

第二章 脆弱度與影響評估

2.1 脆弱度評估

農業生產是高度依賴水、土、生物多樣性物種等自然資源的生物性產業。由於生物生長與生存有其必要的氣候與環境條件，如溫度、日照、降雨量與強度、濕度、CO₂濃度、風速等，受氣候的影響很大，因此目前農業生產之各種動植物產品各有其最適當的生長季節與地區，過去在氣候變動的影響下，即造成每年單位產量明顯的起伏變動。

我國位處於亞熱帶海洋氣候地區，在國際的氣候變遷研究中屬於高風險的邊緣區；過去資料顯示台灣氣候已呈現暖化、降雨型態改變、海平面上升、極端氣候發生頻率及強度增加的趨勢，影響農業生產與生物多樣性。整體而言，農業生產與生物多樣性暴露在氣候變遷衝擊下的機率高，受衝擊而造成改變或損害的敏感度高，能夠降低暴露與敏感的適應能力有一定的限度，因此脆弱度高，惟其程度因產品、經營方式及地區之不同而異。以下就農業生產與生物多樣性現況及綜合「國家氣候變遷調適政策綱領」及農委會99年6月15日「因應氣候變遷農業調適政策會議」資料分析說明台灣氣候變遷情形及農作物、畜牧、漁業、林業生產及生物多樣性之脆弱度。

2.1.1 台灣的氣候變遷情形

根據中央氣象局有關台灣過去百年氣候特性變化的統計資料，近一百年來全台平均氣溫上升了0.8°C，略高於全球百年增溫的均值(0.7°C)，鄰近區域的海溫也增加0.9~1.1°C，同時過去五十年熱浪發生頻率及持續天數明顯增加。(國發會，國家氣候變遷調適政策綱領)。

降雨方面，雖然年降雨量無顯著的變化，但降雨時數減少，降雨強度增加。近30年雨量資料顯示，台灣北部平地降雨略微增加，秋季降雨較多，南部與山區雨量略減，其中又以冬季減少較明顯；降雨日數在四季明顯減少，單日降雨量增加，豪大雨日也增加，降雨強度增加。(國家氣候變遷調適政策綱領)。

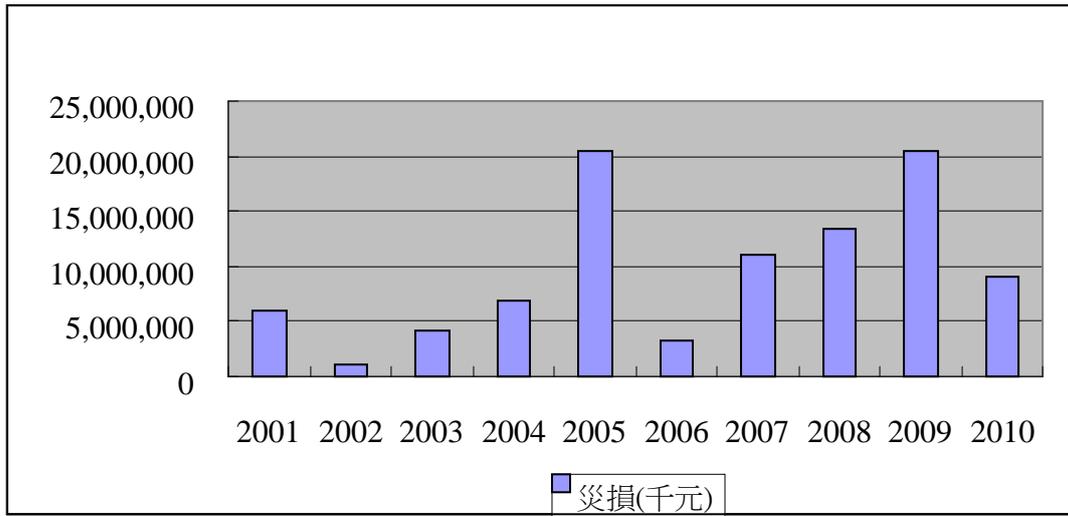
海平面方面，依據台灣海域周圍的海洋潮流資料顯示，台灣海域海平面年平均上升速率為2.51公釐，高於全球海平面平均上升率之1.8公釐。過去十年，高雄

