄地區因無大型水庫可蓄豐濟枯，日用水量157萬噸中，水庫水源占20%，59%取自高屏溪攔河堰，21%來自地下水及伏流水。
 - 供水穩定度受降雨情勢影響極大，當降雨不如預期，水庫水源與河川流量均日漸減少，自然增加取用地下水。



台灣缺水的關鍵因素

(3) 地下水日益枯竭

- 台灣自1983年起超抽地下水，至2017年累積超抽地下水量達405億噸，35年間平均年超抽水竟高達11.6億噸，約3.5個翡翠水庫，若再不謀求對策，台灣地下水勢將枯竭。

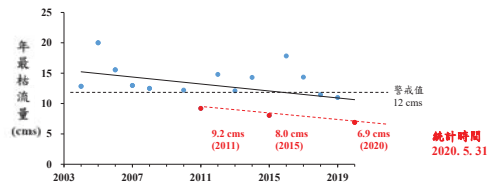


資料來源：1. 水利署水利統計(1980-2017)
2. 水利署「台灣地區水資源永續發展指標綜合性評估」計畫(2001-2017)

台灣缺水的關鍵因素

(4) 河川基流量逐年減少

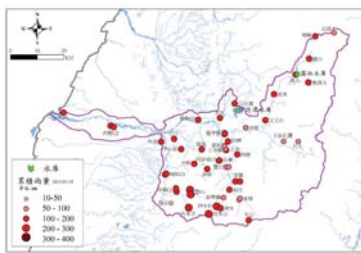
- 台灣地區因大量抽用地下水與伏流水、快速排除兩水之治水思維及強降雨均使入滲減少，致使河川基流量逐年減少，且年最枯流量亦呈逐年下降趨勢，此現象對水資源情勢極為不利。
- 以高雄供水情勢為例，高屏溪歷史最枯流量亦呈下降趨勢，由2011年9.2cms，降至2015年8.0cms，再降至2020年6.9cms。



台灣缺水的關鍵因素

(5) 未將雨水留住

- 台灣真的缺水？2015年發生之大旱，於5/24-5/26梅雨中解除。以濁水溪流域為例，雖然該場暴雨灌滿了霧社與日月潭水庫，但大量雨水因缺乏蓄水設施而隨即流入大海。



霧社水庫

日期	入庫流量 (萬噸)
5/24	1131.54
5/25	1230.83
5/26	1401.63
合計	3763.90

日本能，台灣何以不能？

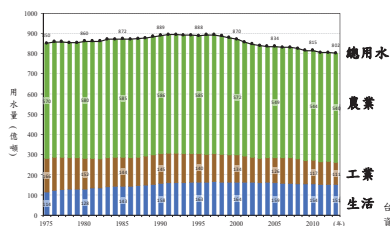
日本水資源利用政策思維

- 日本在追求經濟發展的歷程中，不因工業的產值逐年增大，與農業產值逐年減少，而限縮或移用農業用水，以滿足生活與工業用水之需。
- 肯定農業用水對維護自然環境生態、提升民眾生活品質與確保糧食生產安全等，都有著深遠巨大的正面貢獻。
- 為減少工業廢水對環境的污染，強制要求工業必須加強回收再利用。

日本能，台灣何以不能？

日本水資源利用政策思維

- 生活用水自1975年114億噸逐年增加，至1997年高峰165億噸，約增加45%，達50億噸。
- 同一期間，工業的淨用水量因加強回收再利用，由166億噸減至140億噸，約減少16%，達26億噸。
- 同一期間，農業用水由570億噸增至597億噸，約增加5%，達27億噸。

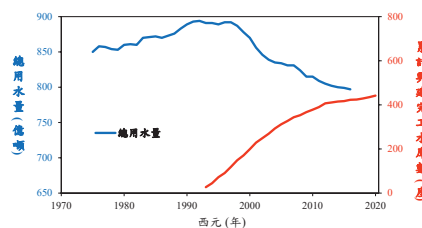


臺灣水資源與農業研究院整理
資料來源：平成28年版 日本の水資源の現況

日本能，台灣何以不能？

日本水資源利用政策思維

- 日本為降低缺水風險，即使在年總用水量，逐年下降的情況下，仍然積極興建水庫，在過去26年間興建完工435座水庫



臺灣水資源與農業研究院整理
資料來源：1. 令和元年版 日本の水資源の現況
2. 一般財団法人日本ダム協会 ダム便覧2020

年	興建完工水庫數
1993	27
	18
1995	27
	19
	28
	30
2000	22
	28
	30
	20
	20
2005	24
	19
	15
	17
	9
2010	14
	11
	12
	17
	4
	4
2015	2
	6
	1
	5
2019	6
合計	435

日本能，台灣何以不能？

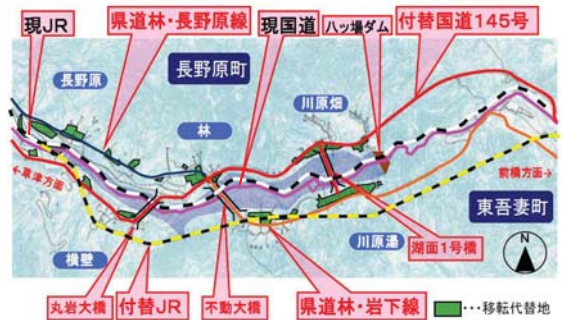
● 日本八場水庫若在台灣，蓋得起來？

- 1947年超級颱風侵襲，下游東京都會區遭逢重大災情，而提出興建計畫。
- 水庫將淹沒全日本非常知名的“川原湯溫泉”與吾妻峽的天然景觀，且有340戶居民必須遷移，故引發居民激烈的抵制，認為不應為了東京圈，犧牲當地居民權益。
- 歷經50餘年三個世代的溝通協調，於2020年完工蓄水。



日本能，台灣何以不能？

● 日本八場水庫生活重建方案



日本能，台灣何以不能？

● 留住一滴水系列報導-日本·八場水庫



資料來源：大愛電視
留住一滴水系列報導(2019.02.06)

打造台灣成為「水鄉型社會」

● 政策思維

- 台灣在治水策略上，應將豪雨資源化，在降雨立即排除的大原則下，應思考讓雨水在土地上多停留一些時間，並多留住一些水。
 - 可增加降雨利用率。
 - 可增加降雨入滲機會，涵養地下水，提升枯水期河川基流量。
 - 可改善環境、維護生態與空氣品質。

打造台灣成為「水鄉型社會」

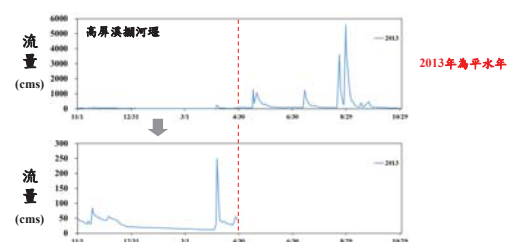
● 策略

- 善加利用既有農業取水口設施，超量引取河川於「中水位(暫定 Q_{40} ~ Q_{60} 之水位)」時之水量流入田區，並規劃建置多個系統性中小型蓄水池。
 - 於系統性蓄水池尚未及建置完成前，讓多餘水量穿流灌渠中，除可增加入滲機會，也能活化生態機能。
 - 設置系統性蓄水池後，除可作為灌區輔助水源外，也可滿足擴大灌區的用水需求，並減緩氣候變遷及其所引發移用農業用水之衝擊。

打造台灣成為「水鄉型社會」

● 超量引水

- 河川流量隨降雨豐枯波動極大，大多數時間，河川流量遠大於需水量，這些水大都流入大海，應鼓勵農業超量引灌，儘可能將水留在田區。



打造台灣成為「水鄉型社會」

- 恢復管理處既有取水能力
 - 農田水利署各管理處攔河堰取水設施計有792座，兼具灌溉用水取水及彈性調配功能。

管理處	固定式攔河堰(座)	臨時攔水堰(座)	管理處	固定式攔河堰(座)	臨時攔水堰(座)
宜蘭	27	29	雲林	21	15
北基	15	6	嘉南	41	-
桃園	191	-	高雄	1	-
石門	115	2	屏東	9	4
新竹	32	23	臺東	3	19
苗栗	33	24	花蓮	9	75
臺中	6	36	七星	8	1
南投	41	2	瑤公	2	-
彰化	2	-			
總計	556座 固定式攔河堰；236座 臨時攔水堰				

資料來源：107年度農田水利會資料輯

打造台灣成為「水鄉型社會」

- 以高雄管理處曹公圳灌區為例
 - 曹公圳灌區水權量為9.6cms，目前灌溉面積減少至2,700公頃，用水量僅需4cms，因曹公圳水源乃以電力抽取高屏溪河水，高雄管理處為節省電費開支，不再抽取剩餘水量5.6cms，任其流入大海。



石尖仔圳(小港區)



蓮池潭

資料來源：曹公圳舊水路與消失古埤塘-廖德宗2012.02

結語

- 全球暖化仍會持續，氣候變化還會更極端，2020年面臨的旱象，在未來會是個常態，面對此等挑戰，除須改善灌溉系統，提升灌溉效率外，最重要的工作就是「將雨水留住」，不論是在地表上或地下，這也是阻止現行用水結構陷於惡性循環的唯一解決之道。

感謝聆聽



水的結晶—感謝

摘自《生命的答案—水知道》2002.10

日本IHIM研究所江本勝博士等人自1994年起，以高速攝影技術來觀察水的結晶，他們發現帶有「善良、感謝、神聖」等的美好訊息，會讓水結晶成美麗的圖形。

從臺灣氣候變遷大數據看農業可能的衝擊與風險

陳永明¹

徐永衡²、黃亞雯²、黃亞婷²、劉玫婷²、劉曉薇²、李欣輯²

氣候變遷對農業的影響影響深遠，包含極端天氣型態與頻率的改變，整體氣候長期趨勢的變遷，都會對作物的生長歷程、致災可能與適栽區分佈產生關鍵性的影響。

本報告透過科技部的「台灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」(簡稱TCCIP計畫)的氣候變遷大數據資料庫，分析台灣過去與未來在極端溫度、季節變遷、降雨型態以及災害性天氣的變化趨勢，及其可能在農業領域的衝擊與應用。

同時介紹在農委會韌性農業計畫的推動下，以特定作物為示範，介紹如何結合作物致災門檻值、相對應之氣候變遷趨勢以及災害風險地圖於農業之跨域應用之可能。

1 國家災害防救科技中心氣候變遷組 研究員兼組長，

2 國家災害防救科技中心

行政院農業委員會農業試驗所
National Science and Technology Center for Disaster Reduction

從臺灣氣候變遷大數據 看農業可能的衝擊與風險

陳永明
徐永衡、黃亞雯、黃亞婷、劉玫婷、劉曉薇、李欣輯

國家災害防救科技中心
氣候變遷組

NCDR

台灣氣候變遷變化趨勢

2020/10/5

台灣氣候變遷科學重要資訊來源：TCCIP

學術研發 臺灣氣候變遷推估與資訊平台

中央氣象局 水利署、農試所...
科技部 國家災害防救科技中心
中研院環境變遷中心 師大、台大、交大、中大、北市大、彰師大、長榮大...

國際接軌
IPCC CMIP5資料
日本氣候變遷創生計畫
高解析氣候模式 (20KM) 資料
高解析度AGCM (GFDL HiRAM, NCAR CAM5)
CORDEX-EA 資料

應用研究
政策綱領調適行動領域
災害 土地 設施 維生基礎 水資源 海岸 農業、生態 健康 能源產業

強化 新增

3

氣候變遷科學報告2017

臺灣氣候變遷科學報告 2017 - 物理現象與機制
臺灣氣候變遷科學報告 2017 - 衝擊與調適面向

2020/10/5 <http://tccip.ncdr.nat.gov.tw>

台灣氣候的過去與未來

重要發現

- 全球與臺灣過去與未來的溫度變化
- 全球與臺灣過去與未來的海平面變化
- 全球與臺灣過去與未來的降雨量變化
- 臺灣過去季節變遷趨勢
- 臺灣極端溫度/熱浪變遷
- 臺灣極端降雨指標推估
- 西北太平洋與侵台颱風變化趨勢

<http://tccip.ncdr.nat.gov.tw>

面對氣候變遷，帶來的是哪類型的災害風險？

Number killed

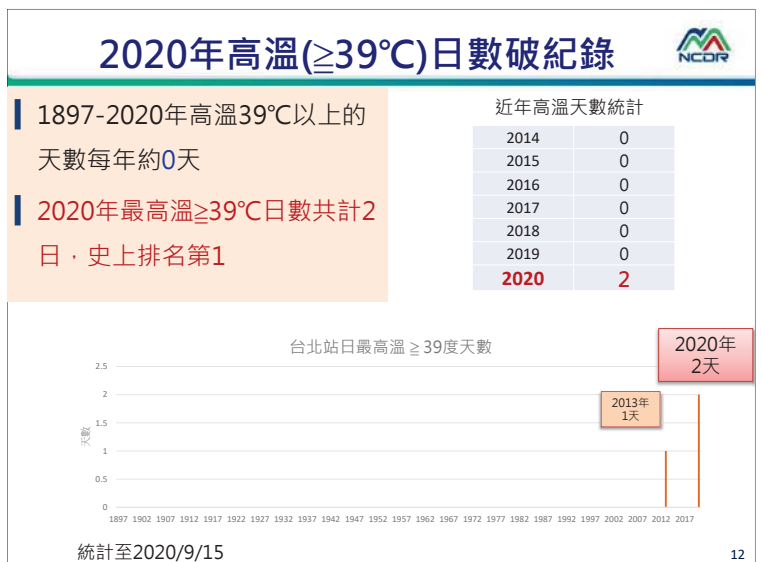
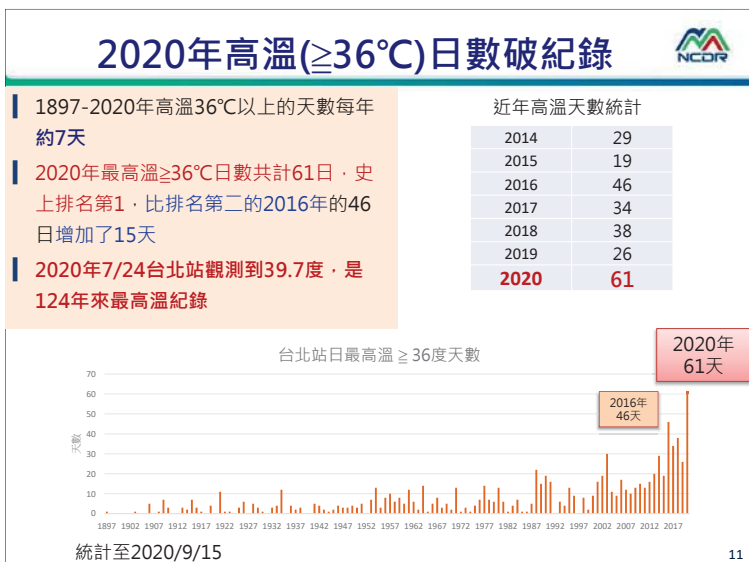
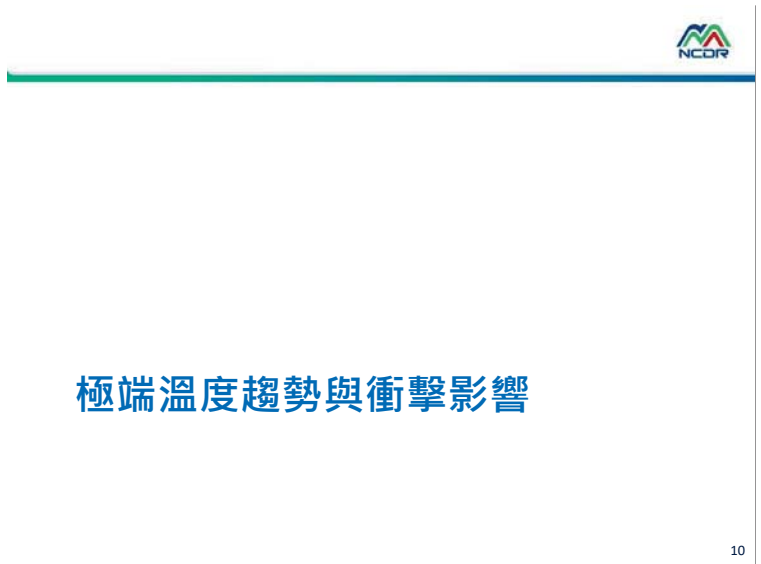
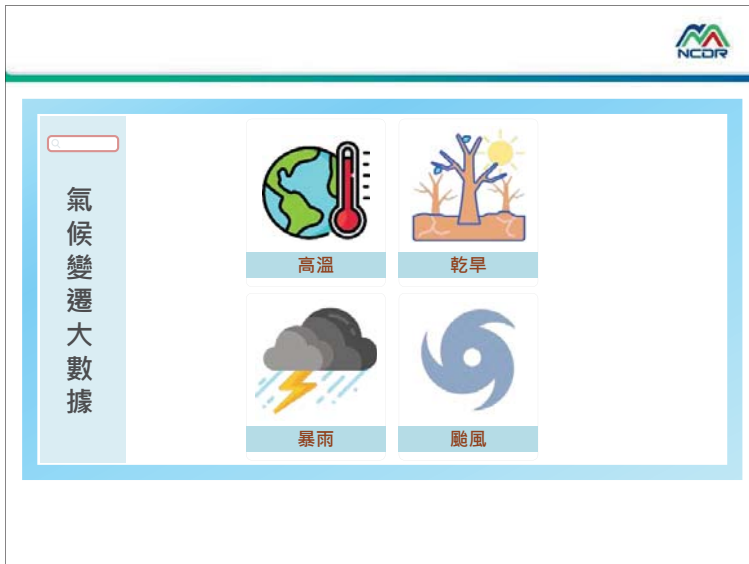
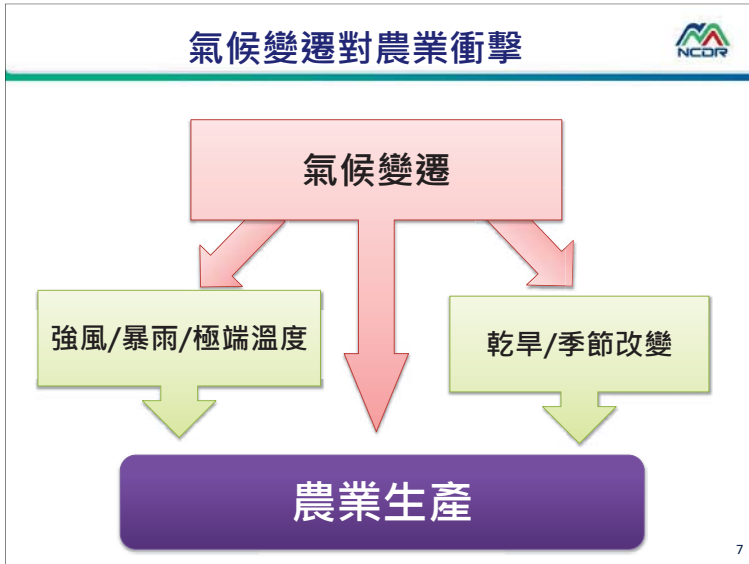
集中型災害風險 (Intensive Risk):
極端事件? 卡崔娜颶風、莫拉克颱風?

廣泛型災害風險 (Extensive Risk):
氣候變遷? 社會與環境變遷?

Risk type	Hazard type	Reports	%	Deaths	%	Houses destroyed	%	Houses damaged	%
Extensive	Weather-related	188,236	96.3	59,911	9.2	1,096,891	18.3	5,674,114	50.1
Extensive	Geological	5,565	2.8	2,861	0.4	104,451	1.7	431,613	3.8
Intensive	Weather-related	1,293	0.7	182,723	27.9	3,079,749	51.4	3,806,413	33.6
Intensive	Geological	464	0.2	408,303	62.5	1,717,405	28.6	1,410,417	12.5
TOTAL		195,558	100.0	653,798	100.0	5,998,496	100.0	11,322,557	100.0

集中型災害風險: 機率小，但帶來巨大傷亡與損失

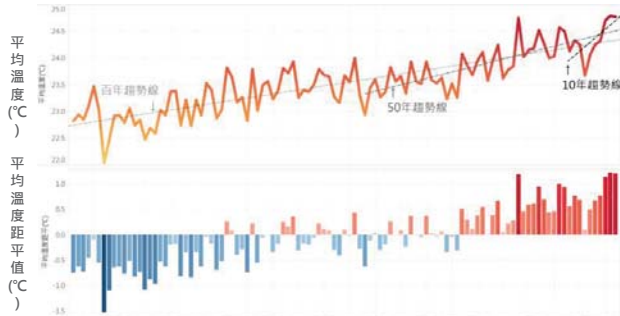
GAR 2011



臺灣溫度過去百年增溫顯著



- 呈現年代變化、階段性上升、**近年增溫加速**
 - 臺灣平地溫度**增加1.3°C** (1900-2012年)
 - **近50年、近10年增溫加速**

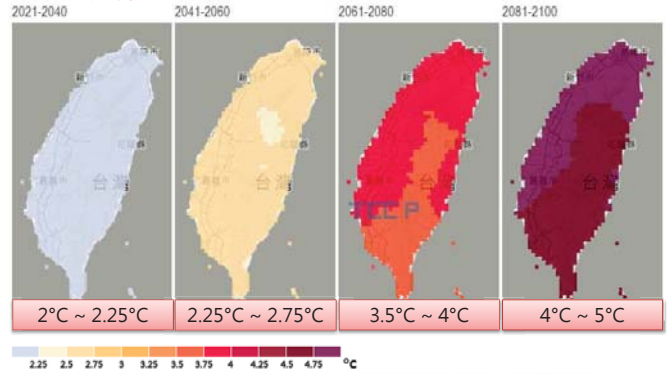


13

未來百年溫度推估(空間分佈)



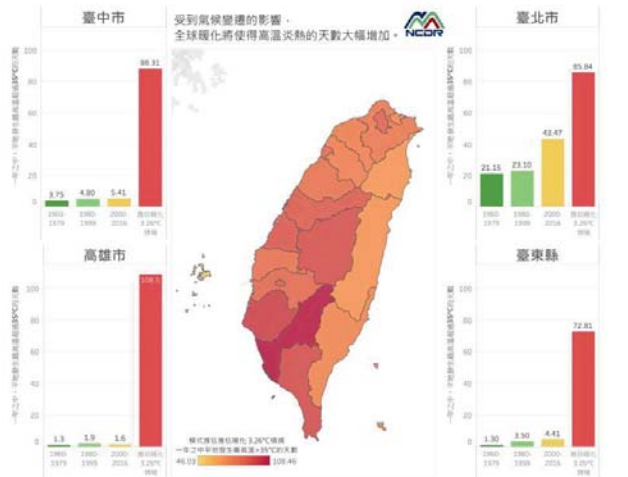
RCP 8.5 模式最大年平均溫度改變量



最劣情境下, 溫度逐年增加
北部增溫的狀況又比南部嚴重

14

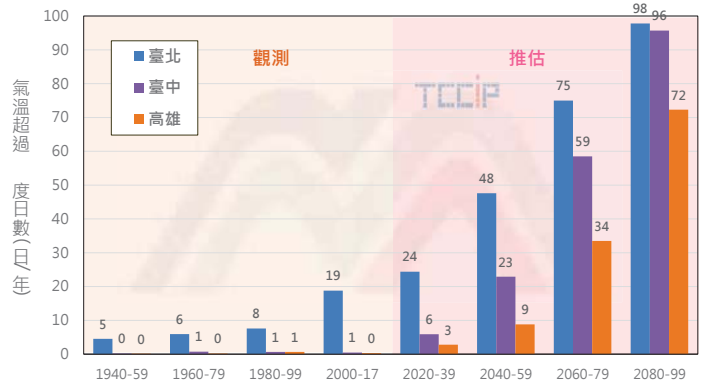
受到氣候變遷的影響，全球暖化將使得高溫炎熱的天數大幅增加。



暖化後，極端高溫成常態

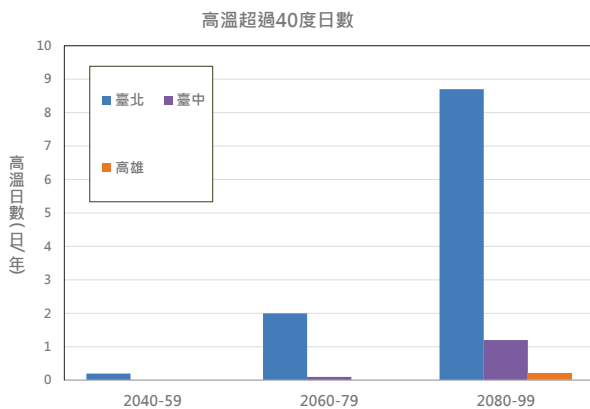


氣溫超過36度日數推估



16

氣溫超過40度日數推估

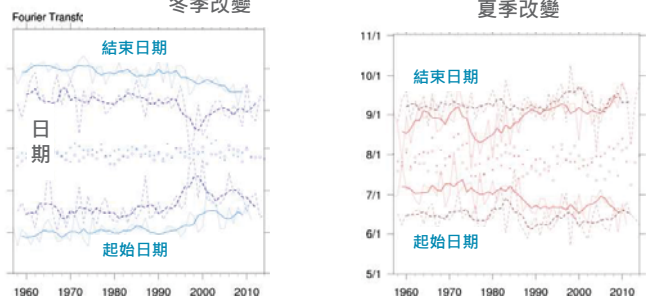


17

臺灣過去50多年季節變化明顯



- 過去50多年(1957~2006年)，臺灣季節已明顯改變：
夏季增長，冬季縮短
 - 夏季提早開始、延後結束，已**增加至少27.8天**
 - 冬季延後開始、提早結束，已**減少至少29.7天**

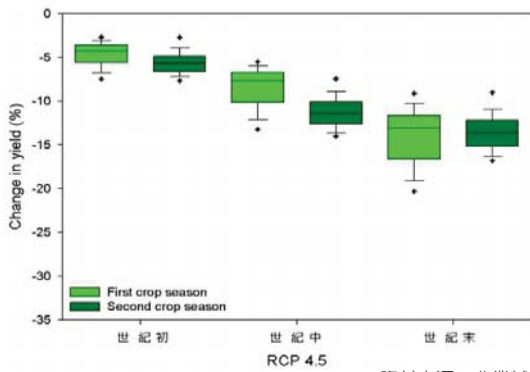


18

農業生產受影響

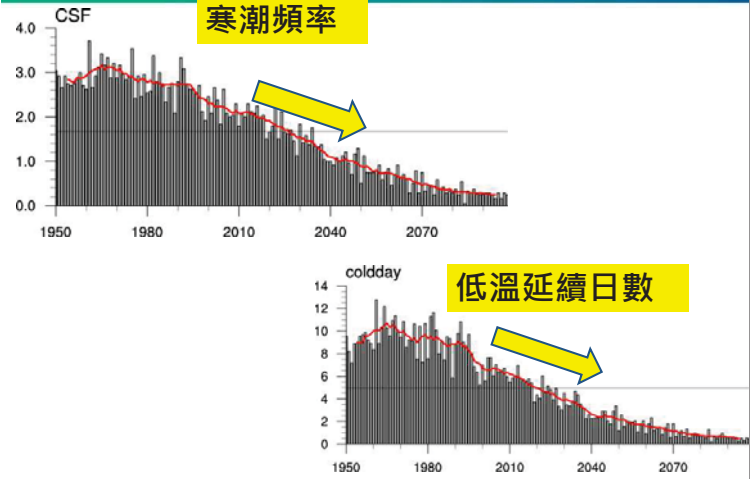


農委會 農試所 氣候變遷下稻米產量推估

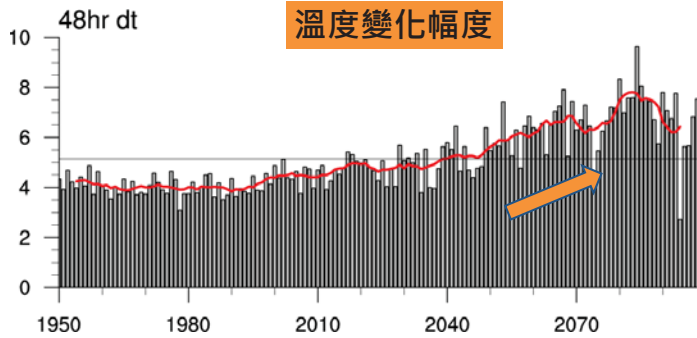


資料來源：農業試驗研究所

受暖化影響，寒潮發生頻率降低



受暖化影響，降溫幅度有增加趨勢



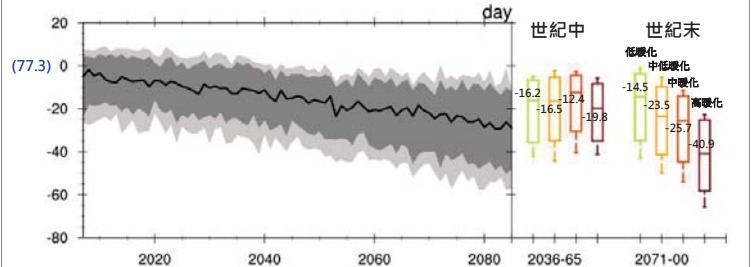
溫度變化幅度

影響農作物開花-以荔枝為例



17度C發生日數未來推估時間序列

- 時間採每年11月中旬至隔年2月下旬，共110或111日
- 基期為1971至2000年，17度C以下發生日數為77.3日，約占期間之70%
- 2019年發生日數為49日，若對應模式趨勢，屬較極端之事件



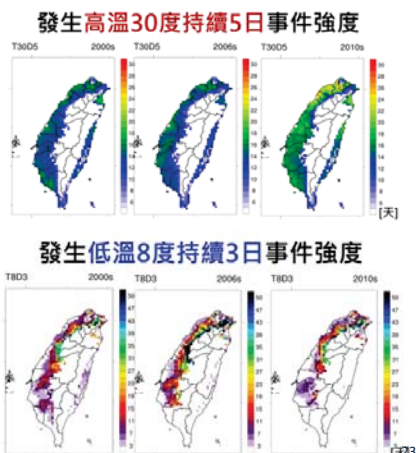
養殖漁業衝擊-水試所



TCCIP團隊分析氣候變遷下，養殖漁業之衝擊與氣候風險

文蛤致災門檻

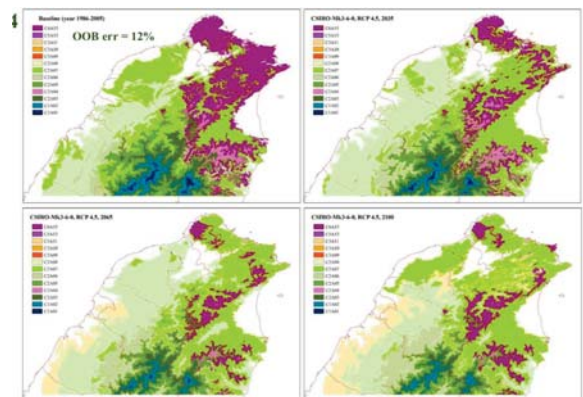
虱目魚致災門檻



森林樹種的變遷趨勢-林試所



林試所應用TCCIP計畫資料，評估不同森林樹種之變遷趨勢



臺灣埃及斑蚊分布與登革熱現況風險分級圖



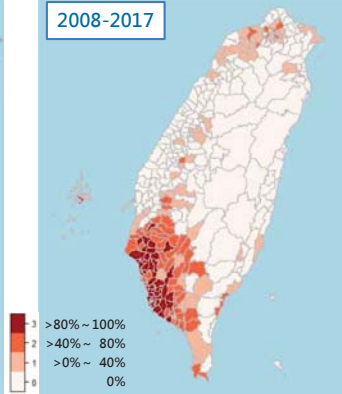
埃及斑蚊現況分布

2003-2011



登革熱現況風險

2008-2017



未來埃及斑蚊危害地圖



使用五種全球氣候模式資料分別推估未來結果後累加



近未來
2016-2035

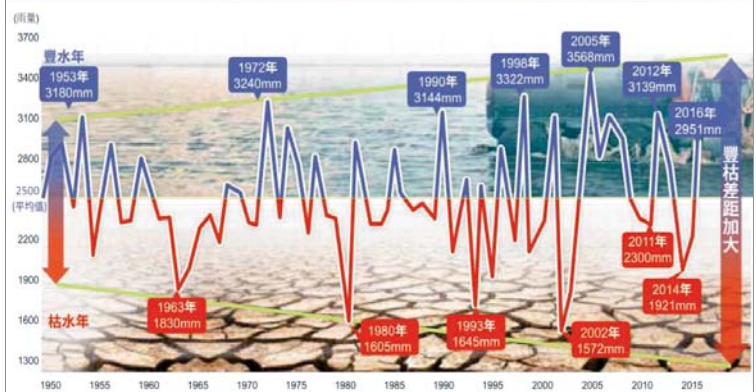
世紀中
2046-2065

世紀末
2081-2100

降雨不均趨勢與衝擊影響



豐枯水期降雨愈趨不均



資料來源：水利署

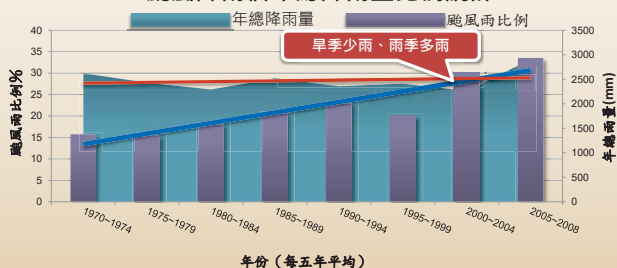
27

豐枯水期降雨愈趨不均



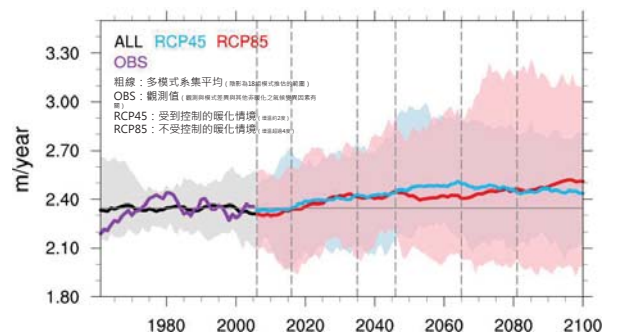
過去40年總降雨量雖沒有明顯氣候變遷趨勢，但颱風降雨比例逐年增加(15%→30%)，凸顯氣候變遷下水旱災衝擊與水資源管理之問題。

颱風降雨佔年總降雨量比例統計



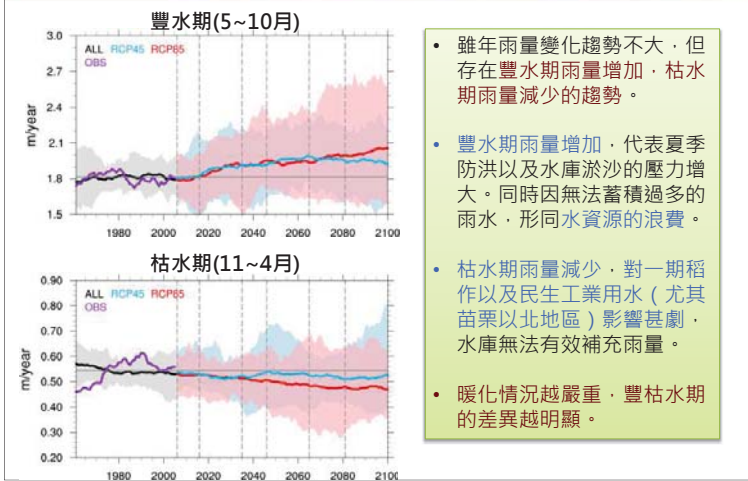
29

台灣年降雨未來變遷推估趨勢

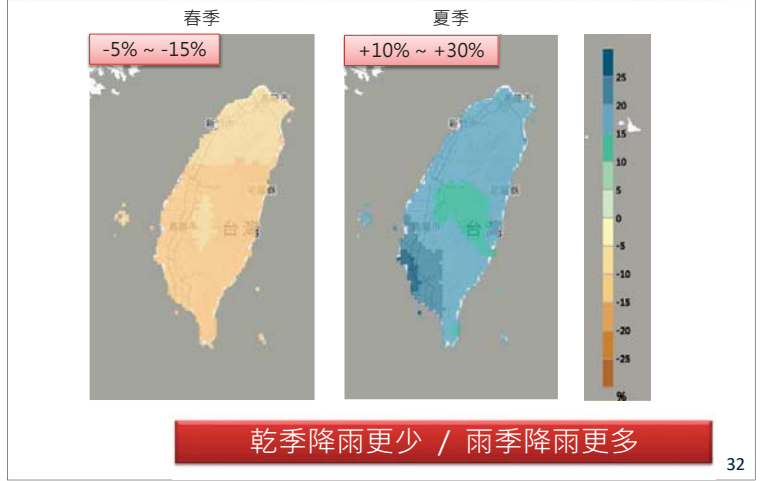


- 暖化對台灣整體年雨量僅有些微增加的趨勢 (百年增加5%)，且其變異性大。
- 特殊極端事件，如颱風多寡、乾旱.....等，對每年的降雨影響變化很大。

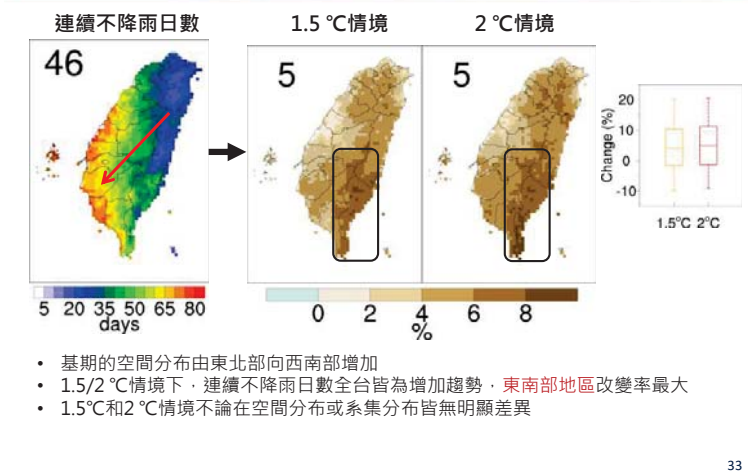
乾濕季變化推估趨勢



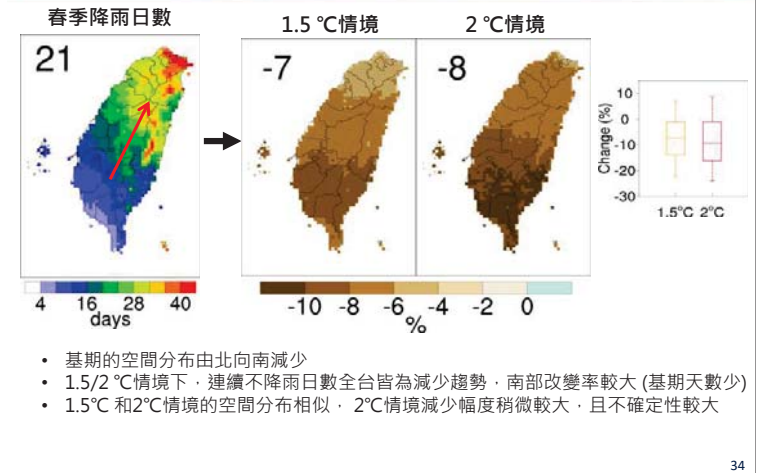
世紀末(2081年~2100年)雨量改變率 (RCP8.5)