沿海以每年6.79公釐速度上升，台灣西南部地層下陷速率每年為7.89公釐。

極端氣候方面，臺灣地區不但位居太平洋西側的地震帶，也處於西北太平洋地區颱風侵襲的主要路徑，屬於極易受到天然災害影響的區位。根據內政部之統計，1980年之後臺灣每年颱風與豪雨致災個案次數有上升之趨勢；另依據農委會停灌休耕統計資料，顯示1984年之後乾旱發生頻率較過去更為密集，尤其2002年以後更加頻繁（農委會，2010年6月會議資料）。

另外，闕雅文(2010)應用氣候資料包括118,557筆降雨、4,320筆氣溫，4,320筆日照，3,291筆輻射資料，分析我國氣候近30年的變化(1979~2008)，結果顯示我國降雨趨勢方面，少雨與多雨交替趨於頻繁，尤以1990、1998、2005等年度降雨量距平均雨量分布，高低差異較其他年度明顯且日數多，顯示極端降雨情形相對嚴重；氣溫方面，平均呈現逐年上升趨勢，且每年出現高於均溫的情形愈趨頻繁，顯示氣溫逐漸上升，近10年尤其明顯；然而日照與輻射方面，資料則顯示日照時數與輻射量正逐年呈降低趨勢。因此，在極端降雨逐年嚴重、氣溫逐年攀升與日照降低等趨勢下，農業生產(尤以作物栽培)依賴的環境條件產生改變，勢必明顯衝擊到我國農業，造成重大影響。近10年來我國農業受災金額統計如下圖，可以發現2005年極端降雨嚴重的年度，農業災損亦高，顯示農業對極端氣候影響相當敏感，脆弱度高。