極端氣候的變化-1



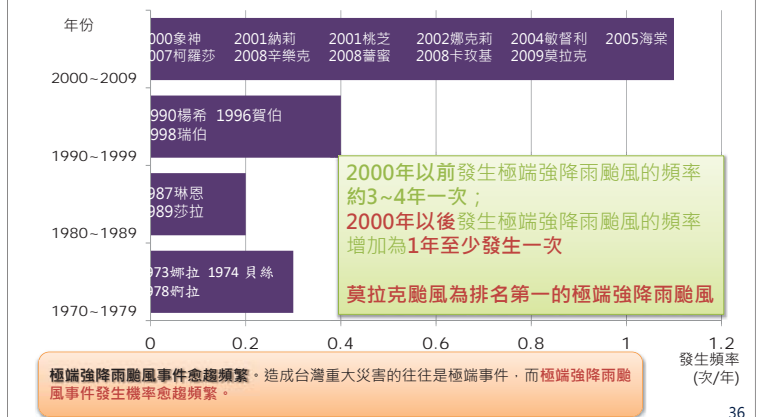
極端氣候的變化-2



極端降雨/颱風變遷趨勢與衝擊影響



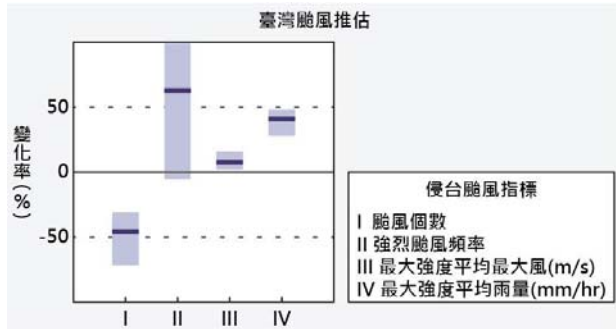
極端強降雨颱風統計



侵台颱風未來推估



21世紀末，**侵台颱風個數將減少**，**強颱風頻率增加**，**降雨強度增加**

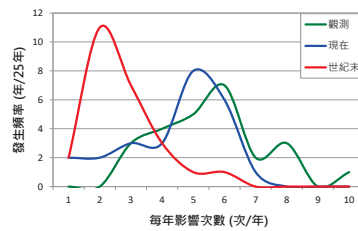


37

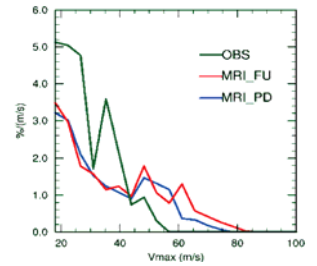
颱風變少、極端強颱增強



颱風影響台灣次數頻率統計



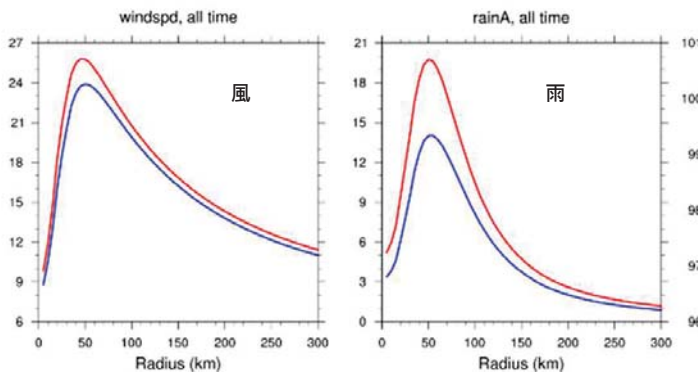
強度機率分佈



- 西北太平洋颱風生成個數及影響台灣的次數明顯變少
- 極端颱風強度有增強之趨勢

38

未來颱風風雨變強的證據

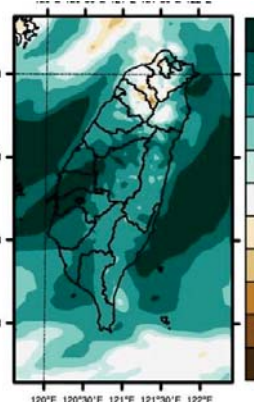


風增加 4~12%
眼牆約 +7%

雨增加 28~48%
眼牆約 +40%

39

PGW (Pseudo Global Warming)



虛擬暖化下的莫拉克颱風降雨可能增加40%左右的降雨

區域	台南市區	曾文溪流
暖化情境	RCP8.5	RCP8.5
第99百分位	51.0%	44.2%
中位數	45.8%	39.7%
第1百分位	40.8%	35.5%

PGW莫拉克淹水衝擊量



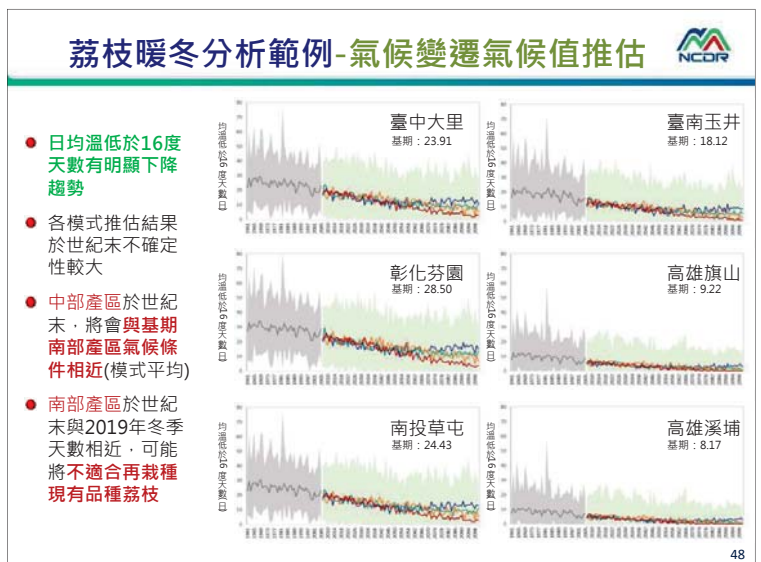
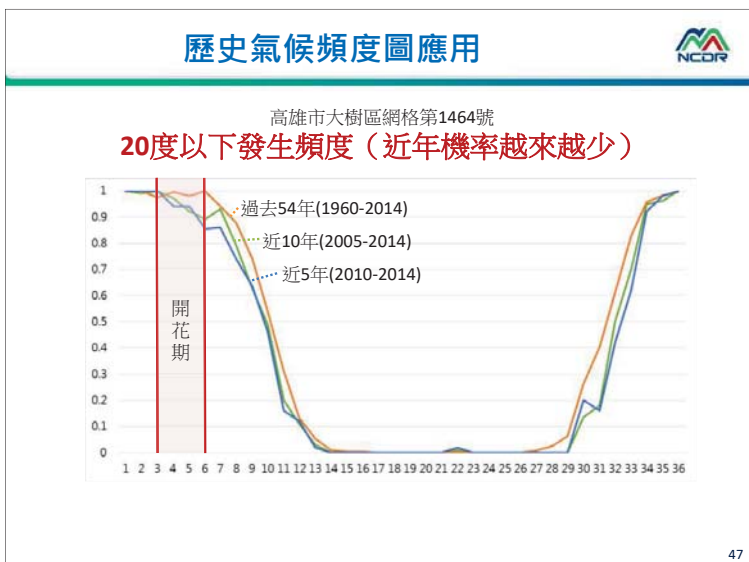
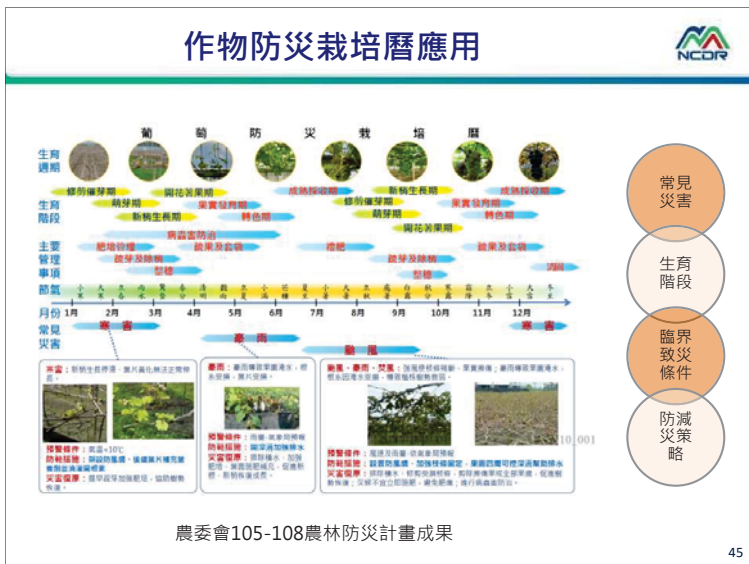
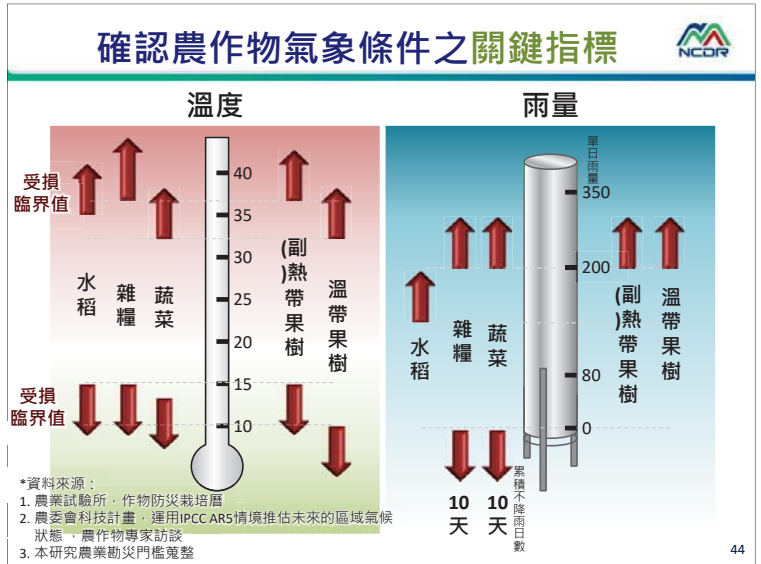
莫拉克

PGW莫拉克

模擬最大淹水量約
1412(百萬立方米)
等同2.9座曾文水庫

模擬最大淹水量約
1574(百萬立方米)
等同3.2座曾文水庫

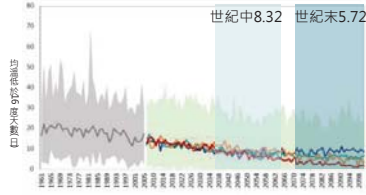
風險評估與農業可能應用



荔枝暖冬分析範例-未來產量推估



- 經過全臺荔枝分布加權，均溫低於16度基期天數為17.89日，世紀中為8.32日；世紀末為5.72日
- 基期每公頃產量平均為7.94噸，世紀中為6.85噸、世紀末為6.19噸
- 以栽種面積不變情形下，世紀末每年產量為5.1~6.9萬噸



各情境每公頃產量變化(噸)

	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
基期	7.94			
世紀中	6.87	6.80	7.12	6.65
	-13%	-14%	-10%	-16%
世紀末	6.95	6.44	6.20	5.18
	-12%	-19%	-22%	-35%

葡萄雨害分析範例-臨界值訂定



年度	災害別	災害名稱	溪湖(COG660)		年度	災害別	災害名稱	溪湖(COG660)	
			累積24小時最大雨量	豪雨等級				累積24小時最大雨量	豪雨等級
1994	豪雨	5月豪雨	348.5	豪雨	2005	豪雨	5月中旬豪雨	258.5	豪雨
	颱風	提姆颱風	74	大雨臨界值		豪雨	6月中旬豪雨	294	豪雨
	颱風	道格颱風	47.5	-		颱風	海棠颱風	204.5	豪雨
1995	颱風	狄安娜颱風	282	豪雨	颱風	泰利颱風	232.5	豪雨	
	颱風	葛樂禮颱風	11.5	-	颱風	麗王颱風	22.5	-	
1996	颱風	賀伯颱風	116.5	大雨	2006	豪雨	5月下旬豪雨	97.5	大雨
1997	豪雨	6月豪雨	101.5	大雨	2007	豪雨	6月上旬豪雨	230	豪雨
	豪雨	7月豪雨	128.5	大雨	颱風	柯羅莎颱風	148	大雨	
1998	豪雨	6月豪雨	140.5	大雨	豪雨	6月上旬豪雨	107	大雨	
	颱風	瑞伯颱風	52	-	颱風	卡玖基颱風	318.5	豪雨	
1999	豪雨	8月豪雨	74.5	大雨臨界值	颱風	鳳凰颱風	122	大雨	
2000	豪雨	六月豪雨	107	大雨	颱風	辛樂克颱風	167	大雨	
	颱風	麥坤颱風	62	-	颱風	雷克颱風	146	大雨	
2004	豪雨	八月豪雨	364	大雨	2009	颱風	莫拉克颱風	331.5	豪雨
	颱風	敏督利颱風	84	大雨	豪雨	6月豪雨	106.5	大雨	
					2010	颱風	凡那比颱風	17	-

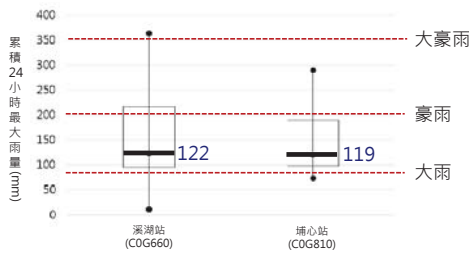
年度	災害別	災害名稱	溪湖(COG660)		埔心(COG810)	
			累積24小時最大雨量	豪雨等級	累積24小時最大雨量	豪雨等級
2012	颱風	麥雨及泰利颱風	89	大雨	74	大雨臨界值
	颱風	蘇拉颱風	257.5	豪雨	290	豪雨
2013	颱風	蘇力颱風	162.5	3小時雨量達豪雨標準	201.5	豪雨
	颱風	潭美及康芮颱風	187	大雨	190	大雨
2014	颱風	麥德姆颱風	93	大雨	79.5	大雨臨界值
2015	豪雨	5月豪雨	140.5	大雨	124.5	大雨
	颱風	蘇迪勒颱風	120.5	大雨	106.5	大雨
	颱風	杜鰲颱風	119	大雨	98	大雨
2016	颱風	梅姬颱風	121.5	大雨	119	大雨

大致可將累積24小時最大雨量達80mm之大雨標準訂為葡萄受災臨界值

葡萄雨害分析範例-臨界值訂定



- 將歷史發生災損之雨量繪製成盒鬚圖，大部分災害發生於24小時累積雨量100至200 mm間，中位數約為120 mm
- 故將大雨標準 80 mm 作為災害警戒標準門檻

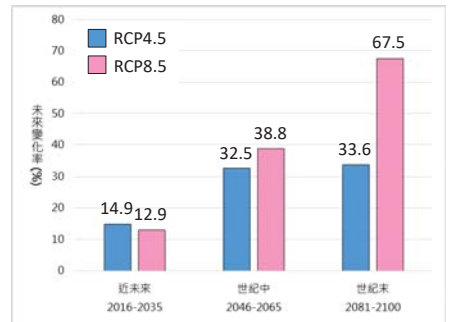


葡萄雨害分析範例-未來推估模式平均



- 基期平均為2.95天，右圖為近未來、世紀中、世紀末3個時段的變化率
- 大雨發生日數將於世紀中增加30%以上，而世紀末RCP8.5情境中將可能增加至67.5%

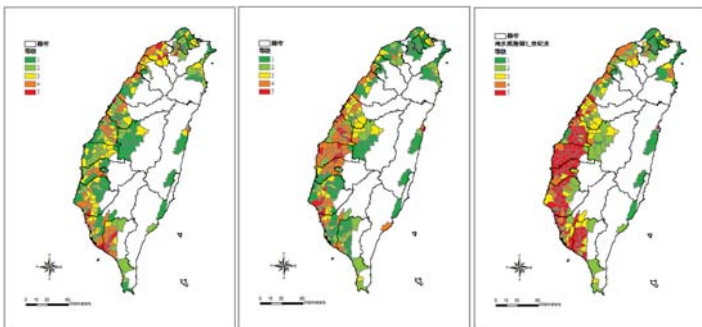
$$\text{未來變化率(\%)} = \frac{\text{未來平均天數} - \text{基期模擬平均天數}}{\text{基期模擬平均天數}} \times 100\%$$



淹水災害風險圖



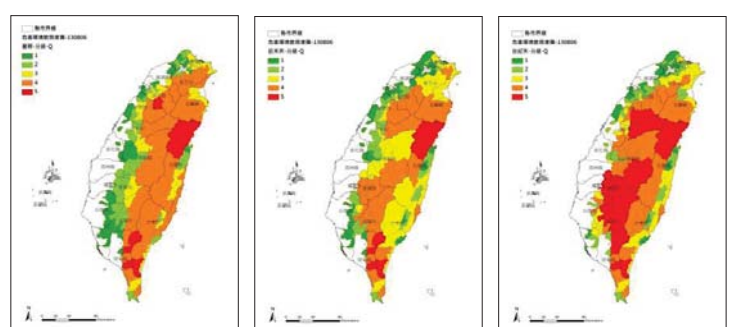
基期 近未來 世紀末



坡地災害風險地圖



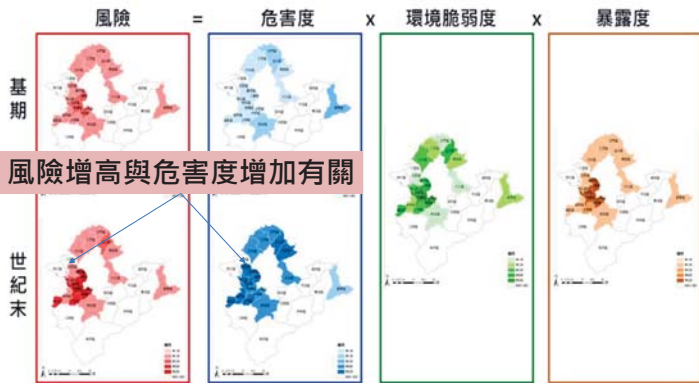
基期 近未來 世紀末



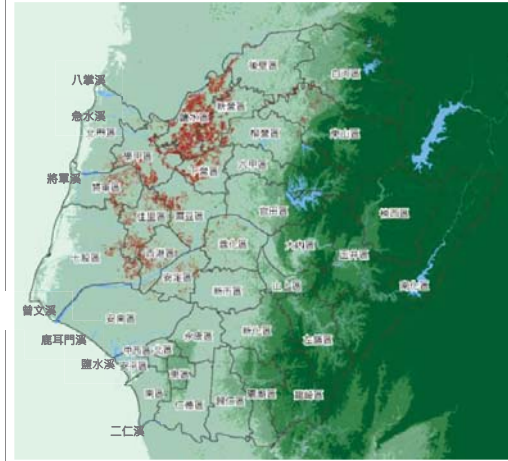
完成19縣市地方版災害風險地圖



以新北市為例淹水風險圖

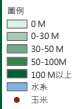


玉米淹水分析範例-以台南為例



- ✓ 以2018年農業土地利用7-10月資料
- ✓ 約8,928公頃
- ✓ 集中於鹽水區、學甲區、新營區

鄉鎮	面積(ha)	比例(%)
鹽水區	2,416	27.06
學甲區	909	10.18
新營區	827	9.26
佳里區	810	9.07
下營區	694	7.78



56

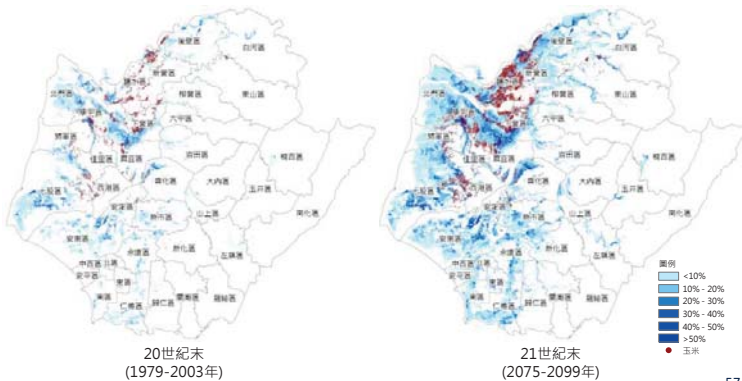
玉米淹水分析範例- 30公分以上淹水機率



- 玉米(與淹水機率套疊成果分布)

時間	影響面積(公頃)
20世紀末	3,034
21世紀末	6,374

+2.1倍



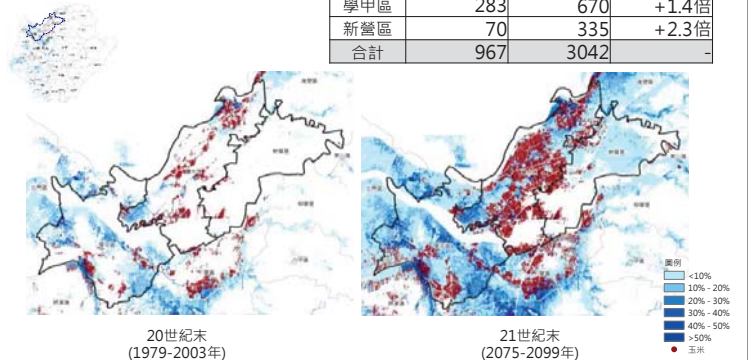
57

玉米淹水分析範例- 30公分以上淹水機率



- 玉米(與淹水機率套疊成果分布)

鄉鎮	20世紀末	21世紀末	
	面積(ha)	面積(ha)	
鹽水區	614	2037	+3.8倍
學甲區	283	670	+1.4倍
新營區	70	335	+2.3倍
合計	967	3042	-

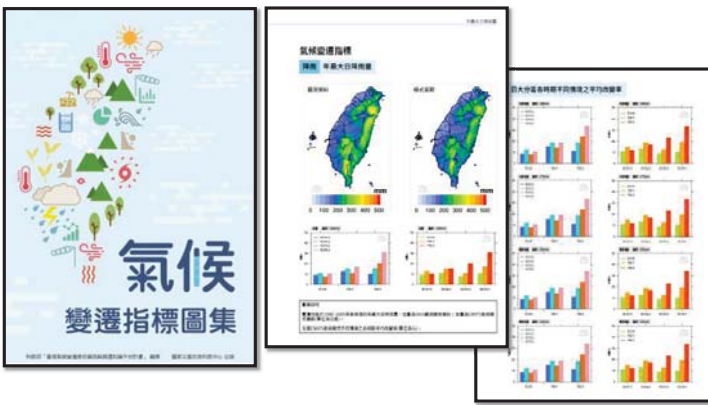


58

製作農業版氣候變遷指標圖集



- 讓使用者能快速查閱臺灣氣候變遷未來推估資訊



行政院 國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center for Disaster Reduction

MOST 科技部
Ministry of Science and Technology

報告完畢



<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw>



粉絲團



<https://dra.ncdr.nat.gov.tw>

世界各國對於因應氣候變遷農業調適

蘇騰鏞¹

本研究蒐集及整理世界各國對於因應氣候變遷農業調適相關文獻共 430 篇，依世界各國對於因應氣候變遷農業調適對象及方式，分為產業、核心氣象情境、調適策略等三大項，其三大項目分析結果如下：

- 一、產業部分：包含**農業(糧食、園藝作物)**、**林業(木材、非木材林產品)**、**漁業(遠洋、養殖)**及**畜牧業(畜禽之飼育與放牧)**共四項，各產業別以農業為最大宗(49%)，其次為漁、林、畜，說明農業中糧食作物或園藝作物對於維持人類生命能量十分重要，農業所受到氣候變遷衝擊之影響程度也較其它產業大。
- 二、核心氣象情境部分：扣合農試所「**建構因應氣候變遷之韌性農業體系研究**」設定三大核心氣象情境，包含**氣溫上升 1.5°C**、**農業可用水資源減少 10%**、**降低極端天候災損**等議題，依據統計資料結果以氣溫上升情境(45%)最多、其次為降低極端天候災損(35%)和農業可用水資源減少(20%)。
- 三、調適策略部分：因應氣候變遷農業調適可歸納為**改善作業方式(調整栽培或飼養等管理方式、強化設施備環境調適或抵抗功能)**、**改變經營型態(混合型農業經營、多角化經營等)**、**教育與宣導(調適政策宣導、強化民眾知識)**、**育種(抗耐逆境)**、**農業保險(建立風險運籌管理機制)**、**智慧農業**等 6 種類型。以改善作業方式(38%)最多、改變經營型態(28%)次之，再來為教育與宣導(17%)、智慧農業(8%)，其他的部分包含育種(抗耐逆境)、保護既有資源及農業保險，顯示**改善作業方式及改變經營型態為各國目前主要的調適方針**。

另針對荷蘭、澳洲、日本三大國家深入研析。荷蘭基礎設施和環境部於 2007 年首次提出《國家氣候變遷調適政策》，在 2018-2019 年編列 2 年 7 億新台幣，分析氣候變遷情境下所受到的衝擊以及適應措施。澳洲於 2008-2009 和 2011-2012 由農業和水資源部為主要負責單位，總編列 27 億新台幣執行《氣候變遷研究計畫》，以減少溫室氣體排放及提升韌性農業為目標。日本農林水產省，於 2018 年頒布《氣候變遷調適法》並於 2020 年核定《氣候變遷對策普及計畫》編列 4 億新台幣由環境省主辦推動，評估現況及未來氣候變遷影響方向，並研究、開發調適技術及制定策略。

今年是台灣 56 年來首度汛期沒有颱風侵襲，部分地區創下史上最低降雨量紀錄，IPCC 以及世界各國對全球暖化警告指出，全球氣候變遷已「急遽且不可逆轉」，各國要努力適應，學習與氣候變遷共存。為確保國家糧食安全，我國應建構一套合理的糧食生產調適策略，除跨領域的科技研究合作以降低對社會及經濟面的衝擊，確立農業永續經營的基礎。

¹財團法人台灣水資源與農業研究院 副院長



2020「因應氣候變遷之韌性農業」研討會

世界各國對於因應氣候變遷農業調適作為

蘇騰鈺 副院長
台灣水資源與農業研究院

一、前言

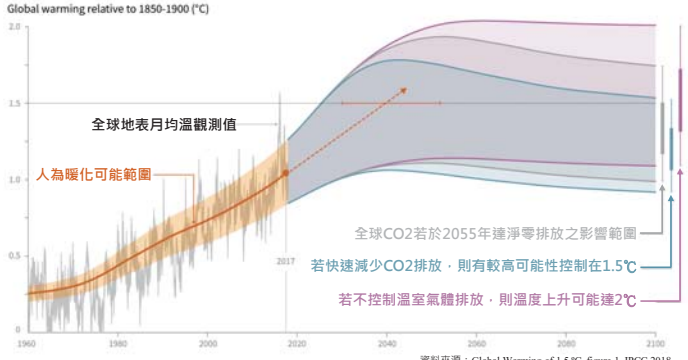
氣候變遷推估及影響

- 聯合國政府間氣候變遷委員會 (IPCC^{*1}) 於2014年發布**第五次**評估報告，並以多種情境模擬**1950至2100年**間的溫度變化。
- 2018年《Global Warming of 1.5°C》說明於2030年至2052年期間，地球可能**升溫1.5°C**，超過COP 21^{*2}訂定「巴黎協定」目標。

備註1：IPCC為Intergovernmental Panel on Climate Change簡稱
備註2：COP 21為第21屆聯合國氣候變化綱要公約締約國會議

一、前言

IPCC模擬不同情境下，全球世紀末溫度變化情形



Global warming relative to 1850-1900 (°C)

全球地表月均溫觀測值

人為暖化可能範圍

全球CO2若於2055年達淨零排放之影響範圍

若快速減少CO2排放，則有較高可能性控制在1.5°C

若不控制溫室氣體排放，則溫度上升可能達2°C

資料來源：Global Warming of 1.5°C, figure 1, IPCC, 2018.

未來全球氣溫上升為勢必之趨勢

二、世界各國因應氣候變遷農業調適作為

- 以世界各國研究成果為主，針對「**產業**」、「**核心氣象情境**」及「**調適策略**」進行分類，蒐集彙整共**430篇**

產業


- 農業(糧食、園藝作物等)
- 林業(木材、非木材林產品)
- 漁業(遠洋、養殖)
- 畜牧業(畜禽之飼育與放牧)

核心氣象情境

- 氣溫上升
- 農業可用水資源減少
- 降低極端天候災損

調適策略

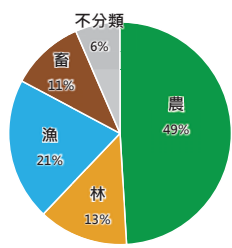
- 改善作業方式
- 改變經營型態
- 教育與宣導
- 育種(抗耐逆境)
- 農業保險
- 智慧農業



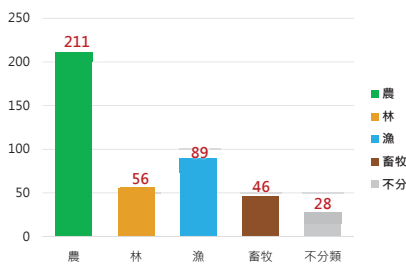
項目	北美洲	南美洲	歐洲	非洲	亞洲	大洋洲	全球	總計
數量	36	12	47	45	161	38	91	430
比例	8%	3%	11%	10%	37%	9%	21%	100%

二、世界各國因應氣候變遷農業調適作為

- 產業別分為農業(糧食、園藝作物等)、林業(木材、非木材林產品等)、漁業(遠洋、養殖等)及畜牧業(畜禽之飼育與放牧等)等4類。
- 依據因應氣候變遷農業調適作為分析結果，各國產業別以**農業為最大宗(約五成)**，其次為漁業(二成)、林業(一成三)及畜牧業(一成一)。



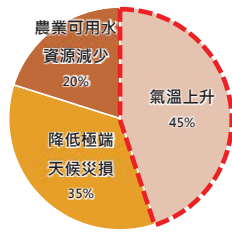
核心氣象情境分析比例(依產業別)



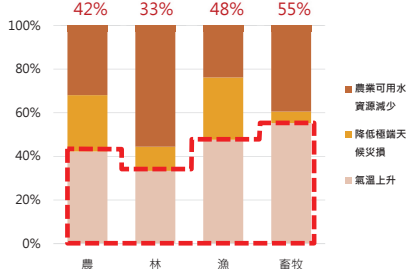
核心氣象情境分析成果(依產業別)

二、世界各國因應氣候變遷農業調適作為

- 核心氣象情境可分為**氣溫上升**、**農業可用水資源減少**、**降低極端天候災損**，三大核心分別為**45%**、**20%**及**35%**。



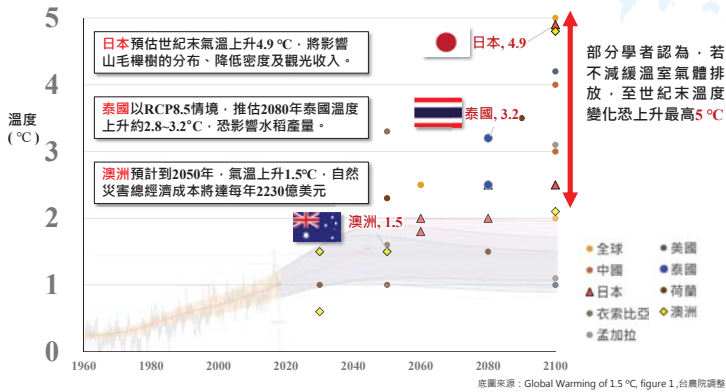
世界各國核心情境分布比例



各產業核心情境分布比例

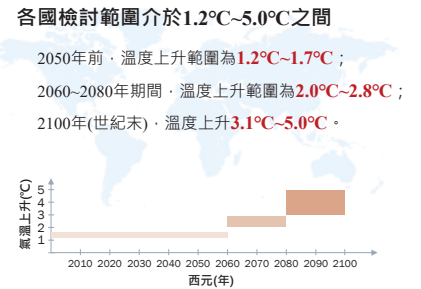
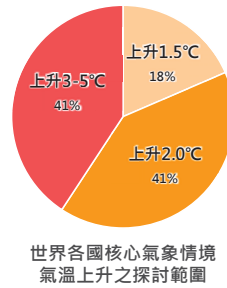
二、世界各國因應氣候變遷農業調適作為

- 各國探討至世紀末溫度變化情形，若不減緩溫室氣體排放，至世紀末溫度變化恐上升最高5°C。



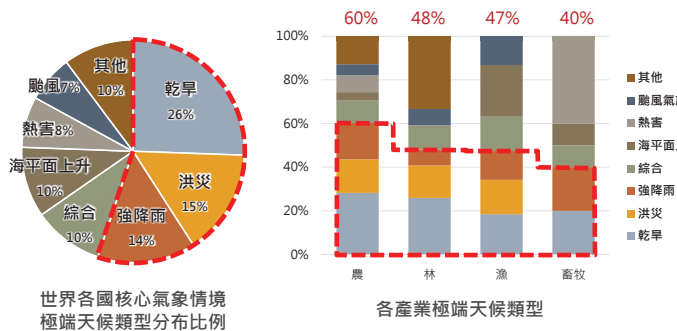
二、世界各國因應氣候變遷農業調適作為

- 各國探討至世紀末溫度變化情形，若不減緩溫室氣體排放，至世紀末溫度變化恐上升最高5°C。



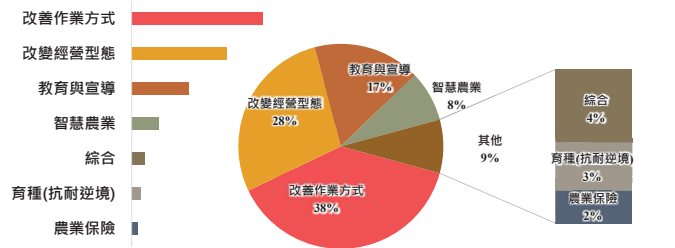
二、世界各國因應氣候變遷農業調適作為

- 降低極端天候災損部分，各國探討極端天候類型以**洪災、乾旱、強降雨為主(佔五成五)**，其它災害包含海平面上升、熱害、颱風等。



二、世界各國因應氣候變遷農業調適作為

- 各國農林漁牧業之調適作為，以**改善作業方式**為大宗，其次為**改變經營型態**，合計佔 66%，而**教育與宣導**及**智慧農業**則佔25%。



- 改善作業方式 包含調整栽培或飼養等管理方式，強化設施環境調適或抵抗功能
- 改變經營型態 包含混合型農業經營、產業多角化經營及轉型等
- 教育與宣導 包含調適政策宣導、強化民眾氣候變遷知識等
- 育種(抗耐逆境) 透過抗耐逆境之育種及開發，抵抗氣候變遷影響
- 農業保險 建立風險理賠管理機制，減少極端天候對於農民損失之衝擊程度
- 智慧農業 於生產管理上輔以感測及控制儀器，結合氣象監測及預報、通訊、物聯網、大數據及區塊鏈等技術進行應對

二、世界各國因應氣候變遷農業調適作為

	氣溫上升	農業可用水資源減少	降低極端天候災損
農	改善作業方式 ● 調整作物養分之供給(全球) ● 改善栽培管理作業(全球) 改變經營型態 ● 混合型農業經營(巴西、非洲) 教育與宣導 ● 強化農民氣候變化知識、促進社區學習替代技能(日本、澳洲)	改善作業方式 ● 改善栽培管理作業(節水灌溉)(全球) 育種(抗耐逆境) ● 抗逆境之育種及開發(全球)	改變經營型態 ● 混合型經營(奈及利亞、非洲、巴西) 育種(抗耐逆境) ● 抗逆境之育種及開發(全球) 智慧農業 ● 建置政府各單位通報機制與災害復興管理系統(泰國)
林	改變經營型態 ● 強化林地管理、增進海岸林、保護林帶的保護或營造(孟加拉、越南、台灣) ● 混農林業(非洲) ● 減少木材產量，增加非木材產品開發(印度、坦尚尼亞)	改善作業方式 ● 改善栽培管理作業(美國、歐洲、印度) 改變經營型態 ● 經營型態改變(全球)	改善作業方式 ● 改善管理作業(印度、美國、全球、孟加拉、台灣) 改變經營型態 ● 混農林業(坦尚尼亞)
漁	育種(抗耐逆境) ● 抗高溫之育種及開發(全球) 教育與宣導 ● 水質管理技術、改變文化習慣、社區性的調適計畫(全球、東非、馬來西亞)	改善作業方式 ● 設施改善，增加儲水設施(孟加拉、墨西哥、緬甸、全球、日本、烏干達、印度)	改變經營型態 ● 播種多樣化、生態管理(全球、東非、澳洲、斐濟、印度) 智慧漁業 ● 智慧漁業(通訊、預報)(烏干達、斐濟、台灣)
畜	改善作業方式 ● 調整飼料之供給(全球) 育種(抗耐逆境) ● 抗逆境之育種及開發(全球)	改善作業方式 ● 開發新型飼料來源(兩用食糧)(東非) 育種(抗耐逆境) ● 抗逆境之育種及開發(全球)	育種(抗耐逆境) ● 抗逆境之育種及開發(全球)

三、世界各國農業調適策略與作為



各國國家調適作為 案例分享

荷蘭 氣候變遷調適作為

13

荷蘭 氣候變遷國家計畫

Ministry of Infrastructure and Water Management

- 2007 《國家氣候變遷調適政策》 提出氣候變遷可能的所有衝擊
- 2010 《三角洲計畫》 政府各層級的緊密合作，針對海平面上升、長時間強降雨、短延時強降雨、乾旱與炙熱等可能衝擊做出因應
- 2018-2019 適應行動計畫 針對六大領域：熱壓力、建設、農業、自然、建造環境，以及省層級與區域層級的策略與願景

2,000萬歐元(7億新台幣)

荷蘭皇家氣象協會研究報告KNMI'14

2030年：氣溫上升1.0°C、降雨量增加5%
2050年：氣溫上升1.0-2.3°C、海平面上升25-40cm

14

荷蘭 具體農業調適作為

溫室農業

- 溫室之都-韋斯特蘭
- 面積10,000公頃，1/3的台北市
- 精準調配光線、水循環灌溉、空氣循環
- 56,000公噸 v.s. 2,700公噸

漂浮牧場

- 鹿特丹港口
- 上層種草
- 中層養牛
- 下層牛奶加工區
- 發電：牛之排泄的沼氣+太陽能

提升土壤品質計畫

- 2030年
- 所有農業土壤獲得永續管理

國家精準農業試驗計畫

- 2016-2021年
- 荷蘭瓦赫寧恩大學協助
- 六位農友，使用智慧農業與創新農機具
- 政府 x 企業 x 農友

落實強化農業保險

- Tilburg地方政府與保險業者
- 適應氣候災情地區研究計畫
- 分享資料與訊息

其他

- 三角洲計畫、農業水管理
- 國家農作物蛋白質策略

15

各國國家調適作為 案例分享

澳洲 氣候變遷調適作為

16

澳洲 氣候變遷國家計畫

2008 《氣候調適旗艦計畫》

- 澳洲聯邦科學與工業研究組織與國家氣候變遷調適研究機構合作
- 在2030年創造年獲利30億元，領域包含農林漁礦、生態系、城鄉等

2008-2009 《氣候變遷研究計畫》

2011-2012 減少溫室氣體排放的同時，也增加農業產量

2015 《國家氣候韌性和調適策略》

- 加強關鍵部門的調適和韌性措施。

2017 《智慧農業計畫》

- 投注超過1億美元，用於協助農民、土地管理者、漁民、林農、地方社區，提升能力。
- 提供資金鼓勵研發創新。

2019 《農業氣候變遷適應文件》

- 概述氣候變遷對農業部門影響
- 總結每個司法管轄區正在採取的應對氣候變化的方法
- 確定氣候變化給農業部門帶來的風險和機會。

17

澳洲 氣候變遷國家計畫

《氣候變遷研究計畫》

- 減少牲畜排放量研究計畫 (Meat and Livestock Australia 1,130萬澳元)
- 國家生物炭行動計畫 (Commonwealth Science and Industrial Research Organisation 140萬澳元)
- 調適研究計畫 (Commonwealth Science and Industrial Research Organisation (CSIRO) 1,150萬澳元)
- 一氧化二氮研究計畫 (Queensland University of Technology 470萬澳元)
- 土壤碳研究計畫 (Commonwealth Science and Industrial Research Organisation (CSIRO) 950萬澳元)
- 農場或食品加工廠示範 (Grains Research and Development Corporation 770萬澳元)

總投資：1.3億美元(27億台幣)
政府撥款：4,620萬澳元(9億8500萬台幣)

18

澳洲 具體農業調適作為



- 農作物**
- 運用休耕減少土壤水分消耗，並增加輪作牧草量及農作殘留物，抵抗乾旱
 - 葡萄酒廠：減少釀酒用水消耗，調整葡萄栽培時期及地點，避開用水尖峰
 - 透過改善作物內特定酶的運作，達到降低土壤與水的需求，並提升產量，改造需求高的糧食作物，如大豆、米、小麥、馬鈴薯。

研發氣候風險評估技術

- 氣象局制定準確的多週和季節性預報
- 提供農民每日、每季和長時間範圍內的相關決策

畜牧

- 提高牲畜對熱壓迫的耐受力 and 生產力並改善飼養環境。
- 墨爾本大學：低劑量的胺基酸甜菜鹼可以減緩綿羊對於熱壓力的反應。

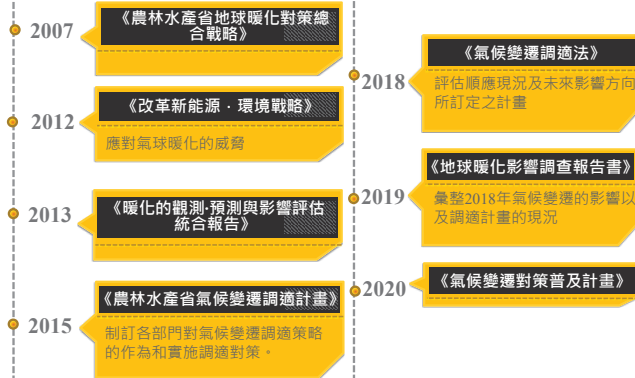
各國國家調適作為 案例分享



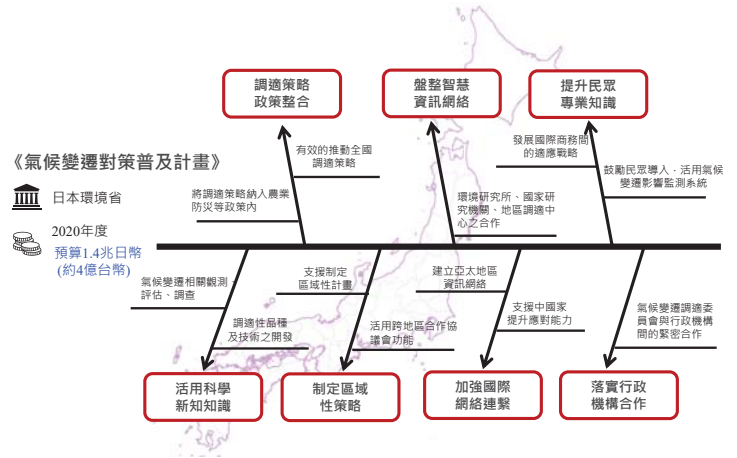
日本 氣候變遷調適作為



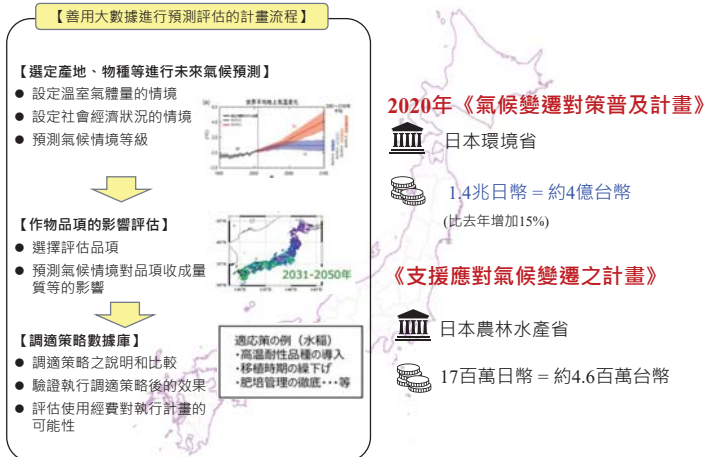
日本 氣候變遷國家計畫



日本 氣候變遷對策普及計畫



日本 氣候變遷情境預測與經費規模



日本 具體農業調適作為

《稻米》

- 耐高溫品種『新之助』的開發與推廣

《宿根滿天星》

- 實施花朵品種對高溫環境以及遮光環境下的差異研究

《葡萄》

- 果皮上色優良新品種『ブラックキング』的開發與栽培技術的推廣

《乳牛》

- 裝置灑水系統、排風管型風扇和夜間餵食降低牛舍溫度

《茶葉》

- 調查研究茶葉害蟲的大量發生要因

《調適策略-技術研討會》

- 介紹夏季高溫作物影響・推廣應對策略及技術

氣候變遷下重點國家農業調適政策推動比較

	荷蘭	澳洲	日本	台灣
概要	<ul style="list-style-type: none"> 國家氣候變遷調適政策 2018年-2019年國家氣候適應戰略 	<ul style="list-style-type: none"> 氣候調適策略計畫 氣候變遷研究計畫 國家土地保護計畫/智慧農業計畫 農業氣候變化適應文件 	<ul style="list-style-type: none"> 農林水產省地球暖化對策總合戰略 農林水產省氣候變遷調適計畫 氣候變遷調適法 地球暖化影響調查報告 	<ul style="list-style-type: none"> 農林氣象災害風險指標建置及災害調適策略之研究 建構因應氣候變遷之韌性農業體系研究
對應情境	<ul style="list-style-type: none"> 根據荷蘭皇家氣象協會的研究報告KNMI' 14 2030年氣溫平均上升1°C、雨量增加5% 2050年氣溫1.0-2.3°C、海平面上升25-40cm 	<ul style="list-style-type: none"> 排放情境參考IPCC 人類活動導致全球升溫超過工业化前水平約1.0°C 2030-2052年全球溫度上升1.5°C 在RCP8.5之下，21世紀末溫度上升2.6°C-4.8°C 	<ul style="list-style-type: none"> 根據日本氣象廳氣象研究所 東日本的積雪量每10年減少12.3%，西日本減少14.6% 海水溫度每100年上升1.09°C 短時間內強降雨機率升高，降雨量約增加10%~25% 	<ul style="list-style-type: none"> 核心氣象情境參考IPCC 氣溫上升1.5°C 農業可用水資源減少10% 降低極端氣候災損
參與單位	<ul style="list-style-type: none"> 機關單位 (12個) Ministry of Infrastructure and Water Management Ministry of Infrastructure and Water Management, DG等 	<ul style="list-style-type: none"> 機關單位 (7個) 農業高級官員委員會(AGSOC) 國家氣候變遷調適研究(NCCARF) Meat and Livestock Australia澳洲農漁林部(DAFF)等 	<ul style="list-style-type: none"> 機關單位 (5個) 日本環境省 日本農林水產省 國立環境研究所 國際農林水產業研究中心 氣象研究所等 	<ul style="list-style-type: none"> 機關單位 (7個) 行政院農業委員會(包含農糧署漁業署、各試驗單位及改良場) 交通部中央氣象局 國家災害防救科技中心 臺灣大學、中國大學 台灣水資源與農業研究院 中華經濟研究院
經費規模	<ul style="list-style-type: none"> 2018-2019年度 2年 編列兩千萬歐元(7億台幣) 	<ul style="list-style-type: none"> 2008-2009年和2011-2012年 總投資1.3億澳元(27億台幣) 政府撥款0.46億澳元(9.8億台幣) 	<ul style="list-style-type: none"> 2020年編列 1.4兆日幣(4億新台幣) 	<ul style="list-style-type: none"> 2020-2023年 4年4.7億新台幣

25

三、世界各國農業調適策略與作為(氣溫上升-農、林)

●改善栽培管理作業(日本)

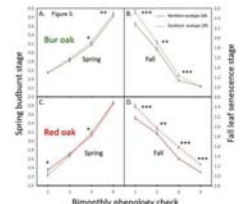
- 日本學者以新研發機能性果實袋替代傳統用套袋，有效降低赤肉症發生



森永邦久,西日本的モモ生産安定のための果肉障害対策技術の開発,2016.

●人工轉移林木物種之分佈區，增加非林材產品開發(美國)

- 復原力的調適策略:在氣候變遷影響較小的地區維持北方物種，並維持非木材林產品之生產及貿易
- 過度策略:可能面臨氣候變遷威脅之區域種植非本地的新物種，強化森林永續經營。



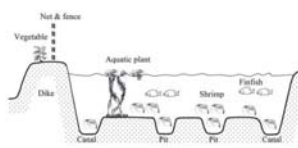
Mark A. White et al., Partnerships to Take on Climate Change: Adaptation Forestry and Conifer Strongholds Projects in the Northwoods, Minnesota, USA, 2020.

26

三、世界各國農業調適策略與作為(氣溫上升-漁、畜)

●改善作業方式(泰國)

- 種植水生植物以作為蝦群的遮蔽物，提升蝦群高溫環境的存活率



Md. Atikul Islama et al, Climate change adaptations of shrimp farmers: a case study from southwest coastal Bangladesh, 2019.

●改善作業方式(日本)

- 畜牧業裝置隧道式通風設備及自動餵食儀器，降低高溫環境影響
- 雞舍內裝置水霧噴灑器、風扇及將屋頂材質改為隔熱材質



松本健一、高木三水珠,日本,2017

27

三、世界各國農業調適策略與作為(水資源減少-農、林)

●改善栽培作業(南亞和拉丁美洲)

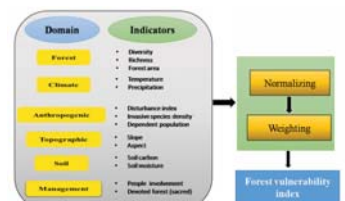
- 以微灌和節水技術改善農業可用水
- 恢復退化的土壤和水質，促進碳固存
- 替代生產技術和土地利用。

Technique	Global C sequestration rate (Pg/year)	Global increase in SOC equivalent to 1 m soil depth (Pg/year)
Crop residue management	0.20	0.010
Conservation tillage	0.125	0.012
Soil restoration by afforestation	3.0	0.03

Jat et al., Climate change and agriculture: adaptation strategies and mitigation opportunities for food security in South Asia and Latin America,2016.

●改善管理作業(印度)

- 實施社區森林(Van Panchayats)管理
- 開發森林社區脆弱性評估的指標，管理維持森林結構與功能



Shiny Thakur et al., Indicator based integrated vulnerability assessment of community forests in Indian west Himalaya,2020.

28

三、世界各國農業調適策略與作為(水資源減少-漁、畜)

●經營型態改變(全球、台灣)

- 實施綜合水產養殖
- 循環水產養殖系統
- 擴大海產品養殖
- 發展發展生態養殖、有機養殖；推廣節水養殖
- 開發大型藻類與魚蝦貝整合養殖



Nesar Ahmed et al., Global Aquaculture Productivity, Environmental Sustainability, and Climate Change Adaptability,2018

●教育與宣導(坦尚尼亞)

- 政府建立漁業資源管理機構，透過宣導使沿海居民支持三角洲紅樹林保護運動，維持生態系統適應氣候變遷能力



Pius Z. Yanda et al, Nexus between coastal resources and community livelihoods in a changing climate, 2019

29

三、世界各國農業調適策略與作為(極端氣候-農、林)

●建立風險運籌管理機制-農業保險(馬來西亞)

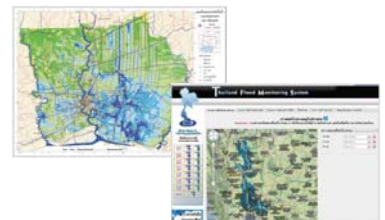
- 減少災害風險對農業經濟體的影響
- 政府和保險公司合作設計(油棕、水稻、茶、菸草、鳳梨、椰子)



Alam et al., Agriculture insurance for disaster risk reduction: A case study of Malaysia, 2020.

●建置政府各單位通報機制與災害復興管理系統(泰國)

- 紀錄性大雨釀成洪災
- 設立FROC(各政府單位行報共有機制)與災害復興管理系統



Akiyuki KAWASAKI et al., Emergency response during the 2011 Chao Phraya River flood in Thailand:focusing on information sharing and coordination among governmental agencies,2012.

30

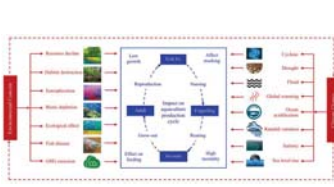
三、世界各國農業調適策略與作為(極端天候-漁、畜)

●經營型態改變(全球)

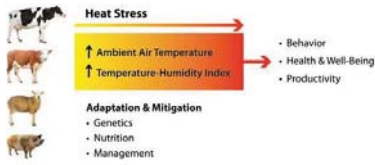
- 利用綜合水產養殖提供多樣化漁業，以降低氣候變遷對於漁獲量減少損失

●育種(抗耐逆境)

- 選擇飼養耐高溫的家畜，以減少牲畜系統的生產力及盈利能力之負面影響



Nesar Ahmed et al., Global Aquaculture Productivity, Environmental Sustainability, and Climate Change Adaptability, 2018



Bernabucci, Climate change: impact on livestock and how can we adapt, 2019

肆、結論

- 今年是56年來首度汛期沒有颱風來台，部分地區創下史上最低降雨量紀錄，IPCC以及世界各國對全球暖化警告指出，全球氣候變遷已「急遽且不可逆轉」，各國要努力適應，學習與氣候變遷共存。
- 為確保國家糧食安全，我國應**建構一套合理的糧食生產調適策略**，除跨領域的科技研究合作以降低對社會及經濟面的衝擊，確立農業永續經營的基礎。



感謝聆聽 敬請指教

節次二：農林漁畜生產 之調適與韌性

調適氣候變遷之氣候智能型農林業

黃裕星¹

氣候變遷導致全球各地災害頻傳，美國西岸 2020 年已發生破紀錄的山林野火災害。類似美西的氣候災害也可能發生在台灣，只是火災將換成山林土石災害。

2017 年 2 月 23 日，環保署依溫管法第 9 條第 1 項擬訂之「國家因應氣候變遷行動綱領」正式奉行政院核定，明確擘劃我國推動溫室氣體減緩及氣候變遷調適政策總方針。行動綱領係參酌巴黎協定及聯合國 2030 年永續發展目標(SDGs)，秉持減緩與調適兼籌並顧的精神，明列我國因應氣候變遷的 10 大基本原則，政策內涵包括減緩 6 大部門、調適 8 大領域及政策配套，並啟動跨部門的因應行動，期能逐步健全我國面對氣候變遷之調適能力。農委會亦積極建構適應氣候風險的永續農業，期望藉由調整農業耕作制度、強化生產設施及降低生產風險等措施之推動，朝向降低氣候風險、建構強韌農業、確保糧食安全等目標邁進。

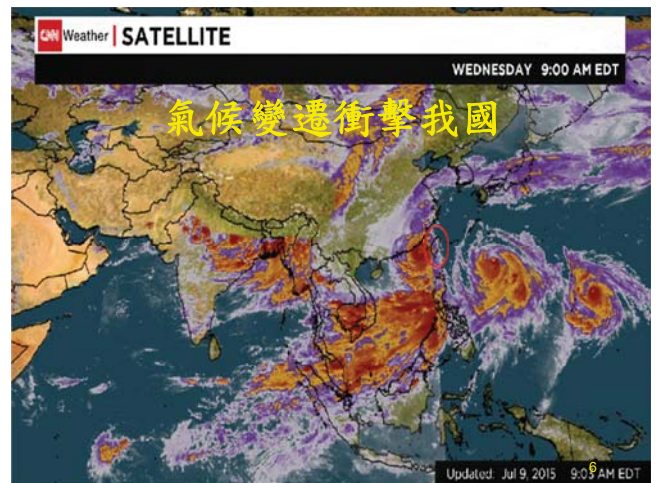
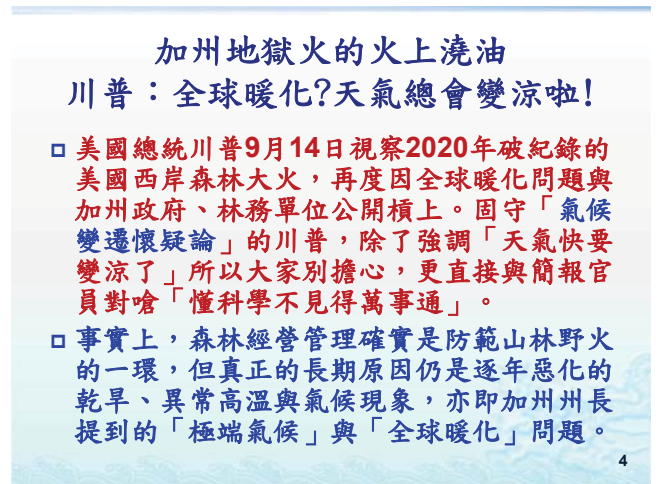
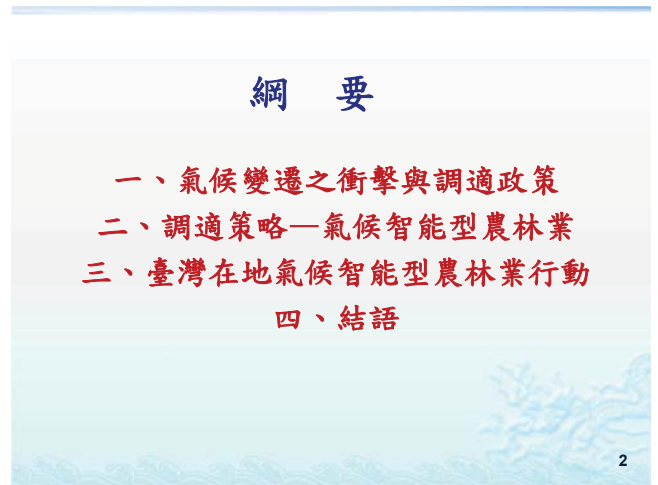
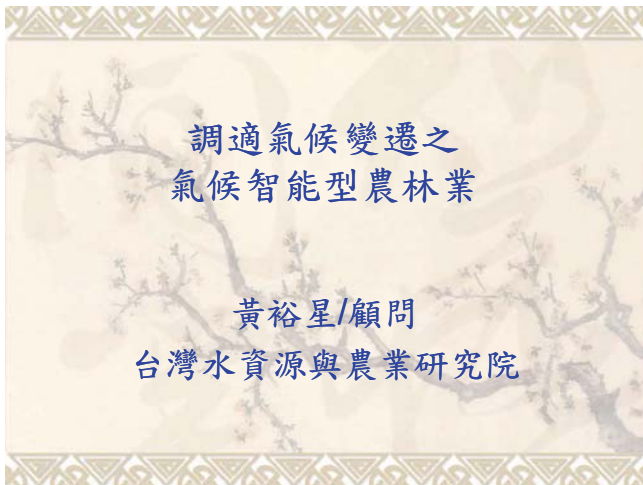
2010 年，聯合國糧農組織(FAO)為解決農業生產與氣候變遷之雙重課題，提出了因應策略；一方面要維持糧食生產，另一方面力求降低氣候變遷的負面衝擊，即所謂氣候智能型農業(Climate-smart agriculture, CSA)。其具體實施案例則包括保育型農業(conservation agriculture)、混農林業(agroforestry)以及森林農作與漁業整合系統(integrated forest, farm and fish systems)等 3 型式。其後於 2015 年，歐盟執委會的科研架構計畫(2015 EU Research Framework Programme)推動「氣候智能型林業(Climate-smart forestry, CSF)」，是從氣候智能型農業轉化而來；強調三大支柱：1.透過永續提高森林生態系服務以改善山區居民的生計；2.強化山區森林的調適能力及韌性；3.專注最有效之減緩方案並得利於調適與緩和的綜效。

林業與氣候變遷調適之關聯性具有 2 個主要面向。其一，森林提供生態系服務功能，使當地社區及廣大社會降低脆弱性，進而獲得氣候變遷調適能力。其二，森林面對氣候變遷負面衝擊所採取的調適方法，取決於氣候變遷如何影響森林，各種不同的調適策略必須能確保森林生態系服務功能的發揮，並與森林永續經營之目標相吻合。

臺灣在地可行的氣候智能型農林業行動包含：1.強化應對氣候變遷之韌性-混農林業；2.兼顧生計與生物多樣性保育-里山倡議。混農林業可在傳統已遭墾殖的林業用地實施，藉由林業經營輔助農業生產環境提高韌性，並確保山區農民生計；亦可在平原農牧用地實施，創造農林產業雙贏局面。目前林務局開始推動之林下經濟政策，亦屬混農林業之調適性經營策略。里山(satoyama)泛指鄰近人類聚落且與人緊密相連的生態環境，是包含社區、森林、農業的混合地景，臺灣多數山村具備里山地景特質，藉由科學研究，奠基於山村農林產物與生態資源，發展山村社區(里山地景)

之共享經濟，打破資源擁有者與消費者之間的無形鴻溝，創造山村生態服務產業，是里山行動之重要課題。

1 財團法人台灣水資源與農業研究院 顧問



全球災難最脆弱城市 臺北竟是世界第一

根據《The Actuary》2015年報導，英國保險組織勞合社(Lloyd's)和劍橋大學合作調查發現，今後10年「城市危險度指數」全球排名最高的是臺北，事故和自然災害導致的經濟損失規模，預估為1,812億美元(約新台幣5兆4,360億元)；東京以1,532.8億美元排名第2；首爾則為1,035億美元排名第3。

7

常見之複合性災害及其成因

成因	複合性災害類型
颱風與強降雨	土石流、坡地崩塌、堰塞湖、堤防潰決、淹水、道路橋梁中斷、河道淤砂、水庫淤積、傳染病、農田與房舍流失、漂流木災害等
地震	建築物倒塌、維生管線破壞、地面塌陷、地滑、火災、海嘯
乾旱	森林火災、建築物火災、農產歉收、傳染疾病

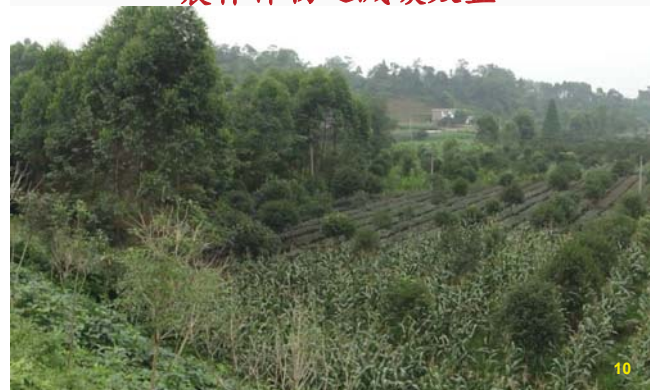
8

臺灣山林災害型態

- 類似美西的氣候災害也發生在台灣，只是火災換成了土石災害。
- 1996年賀伯颱風造成神木村嚴重土石流災害，政府要求林業機關保護森林及加強造林，試圖利用森林的完整覆蓋以避免上游林地崩塌，確保下游安全。
- 921大地震後，森林崩塌連年發生且更形嚴重，在全球氣候變遷的大環境下，已無法完全依賴自然力量求取國土保全。

9

抑制溫室氣體— 農林作物之減碳效益



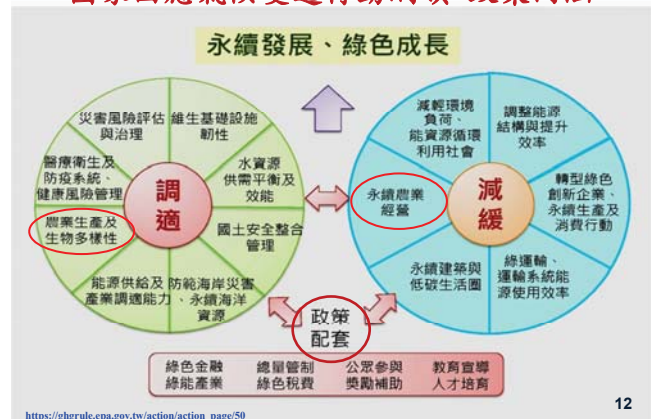
10

國家氣候變遷調適政策

- ◆ 106年2月23日，環保署依溫管法第9條第1項擬訂之「國家因應氣候變遷行動綱領」正式奉行政院核定，明確擘劃我國推動溫室氣體減緩及氣候變遷調適政策總方針。
- ◆ 國家因應氣候變遷行動綱領，係參酌巴黎協定及聯合國2030年永續發展目標(SDGs)，秉持減緩與調適兼籌並顧的精神，明列我國因應氣候變遷的10大基本原則，政策內涵包括減緩6大部門、調適8大領域及政策配套，並啟動跨部門的因應行動，期能逐步健全我國面對氣候變遷之調適能力。

11

國家因應氣候變遷行動綱領-政策內涵



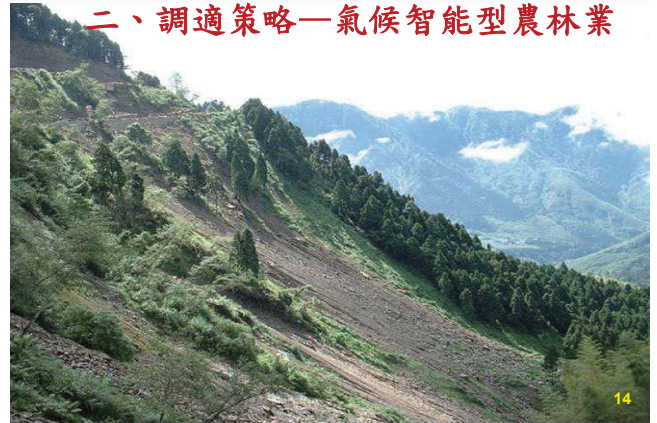
12

農委會積極建構適應氣候風險的 永續農業(108-11-28)

- 氣候變遷現象日益明顯，面對暖化、降雨型態改變、極端氣候事件發生頻率與強度增加，農業部門首當其衝，對農業生產環境、農產品品質與供應，農民所得及產業，以及生物多樣性等方面造成影響，甚至危及我國糧食安全。
- 期望藉由調整農業耕作制度、強化生產設施及降低生產風險等措施之推動，朝向降低氣候風險、建構強韌農業、確保糧食安全等目標邁進。

13

二、調適策略—氣候智能型農林業



14

(一)氣候智能型農業 (Climate-Smart Agriculture)

- 2010年，FAO為解決農業生產與氣候變遷之雙重課題，提出了因應策略；一方面要維持糧食生產，另一方面力求降低氣候變遷的負面衝擊，即所謂氣候智能型農業(Climate-smart agriculture, CSA)。
- 具體實施案例包括保育型農業(conservation agriculture)、混農林業(agroforestry)以及森林農作與漁業整合系統(integrated forest, farm and fish systems)等3型式。

15



16



17



18



(二)氣候智能型林業 (Climate-Smart Forestry)

- 2015年，歐盟執委會的科研架構計畫(2015 EU Research Framework Programme)推動「氣候智能型林業(Climate-smart forestry, CSF)」，是從氣候智能型農業轉化而來。
- 強調三大支柱：1.透過永續提高森林生態系服務以改善山區居民的生計；2.強化山區森林的調適能力及韌性；3.專注最有效之減緩方案並得利於調適與緩和的綜效。
- 歐盟執委會意圖強化森林經營對溫室氣體減量的貢獻，甚至納入減量政策目標。

21

(二)氣候智能型林業-2

- 為達成CSF碳減量目標，歐盟規劃從2015到2030年之間，將1,200~1,700萬公頃的農田轉為造林地，可以提供約7千萬公噸二氧化碳/年的額外碳匯，每年額外生產1億立方公尺木材，比目前產量多出25%。
- CSF除了可增加森林生長和碳儲存外，尚可：
 - 因使用森林原料製造產品而延長碳貯存；
 - 提供生態系服務，如水資源供應及野生動物棲息；
 - 維持依賴森林的原住民和當地社區的生計；
 - 為CSF產品如生質燃料和木製品提供更多原材料，增加利用森林和樹木，減少對化石燃料的依賴。

22

(二)氣候智能型林業-3

- CSF三大具體行動元素：
 - 強化森林與樹木對糧食安全及生計的貢獻 -
 - ✓ 原始森林內的動、植物、菇菌類，本就是極佳的食物來源，學習自然生態系之生產方法，調適氣候變遷對糧食生產之衝擊，應優先考慮。
 - 降低脆弱性，提高森林和人民的韌性(復原力) -
 - ✓ 在災害風險管理中應考慮到森林，充分規劃在發生重大森林擾亂時，森林能發揮減災效用(如植樹防止土石流及減少水土流失)及經營效益(例如作為災後糧食和材料來源)的調適策略。
 - 正視毀林和森林劣化問題，以確保糧食安全 -
 - ✓ 由於森林提供糧食生產所必需的生態系統服務，並在糧食短缺期間(例如在嚴重乾旱和洪水中)建立安全網，故減少毀林和森林劣化，有助於保障糧食安全。

23

(二)氣候智能型林業-4

- FAO(2017)指出，要瞭解林業在氣候智能型農業中的角色，就必須廣泛評估與森林有關的備選方案，及其對糧食安全及調適與緩解氣候變遷的潛在影響力。
- 可行的備選方案包括 -
 - ✓ 減少農業向林地的擴展
 - ✓ 減少森林劣化
 - ✓ 提高木質燃料和薪炭材使用效率
 - ✓ 實施混農林業

24



三、臺灣在地
氣候智能型農林業行動

(一)森林經營與氣候變遷調適

Locatelli et al., 2010指出，林業與氣候變遷調適之關聯性具有2個主要面向：

1. 森林提供生態系服務功能，使當地社區及廣大社會降低脆弱性，進而獲得氣候變遷調適能力。舉例而言，當氣候災害事件發生，農作物完全被摧毀，此時森林內仍可獲取部分糧食及林產品收入，而森林亦可提供關鍵的生態系服務功能，使人類生計、食物安全及環境永續能力得以確保。
2. 森林面對氣候變遷負面衝擊所採取的調適方法，取決於氣候變遷如何影響森林，例如美西的森林野火、日本的樹皮甲蟲、臺灣的山林崩塌等。調適策略必須能確保森林生態系服務功能的發揮，並與森林永續經營之目標相吻合；而林業政策、法令及治理架構必須保有彈性，以有效支持氣候變遷調適行動。

26

(二)我國林業部門碳管理策略

健全森林經營管理



27

(三)在地可行的
氣候智能型農林業行動

- 強化應對氣候變遷之韌性-混農林業
- 兼顧生計與生物多樣性保育-里山倡議

28

1. 混農林業

- 混農林業原以解決開發中國家糧食生產、木質燃料及森林生態議題為主要目的，但因應糧食安全及氣候變遷雙重威脅，各工業化國家日漸重視混農林業技術與政策。
- 為促使各國將混農林業納入國土利用規劃政策，並實施混農林業之獎勵措施，FAO自2013年起，開始系列發行混農林業工作報告(Agroforestry Working Paper)，強化相關資訊流通。

29

美國的混農林業政策

- 1996年美國農部永續發展計畫(Sustainable Development Program)成立混農林業跨機構工作小組，開始就混農林業對永續發展的貢獻進行評估。
- 2008年農業部相關機構簽署了國家級的聯合林業(Joint Forestry)備忘錄，探討混農林業在美國之潛力。
- 2010年美國農業部正式成立國家混農林業中心，並於2011年7月公布混農林業策略綱領(USDA Agroforestry Strategic Framework)之5年工作方針。

30

美國混農林業策略綱領

- 接納採行：增進地主與社群對混農林業的接受度進而實際採用
 - ✓ 發展夥伴關係、培育專業人士、全球化
- 科學：促進對混農林業的了解與技術研發
 - ✓ 策劃、研發、技術移轉
- 整合：將混農林業納入所有土地之保育及經濟發展策略
 - ✓ 政策及制度、影響評估、溝通宣導