圖 2-1 我國近 10 年農業受損金額

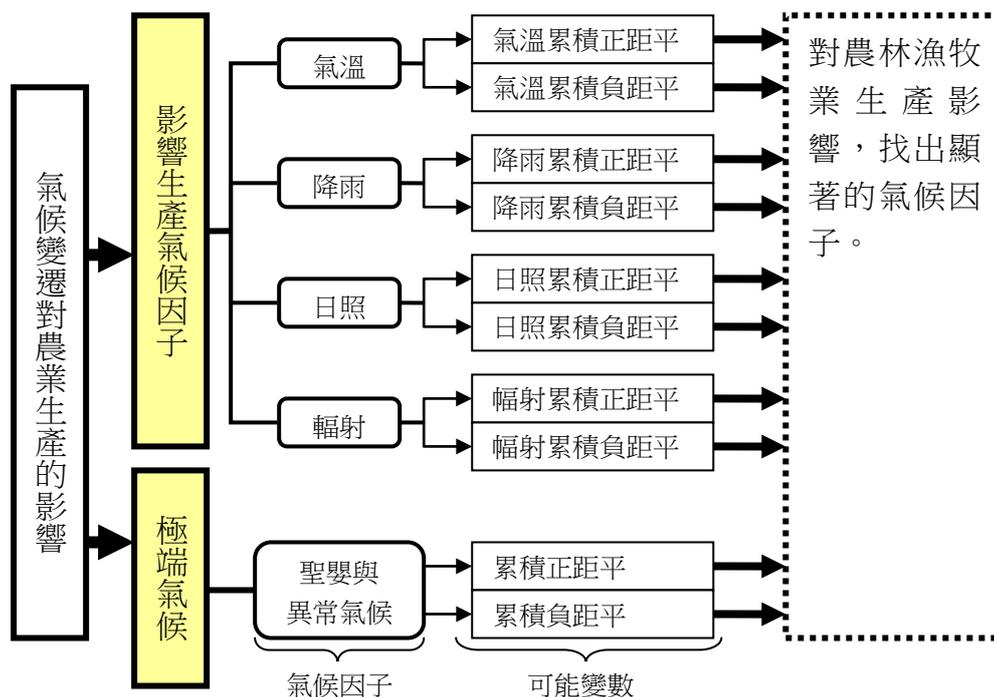


資料來源：行政院農委會

同時該研究中，根據前述所提氣溫、降雨、日照、輻射以及聖嬰與極端氣候事件，提出相關因子作為影響農林漁牧生產的變數(詳圖2-2)，探討其對農業各產業生產的關鍵氣候因子，並探討所受影響程度。藉此可推估農林漁牧產業，在未來氣候變遷，各種氣候條件持續變動下，對氣候條件的敏感程度。

該研究採逐步迴歸方式篩選適當的基期建立分析模型，包括1950~2009(前60年)、1950~1999(前50年)、1950~1989(前40年)、1950~1979(前30年)、1950~1969(前20年)、1950~1959(前10年)等，透過設定包括氣溫累積正負距平、雨量累積正負距平、日照累積正負距平、輻射累積正負距平以及聖嬰累積正負距平等變數，對農林漁牧各產業的生產變動進行迴歸分析，並根據Adjusted R-squared與t值分析結果，選取各產業解釋力較佳的模型，再進一步分析各產業中受氣候影響之重要變數。

圖 2-2 氣候變遷對農業生產可能影響的因子與變數設定



分析結果發現，農業生產主要受日照、降雨影響；林業主要受氣溫影響；漁業主要受日照、溫度影響；畜牧業主要受日照影響。顯示我國農業分別對不同氣候因子具有相當的敏感程度，整理如下表2-1。

表 2-1 農林漁牧產業受氣候因子影響權重與方向

	農業生產	林業生產	漁業生產	畜牧業生產
日照變化	長期趨勢顯示日照強度逐漸降低			
累積正距平影響	(-)52%	(+)11%	(-)34%	(-)82%
累積負距平影響	-	-	-	-
降雨變化	長期趨勢顯示極端降雨情形逐漸增加			
累積正距平影響	-	-	-	-
累積負距平影響	(+)29%	(+)12%	-	-
氣溫變化	長期趨勢顯示氣溫逐漸上升			
累積正距平影響	-	(-)37%	(+)44%	-
累積負距平影響	-	(+)40%	(-)12%	-
輻射變化	長期趨勢顯示輻射強度逐漸降低			
累積正距平影響	(+)19%	-	(+)7%	(+)10%
累積負距平影響	-	-	-	-
聖嬰與極端氣候	長期趨勢顯示極端氣候(暴雨)次數逐漸增加			

	農業生產	林業生產	漁業生產	畜牧業生產
累積正距平影響	-	-	(-)3%	(-)7%
累積負距平影響	-	-	-	-

資料來源：闕雅文(2010)

註：該研究僅設算經逐步迴歸篩選之顯著影響指數的主要氣候因子影響權重，“-”為該模型中未計入設算影響權重者。

2.1.2 農作物生產的脆弱度

台灣農作物生產分布廣，2011年耕地面積計80.8萬公頃，其中南部區域及中部區域各占36%，北部區域16%，東部區域12%；主要作物為稻米、果樹、蔬菜、花卉，分別占農作物產值之18%、35%、26%、7%；稻米面積分布以中部區域為主，占51%，其次為南部區域26%，北部12%，東部區域11%；果樹面積分布以南部區域為主，占51%，其次為中部區域34%，東部區域10%，北部區域5%；蔬菜面積分布以中部區域為主，占45%，其次為南部區域37%，北部區域13%，東部區域5%；花卉種植面積亦以中部地區最多，占64%，其次為南部地區占26%，而北部與東部地區則分別占9%與1%（表2-2，圖2-3及2-4）。