31

(I)臺灣之混農林業試驗研究

- 農委會於民國101年1月30日函囑林業試驗所，針對：
 1. 混農林業之研究
 2. 林地內栽植何種果樹有利水土保持且將來具有市場性之研究
 等2大議題，於102年底前辦理完成。

32

102年林試所建議可採行措施(1/3)

- 現有已遭墾殖之國有林地屬宜林地者，強制實施山地混農林作業，方式如下：
 - (1) 檳榔園全面均勻混植每公頃600株造林木，並維護林木正常成長。
 - (2) 已開闢平台階段等水土保持設施之茶園，應於各平台階段之間陡坡區，以帶狀混植深根性林木，每公頃以混植600株為原則。

33

建議可採行措施(2/3)

- (3) 無平台階段等水保設施之茶園，應於適當區位(如坡度較陡及表土易遭沖蝕處)以塊狀及等高橫坡帶狀混植造林木，帶狀混植之栽植帶間隔應小於10公尺，並全區進行草生栽培，地表草類覆蓋度應達70%以上；每公頃至少混植600株深根性林木。

34



35

建議可採行措施(3/3)

- (4) 多年生深根性果樹，比照102年5月17日頒行之「出租造林地逾期未續約案件處理作業規範」所區分三種處理方式，屬「安全無虞」者，同意其繼續經營果樹，惟仍應維持草生栽培；其列為「已致生水土危害」或「有水土危害之虞」部分，應逐筆現場確實查對、記錄，如仍有致生危害或有水土危害之虞者，依本節第(3)項方式處理。

36

(II) 後續研究農地推動農林混作

- 農牧用地於造林木成長鬱閉前，容許在林間空隙地種植短期作物，可因農事之便充分照護林木；迨樹冠鬱閉後即停止農林混作，但適當地區可於林間放養家禽，兼顧蟲害防治。
- 農林混植屬長期共存之混農林業者，例如林下栽植咖啡、茶園混植林木、果樹與造林木混植等，由政府訂定規範以供遵循。

37

造林木鬱閉之前混植作物



光臘樹混植香蕉(2011.7~2012.8)



光臘樹混植毛豆(2012.12~2013.3)



光臘樹混植鳳梨(2011.9~2013.6)

38

(III) 推動林下經濟

- 105年7月26日農委會圓桌會議就林下栽培森林副產物議題訂出研擬的方向：
 1. 在不擾動森林地被、不影響林木生長及友善環境前提下，林下經濟得以經營森林副產物方式試辦之。
 2. 林務局應先明確定義林下經營森林副產物是否為森林法所指「林業使用」，副產物植物是否應正面表列為林業使用應進行研議。
- 105年10月13日林務局召集成立跨機關林下經濟推動小組。

39

林下經濟定義

- 林下經濟為混農林業的一種型態。
 - 2003年中國首次提出「林下經濟」，為實現不砍樹也能致富，因此積極推動林下經濟。
 - 類似美國所稱森林農作(**forest farming**)，係在森林樹冠層適當遮蔭的保護下，栽培高價值的特用作物。
 - 我國除了木、竹材等森林主產物外，其他林產物屬於森林副產物(或稱為非木質林產物)，因此林下經濟亦可歸類於林業中以生產**非木質林產物**為目標的一種經營型態。

40

林下經濟作物選擇原則

- 不影響主林木生長與水土保持—永續經營(生態指標)
- 具市場價值—活化在地經濟(經濟指標)
- 地主/山村居民需求—地區特色(社會指標)



跨部會研議三年，林下經濟政策終於上路，即日起實施(108年4月18日)

- ✓ 林務局指出，開放的前提必須維繫森林生態環境，如此才能源源不絕提供各種生態服務的價值。在不破壞森林環境前提下，開放林下種植段木香菇、木耳、金線連、森林蜂產品等森林副產物。
- ✓ 第二波開放品項針對咖啡與山茶進行評估，林下種植不應使用化肥與農藥，維護森林生態健全仍是開放的首要考量。

42



- 2010年聯合國《生物多樣性公約》第10屆締約國會議(COP 10)在日本名古屋召開，地主國日本政府特別提出能維護生態系、創造人與自然共生的「里山倡議」，呼籲發展永續型農林業。
- 里山(satoyama)泛指鄰近人類聚落且與人緊密相連的生態環境，是包含社區、森林、農業的混合地景，藉由合理利用、經營自然資源，使人類的活動空間與自然界達成永續發展的狀態，進而讓人類得以在具優質景觀、富生物多樣性的環境中生活。

44



45

里山地景之共享經濟

- 山村地區雖擁有生態、森林、水土、景觀、初級產業等資源，但社會經濟的現實面仍以都市地區為優位。
- 藉由科學研究，發展山村社區(里山地景)之共享經濟，打破資源擁有者與消費者之間的無形鴻溝，創造山村生態服務產業，打造臺灣幸福山村，是里山行動重要課題。
- 幸福山村之目標即在促進山村農林經濟永續、環境永續、文化永續。

46

生態系服務產業化、融入共享經濟

- 共享經濟(Sharing Economy)，指閒置資源的再分配，讓需求者以較便宜的代價享用資源，資源擁有者也能獲得回饋。
- 學者定義的共享經濟，主要涉及四要素：個人或公眾、閒置或多餘資源、分享平台、獲取收益。



47

山村生態服務產業之共享經濟模式

- 山村自然資本(natural capital)豐富，但由於經濟生產條件不足，造成資源閒置或荒廢；如有外部資源如NGO與NPO組織、產官學研等的投入與參與，可創造共享經濟供需平台。
- 奠基於山村農林產物與生態資源，投入傳統智慧與創新科技，落實里山永續精神，發展山村生態服務產業，可活化山村並裨益全民。

48

結語

- 氣候變遷之調適，絕無單純的解答。氣候智能型農業提供了廣義農業發展、糧食安全與調適衝擊的可能策略，但世界各國仍在摸索具體實施方式。
- 為強化農林業生產韌性，**混農林業**日益受到各國重視，尤其是多山的國家。以森林環境保護及增進農業生產，是確保農林業雙贏的策略，值得省思其操作模式。
- 國土計畫法已經施行，農業發展地區及城鄉發展地區均可採行氣候智能型農林業。

49



因應氣候變遷之作物生產技術與耕作系統~從防減災的立場

葉文彬¹

臺灣果樹作物種植面積為 18.4 萬公頃，產值達 923 億元。本研究目的為盤點各改良場轄內重要果樹農業生產技術與耕作系統，災害形成樣態進行問卷調查、資料蒐集與分析，並進行災害調適試驗，以為後續建立防範技術之參考。結果顯示，因臺灣地理條件特殊，由低海拔到高山，作物相複雜，耕作具多樣性，同一作物於同一鄉鎮有不同產產期，所面臨之氣象條件及災害型態亦不同。問卷調查顯示，果樹栽培者年齡以 51-70 歲、種植經驗為 21 年以上及露天栽培為多數；災害樣態以乾旱、冬季高溫及寒流為主，產量及財損達 20% 以上。專業農自家人及其他農友取得災害預防及復耕(育)措施資訊或技術，可復原比率以 50% 以上居多。另一方面，災害調適試驗以葡萄為例，開花為作物生產重要關鍵期，近年由於極端天候引起高溫事件頻率增加，嚴重影響葡萄授粉受精。因此，於葡萄花穗發育至開花期間，每日上午 9 時至下午 4 時，每隔 10 分鐘利用微噴霧處理 1 分鐘，可有效提高著果，穩定葡萄生產。

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場 副研究員

因應氣候變遷之作物生產技術 與耕作系統~從防減災的立場

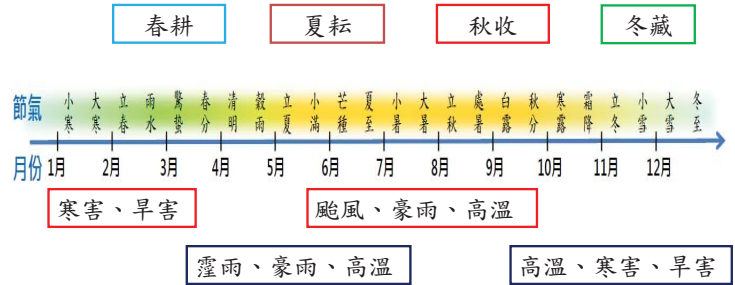
報告人
臺中區農業改良場
葉文彬

執行單位：桃園場、苗栗場、臺南場、高雄場、花蓮場、臺東場、茶改場

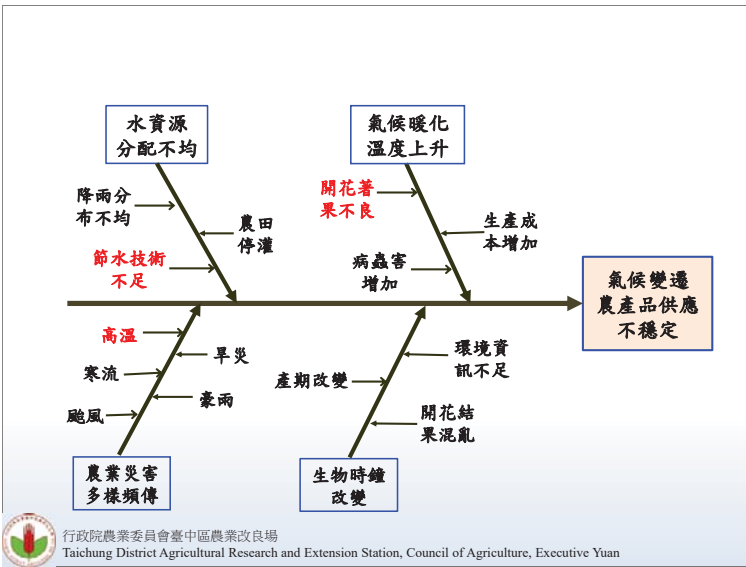


行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

前言



行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan



行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

(一) 暖化-溫度上升

1.改善葡萄、紅棗著果不良；2.鳳梨釋迦落果



著果不良定義 (Source: Oregon state university, 2004)



紅棗開花正常但受溫度影響著果



果穗不完整、增加疏果成本



高溫引起鳳梨釋迦採收前抽心落果、失去商品價值

行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

(二) 水資源分布不均

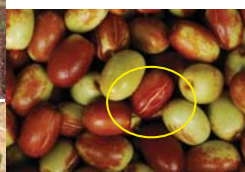
1.甘藷減產、2.茶收不穩定、3.紅棗裂果



旱、澇不均土壤水份乾、濕變化過大，產生裂藷(圖上)及鉛筆狀根(圖下)情形，進而導致產量減損。



茶因旱害造成植株生育不良甚至枯死，嚴重影響產量。



紅棗果園水份變化劇烈導致裂果、品質下降

行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

(三) 災害氣象調適

1.落花生影響雨害



落花生在萌芽及腐莖災損

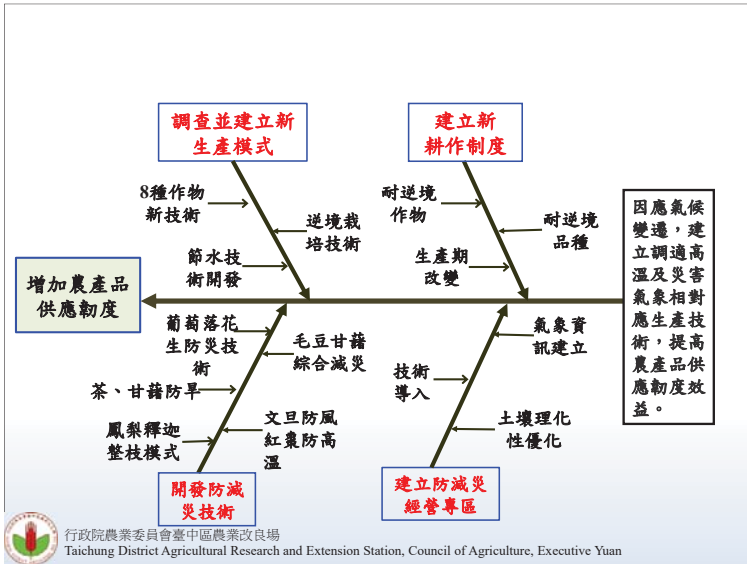


寒害造成豆夾畸形及早害引起葉片黃化



強風引起嚴重落果與枝條斷裂

行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan



韌性農業生產體系調查表-百香果

百香果栽培管理作業曆

生育月數	0~1	2~4	4~5	5~8	9~10
生育階段	育苗及定植期	植株發育期	開花期	果實發育期	果實成熟期
主要栽培作業	1.網室育苗 2.作高畦 3.PE塑膠布覆蓋畦面 4.行株距：3m*3m 5.搭棚架	1.注意灌(噴)水、施肥。 2.加強病蟲害防治及除草。 3.摘除腋芽 4.綁縛植株	1.加強肥培、灌水、除草。 2.全面防治可能發生之病蟲害。	1.全面防治可能發生之病蟲害。 2.若發現病毒病宜砍除病株燒毀或深埋。	1.宜檢拾完熟掉落地面或吊網之果實。 2.果實表面風乾。

行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

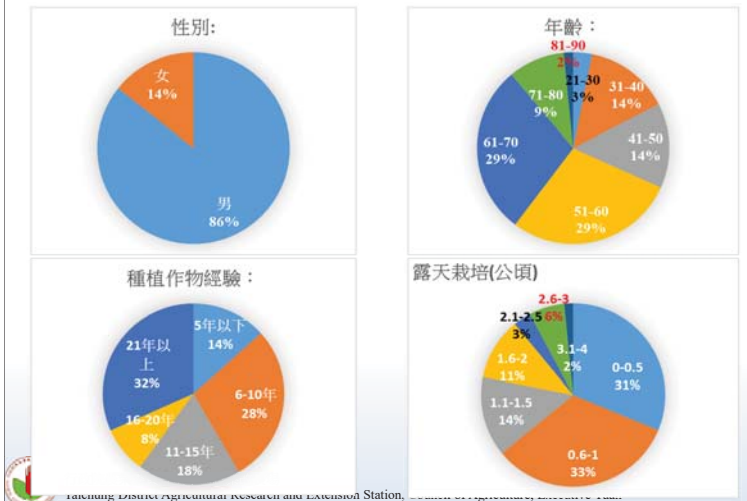
韌性農業生產體系調查表-百香果



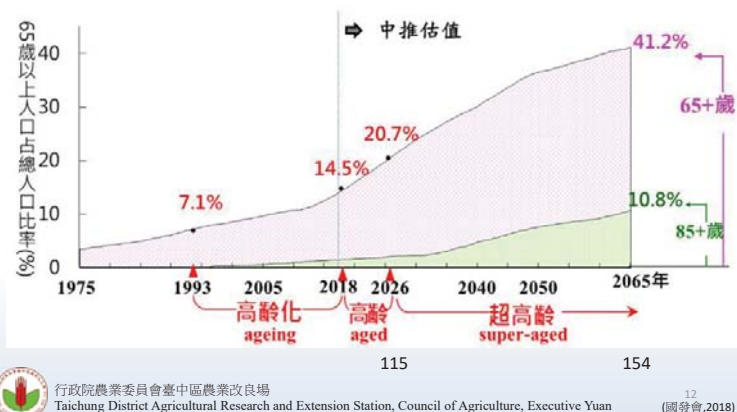
填報單位	作物	耕作系統	生產技術	應用地區	面積(公頃)	產期	產量(公斤)	市場	水源	優點	災害種類	推廣潛力	推廣限制	可推廣區域	可再進行改進建議
臺中場	百香果	全年	露天	南投縣埔里鎮	554	6-12月	37,000	拍賣、盤商、直銷	溪谷水	產期3次分散風險	寒流(12-2月) 豪雨(5-10月) 颱風(7-10月)	中	病蟲害防治成本高	北部及中部	導入設施模式
臺中場	百香果	全年	露天	南投縣水里鄉	18	6-12月	28,107	拍賣、盤商、直銷	溪谷水	產期3次分散風險	寒流(12-2月) 豪雨(5-10月) 颱風(7-10月)	中	病蟲害防治成本高	北部及中部	導入設施模式
臺中場	百香果	全年	露天	臺中市新社區	13	6-12月	20,340	拍賣、盤商、直銷	溪谷水	產期3次分散風險	寒流(12-2月) 豪雨(5-10月) 颱風(7-10月)	中	病蟲害防治成本高	北部及中部	導入設施模式

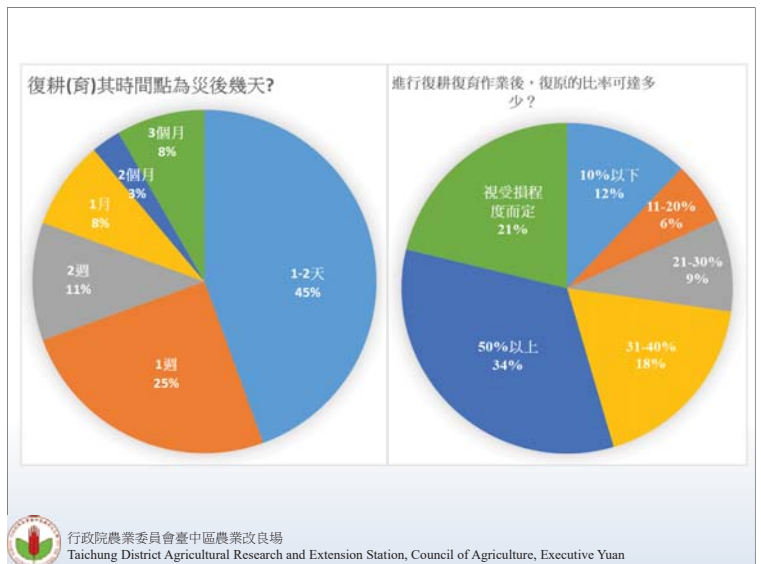
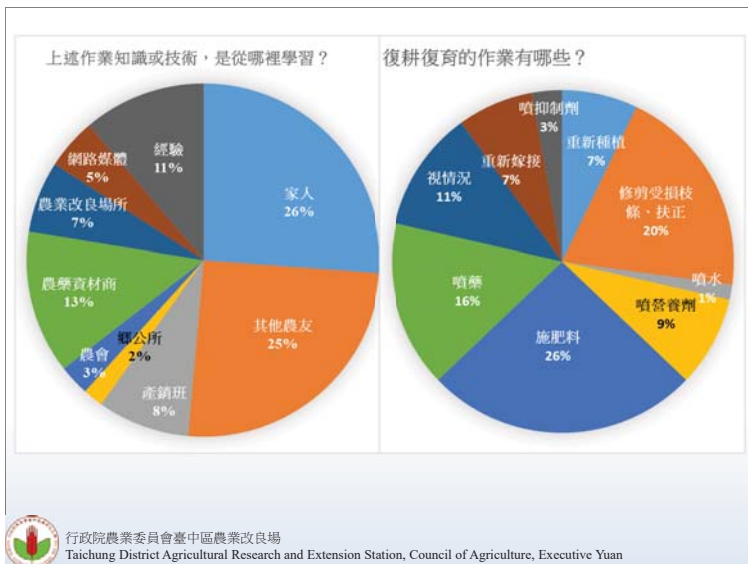
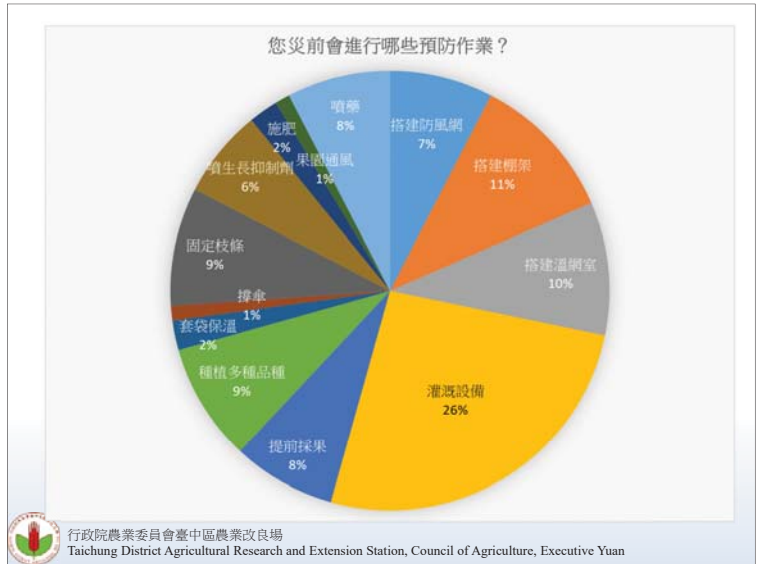
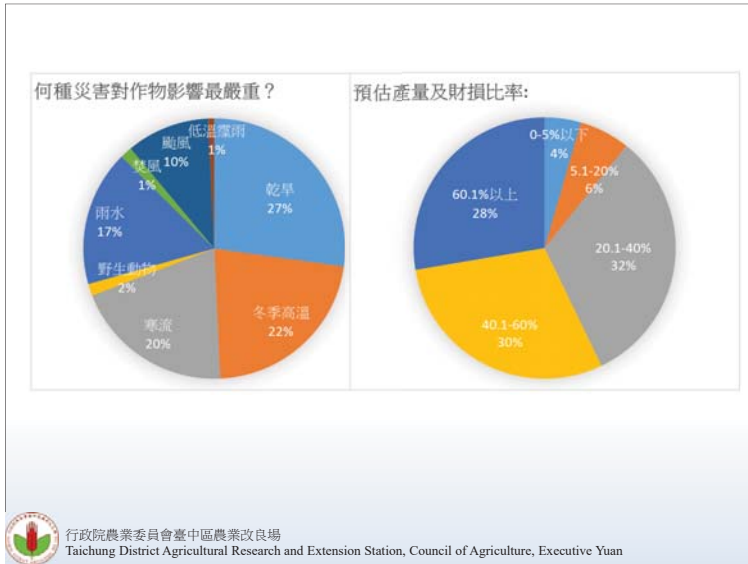
行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

增加農產品供應韌性問卷調查(高接梨、李、百香果、芒果、枇杷)



高齡化的臺灣





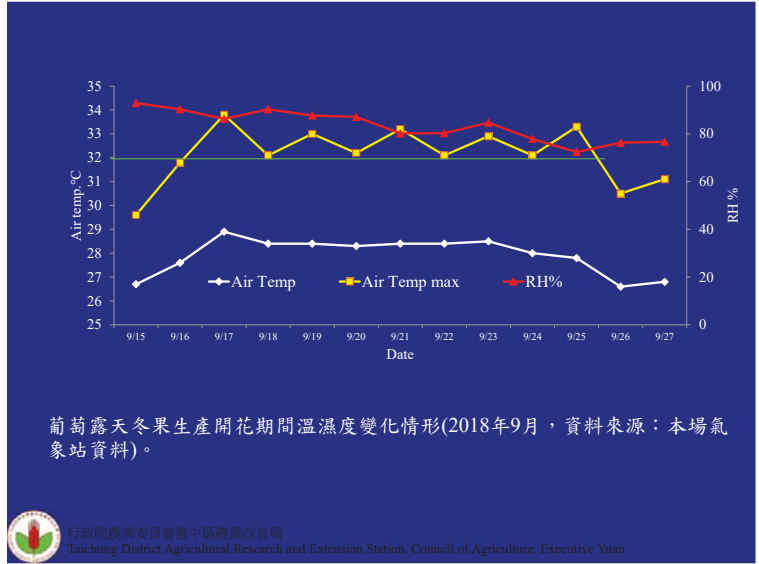
1. 主要品種巨峰葡萄為四倍體，著果率偏低之品種
2. 氣象條件、植株營養狀態、生長勢影響著果
3. 100-105年葡萄天然災害現金救助310,000千元
4. 其中3-4月鋒面造成無子果災損專案補助102,100千元
5. 鋒面→南風、溫度與濕度

葡萄農業天然災害現金救助統計表

年度	災害名稱	救助類別	縣市	作物名稱	申請戶數	核定戶數	核定面積	核定金額
103	3月、4月鋒面	專案補助	苗栗縣	巨峰葡萄	760	753	282.5995	20,347,175
103	3月、4月鋒面	專案補助	臺中市	巨峰葡萄	399	396	154.5667	11,128,812
103	3月、4月鋒面	專案補助	彰化縣	巨峰葡萄	2,270	2,220	773.5991	55,699,108
103	3月、4月鋒面	專案補助	南投縣	巨峰葡萄	110	101	50.1966	3,614,154
104	3月至4月鋒面	專案補助	臺中市	巨峰葡萄	407	404	157.1216	11,312,759

(資料來源：農糧署)

行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan



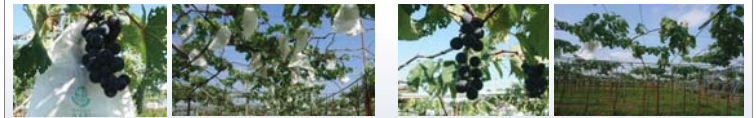
行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan



行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

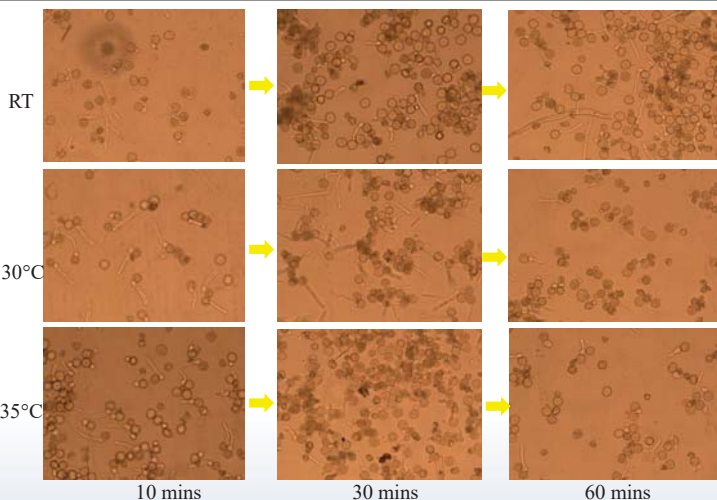
表3. 葡萄'巨峰'三期作開花期利用噴霧及細胞分裂素處理對著果之影響處理(冬果，201809)

Treatments	Shoot length (cm) ^z	Fruit set (%)	Shot berries (%)
Control	40.1a ^y	7.8a	10.3c
Spray	41.7a	9.7a	4.5a
Spray+Cytokinin 0.2ppm	40.9a	9.6a	4.4a
Cytokinin 0.2ppm	40.5a	8.9a	6.8b



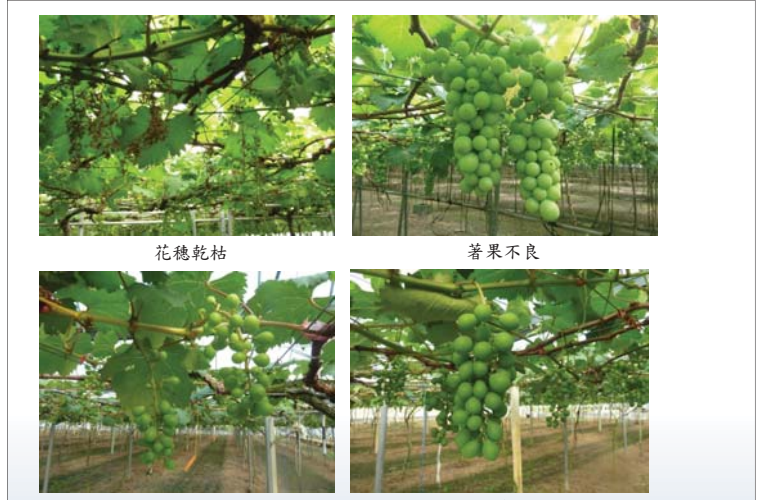
微噴霧處理
行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

無噴霧處理



不同溫度處理對葡萄花粉粒發芽之影響

行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan



疏果後
行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

正常果穗



辦理防減災推播事宜

行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan



一起努力持續往前 感謝聆聽 敬請指正

行政院農業委員會臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

臺灣漁業因應極端天氣災害之調適現況與發展

許嘉閔¹

臺灣四面環境複雜多樣且擁有豐富海洋資源，但長年的過度捕撈、海洋汙染以及棲地破壞影響，加上全球溫室氣體濃度不斷攀升，暖化趨勢與氣候變遷發生頻率日趨顯著，更加速漁業資源與天然種苗的匱乏。雖然臺灣水產養殖的優異技術，利用人工繁養殖技術提高養殖漁業產量可以補充海洋漁業的缺口。然而近年來發生的極端天氣事件屢創漁業災損記錄，如 2008 年澎湖海域低溫寒害導致大量魚群死亡、2009 年莫拉克颱風挾帶破記錄雨量重創養殖魚塢、2016 年創下各地低溫記錄的霸王級寒流造成虱目魚、文蛤、石斑魚、吳郭魚大量死亡、2018 年南臺灣 0823 的短時強降雨造成雲嘉南多處魚塢溢堤、2019 暖冬造成養殖烏魚卵發育不良而野生烏魚報到晚、今年(2020)更是臺灣自 1964 年以來首次無颱風侵臺造成全臺夏季高溫記錄，周遭海域的珊瑚經歷自 1998 年來最嚴重的珊瑚白化，將嚴重影響海洋生態。這些極端天氣打破以往漁民順應節氣而作的規律，也打破了漁民辛勤工作期待豐收的希望，為了協助漁民因應這些極端天氣災害，許多調適作為因應而生：

養殖漁業之因應包括：(1)評估產量前 15 大養殖物種推行適地適養、(2)水下保溫裝置提升加溫效果、(3)篩選及選育耐低溫型養殖物種、(4)漁電共構養殖模式降低強降雨與寒流影響、(5)運用物聯網設備開發智慧化養殖技術等、(6)鼓勵漁民參與養殖漁業保險有效轉嫁氣候異常風險。

海洋漁業因應包括：(1)長期監測臺灣周邊海域漁場環境、(2)進行洄游性魚類標誌放流、(3)運用衛星遙測資料，以預測最適合作業之漁場、(4)配合離岸風力發電政策進行藻床與牡蠣養殖試驗，供未來新興漁業經營模式。

¹ 行政院農業委員會水產試驗所 助理研究員

臺灣漁業因應極端天氣災害之調適現況與發展

報告人: 水產試驗所水產養殖組 許嘉閔

淡水繁殖研究中心
澎湖海洋生物研究中心
海水繁殖研究中心
沿近海資源研究中心
竹北
基隆
總所
企劃資訊組 海洋漁業組
水產養殖組 水產加工組
鹿港
馬公
台西
七股
前鎮
成功
知本
東部海洋生物研究中心
東港生技研究中心

臺灣漁業-漁撈與養殖產業

2018年產值約九百億元 占農業生產總值的17%

2018年重要經濟指標	面積(公頃)	產值(億)	產值百分比
農耕產值	790,680	2,694	51.1
畜牧產值		1,666	31.6
漁撈漁業產值		527	10.0
養殖漁業產值	31,227	369	7.0
林產產值	1,795,287	14	<0.03
農業生產總產值(億)		5,270	100.00

(資料來源: 整理自行政院農委會農業統計資料)

未來環境預測—氣候變遷影響糧食生產穩定

氣候變遷現象: 氣溫上升 1.5°C, 降雨型態改變 10%↓, 海平面上升, 極端天氣事件增加

生態環境: 生物多樣性, 物種繁殖力, 病蟲害疫病

農業生產

糧食安全

衝擊層面: (生態面) 影響農業產能、物種組成及生物多樣性; (社會面) 影響農產品的品質、數量及供應穩定性, 造成設施設備、農民資產之損失

敏感度高+暴露性高+適應能力有限=脆弱度高

漁業面臨氣候變遷挑戰

資源

- 沿近海漁業資源過度利用
- 海洋/氣象環境變動
- 漁業經營風險高

人

- 從業人口高齡化
- 專業人才不足

產業

- 漁業經營規模小, 機械/自動化導入誘因不足
- 國內市場需求有限, 進口漁產品競爭
- 水產養殖病害

氣候變遷對漁業生態影響直接影響及社會經濟影響

(資料來源: Cochrane et al., 2009年; 侯清賢, 2017年)

澎湖寒害2008、2011

Tropical fishes killed by the cold
死亡魚類計58科214種
養殖漁業災損超過1億8千萬台幣

死亡魚類計41科123種
養殖漁業災損超過8千萬台幣

2008年澎湖寒害 (謝恆毅等人, 2008)

2011年寒害期間青洲內灣海域的凍死物種 (呂逸林等人, 2011)

2016霸王級寒流襲台，災損多達32億元，虱目魚、石斑、文蛤及吳郭魚最嚴重



(https://www.chinatimes.com/realtimenews/20160203001011-2604057chdtv)

2016年農林漁牧業產物損失

漁業損失67.4億元

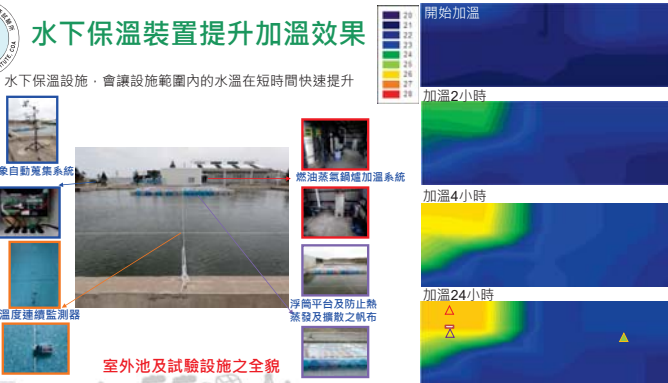
重要經濟指標	105損失(億)
農產損失	272.8
畜牧損失	0.8
漁業損失	67.4
林產損失	14
農產總損失值(億)	355

(資料來源：整理自行政院農委會農業統計資料、主計總處)



水下保溫裝置提升加溫效果

水下保溫設施，會讓設施範圍內的水溫在短時間快速提升



開始加溫
加溫2小時
加溫4小時
加溫24小時

室外池及試驗設施之全貌

篩選與文蛤混養之耐寒四種工作魚對絲藻及龍鬚菜的攝食能力

絲藻攝食實驗	豆仔魚	瓜子鱻	赤眼鯪	黃錫鯛
尾數	4	30	4	4
平均魚體重(g)	285.3	5.8	298.2	158.6
21天總攝食量(g)	1056	144	890	705
平均攝食量(g)/kg魚體重/天	44.1±3.5 ^b	39.4±2.1 ^{bc}	35.5±4.2 ^c	53.2±5.1 ^a
龍鬚菜攝食實驗				
尾數	4	30	4	4
平均魚體重(g)	285.3	5.8	298.2	158.6
14天總攝食量(g)	45	44	30	168
平均攝食量(g)/kg魚體重/天	2.8±0.6 ^b	18.1±1.5 ^a	1.8±0.4 ^b	18.9±2.3 ^a

開發石斑、吳郭魚、白蝦等育種與生產技術提高養殖生產效率與漁民收益



- 石斑類育苗成功率由傳統1-2%，提高到 > 10%
- 人工繁殖褐石斑（油斑），可耐10°C低溫，更能適應臺灣冬季之低水溫期
- 育成純海水養殖吳郭魚，可減少淡水使用
- 選育出耐低溫型吳郭魚，可耐10°C低溫
- 建立SPF白蝦種蝦與蝦苗生產技術，配合防疫設施及措施，成蝦產能由傳統 < 0.5kg/m²，提高為 > 2kg/m²

配合綠能政策，發展漁電共構養殖模式維持農地農用，增加漁民收益



- 魚塭可為發展17GW太陽能之場域
- 漁電共構養殖模式可調節魚池水溫，並降低強降雨、寒流影響，營造更穩定的養殖環境，提升養殖產能
- 已完成文蛤、吳郭魚、虱目魚、七星鱸初步試驗
- 符合40%遮蔽率下，維持 > 70%產能之規範
- 每公頃魚塭除漁獲外，養殖業者可增加地租收入每年20-40萬元，光電業者可設≥0.4MW發電裝置

應用資通訊技術，建構節源系統及聯網化感控與參數系統，開發智慧化養殖技術

智慧化室內循環水養殖系統較傳統魚塭減少80%用水量、50%人力，單位面積產能提高5倍，同時可充分因應極端氣候帶來的衝擊。

13

適地適養品種分析

近20年各地各月份氣溫達生存低溫情形

城市	站名	海拔(m)	分析時段	養殖物種	生存低溫(°C)
宜蘭縣	宜蘭	7.2	1996/1-2016/5	牡蠣	-2
花蓮縣	花蓮	16.0	1996/1-2016/5	文蛤	-1
新竹縣	新竹	26.9	1996/1-2016/5	烏魚	2
彰化縣	鹿港	17.0	2011/11-2015/6	鱸魚	4
雲林縣	石溪	35.0	1996/1-2016/5	七星鱸	4
嘉義市	嘉義	26.9	1996/1-2016/5	金目鱸	8
臺南市	永康	8.1	1996/1-2016/5	泰國蝦	8
高雄市	高雄	2.3	1996/1-2016/5	虱目魚	9
屏東縣	枋寮	2.0	2000/1-2015/6	白蝦	9
屏東縣	枋寮	2.0	2000/1-2015/6	點帶石斑	10
澎湖縣	澎湖	10.7	1996/1-2016/5	龍膽石斑	10
				海鱸	14
				午仔魚	14

研究對象產量前15大養殖物種

分析台灣重要養殖縣市篩選氣象局氣溫測站

近20年各地各月份氣溫達各物種生存低溫情形
20年×12個月×10縣市測站每日最低溫×15物種生存低溫

14

合適養殖期

台灣近20年重要養殖地區各月份達低溫之機率

養殖物種	生存低溫(°C)
牡蠣	-2
文蛤	-1
蝦	2
烏魚	2
鱸魚	4
七星鱸	4
金目鱸	8
泰國蝦	8
虱目魚	9
白蝦	9
吳郭魚	10
點帶石斑	10
龍膽石斑	10
海鱸	14
午仔魚	14

發生生存低溫的機率(%)=發生低溫的天數/總天數×100

地區	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
宜蘭	2.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
花蓮	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
新竹	3.8	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
彰化	3.9	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
雲林	9.4	4.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6
嘉義	7.5	2.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.0
台南	2.2	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
高雄	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
屏東	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
澎湖	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

台灣近20年重要養殖地區各月份連續3天達低溫之機率

連續3天發生生存低溫的機率(%)=連續3天低溫的次數/連續3天低溫的最大可能次數×100

地區	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
宜蘭	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
花蓮	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
新竹	1.4	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
彰化	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
雲林	4.8	1.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
嘉義	4.3	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
台南	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
高雄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
屏東	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
澎湖	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

15

養殖漁業保險 轉嫁氣候異常風險

漁業保險補助基準

地方公債 9 萬元

漁業者 漁民自付

目前實施漁業保險以「區域參數型」保單為主，保單分為「降水」及「溫度」參數型。

年別	投保件數	投保面積(公頃)
2017年	44	43.41
2018年	74	64.82
2019年	92	134.05

年別	投保件數	投保面積(公頃)	備註
2017年	18	17.7	
2018年	194	362.21	石斑魚、虱目魚
2019年	171	328.06	石斑魚、虱目魚、鱸魚、吳郭魚

16

氣候異常，為1964年以來首次無颱風侵臺

平均3.5次/年

沒有颱風侵臺 3 (1941, 1964, 2020)

級數	次數
1級颱風	12
2級颱風	14
3級颱風	37
4級颱風	17
5級颱風	16
6級颱風	7
7級颱風	4

備註定義：
1. 臺灣中心環流經過
2. 中心海平面氣壓低於海峽，但對陸地造成災情

資料來源：中央氣象局(1911-2020統計) 17

2020臺灣珊瑚大白化

2020年臺灣珊瑚礁大白化(中研院魚類研究所提供)

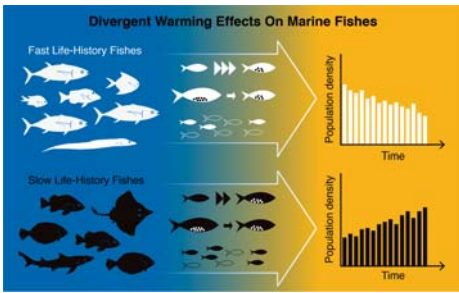
莫爾斯海峽

MOORE VIDEOS

(https://e-info.org.tw/node/227298)

18

暖化將會對不同生活史魚類產生差異影響



研究團隊根據生活史與溫度的關聯分析
暖化對印度、太平洋不同海洋魚類：
生活史較快的魚種產生負成長的影響，
生活史較慢的魚種產生正成長的效應。

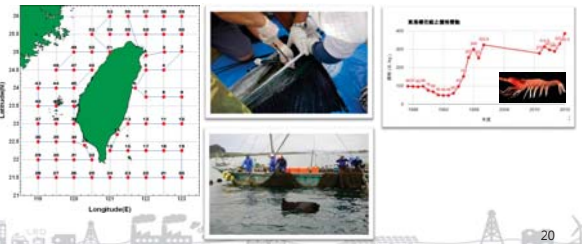
此研究成果修正所有魚種對升溫有一致的反應。增進對於氣候變遷的海洋魚類資源評估的精確度。
優先針對負溫度敏感度魚種，以達到管理效果的最佳化。

(Wang H-Y et al., 2020, Nature Communications)



因應氣候變遷調適，維護沿近海資源永續，提升魚價創造就業機會

- ▶ 長期監測臺灣周邊海域漁場環境，研議因應氣候變遷的漁業調適策略
- ▶ 進行簡、旗、鱈等高度洄游魚類標識放流研究，成果獲國際肯定
- ▶ 輔導東港櫻花蝦產銷班，依資源數據，設定年可採捕量，確保永續經營，並開發宜蘭龜山島櫻花蝦新漁場



海溫預測助找漁場 收集10年數據提供鎖管捕撈建議

依據10艘樣本船船長的問卷調查結果，提高漁獲量21%，並減少30%的油錢

漁民會在不同月份找尋 適合作業之海面水溫及水色 (海面葉綠素甲濃度)

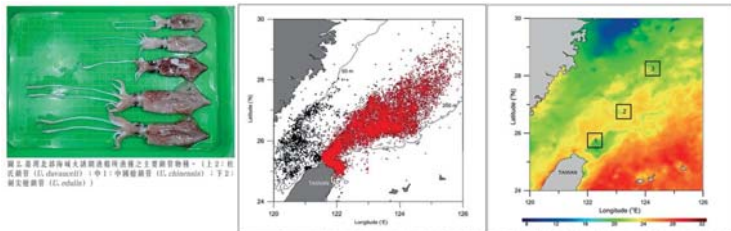
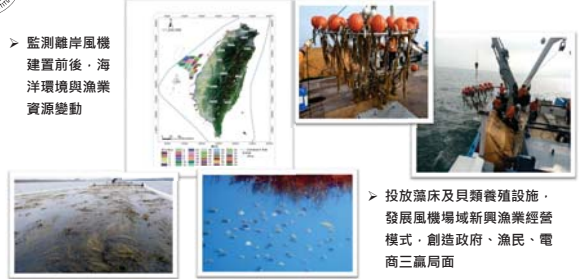


圖 3. 2009 年至 2018 年在本船作業區部分水溫，其中紅色為利尻鰹魚主要漁場之區域 (1: 高雄海域; 2: 高雄海域; 3: 東海陸棚區-鹿港及台海峽水溫) (張可揚等人, 2019)



調查離岸風場漁業資源，進行藻場創育與貝類養殖試驗 建立兼顧漁民收益之漁電共榮產業模式

- ▶ 監測離岸風機建置前後，海洋環境與漁業資源變動



- ▶ 投放藻床及貝類養殖設施，發展風機場域新興漁業經營模式，創造政府、漁民、電商三贏局面

配合綠能發展政策於2025年達到5.5GW離岸風能發電量，同時達到傳統漁業與離岸風能共享重疊海域目標



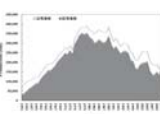
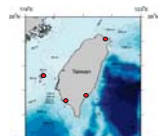
水產養殖展望

- ▶ 完備種原庫等基礎研究設施
 - 新建貝類(臺西)、蝦類、藻類(東港)種原庫、海水繁殖研究中心研究大樓，擴充知本種原庫設施
 - 整建各中心引水設施，改善總所水電管路
- ▶ 建立健康種苗繁殖體系
 - 建立二枚貝類(文蛤、牡蠣、扇蛤...)種、苗供應體系與繁殖技術
 - 擴大SPF蝦類(白蝦、草蝦、斑節蝦...)繁殖量產
 - 解決重點產業(吳郭魚、金目鱸、石斑...)面臨課題
- ▶ 開發多元漁電共生經營模式
 - 建置20公頃漁電共生育成基地(七股、台西)
 - 完成十大養殖物種(虱目魚、文蛤、吳郭魚、鱸魚、石斑...)魚場漁電共構試驗
 - 擴大輔導設施型光電養殖



海洋漁業展望

- ▶ 完備試驗船組成強化漁業資源及棲地環境調查
 - 1500噸船-遠洋、深海資源及漁場環境監測
 - 345噸船-西部陸棚海域
 - 100噸船-東部黑潮海域
 - 50噸船-周邊淺礁及河口域
- ▶ 整合學研機構有效掌握與利用沿近海漁業資源
 - 掌握80%(21魚種)沿近海漁業資源
 - 蒐集漁業資源管理所需科學數據
 - 建構以生態系為基礎的管理漁業
 - 善用離岸風機場域，培育藻場、發展箱網養殖
- ▶ 海洋養殖合作採集種魚開發新養殖物種培育資源
 - 優先採集鬼頭刀、紅喉、土魷、黑口、紅目鱸、白鰓、紅甘鯽、白帶魚、舌鰻等魚種進行繁殖
 - 於適合海域、時間、放流適合物種、規格與數量





臺灣乳牛產業因應氣候變遷之生產調適現況與未來發展

涂柏安¹ 葉亦馨¹ 施意敏¹

根據中央氣象局統計資料，以 1961-1990 年的平均值 23.56°C 為基礎值，1910-2010 年的平均溫度上升 $0.15 \pm 0.02^\circ\text{C}/10$ 年；1980-2010 年平均溫度上升 $0.21 \pm 0.13^\circ\text{C}/10$ 年，近百年臺灣地區每年溫度上升的速度明顯增加。面對高溫情境及熱浪頻率增加，易造成牛隻熱緊迫並非常敏銳的表現在乳牛行為，如提高呼吸頻率、降低採食和反芻時間等，直接反映在酪農的經濟收益，如降低牛隻泌乳量及繁殖性能等。畜牧業者面對乳牛熱緊迫的調適方法，包括改變飼糧配方、調整配種季節及智慧畜舍環境降溫控制等。這些調適與努力，讓臺灣的鮮乳產量 2019 年仍維持 43 萬公噸，國內乳品自給率達 30%。面對未來乳牛熱緊迫的情境越加嚴峻，如何預測未來衝擊，建立智慧管理等調適作為，達乳量減損之目標為目前重要的研究課題。因此，本研究與中央氣象局及國家災害防救中心 (NCDR) 合作，以畜產試驗所新竹分所保存 30 年以上之全國乳牛管理、乳質及乳量資料為基礎，參考中央氣象局提供之 10 年歷史氣象資料，以 Mauger et al. (2015) 模式，進行泌乳牛受熱緊迫影響的乳量評估。另一方面，以國家災害防救中心提供之統計降尺度 AR5 RCP85 情境資料，推估 2050 年熱緊迫造成泌乳牛乳量的潛在損失。以國內乳牛飼養頭數最高的彰化縣為例，分析結果顯示，泌乳牛因熱緊迫所致全年乳量損失增加約 10%。冬夏季比較，乳牛因熱緊迫造成乳量損失約 7-10 kg/day/cow，未來熱季延長對熱季泌乳量損失更為加劇，預估未來熱緊迫對泌乳牛乳量損失高達 12-16 kg/day/cow。面對未來情境，乳牛飼養的調適作為需更為精進，期達到降低乳量損失之目標。

¹ 行政院農業委員會畜產試驗所新竹分所

臺灣乳牛產業因應氣候變遷之生產調適現況與未來發展

行政院農業委員會畜產試驗所新竹分所
涂柏安 葉亦馨 施意敏

1

氣候變遷對臺灣的影響

氣候變遷對乳牛產業的影響

乳牛生產調適現況 - 以新竹分所為例

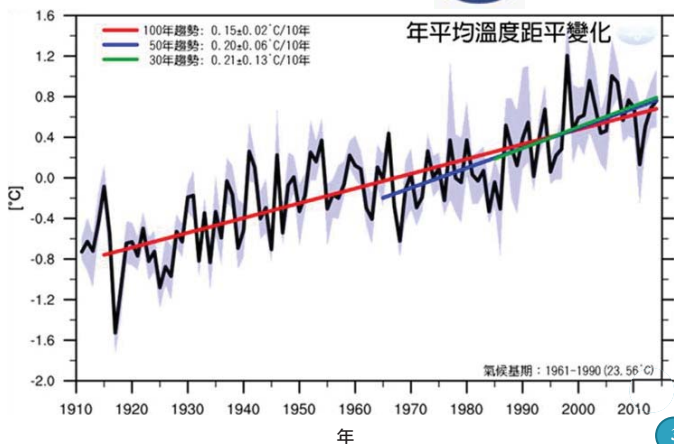
熱緊迫對於泌乳牛乳產量的影響 - 以彰化縣為例

結論

2

臺灣地區近100年平均溫度變化趨勢

交通部中央氣象局
Central Weather Bureau

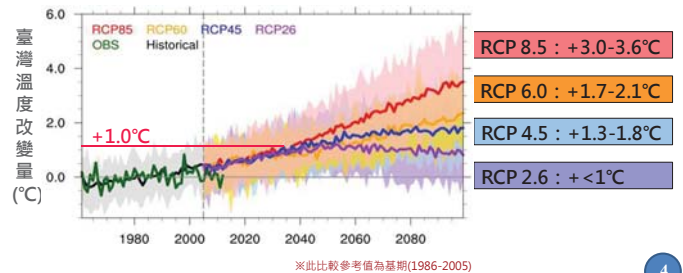


3

臺灣溫度未來百年持續暖化



- 21世紀中 (2046-2065年) 之後，臺灣增溫將可能超1°C
- 21世紀末 (2081-2100年)，最劣情境 (RCP8.5) 下，臺灣可能增溫超過3°C

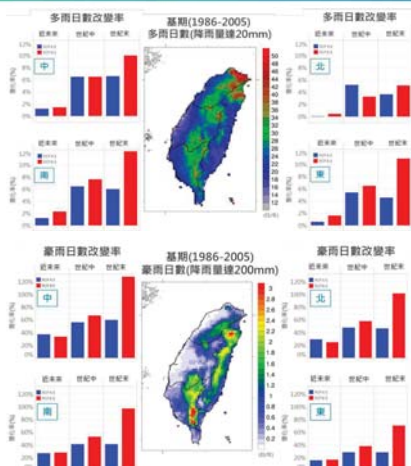


4

臺灣極端降雨未來推估—濕

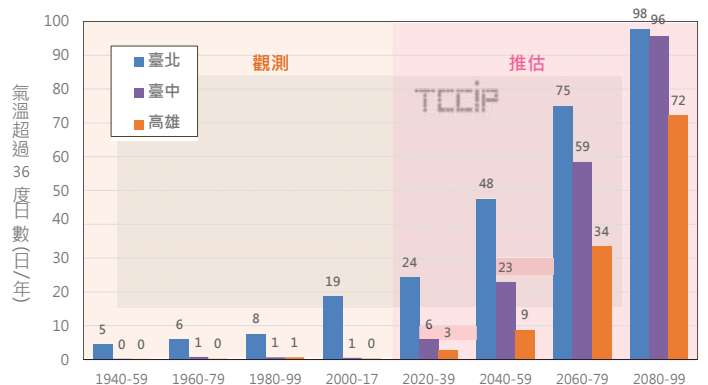


- 21世紀末臺灣多雨日數 (日降雨超過20mm) 有增加的趨勢，南部增加較明顯
- 21世紀末臺灣豪雨日數 (日降雨超過200mm) 有增加的趨勢，中部增加較明顯



5

氣溫超過36度日數推估



6

氣候變遷對臺灣的影響

➤ 氣候變遷對乳牛產業的影響

乳牛生產調適現況 - 以新竹分所為例

熱緊迫對於泌乳牛乳產量的影響 - 以彰化縣為例

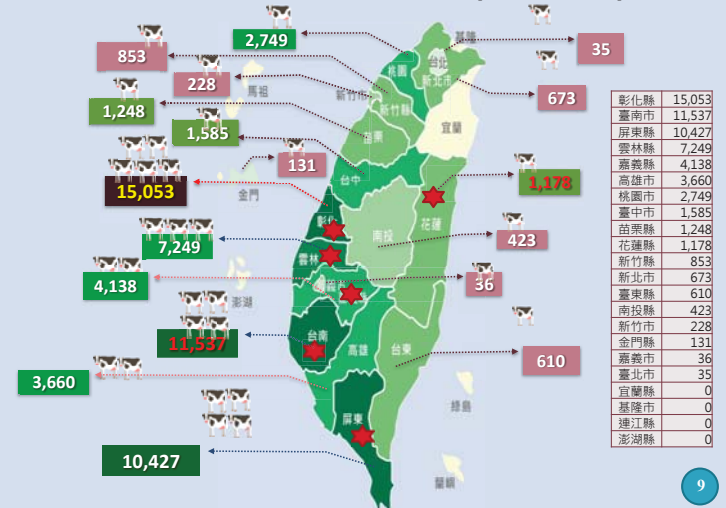
結論

臺灣乳牛產業 6 萬頭泌乳牛 產值114億

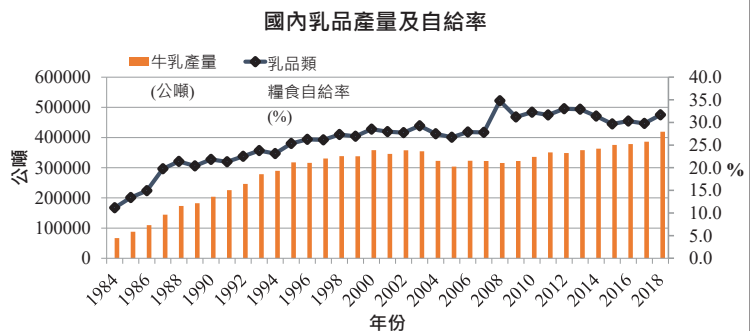
年	乳牛場 (戶)	荷蘭牛頭數 (頭)	泌乳牛頭數 (頭)	牛乳產量 (公噸)
2010	571	122,989	55,296	336,036
2011	556	127,586	57,196	350,894
2012	560	129,445	46,600	348,489
2013	554	130,409	60,500	358,146
2014	550	128,608	60,103	363,145
2015	546	132,009	61,859	375,499
2016	545	129,071	59,601	378,488
2017	553	130,413	60,523	386,362
2018	553	132,995	61,967	419,342
2019	559	134,369	61,813	431,879

我國牛乳產量主要來自於屏東縣萬丹鄉、彰化縣福興鄉、雲林縣崙背鄉及台南市柳營區，該四鄉鎮產乳量占全國總乳量近 5 成。

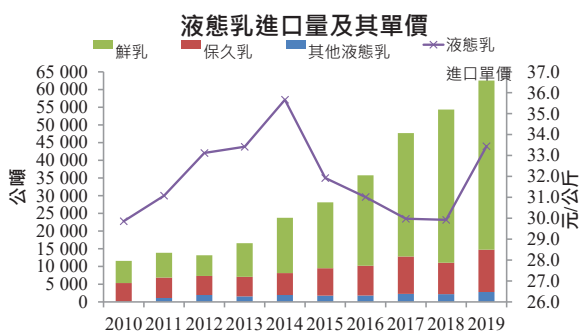
2019年產乳牛頭數按縣市分(約6萬頭)



2008-2018年乳品自給率均維持30%左右

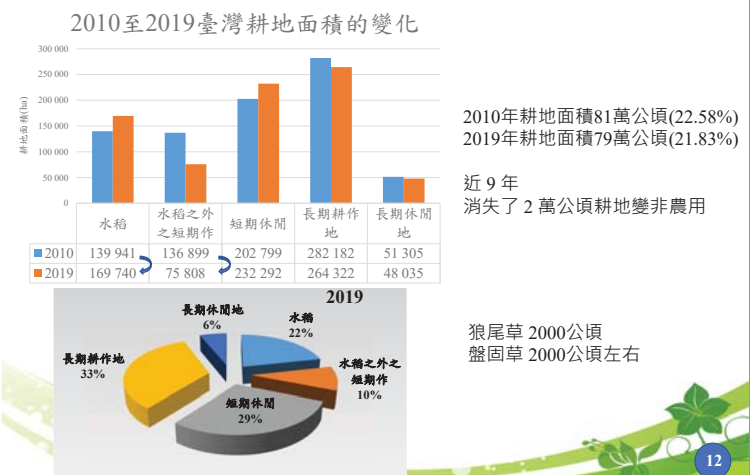


進口鮮乳逐年增加



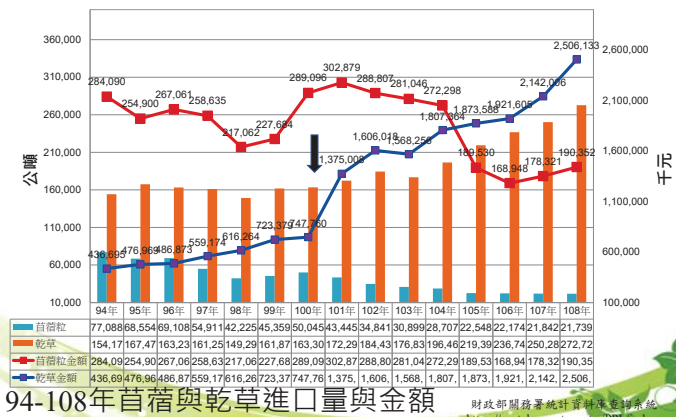
受國人消費需求強勁，我國液態乳進口量逐年遞增，進口型態以鮮乳為主，主要進口來源國為美國、紐西蘭及澳大利亞。

2010-2019年臺灣可耕面積減少2萬公頃



乳牛所需進口乾草逐年增加

108年進口乾草27萬公噸達25.1億



94-108年苜蓿與乾草進口量與金額

國產盤固乾草價格逐年攀升至5.28 元/公斤

表1、2010年至2020年乳牛飼料原料及草料平均價格 單位：元/公斤

年份	產地農場價格								
	玉米粒	米糠	麩皮	黃豆粉	青割玉米	狼尾草	苜蓿乾草	盤固乾草	尼羅草乾草
2010	8.56	8.46	5.68	13.70	-	-	-	-	-
2011	10.88	10.01	6.92	13.87	1.71	1.12	-	5.09	5.40
2012	10.92	10.23	7.15	16.19	1.77	1.18	-	5.15	5.96
2013	10.58	9.92	7.31	17.64	1.95	1.20	-	5.17	6.13
2014	7.99	9.02	6.12	17.89	1.71	1.20	-	5.17	6.14
2015	7.37	7.45	5.20	13.83	1.68	1.18	-	5.23	6.90
2016	6.82	6.98	5.55	13.35	1.84	1.18	-	5.21	6.90
2017	6.91	6.96	5.80	12.40	1.83	1.16	-	5.23	6.90
2018	7.04	6.58	5.41	12.90	1.85	1.15	-	5.21	6.92
2019	7.57	7.18	5.99	12.35	1.88	1.12	-	5.24	6.95
2020	6.92	8.00	5.62	12.00	1.91	1.07	13.74	5.28	6.96

糧食安全-氣候變遷與畜牧產業

- 氣候變遷對畜牧業的影響，以乳牛產業最為明顯。
- 國內 6萬頭乳牛產值 114億元。
- 臺灣可耕地面積減少 9 萬公頃。
- 乳牛飼養所需乾草仰賴進口達27萬公噸25.1億元。
- 國內芻料成本增加(青割玉米、盤固乾草)。
- 乳牛飼養的調適作為，勢在必行。

氣候變遷對臺灣的影響

氣候變遷對乳牛產業的影響

➤ 乳牛生產調適現況 - 以新竹分所為例

熱緊迫對於泌乳牛乳產量的影響 - 以彰化縣為例

結論

乳牛生產調適現況 - 以新竹分所為例



乳牛舍面臨熱環境的控制方式



調適作為：風扇降溫



19

調適作為：噴霧降溫



20

調適作為：完全混合日糧提高採食量



21

調適作為：刮糞機減少水量使用



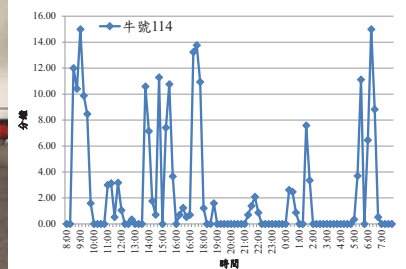
22

調適作為：機器人擠乳少量多餐



23

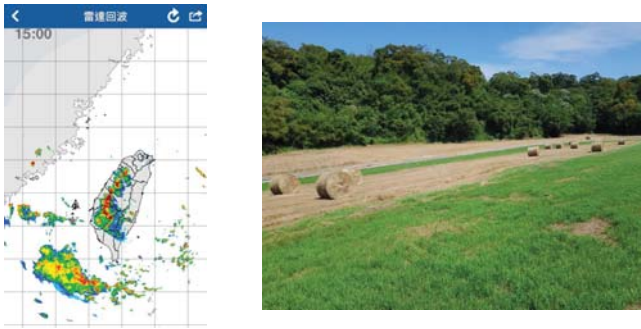
調適作為：推料機促進採食時間



利用頸圈感測器測定乳牛採食時間

24

建立氣象資料客製化服務於盤固乾草生產



目前新竹分所乾草製作的成功機率 90 % 以上。

氣候變遷對臺灣的影響

氣候變遷對乳牛產業的影響

乳牛生產調適現況 - 以新竹分所為例

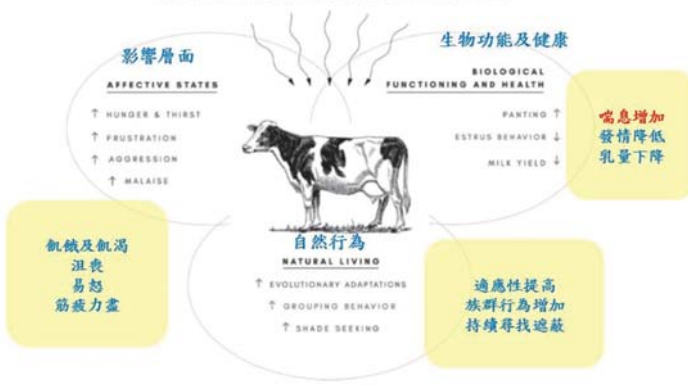
➤ 熱緊迫對於泌乳牛乳產量的影響 - 以彰化縣為例

結論

熱緊迫的影響

環境溫度愈來愈高

ELEVATED ENVIRONMENTAL TEMPERATURES

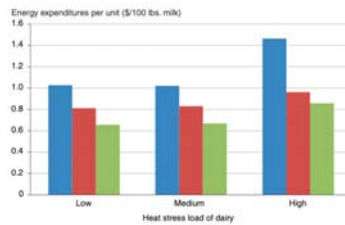


Polsky et al., 2017

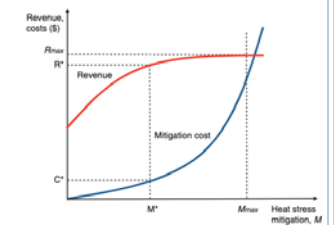
糧食安全-熱緊迫與畜牧產業

○ 本研究主要評估熱緊迫對牛乳生產之影響及建立調適制度。

Energy expenditures per unit increase in warmer climates



Optimal heat stress mitigation

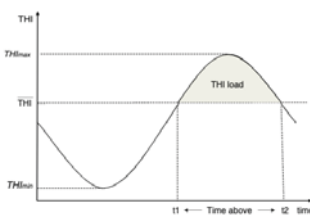


在高熱緊迫下，生乳生產所需的花費越高

氣候變遷與熱緊迫

- 動物體感舒適度的影響因子除了溫度外，尚有濕度的影響。
- 測量及紀錄酪農業生產區域的溫度、濕度及相關氣候因子，以計算區域歷史熱承載量。
- 依據AR5統計降尺度中不同氣候情境下，推估各生乳產區未來熱乘載量。

Temperature Humidity Index load for one day

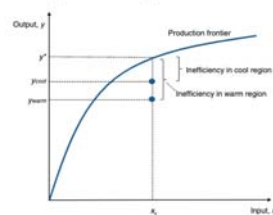


Source: USDA, Economic Research Service.

評估熱緊迫對乳牛生產效率的影響

- 調適策略的資本投入對於生產效率的提升並非線性。
- 評估泌乳牛於不同高溫濕度指數承載量 (THI load) 下的生產效率。
- 將生產效率的損失換算為經濟價值的損失。

Temperature Humidity Index load for one day



Source: USDA, Economic Research Service.

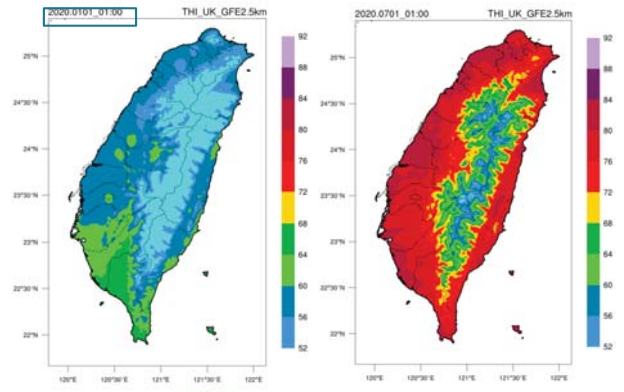
溫溼度指數 (THI) 與乳牛熱緊迫

		相對溼度(%)												
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
環境溫度 °C	18	61	61	62	62	62	63	63	63	64	64	64	熱緊迫之 閾值	
	19	62	62	63	63	63	64	64	65	65	66	66		
	20	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68		
	21	63	64	65	65	66	67	67	68	69	69	70		
	22	64	65	66	66	67	68	69	69	70	71	72		
	23	65	66	67	67	68	69	70	71	72	73	73		輕微至中度 熱緊迫
	24	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75		
	25	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77		
	26	67	69	70	71	72	73	74	75	77	78	79		
	27	68	69	71	72	73	74	76	77	78	79	81		中度至嚴重 熱緊迫
	28	69	70	72	73	74	76	77	78	80	81	82		
	29	70	71	73	74	76	77	78	80	81	83	84		
30	71	72	74	75	77	78	80	81	83	84	86			
31	71	73	75	76	78	80	81	83	85	86	88			

熱緊迫閾值:呼吸速率超過60bpm • 乳量開始減少、繁殖率降低還有直腸溫度達38.5°C
 輕微至中度熱緊迫:呼吸速率超過75bpm • 直腸溫度達39°C
 中度至嚴重熱緊迫:呼吸速率超過85bpm • 直腸溫度達40°C

31

畜試所與中央氣象局合作繪製溫溼度指數 (THI) 提供預估乳牛熱緊迫損失之基礎資料

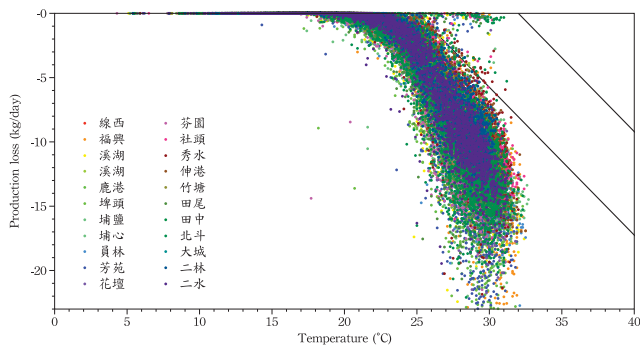


行政院農業委員會
畜產試驗所
Livestock Research Institute

交通部中央氣象局
Central Weather Bureau

32

溫度與乳量損失之關係



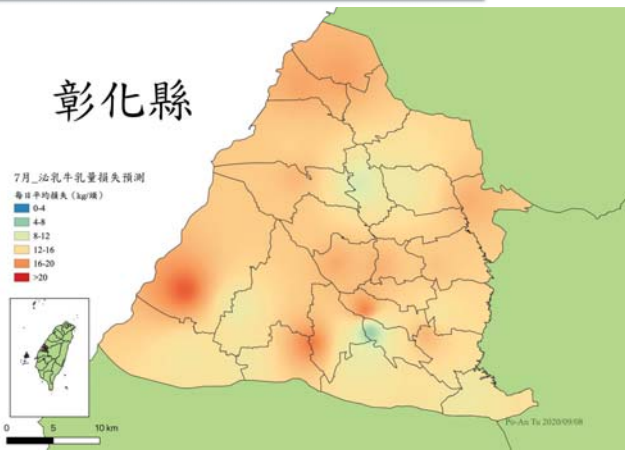
33

2020年1月 泌乳牛乳量損失預測



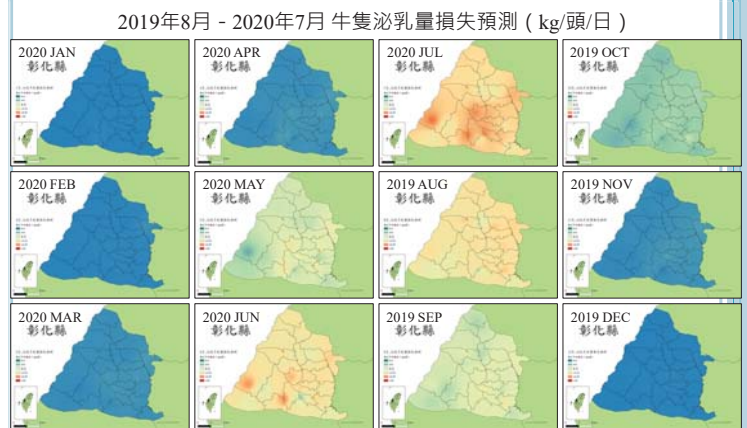
34

2020年7月 泌乳牛乳量損失預測



35

2019年8月-2020年7月泌乳牛乳量損失預測

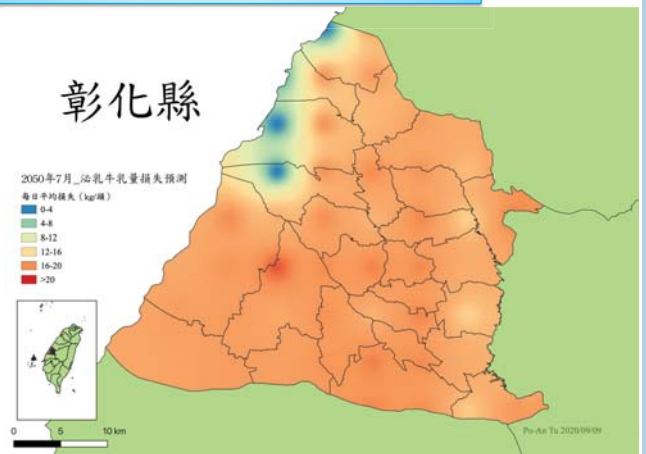


36

2050年1月 泌乳牛乳量損失預測

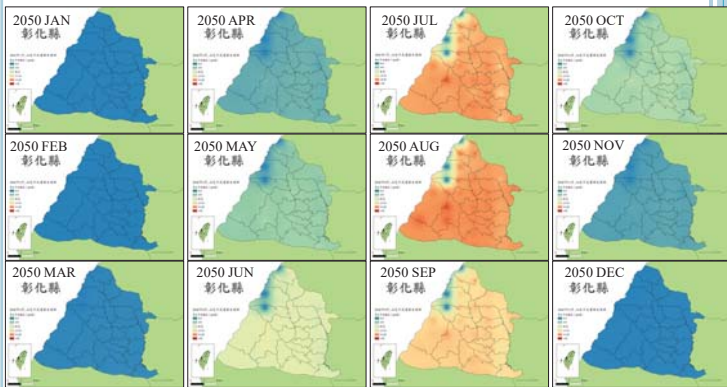


2050年7月 泌乳牛乳量損失預測

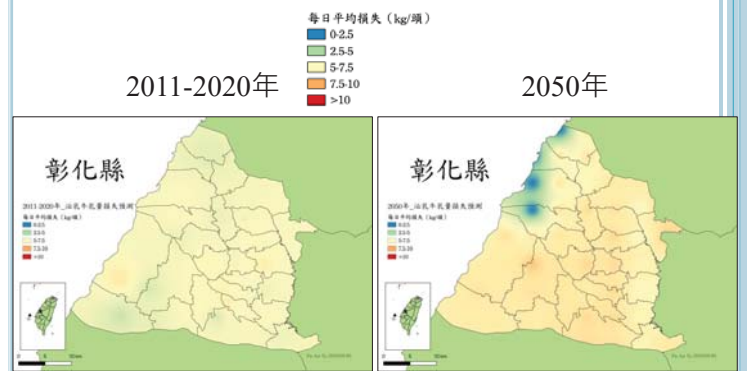


2050年1月至12月 泌乳牛乳量損失預測

2050年1至12月 牛隻泌乳量損失預測 (kg/頭/日)



2011-2050年全年平均泌乳牛乳量損失預測

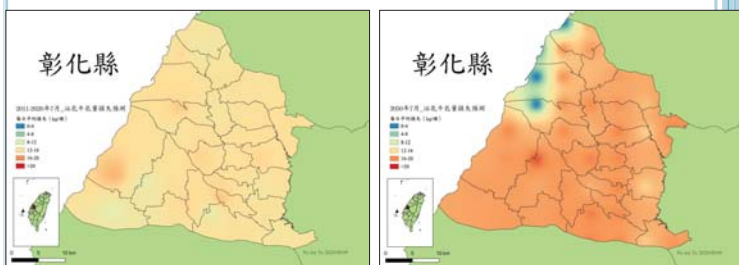


2011-2050年 7月平均泌乳牛乳量損失預測

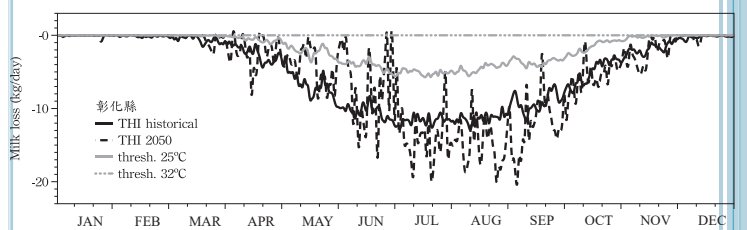
每日平均損失 (kg/頭)