表 2-2 2011 年耕地及主要農作物種植面積地區別分佈 單位:%

項目	地區別			
	北部地區	中部地區	南部地區	東部地區
耕地面積	16.0	36.1	36.4	11.5
稻米種植面積	11.5	51.4	25.8	11.3
果樹種植面積	4.8	34.2	50.6	10.4
蔬菜種植面積	12.9	45.0	36.9	5.2
花卉種植面積	9.4	63.6	25.6	1.4

資料來源：農業統計年報，行政院農業委員會

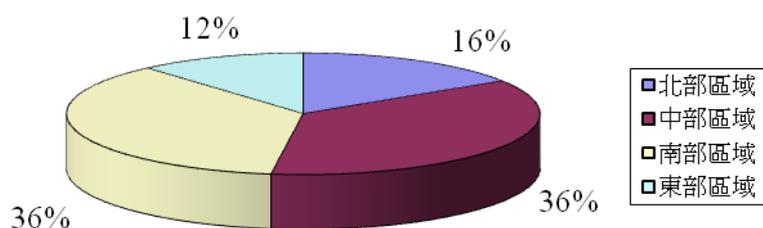


圖 2-3 2011 我國耕地面積地區別分佈

資料來源：農業統計年報，行政院農業委員會

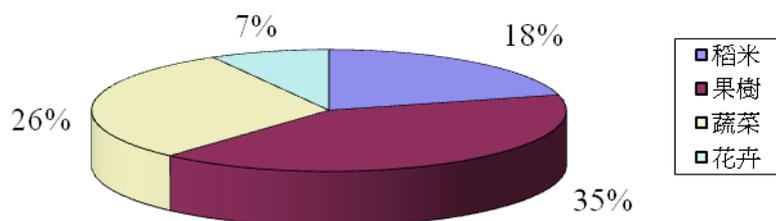


圖 2-4 2011 年我國農作物產值結構

資料來源：農業統計年報，行政院農業委員會

農作物多為露天生產，僅部分蔬菜及花卉為設施栽培。露天生產直接受到氣候影響，特別是溫度及雨量之氣候因素對農作物的生產影響甚鉅，二氧化碳濃度之多寡，對農作物生產也是一個直接的影響因子，設施栽培可利用設施調節溫度與濕度，對氣候的敏感度相對較露天栽培低。農作物對氣候因子的脆弱度如下：

1. 溫度上升

各種農作物有其生長所需的溫度範圍，包括誘使作物發芽的溫度及維持各成長階段正常生長的溫度。氣溫升高，可能打亂作物的生長期，改變適栽區域。溫度升高亦會伴隨著雜草的茂盛，加速病蟲害的繁殖，不利作物的生長。

稻米為我國主要糧食作物，台灣的氣候暖化趨勢對稻米產量與品質的影響大。過去百年來臺灣已呈現均溫上升(0.8°C/100年)、日低溫(夜溫)增加、日射量降低、及溼度下降的趨勢，且其幅度較世界平均值大(0.7°C/100年)，西部地區更較東部地區顯著。例如中南部地區稻作農民已呈現一期作提前插秧的趨勢。未來氣候變遷趨勢可能威脅我國稻米生產，依據國際稻米研究所(International Rice Research Institute)指出，平均溫度上升攝氏1°C，穀粒產量將減少7%，夜溫上升1°C，產量會降低10%。依據跨政府氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)所進行的氣候模擬，台灣在2040年會有2~3°C的增溫，到2090年則會達到4~5°C之增溫，而主要的增溫區域在海拔低於1,500米之丘陵及沿海平原(柳中明等，2008)。此外，高溫與低日照也會增加稻米白堊質率，降低其市場價值。