2011-2020年7月

2050年7月



應用歷史氣象資料及未來AR5情境推估彰化縣泌乳牛乳量損失



氣候變遷對臺灣的影響

氣候變遷對乳牛產業的影響

乳牛生產調適現況 - 以新竹分所為例

熱緊迫對於泌乳牛乳產量的影響 - 以彰化縣為例

➤ 結論

結論

1. 臺灣的氣候屬高溫溼熱環境，乳牛因冷熱季造成乳量損失約 7-10 kg/day /cow。
2. 預估未來氣候變遷，泌乳牛面對熱緊迫造成乳量損失高達 12-16 kg/day /cow。
3. 臺灣 6 萬頭乳牛，因熱緊迫減產0.5 kg/day/cow，一年損失即高達 2.86 億。調適作為的投資勢在必行。
4. 面對未來情境，乳牛飼養的調適作為需更為精進，期達到降低乳量損失之目標。

43

44

致謝

交通部中央氣象局 柳再明 簡任技正

國家災害防救中心 陳永明組長

農業試驗所 姚銘輝 研究員



國家災害防救中心 陳永明組長

交通部中央氣象局 柳再明 簡任技正

交通部中央氣象局 蔣順惠 技士

45

46

報告完畢
敬請指正

節次三：環境資源之調適與韌性

氣候變遷下農林漁牧環境資源衝擊與調適方案

陳柱中¹

氣候變遷的衝擊具有空間與時間的差異，定量解析各個區域與時間下的風險是重要的工作，受限於國土面積，臺灣的耕地、森林甚至沿近海之洄游魚群都是重要且有限的資源，了解氣候變遷情境下對這一些空間資源的影響，是刻不容緩的議題。綜觀歐盟、美國對於氣候變遷的調適方案中，皆主要為克服極端溫度對於動物的影響、土壤資源的退化、以及對作物的生育期和生產力的影響。減少土壤資源的退化是提升農業生產韌性的主要因子，氣候變遷情境當中的溫度上升加速土壤有機質的分解，臺灣未來可能的面臨的降雨不平均與強降雨，增加土壤沖蝕、養分流失的風險，有鑑於此，過去長時間投入保育耕犁、早生栽培、改變內部排水、生物炭…等議題之研究與推廣，並取得相當多的成功案例。沿海區域的風蝕也是需要關注的議題，除了土壤管理外，維持海岸林的完整性亦是應投入研究的議題。因為不同區位的土壤環境與氣候組合不一樣，所面臨的氣候變遷衝擊不相同，例如即使在相同氣候區，不同排水或導水性質的土壤即有不同的產量限制因子，必須考量作物-大氣-耕地土壤環境組合的影響，作物生長模式以數學模型描述作物與環境之間的交互作用，是氣候變遷下作物衝擊評估的主要分析工具，過去臺灣逐步導入不同類型的作物生長模式，如 DNDC, ORYZA, DSSAT (CERES-Maize, CERES-Rice), GLYCIM, MAZSIM, STICS 等，逐年透過試驗建立模式所需的參數，利用不同區域資料進行模式的參數調校、驗證等工作，並實際應用於田間尺度的產期和產量預測，由於過去數十年間推動臺灣的土壤肥力監測與土壤調查，逐步建置臺灣土壤資料庫，並大量進行土壤物理特性的分析，建立各土系的土壤物理資料庫，作為區域模擬所需要土壤水文參數的基礎，解決過去模式進行空間作物模式難以取得土壤水文參數的困難，逐步建立主要模式所需的土壤參數資料庫，整合未來情境之氣象資料，分析不同區域的衝擊與可能的調適方案。

¹ 行政院農業委員會農業試驗所 農業化學組 助理研究員



2020「因應氣候變遷之韌性農業」研討會

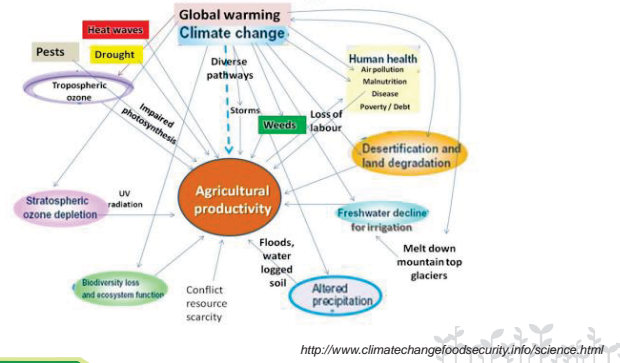
氣候變遷下農林漁牧環境
資源衝擊與調適方案

農業試驗所
陳柱中 助理研究員

2020年10月21日

1

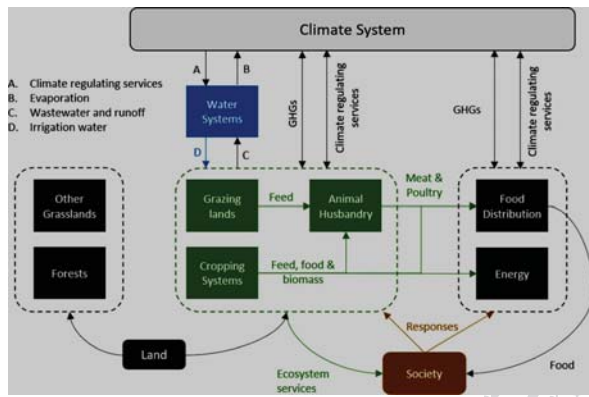
Multiple impacts of global warming and climate disruption on agriculture



<http://www.climatechangeandfoodsecurity.info/science.html>

2

氣候變遷與農業生產系統



Climatic Change (2018) 1-14

3

氣候變遷的指標

組成	氣象因子	對於農業的影響	指標
家畜	高溫/低溫	繁殖性能下降、致死率上升	目標區域濕溫因子、風寒因子
家畜	極端因子	繁殖性能下降、致死率上升	目標區域年度綜合氣候指數
土壤	強降雨	表土沖蝕、養分流失	降雨沖蝕指數(R值)、降雨強度
土壤	碳封存、溫室氣體交換	土壤品質、入滲、養分循環、有機碳變化	土壤團粒、碳吸存
土壤	降雨	土壤水分含量、入滲	植物有效水分含量
植物	溫度	生育期發展	物候期變化·開花、萌芽...
植物	溫度	花芽分化低溫需求	需冷量
植物	溫度	積溫、生育期、夜溫	植物耐寒區
植物	溫度、降雨、二氧化碳	淨初級生產量	生態系統生產力
植物	溫度、降雨、產量、生質量	二氧化碳	生產力與經濟收益

Climatic Change (2018) 1-14

4

不同尺度的作為(EU)

區域尺度

- 促進農場尺度的調適作為
- 氣象的風險管理與保險
- 提升灌溉設施效率
- 淹水的管理與治理

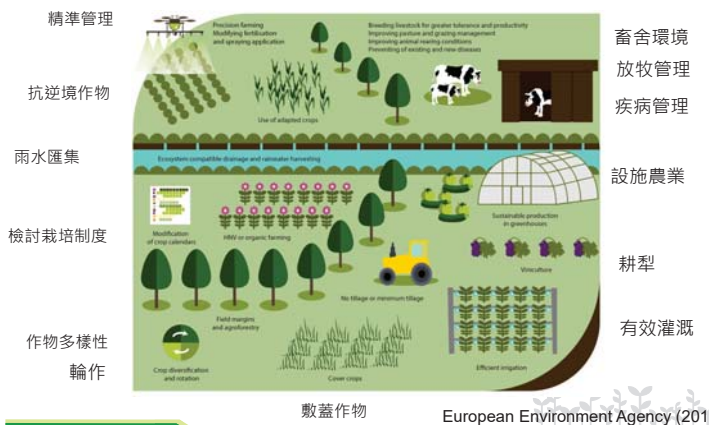
農場尺度

- 提升灌溉效率
- 精準耕作
- 有機農法
- 調整栽培曆
- 抗逆境品種
- 覆蓋作物
- 設施農業
- 調整肥料施用技術
- 輪作
- 抗逆境畜禽品種
- 提升牧草與放牧管理
- 提升飼養條件
- 減緩氣候變遷影響畜牧疾病
- 最小耕犁
- 環境保護與監控設備
- 農田邊界緩衝

整理自 European Environment Agency (2019)

5

農場尺度的調適作為



European Environment Agency (2019)

6

提升韌性 – 減緩土壤沖蝕



海岸林為沿海地區的第一道屏障，可保護沿海地區農作物及地區人民財產安全，往往農作物收成之盛衰與海岸林之保護情形有很大之關係，也可降低當地居民生活風險。



常遭強風雨侵襲，可能造成樹幹、樹冠、根系、枝條的衰退或劣化，及常夾帶大量鹽分及其他有害物質的風，對樹木之危害更劇烈，進而破壞威脅人民及農作物資產的安全，屬於樹木風險評估之高風險群。



7

宜蘭壯圍海岸林



宜蘭縣壯圍鄉

以壯圍沙丘旅遊服務園區為中心，選定鄰近之海岸防風林，南北縱向長度全長3公里，陸地面積約100餘公頃。



8

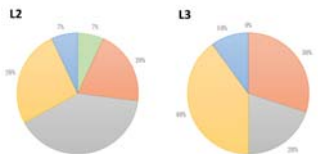
利用空間和時間強化韌性



- 沿近海資源 – 烏魚
- 利用作物模式分析未來情境區域糧食供應



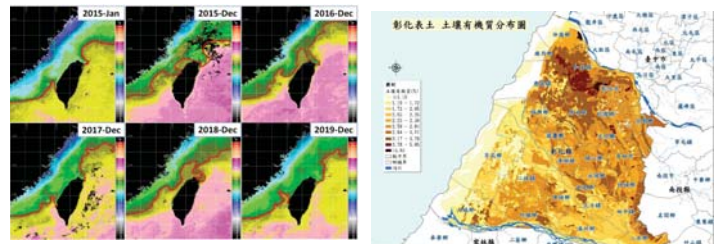
L2及L3樣線之木麻黃外觀品質百分比



圖例：0% 外觀優良，10% 外觀優良，20% 外觀優良，30% 外觀優良，40% 外觀優良，50% 外觀優良，60% 外觀優良，70% 外觀優良，80% 外觀優良，90% 外觀優良，100% 外觀優良



9



10

氣候變遷對漁業影響案例彙整



氣象因子	捕撈漁業	養殖漁業
溫度上升	魚場分布空間與深度變動 (Shuter and Post, 1990; Chu et al., 2005; Perry et al., 2005) 疾病傳染區重新分布與新食源性疾病出現影響食品安全 (Jaykus et al., 2008)	因為區域和品項的不同，產量可能上升或下降 (Morgan et al., 2004; Handisyde et al., 2006) 對病原體和疾病的敏感性增加 (Portner et al., 2010; Burge et al., 2014) · 間接影響食品安全 (Tirado et al., 2010)
海平面上升	對抗海平面上升人工構造物影響野生族群的棲地的棲地 (Harley et al., 2006)	影響沿海水產養殖設施 (Cochrane et al., 2009)
鹽度與酸鹼值改變	貝殼強度下降 (Kroeker et al., 2013); 幼魚體損傷 (Munday et al., 2010); 繁殖力改變 (Nissling and Westin, 1997)	貝類生產成本增加 (Barton et al., 2012)
溶氧量下降	棲地縮小 (Portner and Knust, 2007)	潛在產量下降 (Handisyde et al., 2006)

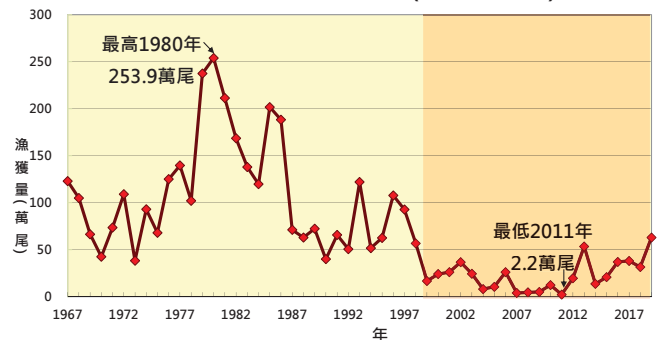
11

Lynch and MacMillan (2009)

臺灣沿近海烏魚資源變動情形



烏魚漁獲量年別變動 (1967-2018)

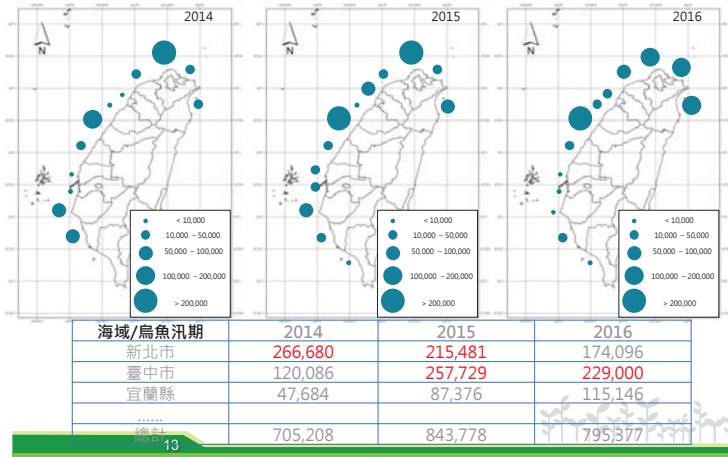


- 漁獲量已從1980年代全盛時期持續減少
- 近二十年來平均漁獲量呈現大幅劇烈變動的現象

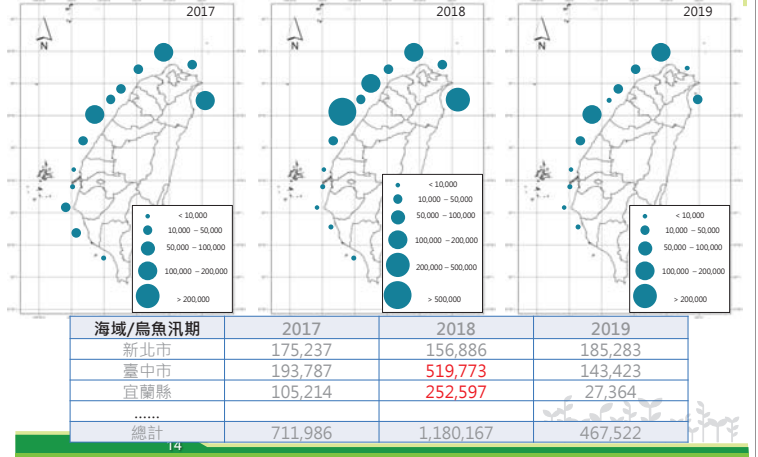
資料來源：水試所沿近海資源中心統計資料

12

臺灣沿近海域漁獲捕撈量變化(2014-16)

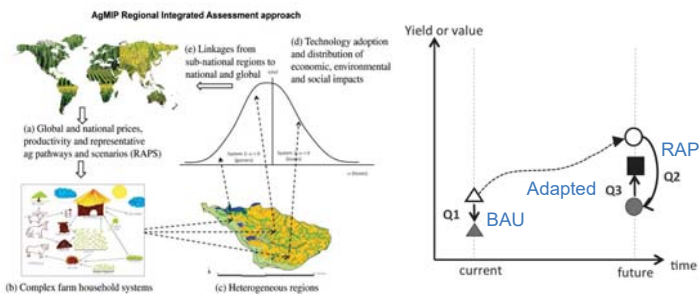


臺灣沿近海域漁獲捕撈量變化(2017-19)



利用模式探討糧食供應

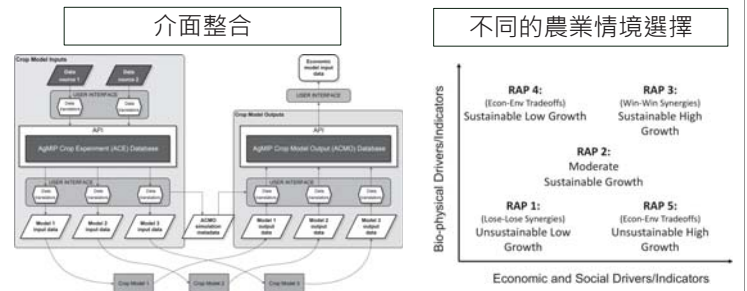
The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project, AgMIP



BAU, Business as usual
RAP, 代表性農業發展情境
Adapted, 調適性的栽培情境

Q1: 現在生產系統受氣候變遷的敏感性?
Q2: 氣候變遷對未來栽培系統的衝擊性?
Q3: 調適技術的效益為何?

AgMIP的評估方法 (續)



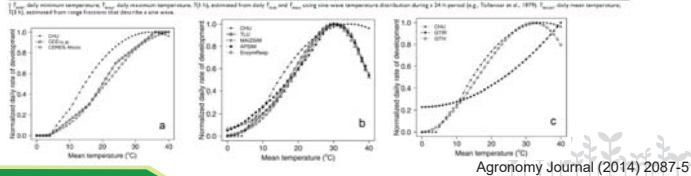
透過資料交換介面，整合不同評估系統、情境系統、資料平台、分析平台的資料

考量收益與永續性，而有不同的農業發展途徑，影響到未來的情境

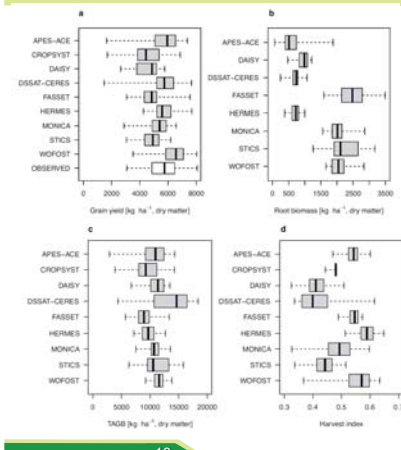
模式比對 - 玉米產期

Table 1. Summary of thermal functions, input temperatures (d_{in}), temperature boundary conditions, and instantaneous and daily rates of thermal accumulation. The general thermal index (GTI) model has response functions for the pre-warm and post-warm periods (GTI_{pre} and GTI_{post}, respectively).

Model type	Model name	Input temperatures (°C)	Boundary conditions	Thermal accumulation	Daily rate	Reference
Empirical linear	GEOL ₁₀	T _{min} and T _{max}	T = 10°C when T = 10°C T = 30°C when T = 30°C T = 8°C when T = 8°C T = 34°C when T = 34°C	(T _{max} - T _{min}) / 2 - 10°C	IR	Gleason and Rogers (1938)
	CERES-Maize	T ₁₀ N	T = 8°C when T = 8°C T = 34°C when T = 34°C	T - 8°C	IR(24)	Jones and Kiniry (1984)
Empirical nonlinear	CHU	T _{min} and T _{max}	T _{min} = 4.4°C when T _{min} = 4.4°C T _{max} = 15°C when T _{max} = 15°C	CHU _{min} = 1.8(T _{min} - 4.4°C) CHU _{max} = 3.33(T _{max} - 15°C) - 0.94(T _{max} - 15°C) ² 0.043(1771 - 0.00094T _{max}) 5.358 + 0.01178T _{max}	(CHU _{max} + CHU _{min}) / 2	Brown and Boote (1993)
	GTmg	T _{min} and T _{max}	T _{min} = 4°C when T = 4°C T _{max} = 15°C when T = 15°C	GTmg = 0.00997(T _{min} - 4°C) GTmg = 0.00997(T _{max} - 15°C) T _{min} = 0.0997 - 0.00997T _{min} + 0.00997T _{max} T _{max} = 0.0997 - 0.00997T _{max} + 0.00997T _{min}	IR	Stewart et al. (1998) Stewart et al. (1998)
Process based	APSIM	T ₁₀ N	T = 0°C when T = 0°C T = 4°C when T = 4°C T = 14°C when T = 14°C	0°C < T < 4°C: IR = 1/10(0.01) 4°C < T < 14°C: IR = 1/10(0.01) + 0.0001(T - 4) 14°C < T < 44°C: IR = 24°C (T - 14°C) / 34°C T ₁₀ = 0.0997 - 0.00997T _{min} + 0.00997T _{max} T _{max} = 0.0997 - 0.00997T _{max} + 0.00997T _{min}	IR(24)	Wilcox et al. (1995)
	TLU	T _{min} and T _{max}	T = 4°C when T = 4°C T = 14°C when T = 14°C	(T _{max} - T _{min}) / 2	(TLU _{max} + TLU _{min}) / 2	Tollenaar et al. (1976)
Empirical	HADMIP	T ₁₀ N	T = 0°C when T = 0°C T = 43°C when T = 43°C	0.53(43.7 - T) / 46.7(3.1) / 10 ²	IR(24)	Kim et al. (2012)
	Empiricup	T ₁₀ N	T = 0°C when T = 0°C T = 43°C when T = 43°C	(T - 27.0) / (27.0 - 0.0) + (T - 27.0) / (27.0 - 0.0) + (T - 27.0) / (27.0 - 0.0) + (T - 27.0) / (27.0 - 0.0)	IR(24)	Parsons and Terribile (2012)



模式比對



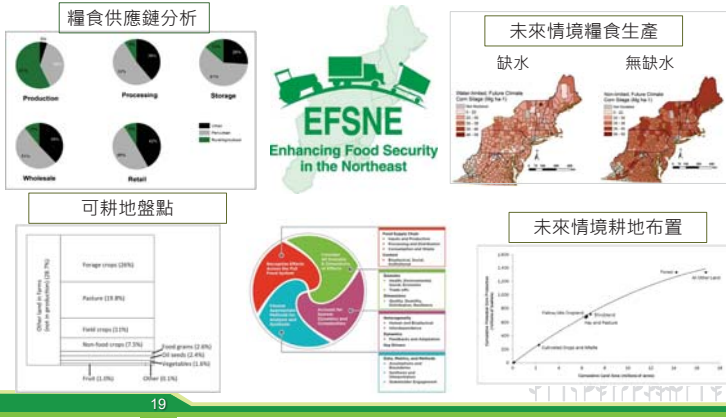
9 models
APES-ACE, CROPSYST, DAISY, DSSAT-CERES, FASSET, HERMES, MONICA, STICS and WOFOST
44 growing seasons of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) at seven sites in Northern and Central Europe.

Applying crop models with restricted calibration leads to high uncertainties.

Multi-crop model mean yield estimates were in good agreement with observations

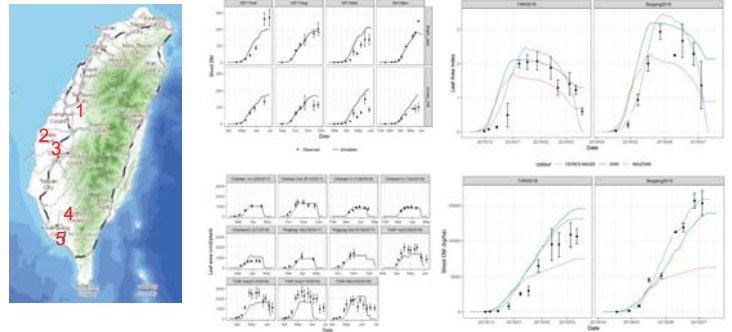
其他國家案例 - 美國

Enhancing Food Security in the Northeast, EFSNE



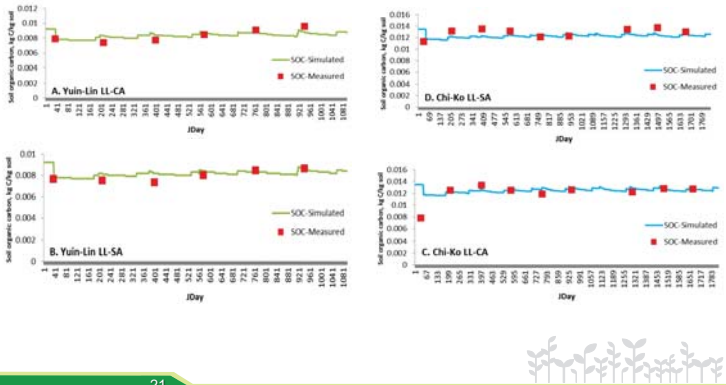
19

建立觀察區 模式驗證 不同模式比較



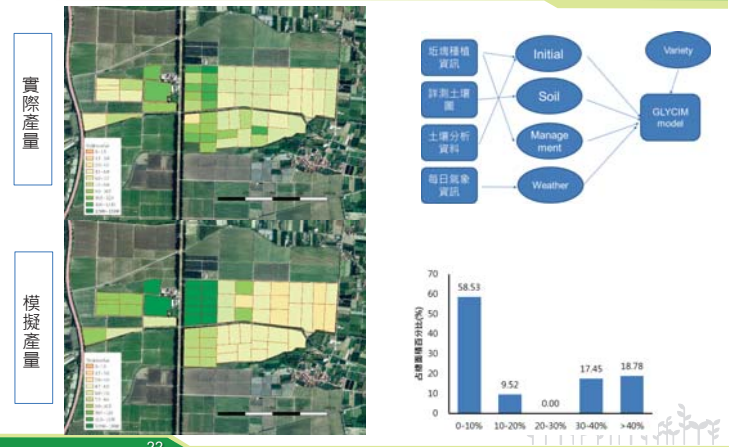
20

長時間土壤有機碳變化



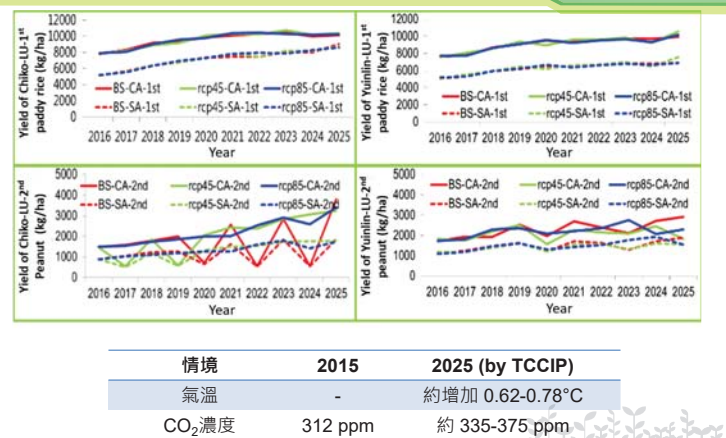
21

應用模式於區域產量驗證



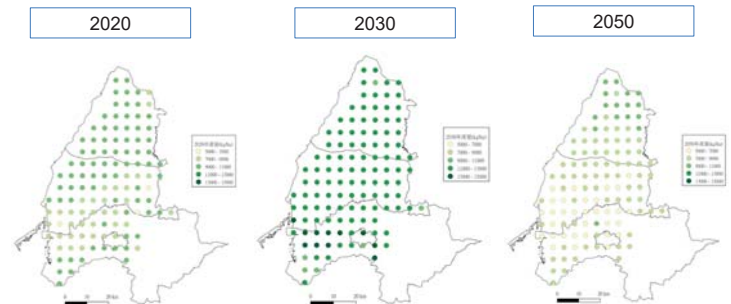
22

應用DNDIC模式評估氣候變遷衝擊



23

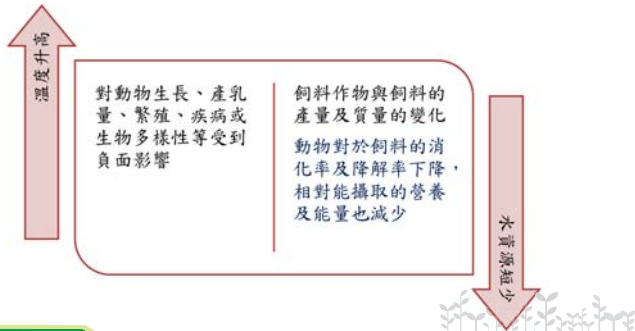
彰雲嘉毛豆產量變化



24

難以用空間調適因應作為

整理國內外畜牧業因應氣候變遷之相關調適策略研究，包括如何利用畜舍規劃、飼糧配方、飼養管理模式或區域性飼養效率評估，緩解氣溫上升及水資源短少時，對畜牧業造成之衝擊。



25

畜牧業氣候變遷災害衝擊知識平台

農民易懂的圖示化內容



26

強化知識傳播

畜牧業氣候變遷因災害衝擊知識平臺



作物生長模式展示平台



規劃：樹木健全性風險管理平台



規劃：漁業氣候變遷因應對策知識平臺



27

謝謝聆聽

28

氣候變遷下農業災害預警及防範

姚銘輝¹

科技防災建構農民災前防範及災後復健之能力，加速恢復生產力，並減緩極端天氣所帶來的衝擊，以達成照顧農民生計及穩定農產品供應目標。本文說明整合氣象災害資訊及作物防減災技術，及重要作物生產區防災整體營造等主動作為，由過去消極救災轉化為積極防範，配合農業災害保險推動，由災前預警、災中防範及災後保險，建構完整農業災害調適能力。災前預警-開發農作物災害早期預警推播系統及 APP，以紅、黃、綠燈號表示災害發生機率，提醒農民防範，透過設施資材利用、產期調整及適栽性評估等作為，研發「低成本」及「好施作」的防災技術，推廣予農民；災中防範-建置農業災害情資網，提供歷史災損資訊及發生熱區、即時農業區災害警戒範圍及災損影像，研發農作物災情即時回報 APP，加速災情資訊傳遞速度及後續勘災作業調度。災後保險-導入無人飛機進行勘災議題的研發，對於災損影像取得及判識已有相當多成果，並協助農糧署及農金局進行實際勘災作業。另有鑑於農業保險是農委會重要政策，理賠依據氣象門檻條件，但實務上常缺乏現地氣象觀測資料，因此，目前推動”參與式防災”，由產銷班出資，氣象局架設氣象站及品管，並提供精緻化預報，由農業試驗所設立 APP，農民可由手機接收即時及未來一周預報資料，透過公私部門合作以提升農民之氣象使用程度，另由於氣象局管控資料品質，保險公司可依據此資料做為理賠依據，減少理賠爭議。

¹ 行政院農業委員會農業試驗所 農業工程組 研究員



2020「因應氣候變遷之韌性農業」研討會

氣候變遷下農業災害預警及防範

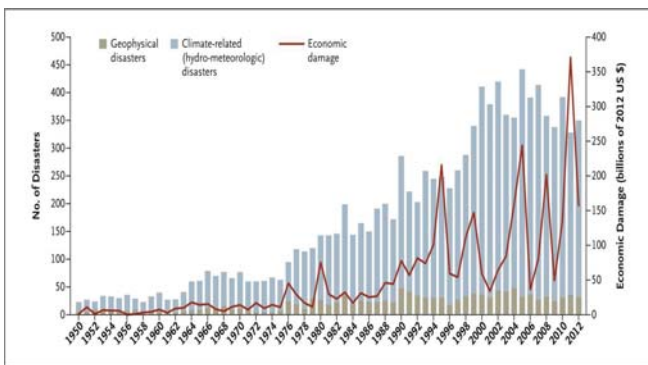
農業試驗所
姚銘輝



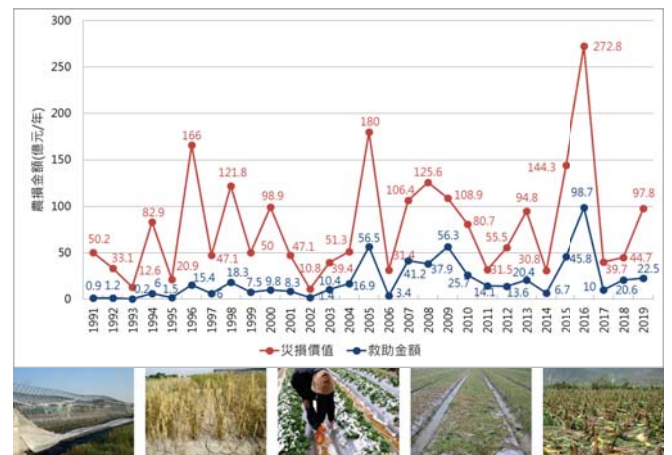
Climate change adaptation and disaster risk reduction



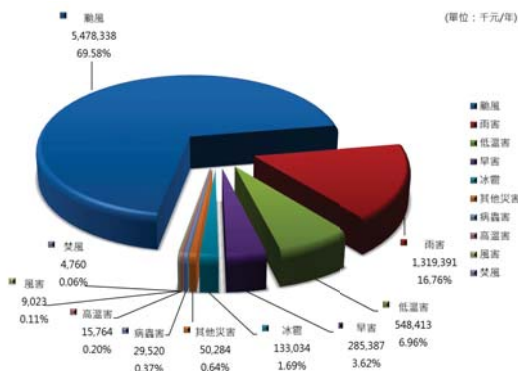
SOURCE : <https://www.worldvision.com.au/global-issues/work-we-do/climate-change/climate-change-adaptation-and-disaster-risk-reduction>



SOURCE : Leaning and Guha-Sapir 2013



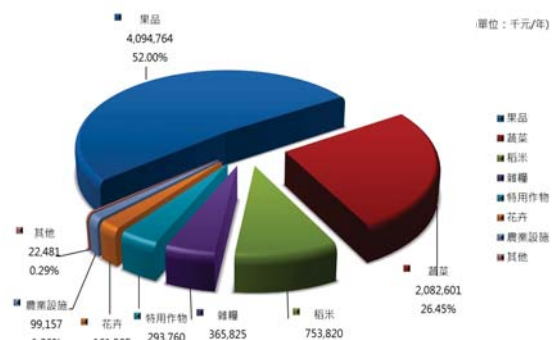
災害別估計損失價值圖表_79-108年



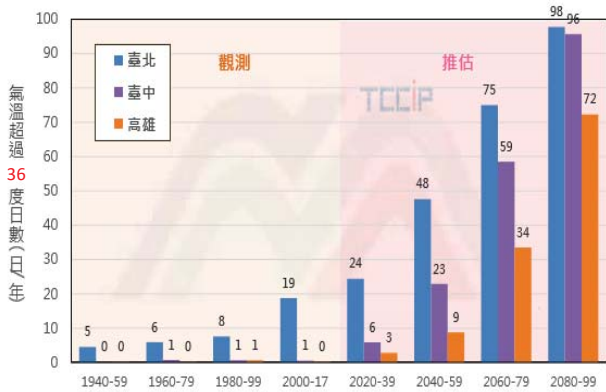
註：估計災害損失價值為民國79-108年30年累加再除於30



8大類被害作物別估計損失價值圖表_79-108年



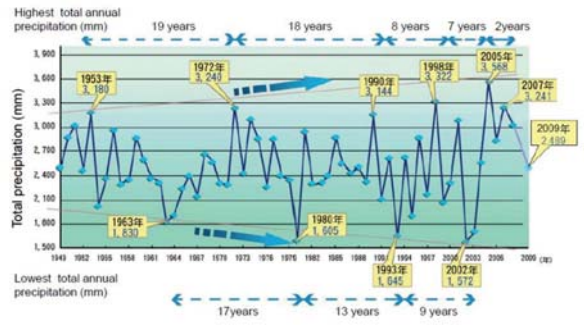
註：估計災害損失價值為民國79-108年30年累加再除於30



資料來源：TCCIP



乾旱及豪雨發生型態



(來源：台灣大學李鴻源)

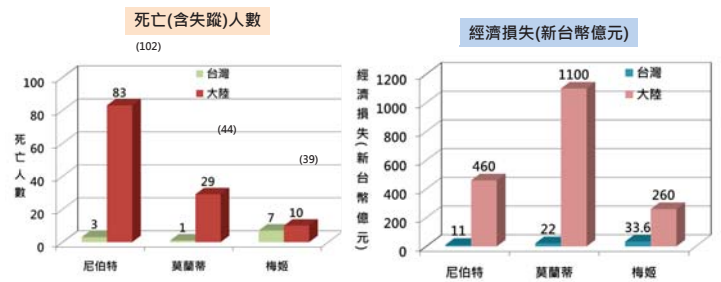


未來氣候特徵

- 未來氣候朝向增暖，夜間增溫大於日間增溫。
- 降雨型態改變，朝向極端化，乾季增長，瞬間降雨量增強。
- 颱風數目減少，但強度增加。
- 氣候系統混亂，氣象預測能力降低。



尼伯特、莫蘭蒂、梅姬颱風災情比較



資料來源：
 臺灣：EMIC應變管理資訊雲端服務-災害情報站 <http://portal.emic.gov.tw>
 大陸：(梅姬) 中華人民共和國民政部 <http://www.mca.gov.cn/article/yw/ziz/zqkb/zqhz/201609/20160900001943.shtml>
 (莫蘭蒂) 中華人民共和國民政部 <http://www.mca.gov.cn/article/yw/ziz/zqkb/zqhz/201609/20160900001798.shtml>
 (尼伯特) 中國新聞網 <http://www.chinanews.com/qn/2016/07-17/7942280.shtml>
 中國新聞網 <http://www.chinanews.com/qn/2016/07-15/7939740.shtml>