果樹是臺灣最重要的經濟作物之一，由於大多果樹植體高大，不易使用設施栽培，幾乎都在露天狀態生產，直接受到氣候影響。暖化趨勢可能會使台灣果樹種類及品種之栽培區域逐漸向北或較高海拔遷移，亦會造成果實產期的提前或延後(張致盛、王念慈，2008)。暖化效應將造成許多溫帶果樹難以達到休眠，進而無法成熟結果，導致減產。由於溫度上升會使果實成熟速率加快，而導致水果品質的下降，例如蜜柑著色不良與日燒果比例增加。此外，與其他作物相同，暖化會使病蟲害相發生改變，而加劇病蟲的危害，例如葡萄晚腐病好發於高溫高濕環境；捲葉蛾世代的增加等。另外，臺灣的果樹囊括了熱帶、亞熱帶與溫帶的樹種，其各有不同的適應溫度，暖化的情況將延長熱帶水果產季，相對卻威脅到溫帶果樹品種，造成整體水果供應變動，改變水果市場供需結構。

蔬菜多為露天栽培或網室栽培。由於氣溫的影響，蔬菜生產季節明顯，夏季生產量較少。在台灣氣溫持續升高下，夏季高溫期勢必延長，影響原本就受到限制的夏季蔬菜生產，且可供選擇栽培的蔬菜品種將愈來愈少。網室栽培者，雖然受極端氣候衝擊較小，然而網室內病蟲害相常常較嚴重，氣候變遷之下，可能加劇病蟲的危害。

花卉使用溫室精密控制其溫度與濕度的情形相對較多，但在暖化情況下，可能會增加降溫的需求，進而提高能源及資本的消耗。氣候變遷下，溫度不預期的增減變動可能影響花卉品質。氣候暖化可能使花卉的開花時序改變，產期調節措施難以掌控，如此需投入更多成本，影響花農的收益(戴廷恩等，2008)。

2. 降雨型態改變

降雨可從雨量、強度、酸度等方面影響作物生產，當氣候變遷造成降雨量不足、造成農作物缺水灌溉；降雨強度過大將會直接破壞作物外觀品質，作物含水量也會受雨量左右，影響品質。酸雨可直接碰觸植物體表面或間接經由根部從土壤吸收進入體內，進而會阻礙作物生長甚至導致作物死亡。台灣的年平均降水量有減少的趨勢，但前5%豪大雨事件的降水量占全年降水量的百分比則會增加，表示台灣未來的降雨頻率可能會變小，降雨強度增加，伴隨高溫日數的增加，農作物受旱災影響會更加明顯。露天栽培作物易受降雨變率的影響，尤其是果樹、

蔬菜的敏感度較高，其中又以蔬菜之敏感度高。

3. CO₂濃度

大氣中CO₂濃度升高有助於植物行光合作用，提高碳水化合物的轉換效率，且所增加的CO₂也可提高植物體地下部份與地上部份的比值，因此對根莖類作物有利，亦可提高土壤中的有機質(宋濟民等，1998)，惟由於植物體體積變大，農作物肥料的需要量也會隨著增加(楊純明，2007)；CO₂濃度增加會使得植物體中碳氮比上升，如此將提高作物對病蟲害的敏感性而容易遭受感染，不利其生產(楊純明，2007)。

4.極端氣候

隨著氣候變異性增加，極端氣候如颱風、暴雨、旱災、高溫及寒害等出現的頻率也可能會增加，直接損害農作物而造成嚴重的農業損失。根據《台灣農業年報》的資料顯示，2001至2010年十年間因天然災害造成農業損失高達959億元，其中以颱風占7成最多，豪雨居發生率第二，災情嚴重度僅次颱風。另依據農田水利會統計資料，近10年發生乾旱缺水事件之期作次數已由過去(1992~2001年)每年2.9次，上升至每年4次。

5.影響農業生產的氣候因子

闕雅文(2010)以1950-2009年為基期，發現日照累積正距平(累積高於平均日照的幅度)對農業生產有-52%的影響，雨量累積負距平(累積低於平均雨量的幅度)有29%影響，而輻射累積正距平有19%影響。亦即說明我國作物栽培農業主要受日照、雨量影響為主，其中又對日照變化最為敏感，顯示日照強度過強將明顯對農業生產產生負面影響；雨量強度低於平均以及輻射強度高於平均值反而對農業生產有正面影響。