**尼伯特颱風(強烈; 熱帶低壓); 莫蘭蒂颱風(強烈; 中度); 梅姬颱風(中度; 中度)

來源：科技部TCCIP計畫



農林氣象災害風險指標建置及災害調適策略之研究

執行期程：105-108年

參與單位：交通部中央氣象局、科技部國家防災中心、學校、農委會各區改良場、林業試驗所、農業試驗所。

本計畫由資料庫整合、防(減)災技術研發及重要作物生產區防(減)災整體營造等主動作為，由過去消極救災轉化為積極防範，可作為推動農業(災害)保險之資料庫，另由災前防範及災後保險，建構完整農業災害調適能力。



現況

如何做得更好



Taiwan Agricultural Research Institute

科技研發對現行防災整備之改變

平時	災前	災中	災後
農民防災觀念宣導及技術推廣 增加農業氣象站密度及資料利用 重要栽培區精緻化氣象預報	作物早期災害預警及通報系統 作物防災作業機制及技術宣導 災害發生機率及熱區標定	農業災害情資網 颱風路徑雨量及風速趨勢分析 即時災情回報機制	作物災後復救技術啟動 加速災後查報及救助(無人飛機) 農損推估與分析
建立農民自主性防災行為	早期及主動防災以降低災損	即時警戒及更新災情供決策研判	縮短救助流程及作物復原生產

科技防災投入研發項目

現狀改變

Taiwan Agricultural Research Institute

防災整備作為 – 平時

防災教育及示範推廣

辦理講習會 **40場/年**
參與課程農民 **約5000人次/年**

增設農業氣象站觀測網

完成131個農業專屬測站
提供農民查詢利用及35個政府單位介接

客製化氣象預報

60個重要作物生產區
提供精緻化氣象預報
未來每年以20個預報點持續增加。

Taiwan Agricultural Research Institute

防災整備作為 – 災前

農作物災害早期預警推播系統

災害早期預警資訊以APP推播給農友防範，當燈號為紅燈時以line提醒農民警戒。

防災技術研發及推廣

研發農作物各項防災技術或產期調節，早期防範作為減少農民損失

災害發生熱區標定

標定災害熱區以做為防災業務推動之重點

Taiwan Agricultural Research Institute

防災整備作為 – 災中

科技化災害應變機制

以圖卡方式標示災害警戒區及作物品項，及防災作為圖卡，農民依據圖卡內容逐一檢視，以完成防災整備工作。

農業災害情資網

災害發生時標示農業災害警戒區、預估雨量及淹水區域。

即時災害影像回報

透過現場回報及社群網站搜尋，取得即時災損影像以作為救災資源投入依據。

Taiwan Agricultural Research Institute

防災整備作為 – 災後

農業災害保險推動

農業災害管理與保險制度推動，強化風險控管能力，保障農民收益及耕作意願。

UAV協助勘災

無人飛行載具(UAV)整合空拍影像分析技術，建置災害監測及勘災系統

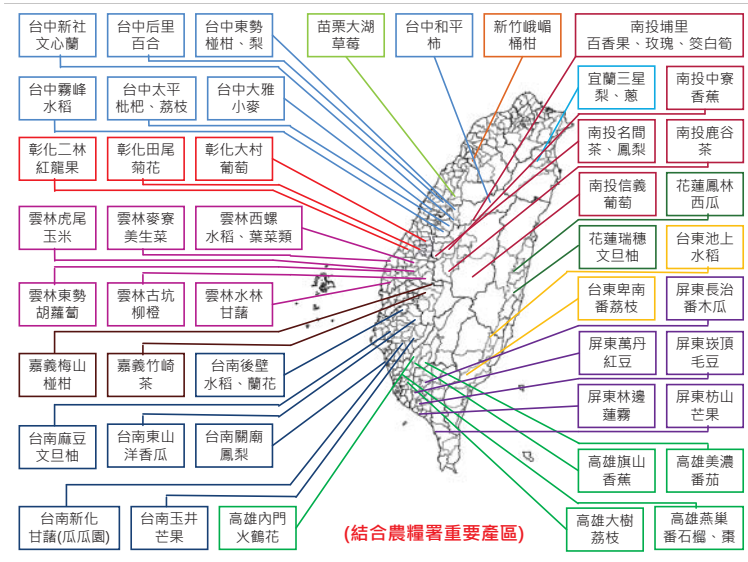
災後復健技術

災後復健技術研發及推播，以恢復作物植樹體生產力。

Taiwan Agricultural Research Institute

農作物災害早期預警系統

本系統收集分析作物特性及災害類型，易致災生育期及其臨界氣象條件，作物災損歷史資料及氣象災害未來潛勢圖，並整合中央氣象局即時氣象資料及災害預報等資訊，以提供農民災前預警用。



Taiwan Agricultural Research Institute

農業氣象災害預警功能 - 專區預警

縣市：高雄市，作物專區：高雄香蕉

操作說明

- 資料判斷時間：2019/06/20
- 操作步驟
 - 點選地圖燈號。
 - 查看該區作物。
 - 點選作物前方燈號。
 - 查看該作物碼序圖。
 - 點擊右上方叉叉關閉時序圖。
- 燈號說明
 - 綠：尚未達警戒標準
 - 黃：為中度警戒標準
 - 紅：為高度警戒標準
- 資料來源：交通部中央氣象局

專區位置

Taiwan Agricultural Research Institute

農作物災害通報APP

APP QR Code

(iOS版)
App Store

(Android版)
Play 商店

Taiwan Agricultural Research Institute

作物專區防災推播機制建置

建立災害預警APP推播機制，將災害訊息即時通知農友及各個相關農業產業團體。

Taiwan Agricultural Research Institute

提供氣象致災因子警戒燈號查詢

- 依據作物別設定各種氣象因子之致災門檻值，即時以燈號顯示。
- 依據致災嚴重程度以綠、黃、紅燈號表示正常、注意與警戒之程度。
- 提供防災警示。

Taiwan Agricultural Research Institute

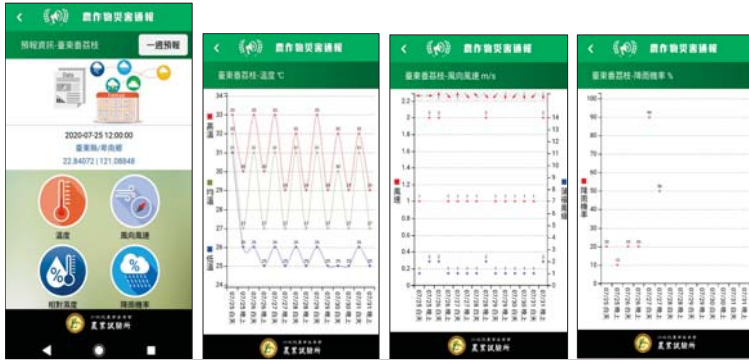
■ 專區過去2周觀測氣象資料

■ 觀測氣象資料包含：溫度(最高溫度、平均溫度、最低溫度)、相對溼度、風向、風級、日射量及降雨量



■ 專區未來一周預報

■ 一周預報的項目包含: 溫度(最高溫度、最低溫度)、相對溼度、風向、風級、12小時降雨機率(3天)



- 農業氣象觀測網測站新增及更新
- 氣象資料品質查驗及異常通報系統



參與式防災(栽培管理)

(私部門)—產銷班(農民)自購氣象站及後續維護
(公部門)

- 中央氣象局提供氣象資料QC(農業保險)
- 測站所在位置之精緻化預報
(7天預報及每日逐3小時預報)
- 農試所提供APP



敬請指正



氣候變遷下作物病害的預防與災後復耕

蘇俊峯¹、謝廷芳²

氣候變遷下植物病害的發生屬於動態的流行病學，受環境、寄主與病原菌三個因子影響。由環境面向來說，氣候變遷下作物特定病害的發生，會趨於嚴重，主要是氣候變遷營造一個更適合病害發生的環境。相對的，有些病害則變得不那麼重要。近年來因氣候變遷，導致急降雨發生頻繁，使得局部地區的時雨量或日雨量屢創新高，導致農作物因淹水而造成的生理性或物理性損害，在隨後的幾天因易病化而使得作物易於遭受病原菌的侵襲。2018年8月23、24日台南市北門地區日累積雨量達350-500mm，造成低窪地區淹水，當地有許多蝴蝶蘭園普遍淹水達30-40cm，嚴重者可達80-100cm。蝴蝶蘭細菌性軟腐病會造成植物細胞和組織的崩解，呈現軟腐的病徵。當水退却後、天氣放晴時，而蝴蝶蘭園內相對濕度仍達100%，又遭逢溫度處於30°C以上，細菌性軟腐病菌於3個小時內即可完成侵入植物而瓦解細胞。在溫度28°C時，病斑擴展最為快速，感染3天後，病斑每日可擴展4-6cm。除此之外，蝴蝶蘭因淹水之後，尚有疫病與缺氧性生理病徵的發生。據此，需預先建立一套整合性的災後復耕作為，用以提供蝴蝶蘭農民能更直覺的、有效率地回復正常的栽培流程，以免錯失復耕的時機。在預防上，目前農業災害情資網(<https://eocdss.ncdr.nat.gov.tw/web/ot/coa>)可提供即時降雨觀測資料。因此，建議在雨季期間，農民應注意豪雨特報的情資，與加強田間排水與防水設備的妥善度。

由病原菌面向來說，大多數病原微生物會傳播至氣候更適合的地方存活與繁衍，而其繁殖速度會比植物品種改變的速度更快，甚至改變有害生物的生命週期，使其為害的週期縮短或感染次數增加。松材線蟲萎凋病乃是松材線蟲經松斑天牛媒介傳播造成松樹大面積死亡。松材線蟲萎凋病潛伏期約14-15天，從感染到萎凋死亡約34-70天。在美國、日本天牛需冬眠，故每年僅危害一次。在台灣天牛無須冬眠，故每年在4-11月可危害2次。針對此類型的作物病害防治，應先收集作物病害發生曆的歷史資料，再根據中央氣象局所提供的資料，輔以影像辨識系統或其他模擬預測軟體，用以分析、預測作物病害可能發生的熱點，以植物病害綜合管理為基礎，擬定調適與緩解的作為，特別強化在氣候變遷所帶來的防治缺口上。1995-2002年柑橘潰瘍病在美國佛羅里達州蔓延，當局除採用柑橘潰瘍病的綜合管理之外，更加強颱風對病害傳播的管理。當病原菌受風雨傳播可達30m以上時，則砍除罹病植株周圍30m內的柑橘類植株，用以杜絕柑橘潰瘍病菌受風雨傳播的機會，並加強出入疫區人員、貨物及貨車的消毒。

以作物面向來說，氣候變遷將改變區域內作物栽種品種/種類，以及作物栽培位

置的改變，也將造成作物病害相的改變。百合灰黴病屬低溫菌，最適生長溫度為 20-25°C，分生孢子發芽溫度為 12-27°C，當相對濕度達 93-100%時即可發芽侵入植物組織。一般平地栽種百合多在冬、春季，每當寒流來襲，溫度低於 20°C、相對濕度高於 95%維持 4-6 小時時，百合灰黴病便會發生。當花農將百合移到高山（清境農場）種植時，則百合灰黴病可提早至 9-11 月發生。在病害預防與復耕作為上應配合田間溫、濕度的監控，採用合理化施肥與施藥之外，其他建議包括 (1) 適時、適地、適種；(2) 選擇抗病或耐病品種；(3) 清潔種苗；(4) 採用遮雨設施；(5) 適當的澆水系統；與 (6) 加強田間衛生管理。

氣候變遷下作物病害的發生屬於未來學的研究範疇，準確預測病害的發生是首要的研究課題，接著便是擬定預防與災後復耕相對應的策略與作法。然而，氣候變遷下植物病害的發生屬於動態的流行病學，因此在預測、預防及災後復耕的策略與作法上，應採取動態調整的作為。

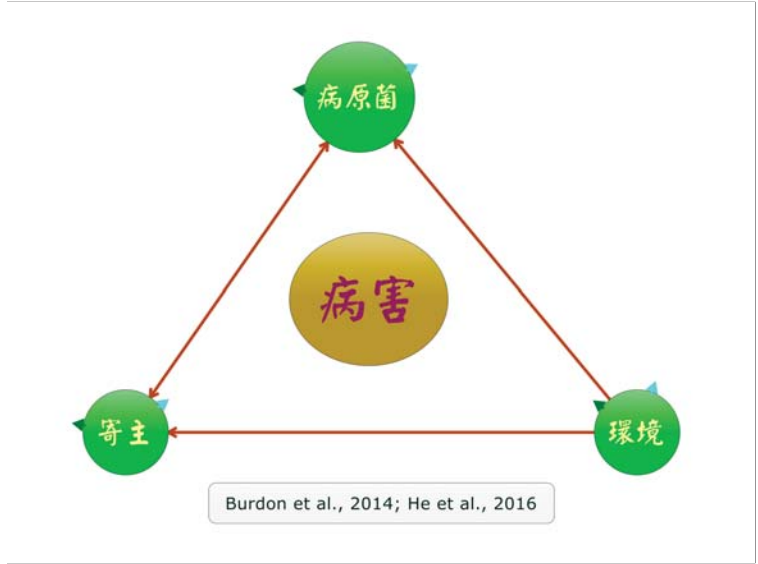
1 行政院農業委員會農業試驗所 植物病理組 助理研究員

2 行政院農業委員會農業試驗所 植物病理組 研究員兼組長

氣候變遷下作物病害的預防與災後復耕

蘇俊峯、謝廷芳

農業試驗所植物病理組



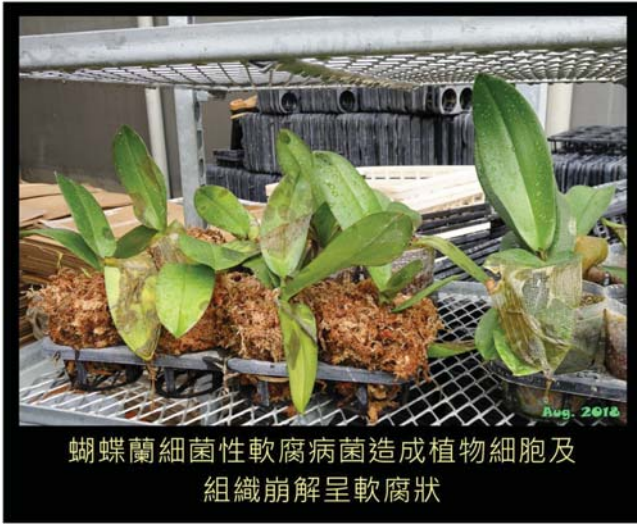
蝴蝶蘭溫室



蝴蝶蘭細菌性軟腐病的病勢發展

相對濕度100%、溫度30°C、3小時內即可完成侵入。

溫度28°C時，病斑擴展最快，感染3天後病斑每日可擴展4-6cm。



蝴蝶蘭細菌性軟腐病菌造成植物細胞及組織崩解呈軟腐狀



罹病株只要有出現水浸狀病徵，不管病斑大小，該罹病株都要銷毀



疫病菌在罹病株產生水浸狀病徵，罹病部位呈暗綠色或淡褐色



初感染時，患部出現水浸狀斑點



罹病株只要有出現水浸狀病徵，不管病斑大小，該罹病株都要銷毀

蝴蝶蘭淹水後的一般綜合處理步驟建議如下：

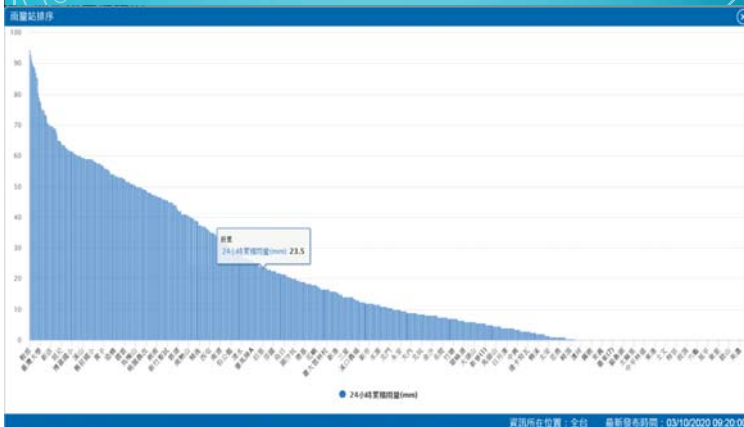
1. 先將蝴蝶蘭園內的水抽乾。
2. 檢查所有機電設備有無受損，搶修是第一要務。
3. 打開可以開的窗戶與抽風機，關閉遮陰網。
4. 用清水清洗地板污泥，並刷乾。
5. 移除已發病的罹病株。
6. 植床上植株可施用廣效性的殺菌劑或20ppm的二氧化氯，組織培養室則可用20ppm的二氧化氯進行空間的消毒。
7. 空的植床可施用氫氧化銅消毒。
8. 地板用稀釋100倍的5.23%漂白水刷洗一遍。
9. 淹過水的栽培介質，應再次消毒，如以80°C熱水消毒30 min，並壓乾備用。
10. 然後，恢復輪美蘭園的栽培管理流程。
11. 災後數天，應加強注意細菌性病害的發生與管理工作。

農業災害情資網即時降雨觀測



Retrieved Mar. 10, 2020 from 農業災害情資網。

農業災害情資網即時降雨觀測



Retrieved Mar. 10, 2020 from 農業災害情資網。

農業氣象觀測網監測系統種苗繁殖場站即時資料

觀測時間	氣溫	濕度	相對濕度(%)	日照量(MJ/m ²)	日照時數(hr)	風向(度)	陣風(m/s)	風力(m/s)	雨量	地溫	-5cm	-10cm	-20cm	-50cm	-100cm
2020-03-10 10:00:00	16.7	1.0	99	0.23	-	3.0	3.4(3級)	1.1(1級)	17.9	18.4	19.2	19.7	20.5	20.7	20.8
2020-03-10 09:00:00	16.4	4.0	99	0.12	-	3.0	4.6(3級)	0.6(1級)	17.2	17.9	19.2	19.8	20.6	20.6	20.6
2020-03-10 08:00:00	16.3	0.0	99	0.05	-	1.0	6.4(4級)	2.0(2級)	16.9	18.0	19.7	20.2	20.6	20.6	20.6
2020-03-10 07:00:00	16.3	1.5	99	0.01	-	3.0	7.4(4級)	2.9(2級)	17.1	18.4	19.9	20.5	21.0	20.6	20.6
2020-03-10 06:00:00	17.3	3.0	99	0.00	-	1.0	6.9(4級)	2.9(2級)	17.9	18.9	20.3	20.8	21.1	20.6	20.6
2020-03-10 05:00:00	20.0	1.0	99	0.00	-	22.0	6.4(4級)	3.0(2級)	20.0	20.6	21.0	21.1	21.1	20.6	20.6
2020-03-10 04:00:00	20.2	0.0	99	0.00	-	18.0	5.4(3級)	2.8(2級)	20.2	20.7	21.1	21.1	21.2	20.6	20.6
2020-03-10 03:00:00	20.2	0.0	99	0.00	-	19.0	4.9(3級)	2.4(2級)	20.4	20.9	21.2	21.2	21.2	20.6	20.6
2020-03-10 02:00:00	20.3	0.5	99	0.00	-	20.0	6.0(4級)	3.7(3級)	20.5	20.9	21.2	21.3	21.2	20.6	20.6
2020-03-10 01:00:00	20.9	0.0	99	0.00	-	22.0	6.2(4級)	2.7(2級)	20.7	21.1	21.3	21.3	21.3	20.6	20.6
2020-03-10 00:00:00	20.8	0.0	98	0.00	-	18.0	7.2(4級)	4.7(3級)	20.8	21.1	21.4	21.4	21.1	20.6	20.6

Retrieved Mar. 10, 2020 from 農業氣象觀測網監測系統。

臺中市-新社區-文心蘭作物生產專區一週預報

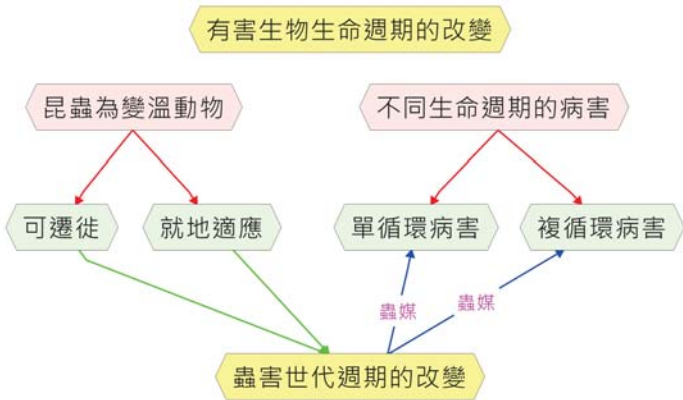
逐3小時預報	一週預報													
日期	2020-03-10		2020-03-11		2020-03-12		2020-03-13		2020-03-14		2020-03-15		2020-03-16	
時間	白天	晚上	白天	晚上	白天	晚上	白天	晚上	白天	晚上	白天	晚上	白天	晚上
天氣狀況														
最高溫(°C)	18	16	21	18	22	19	23	20	17	15	17	15	19	17
最低溫(°C)	17	14	14	15	15	16	16	16	16	13	13	13	13	14
陣風風級	2	2	2	<=1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
風向	偏北風	東北風	西南風	東南風	偏南風	偏南風	西南風	偏北風	偏北風	偏北風	東北風	東北風	西南風	偏南風
相對濕度	95%	91%	82%	81%	80%	89%	91%	97%	89%	87%	70%	80%	66%	88%
最高體感溫度(°C)	20	17	23	19	23	20	26	21	18	15	17	16	20	17
最低體感溫度(°C)	18	14	14	14	15	17	17	16	16	13	13	13	12	13
降雨機率	90%	10%	10%	10%	10%	50%								
紫外線	4		5		6		6		4		6		7	

Retrieved Mar. 10, 2020 from 農業氣象觀測網監測系統。

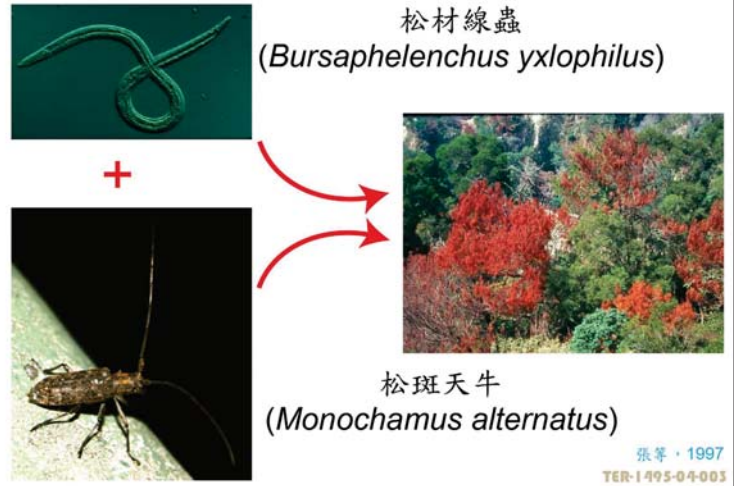
氣候變遷對作物病蟲害發生的影響

收集氣象資料、分析歷史數據之後，除了預警氣象災害之外，這些資料有其他用途嗎？

氣候變遷對作物病蟲害發生的影響



松材線蟲萎凋病 (Pine wood nematode)



松材線蟲萎凋病潛伏期14-15天，到萎凋死亡34-70天。在美國、日本天牛需冬眠，故每年僅危害一次。在台灣天牛無須冬眠，故每年在4-11月可危害兩次。



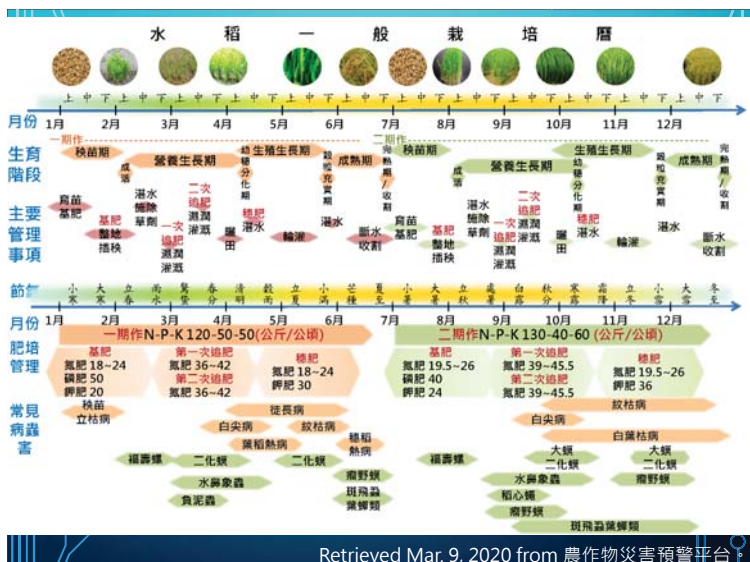
張等, 1997 TER-1495-04-003

氣候變遷下作物病蟲害管理的因應作為

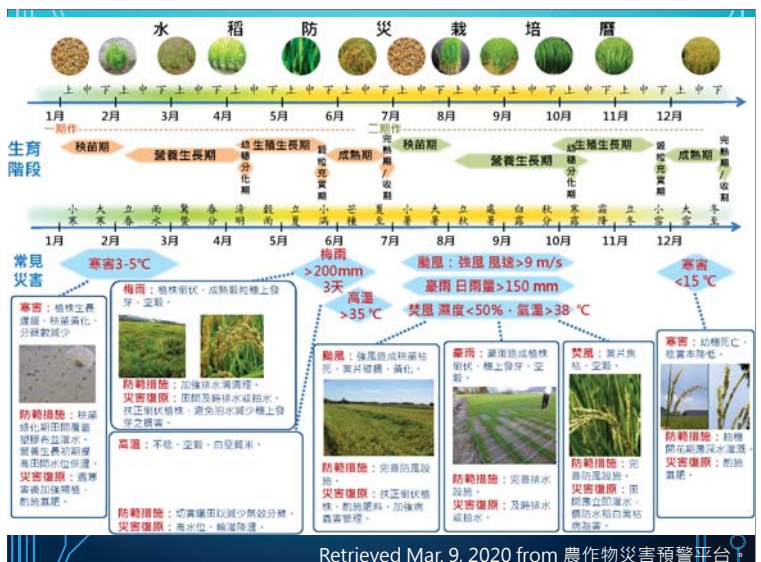
一、調查與資料收集

二、建立預測模式

三、調適與緩解之作為



Retrieved Mar. 9, 2020 from 農作物災害預警平台



Retrieved Mar. 9, 2020 from 農作物災害預警平台

氣候變遷下作物病蟲害管理的因應作為

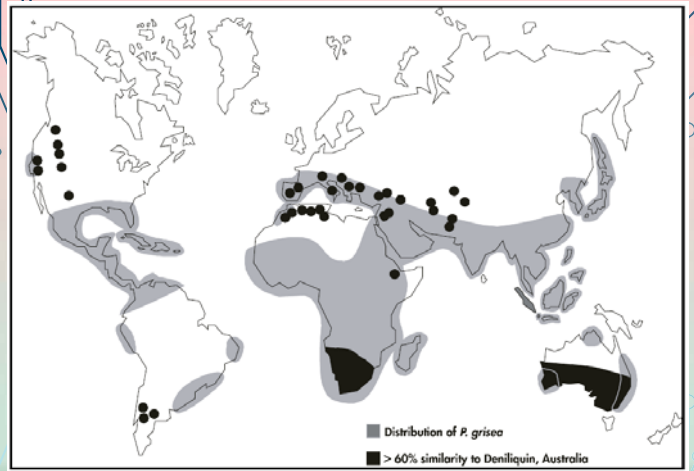
一、調查與資料收集



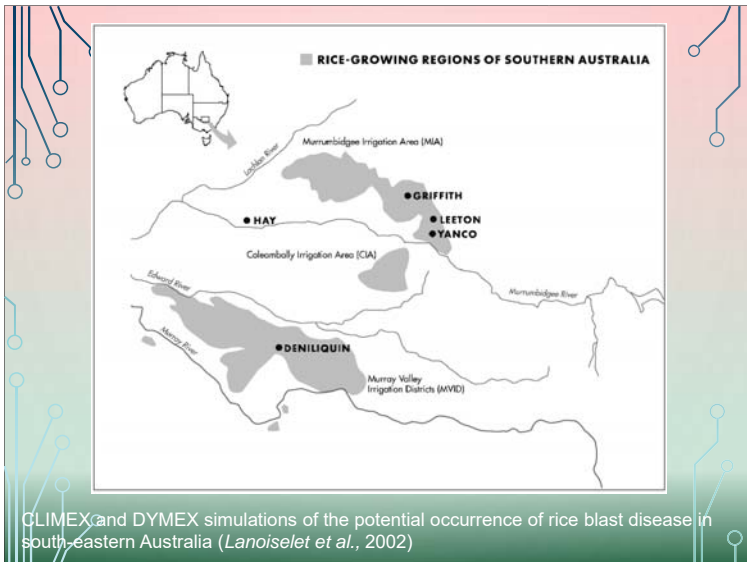
二、建立預測模式



三、調適與緩解之作為



Worldwide locations with a $\geq 60\%$ similar climate to Deniliquin, Australia (October to April) overlaid with a distribution map of *Magnaporthe grisea*. (Lanoiselet et al., 2002)



CLIMEX and DYMEX simulations of the potential occurrence of rice blast disease in south-eastern Australia (Lanoiselet et al., 2002)

氣候變遷下作物病蟲害管理的因應作為

一、調查與資料收集



二、建立預測模式



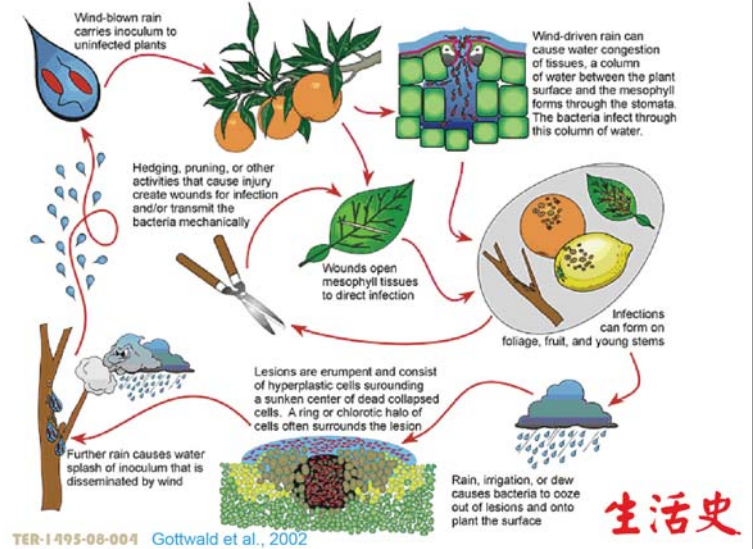
三、調適與緩解之作為

植物病害防治法



柑橘潰瘍病生活史

- 病原細菌在葉片及夏秋梢上的病斑越冬
- 翌年春季於原來的病斑上繁殖 —— 成為初次感染源
- 下雨時病原細菌飛濺至幼葉的氣孔或傷口附近侵入
- 春季幼葉感染後 —— 病斑上繁殖的細菌為二次感染源
- 藉風雨攜帶再傳染到幼果及夏秋梢 —— 生生不息
- 鄭安秀 · 2002



柑橘潰瘍病的防治

- 於休眠及花芽分化期徹底進行整枝修剪 —— 罹病枝條應剪除後搬離果園或燒燬
- 強風地區避免種植感病品種 —— 迎風面可種植防風林
- 種植柑橘苗時應將所有罹病部位剪除並燒燬
- 勿施用過多氮素肥 —— 延長感染時期
- 春芽萌發前灑佈4-4式波爾多液1-2次
 - 每年施用波爾多液之次數不宜過多
 - 銅劑於高溫期易發生藥害
 - 銅劑使用過多會增加蟻類危害
- 鄭安秀 · 2002

植物保護手冊推薦柑橘潰瘍病用藥

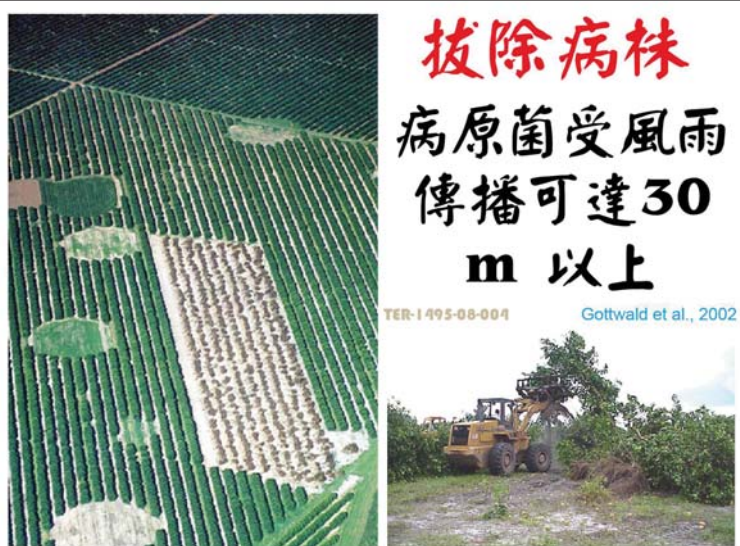
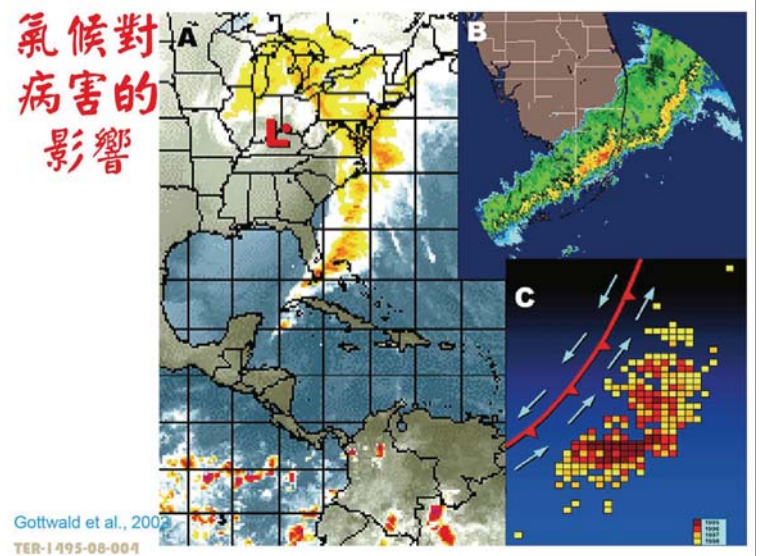
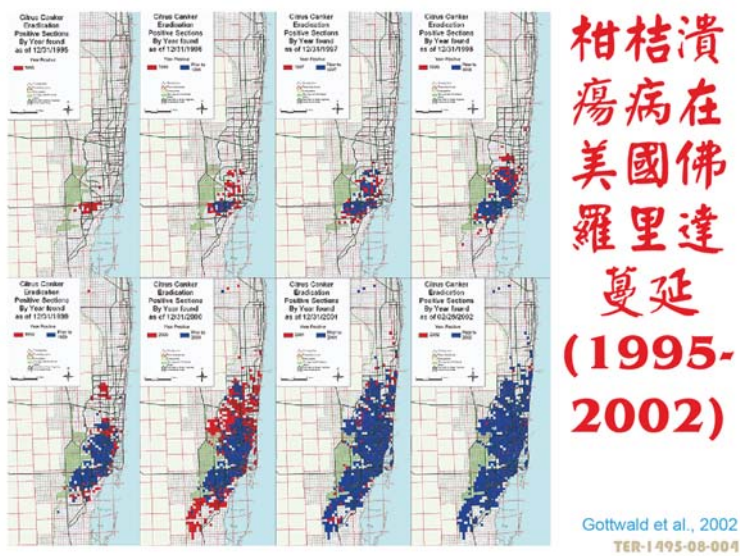
- 10%維利黴素溶液 —— 800倍
- 56%氧化亞銅可濕性粉劑 —— 600倍
- 61.4%氫氧化銅水分散性粒劑 —— 500倍
- 72%波爾多可濕性粉劑 —— 500倍
- 81.3%嘉賜銅可溼性粉劑 —— 1000倍

增加株距，避免病原菌飛濺傳播



施用化學藥劑防治潰瘍病







植物保護手冊於草莓灰黴病推薦

50% 白克列水分散性粒劑(boscalid)

每公頃0.75公斤，稀釋1500倍

發病初期開始噴藥，以後每隔7天施藥一次，連續四次。

採收前5天停止施藥。

具中等呼吸急毒性。

植物保護手冊於草莓灰黴病推薦

500 g/L 氟殺克敏水懸劑 (fluxapyroxad+pyraclostrobin)

每公頃0.375公升，稀釋2400倍

病害發生初期開始施藥，必要時隔7天施用一次。

採收前9天停止施藥。

南投清境田間試驗 (20180710-0830)

選用品種

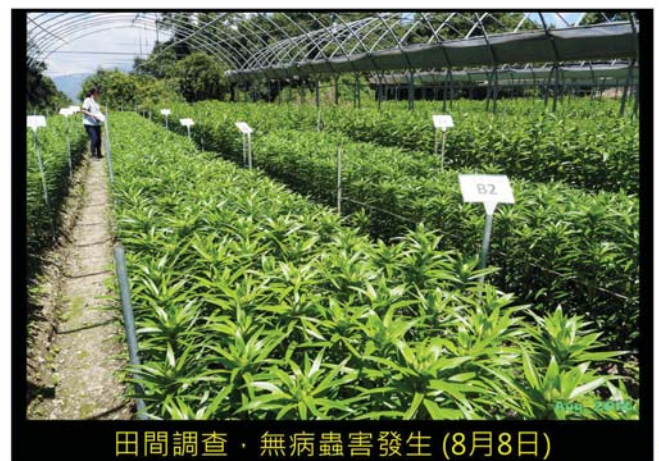


Type: L. A.

Color: 粉紅色

Grade: 3-5 blooms

對灰黴病相對感病



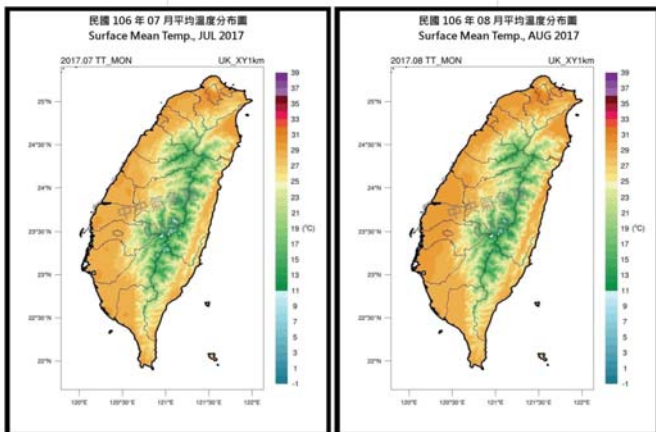


2019年臺中乳熟站逐日雨量資料

月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
日期												
1	-	2.5	-	T	-	T	13.0	-	1.5	-	0.5	-
2	-	-	-	-	-	-	67.5	1.5	3.0	-	-	-
3	-	1.0	-	-	-	-	46.0	1.5	-	-	-	-
4	4.0	T	-	-	1.0	-	31.0	-	-	-	-	-
5	0.5	T	-	-	-	T	13.0	2.0	T	-	-	-
6	15.5	-	-	-	-	-	T	T	1.0	-	-	-
7	16.5	1.5	-	-	-	-	40.0	T	9.0	-	-	-
8	28.5	4.0	8.0	-	34.0	-	-	-	-	-	-	-
9	24.5	0.5	T	-	38.0	-	-	-	-	-	-	-
10	1.0	T	-	-	-	-	8.0	-	-	-	-	-
11	-	1.0	-	-	-	42.0	33.5	T	-	-	-	-
12	-	-	-	7.5	-	-	-	-	-	T	-	-
13	-	-	-	-	-	-	T	68.5	-	5.0	-	-
14	-	-	-	-	-	T	0.5	11.5	-	-	-	-
15	-	-	20.5	2.5	-	0.5	-	0.5	T	-	-	-
16	-	-	T	6.5	-	25.0	-	9.5	1.0	-	-	-
17	T	-	-	14.0	-	18.5	-	-	1.0	T	T	-
18	-	-	-	-	-	4.0	-	9.5	3.5	-	-	-
19	0.5	-	T	-	-	45.5	-	41.0	-	2.5	T	-
20	-	-	7.0	-	-	67.0	-	19.5	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	5.0	-	12.0	-	-	-	-
22	4.5	14.0	-	-	7.0	30.0	50.0	-	T	-	-	-
23	-	T	-	-	-	T	14.5	58.5	-	-	-	-
24	-	T	-	-	-	-	2.5	70.5	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	5.0	28.0	-	-	1.5	-
26	-	-	-	-	-	-	-	13.0	-	-	-	2.0
27	T	-	-	-	-	-	14.0	3.0	-	-	-	-
28	2.5	1.0	-	-	-	T	-	2.5	-	-	-	-
29	1.0	-	-	-	-	-	28.5	4.0	-	-	-	-
30	2.0	-	-	-	16.5	-	-	T	-	-	-	-
31	2.5	-	-	-	-	-	-	1.0	T	-	-	-
總和值	103.5	25.5	35.5	30.5	73.0	234.0	347.0	408.5	20.0	7.5	4.0	-

單位：毫米

臺灣7、8月溫度



灰黴病的發生與氣候有密切關係

低溫多濕季節為發病盛期

適合發生溫度為12-28°C

平地於每年1-5月

中海拔地區於3-7月

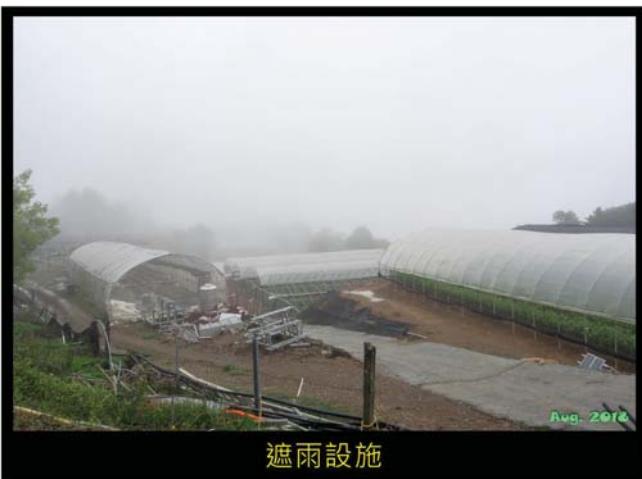
高海拔地區於5-10月

傳播

以分生孢子為主要感染源

藉風力、雨水、昆蟲協助病原傳播

常以腐生狀態存在，並產生休眠菌核殘存



達成病蟲害農藥減量的策略：採用綜合防治

1. 適時、適地、適種

2. 選擇抗病或耐病品種

3. 清潔種苗

4. 遮雨設施

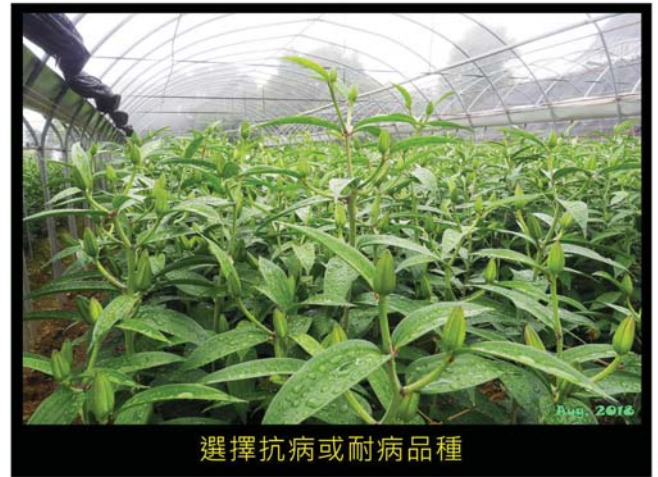
5. 適當的澆水系統

6. 田間衛生

7. 合理施肥與施藥



選擇抗病或耐病品種



選擇抗病或耐病品種



適當的澆水系統



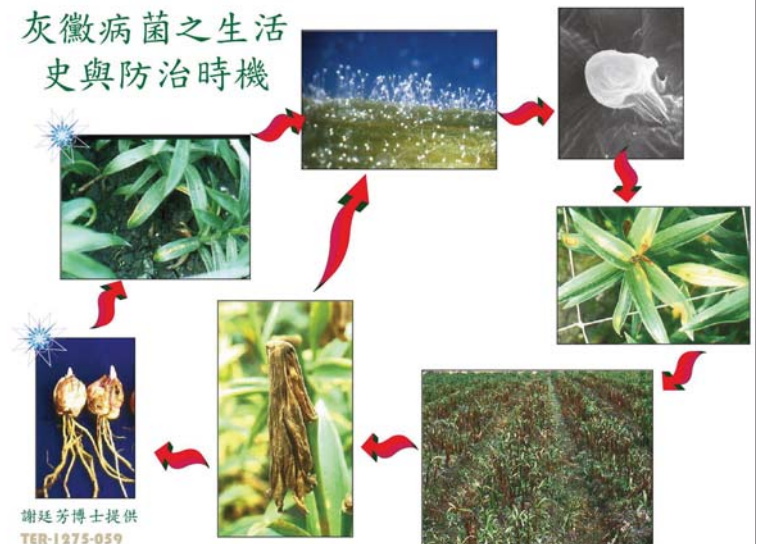
田間衛生

灰黴病的發生與氣候有密切關係

防治

- 清除植株殘體與雜草，避免病原菌存活 清除罹病花苞
- 保持通風降低溼度
- 觀賞花卉灰黴病推薦藥劑
 - 1. 62.5%賽普護汰寧水分散性粒劑 1500倍
 - 2. 40%滅派林水懸劑 4000倍
 - 3. 50%護汰寧水分散性粒劑 1500倍
 - 4. 37.4%派美尼水懸劑 1500倍
- 蝴蝶蘭灰黴病推薦藥劑
 - 70%甲基多保淨可濕性粉劑 2500倍

灰黴病菌之生活史與防治時機



植物病害綜合管理

應用兩種以上不同的防治措施，協力管理某一固定病害

IPM, integrated pest management (Herzfeld and Sargent, 2011)

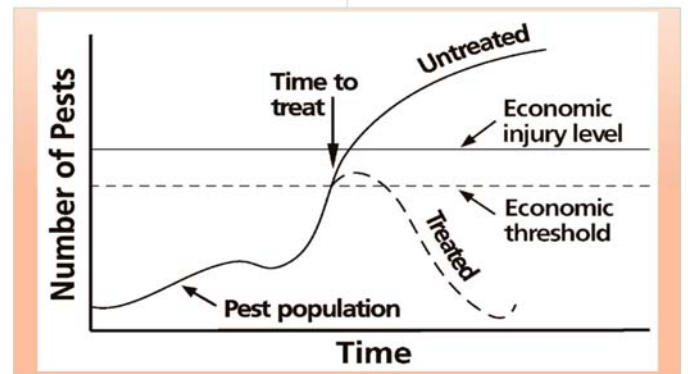
整合 (integrated) 專注在病原菌、作物、環境與防治方法之間的互動

病原菌、害蟲 (pest) 令人討厭之物

管理 (management)

1. 管理意釋不是根除 (eradication)
2. 將害物族群維持在經濟危害 (economic damage) 水準以下
3. 盡量採用非化學防治法
4. 當藥劑施用已無可避免，應慎選對人類、環境影響最低的藥劑

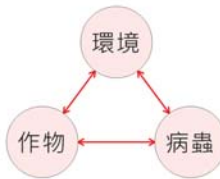
IPM下的病害管理時機



氣候變遷對作物病蟲害發生的影響

植物病蟲害的發生屬於動態的流行病學。

對於特定的作物，預估植物流行病的發生將趨於嚴重，當然有些病害可能變得不那麼重要。



大多數病蟲有害生物會傳播至氣候更適合的地方存活與繁衍，而其繁殖速度會比植物品種改變的速度更快。

區域內植物的品種，將造成作物病蟲害相的改變。

氣候變遷對作物病蟲害發生的影響

待解決問題

1. 調查氣候變遷對重要病害發生的影響
2. 探討氣候變遷下，調適與緩解重要病蟲害對作物的衝擊
3. 調查氣候變遷下，新型病害的崛起與建立調適策略
4. 探討氣候變遷下對蟲媒病毒病害的影響與建立調適策略
5. 探討氣候變遷下對土壤微生物相的潛在影響與緩解其衝擊
6. 瞭解氣候變遷與作物害蟲物種分布及組成之間的相互關係，建立具時間尺度基礎的臺灣作物害蟲名錄資料
7. 因應氣候變遷影響重要害蟲分布，需建立具科學基礎的預測分析技術，以研擬特定目標作物重要害蟲之防治調適策略
8. 模擬不同氣象情境下，高風險或可能入侵害蟲之風險分析與調適策略

結論

氣候變遷下作物病害的發生屬於未來學的研究範疇，準確預測病害的發生是首要的研究課題，接著便是擬定預防與災後復耕相對應的策略與作法。然而，氣候變遷下植物病害的發生屬於動態的流行病學，因此在預測、預防及災後復耕的策略與作法上，應採取動態調整的作為。



建立因應氣候變遷之重要害蟲發生分布與調適策略

黃毓斌¹、石憲宗¹、黃守宏²、范姜俊承¹、
楊崇民¹、江明耀¹、吳立心³、李啟陽¹

近年來極端天氣事件造成全球重大災害頻繁，基於氣候變遷對全球農業之影響，甚至於造成其他物種入侵、擴散路徑及分布，如此長期性氣候變遷情境，對有害生物物種的多樣性、適應性及發生範圍等，造成不可逆的影響。當作物或其他有害生物受到氣候因子的長期影響，其彼此間交互作用的關係將更加複雜。通常農業害蟲生物積溫特性，是隨溫度上升，發育速率增加，發育生長期縮短，因此害蟲可在短時間內造成流行性危害及經濟損失。在極端惡劣氣候條件下(熱、冷、乾和濕等)，大部分農業害蟲會面臨存亡及繁殖損失，然有些害蟲自己本身會因自我調節而採取適應性改變，例如高溫下繁殖高峰期提早或低溫下降低能量消耗以延長壽命。

氣候變遷對有害生物的世代數及地理分布皆有很大的影響，倘能掌握長期氣象資料，則可透過 species distribution modelling (SDM)作為模擬物種地理分布的呈現方式。本研究利用 GBIF (Global Biodiversity Information Facility) 現有分布資料及 MaxEnt 模式，以 19 個氣象資料分析國內水稻害蟲褐飛蟲 (*Nilaparvata lugens*)、瘤野螟 (*Cnaphalocrocis medinalis*)以及分布於國外卻具入侵風險潛力的馬來西亞水稻黑椿象 (*Scotinophara coarctata*) 在全球或台灣分布模擬圖。另外一種 CLIMEX 分析模式係運用物種所需要的氣候參數，這種參數主要有 3 部分組成：增長指數 (GI)、逆境指數 (SI)及其它相互間聯合效應之限制條件，利用這些參數，探討物種對氣候變遷的不同反應情境如全球溫度上升，以及各因子間相互關係等對生物族群在極端氣候條件下生存可能性，來推測有害生物的適合發生及分布情形，對於掌握有害生物適合生存的生態棲所有很大助益。

依照氣候變遷對於有害生物之生態特性，可探討原來不適合生存地區可能變成適合生存地區，當害蟲受到極端天氣影響，能否適應極為不穩定環境，或族群能在短時間恢復與否，透過模擬早期偵測及掌握分布風險族群，採取減災措施，結合與土地覆蓋物之地理資訊系統，事先掌握熱點地理區則為因應有害生物調適策略的重要階段，進而採取藥劑防治或抗性品種等相對應的管理策略。

1 行政院農業委員會農業試驗所 應用動物組

2 行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所植物保護系 副研究員

3 國立屏東科技大學植物醫學系 助理教授

建立因應氣候變遷之重要害蟲 發生分布與調適策略

(Climate change impacts on the
occurrence and distribution of the pests
and its adaptation strategy)

黃毓斌¹、石憲宗¹、黃守宏²、范姜俊承¹、
楊崇民¹、江明耀¹、吳立心³、李啟陽¹

1:應用動物組農業試驗所(Division of Applied Zoology, Taiwan
Agricultural Research Institute)

E-mail: ybhuang@tari.gov.tw

2: 植物保護系 嘉義分所 3:國立屏東科技大學植物醫學系

What is Pest? (何謂有害生物)

Crops need to be protected from a variety of different pests, organisms that present a threat to the crop.

泛指所有會對人類或人類日常生活影響的物種有害的動物或植物。

... 而害蟲這名詞亦常用來指昆蟲綱或其他的有害生物。

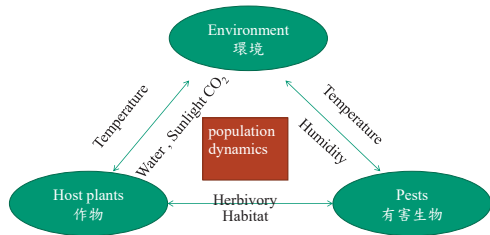
International Standards for Phytosanitary Measures (國際植物防疫檢疫措施標準)定義:
任何對植物或植物產品有害的任何植物、動物或病原體之種、品系或生物型。
(Any species, strain or biotype of plant or animal or any pathogenic agent,
injurious to plants or plant products.)

植物防疫檢疫法有害生物：指真菌、粘菌、細菌、病毒、類病毒、菌質、寄生性植物、雜草、
線蟲、昆蟲、蜘蛛類、軟體動物、其他無脊椎動物及脊椎動物等直接或間接加害植物之生物，
或有破壞生態環境之虞之入侵種植物。

Domestic pest (國內現有)
Economic importment fruit flies
Moths



Invasive pest (入侵有害生物)
(Fruit flies, Thrips, papaya mealybugs,
lychee stink bugs
red Imported fire ants
Fall army worm



有害生物與寄主作物及環境間之關係

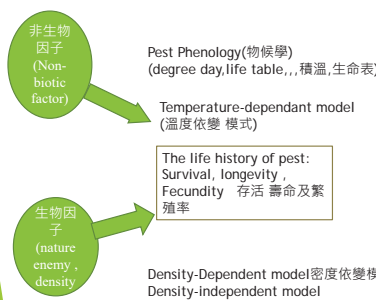
Climate Change(氣候變遷)

- ✓ 進行中: It is a term used to describe a gradual increase in the average temperature of earth, a change that is believed to be changing.
- ✓ 長期性: It is a long-term change in the statistical distribution of weather pattern over periods of time that range from decades to millions of years.
- ✓ 衝擊區域: It may be limited to a specific region, or may occur across the whole world.

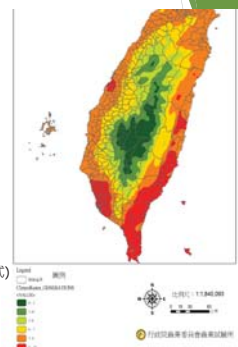
氣候變遷對農業有害生物的衝擊 Climate change impact on the pest of Agriculture

- 生物多樣性減少(Loss of ecological biodiversity)
- 地理區的擴散(Expansion of geographic ranges)
- 世代數增加(Increased number of generation)
- 入侵種的風險(Risk of in introducing invasive species)
- 族群變動及猖獗(Pest population dynamics and outbreaks)
- 植物抗性下降(Broke down of host plant resistance)
- 作物與有害生物間的交互作用(Crop-pest interaction)
- 影響生物防治效能(Reduced effectiveness of biological control agents)
- 授粉昆蟲受到干擾(Disruption of plant-pollinator interactions)

Fand et al, 2012



依照有害生物特性，以不同氣候情境模擬有害生物分布之影響，配合土地覆蓋物掌握有害生物動態分布資訊，進而研擬相對應調適策略。



Pest generation (依照積溫及生活史計算有害生物世代及發生)

Weather and Degree-day Concepts in pest risk (Pest Phenology 有害生物物候學)

- **Degree-days:** a unit of accumulated heat, used to estimate development of insects, fungi, plants, and other organisms which depend on temperature for growth. (積溫)
- Calculation of degree-days: (one of several methods) Simple model (直線迴歸, Simple sine method)
- DDs = avg. temperature – base threshold. (基礎溫度)(高溫致死)(低溫致死)
- So, if the daily max and min are 30 and 20, and the threshold is 10, then we accumulate
 - » $(30+20)/2 - 10 = 15$ DDs for the day
 - » But If daily min temperature < base threshold
 - » $DDs = (\max \text{ tem.} - \text{base threshold tem.}) - \text{base threshold.}$
 - » If DDs < 0 then DDs=0 for the day

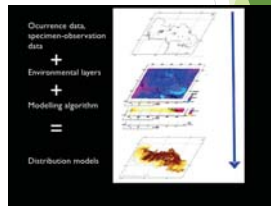
PEST MAPPING & Species Distribution Modelling

Geographic Information System (GIS) is an enabling technology for entomologists, which help in relating pest outbreaks to biographic and physiographic features of the landscape, hence can best be utilized in area wide pest management programmers.

How climatic changes will affect development, incidence, and population dynamics of pests can be studied through GIS by predicting and mapping trends of potential changes in geographical and delineation of agro-ecological hotspots and future areas of pest risk) distribution

(Sharma *et al.*, 2010) (Yadav *et al.*, 2010).

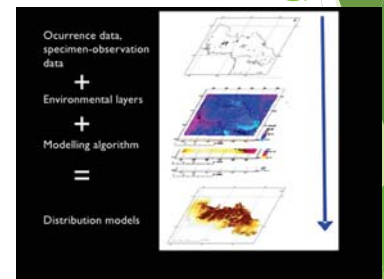
► **Ecological niche modeling (and the related species distribution modeling)** has been used as a tool with which to assess potential impacts of climate change processes on geographic distributions of species. However, the factors introducing variation into niche modeling outcomes are not well understood: To this end, we used 2 algorithms to develop models (Maxent, CLIMEX) to estimate the potential geographic distribution



<https://www.slideshare.net/andrewkhill/a-brief-introduction-to-niche-modelling>

Species Distribution Modelling (Ecological niche Modeling)

1. MaxEnt
2. CLIMEX



<https://www.slideshare.net/andrewkhill/a-brief-introduction-to-niche-modelling>

MaxEnt : 以19個氣象條件,分析物種分布

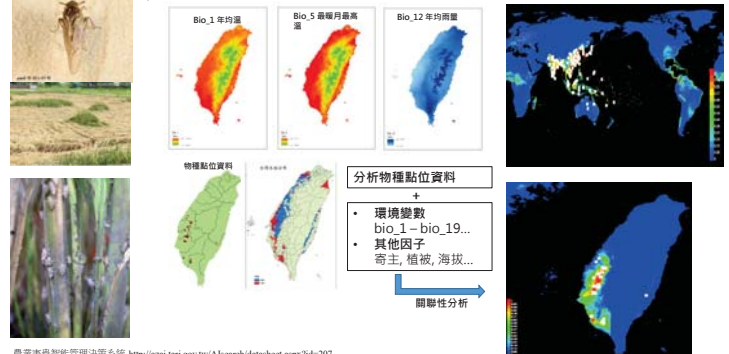
編號	環境因子	
bio_1	Annual Mean Temperature	年均溫
bio_2	Mean Diurnal Range	月平均氣溫日較差
bio_3	Isothermality	等溫性 (bio_2/bio_7)
bio_4	Temperature Seasonality	氣溫季節性
bio_5	Max Temperature of Warmest Month	最暖月最高溫
bio_6	Min Temperature of Coldest Month	最冷月最低溫
bio_7	Temperature Annual Range	年溫差 (bio_5 - bio_6)
bio_8	Mean Temperature of Wettest Quarter	最濕季均溫
bio_9	Mean Temperature of Driest Quarter	最乾季均溫
bio_10	Mean Temperature of Warmest Quarter	最暖季均溫
bio_11	Mean Temperature of Coldest Quarter	最冷季均溫
bio_12	Annual Precipitation	年降水量
bio_13	Precipitation of Wettest Month	最濕月降水量
bio_14	Precipitation of Driest Month	最乾月降水量
bio_15	Precipitation Seasonality	降水量季節性
bio_16	Precipitation of Wettest Quarter	最濕季降水量
bio_17	Precipitation of Driest Quarter	最乾季降水量
bio_18	Precipitation of Warmest Quarter	最暖季降水量
bio_19	Precipitation of Coldest Quarter	最冷季降水量

褐飛蟲 *Nilaparvata lugens*

瘤野螟 *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)

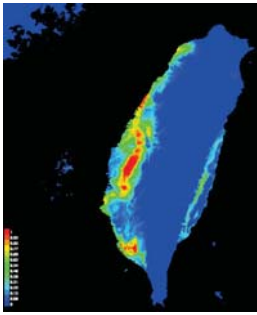
馬來西亞水稻黑植象 (*Scotinophara coarctata*)

利用重要氣象條件及現有監測資料比對分析褐飛蟲 (*Nilaparvata lugens*) 地理熱點分布圖



農業資訊管理決策系統 <http://azai.tari.gov.tw/A/search/dataset.aspx?td=207>

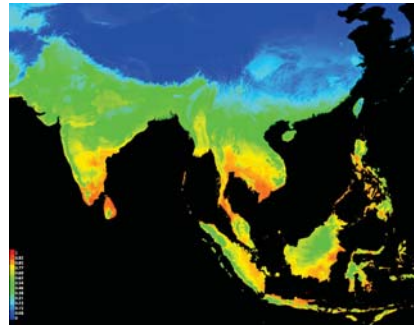
縮野螟 *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)



農業資訊管理決策系統 <http://azai.tari.gov.tw/Alssearch/datasheet.aspx?id=207>

馬來西亞水稻黑椿象 (*Scotinophara coarctata*) 在亞洲地區之潛在地理分布

可能入侵之
水稻害蟲



<https://ati.da.gov.ph/ati-2/sites/default/files/rice%20black%20bag%20final.pdf>

Growth index: 增長指數
weekly, annual

CLIMEX

$$TGI_w = TI_w \times MI_w \times RI_w \times SV_w \times LI_w \times DI_w$$

(a weekly Thermo hydrological Growth Index) 水文熱增長指數 (0-1)

(The full weekly Growth Index)

$$GI_w = TGI_w \times BI_w$$

[BI]_w: Biotic index (0-1) 食物供應

$$GI_A = 100 \sum_{i=1}^{52} TGI_{wi} / 52$$

(The annual Growth Index) (1-100)

The growth index will enhance positive growth rate for the pest

(Sutherst et al., 2007; Kriticos et al., 2015 Climex 4.0)

Stress Indices(逆境指數)

- Cold Stress(冷)
- Heat Stress(熱)
- Dry Stress(乾)
- Wet Stress(濕)

The stress will cause in negative population growth rate for the pest (對族群造成負成長)

Interaction Stress (因子間交互作用)

Constraints to persistence (長期性限制, 休眠)

$$SI = (1 - CS/100)(1 - DS/100)(1 - HS/100)(1 - WS/100) \dots$$

$$SX = (1 - CDX/100)(1 - CWX/100)(1 - HDX/100)(1 - HWX/100)$$

Ecoclimatic Index (EI)
物種生態氣候指數

$$EI = TGI_A \times SI \times SX$$

(50x0.1x0.1=0.5)指數愈小愈不適合生存
 $GI_A = 100 \sum_{i=1}^{52} TGI_{wi} / 52$ (The annual Growth Index)

$$SI = (1 - CS/100)(1 - DS/100)(1 - HS/100)(1 - WS/100) \dots$$

(The annual Stress Index) 逆境因子影響大表示 逆境指數愈小

$$SX = (1 - CDX/100)(1 - CWX/100)(1 - HDX/100)(1 - HWX/100)$$

(The stress Interaction Index) 逆境交互指數愈小, 表示逆境因子影響

Temperature Index	
Limiting low temperature	12
Lower optimal temperature	18
Upper optimal temperature	28
Limiting high temperature	35
Moisture Index	
Limiting low moisture	0.15
Lower optimal moisture	0.35
Upper optimal moisture	0.8
Limiting high moisture	1.5
Diapause Index	
Diapause Induction Daylength	15
Diapause Induction Temperature	12
Diapause Termination Temperature	0
Diapause Development Days	0
Summer/Winter Diapause Indicator	0
Degree-days per Generation	400

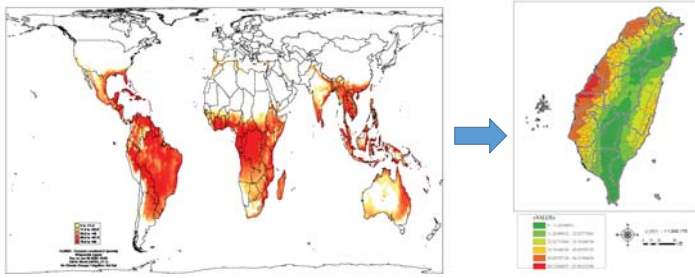
CLIMEX Index

EI: the suitability of the climate for long term survival (適合生存的程度)-年度條件適合

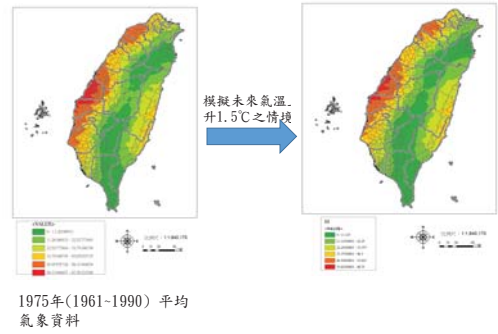
Ranked 5 index, unsuitable(非常不適合), marginal suitable(有條件適合), suitable(適合 >30), optimal (最適合>50), highly suitable(非常適合)

GI: the potential for population growth during favorable season(在適宜環境下的族群增長)

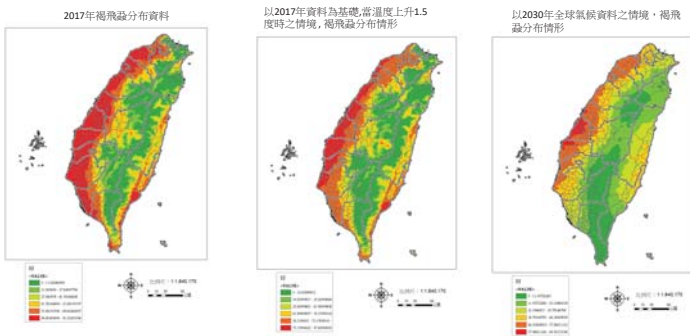
以全球30年(1961~1990年平均資料等於1975年)長期氣象資料，分析褐飛蝨在台灣的分布(以CLIMEX分析)



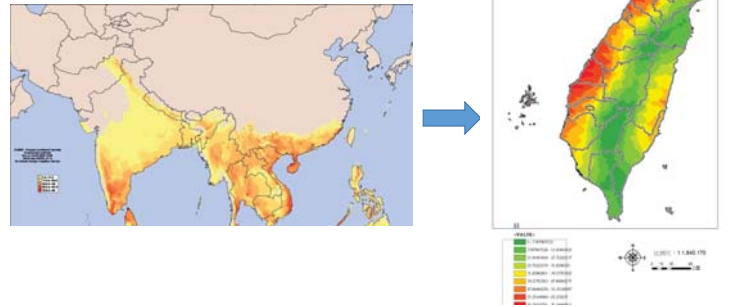
以全球30年(1961~1990年平均資料等於1975年)長期氣象資料，分析褐飛蝨在台灣的分布及上升1.5°C氣象情境下褐飛蝨分布情形



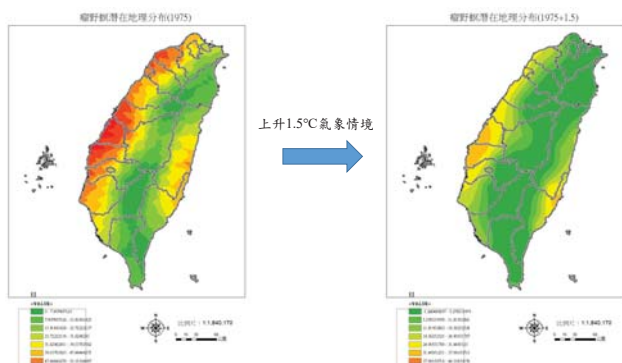
利用中央氣象局全島氣象資料平台的資料(以CLIMEX分析)



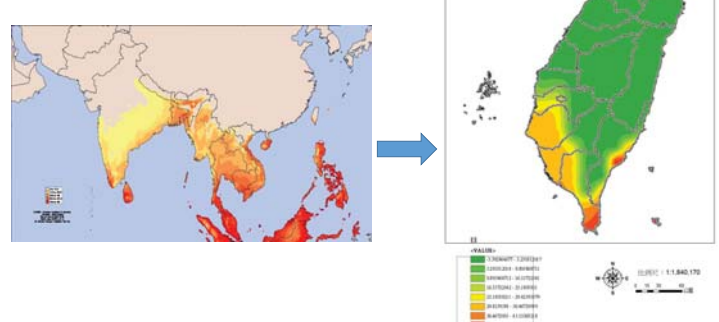
以全球30年(1961~1990年平均資料等於1975年)長期氣象資料，分析瘤野螟在台灣的分布



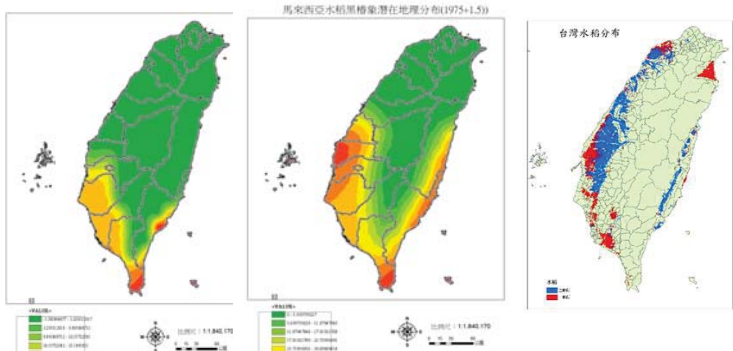
以全球30年(1961~1990年平均資料等於1975年)長期氣象資料，分析瘤野螟在台灣的分布及上升1.5°C氣象情境下瘤野螟分布情形(以CLIMEX分析)



以全球30年(1961~1990年平均資料等於1975年)長期氣象資料，分析馬來西亞水稻黑條病(Scotinophara coarctata)在亞洲地區之潛在地理分布及在台灣的分布(以CLIMEX分析)



以全球30年(1961-1990年平均資料等於1975年)長期氣象資料，分析馬來西亞水稻黑椿象(Scotinophara coarctata)在亞洲地區之潛在地理分布及在台灣的分布及上升1.5°C氣象情境下分布情形



因應調適策略

- ◆ 依照有害生物之生態特性(原來不適合生存地區變成適合生存地地區)，採取相對應管理策略
- ◆ 有害生物早期偵測及分布風險族群發生預警-減災
- ◆ 與土地覆蓋物結合地理資訊系統，掌握熱點區
- ◆ 入侵有害生物風險

調適策略

分散風險，褐飛蝨在台灣西部地區是高風險，尤其是雲嘉南，花東地區是另一個風險，要加強族群監測，當溫度上升1.5度之情境時，未來宜蘭南陽平原是褐飛蝨高風險地區，褐飛蝨屬於r型策略害蟲，除了藥劑防治外，抗蟲品種的開發視為最佳調適策略

瘤野螟在台灣西部地區是高風險，尤其是雲嘉南，花東地區是另一個風險，要加強族群監測，當溫度上升1.5度之情境時，嘉南平原地區，風險較高，屬於r型策略害蟲，除了藥劑防治外，密度監測是很好的調適策略

生態策略

國內已建立族群之重要有害生物:適應生存的生態策略

1. r型害蟲:褐飛蝨

- (1) 個體小，發育快速，世代短
- (2) 生殖前期短，繁殖能力高且卵通常在一短期內產完
- (3) 常具遷移習性
- (4) 在短期內其族群增加至負荷量
- (5) 常受到極端天氣影響，能適應極為不穩定環境-族群能在短時間恢復

因應策略:

1. 優先考慮藥劑防治或抗蟲品系(植物與昆蟲交互作用)
2. 田間族群監測(氣候變遷因素)及早期預警

生態策略

2. K型害蟲:黑椿象

- (1) 個體大，發育較慢，世代較長
- (2) 生殖前期較長，繁殖力低，但生殖期存活率高，壽命長，卵通常分數次產卵
- (3) 通常不常遷移
- (4) 族群常受到生物因子如天敵或其他控制效應
- (5) 生存於氣候穩定及適合的棲所-極端天氣時，族群恢復慢

因應策略:

- (1) 天敵保育或大量釋放
- (2) 施用對生物效應之技術

3. r-K中間型:瘤野螟 生物天敵及抗蟲品種

因應國內重要害蟲之防治調適策略:氣候變遷趨勢中，包括極端天氣事件發生頻度提升或發生時段集中，改變害蟲發生密度，並影響所有害蟲防治資材(如化學合成藥劑或物理防治資材等)的防治效果或資材使用期限。為此，探討目標害蟲之各類防治資材(含推薦農藥、費洛蒙等誘引劑、物理防治資材等)，在氣候變化情境下，該如何調整使用時機、使用方法、導入新技術，及早建立特定氣候情境下，農友可方便使用的害蟲防治調適資材，降低氣候變化下作物害蟲引發之農業災損。

入侵有害生物風險:如馬來西亞水稻黑椿象

因應可能入侵之有害生物之防治調適策略:在台灣西部地區是中度風險，尤其是高屏，東部地區是另一個風險，要加強族群監測，當溫度上升1.5度之情境時，嘉南平原地區及花蓮風險提高，屬於r型策略害蟲，除了藥劑防治外，入侵偵查是最佳因應調適策略
蒐集有關本種遷移與危害習性之國外相關報告，作為我國研擬可行的檢疫因應策略，提供農政機關參考

結論

以物種分布模式(Species distribution Modelling)分析模擬氣候變遷影響到物種分布，再藉由地理資訊系統(Geographic Information System)物種在地理上分布位置，提高預測該物種潛在地理分布及族群變化之準確性。當建立這些有害生物的分布資訊後，可規劃實際田間調查技術及防治技術，因應各種氣候變遷之情境變化，早期預警建立有害生物發生調適策略，採取因應相對措施。

謝謝聆聽!!