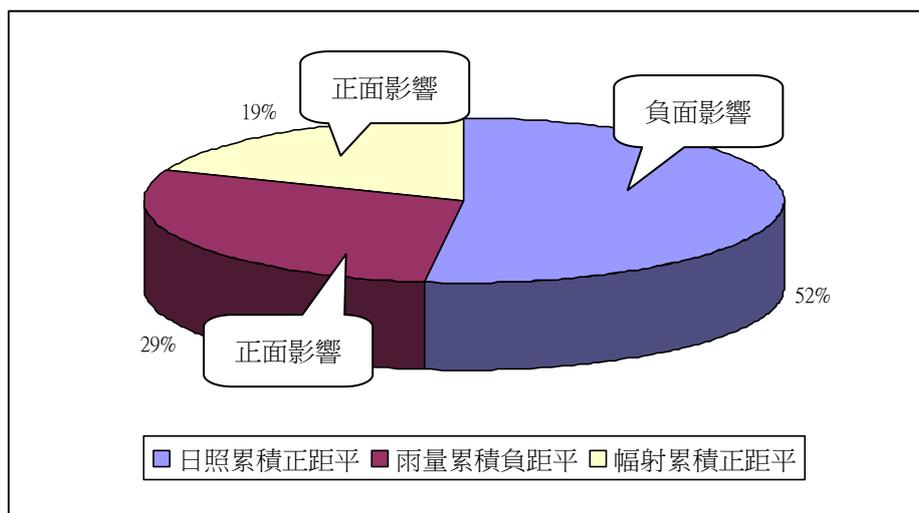


圖 2-5 農作物栽培業生產複合氣候指數
資料來源：闕雅文(2010)

2.1.3 糧食進口的脆弱度

我國糧食除由國內生產供應，還需賴進口以補不足。依據農委會之糧食供需年報，2009年以熱量為權數之糧食自給率為32%，主要是因稻米以外之食用穀物、飼料穀物及油籽類作物自給率低，其中以小麥、玉米、大豆為最大宗幾乎全仰賴進口，進口來源集中以美國為主。2011年小麥全年進口量為136萬公噸，主要進口來源為美國75.3%，其次為澳洲21.4%；玉米全年進口量計415萬公噸，主要進口來源為美國63.8%，其次為巴西24%，南非5.1%；大豆全年進口量為234萬公噸，主要進口來源為美國54.9%，其次為巴西42.3%。

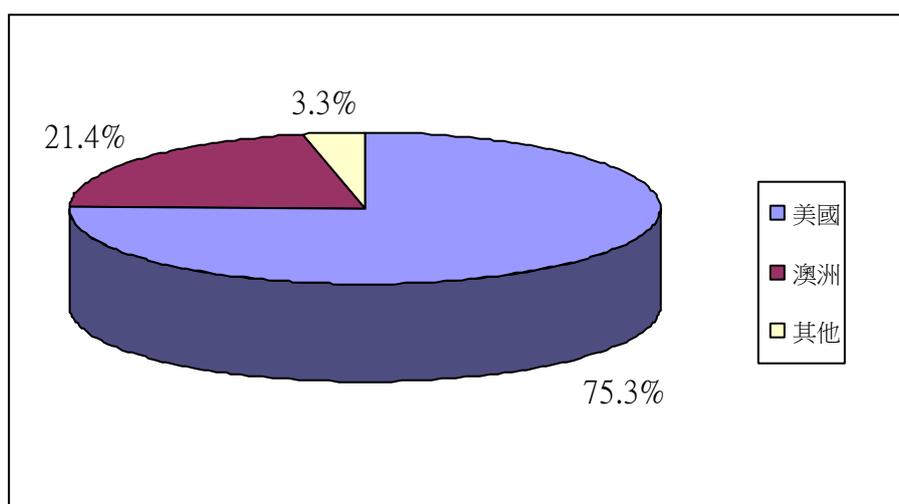


圖2-6 2011年我國小麥進口來源
資料來源：海關進出口資料

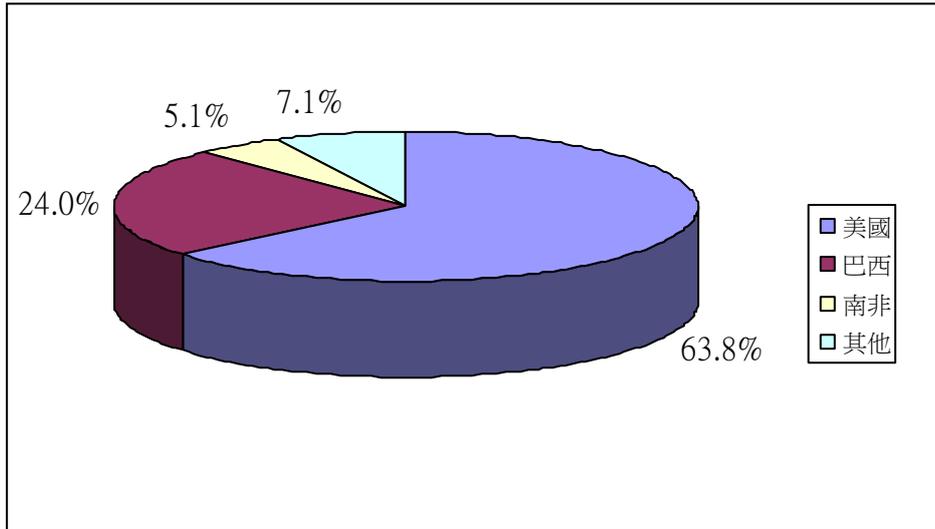


圖2-7 2011年我國玉米進口來源

資料來源：海關進出口資料

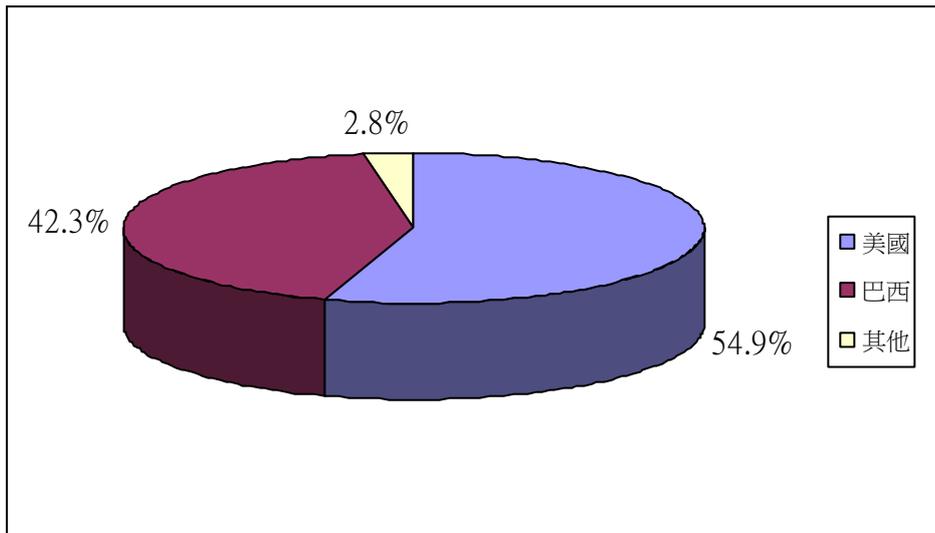


圖2-8 2011年我國大豆進口來源

資料來源：海關進出口資料

在氣候變遷的趨勢下，氣溫、雨量、CO₂與極端氣候除了影響台灣外，前述小麥、玉米、大豆等，主要進口國也可能同樣會遭遇氣候變遷的威脅，如果再加上這些國家可能因氣候風險實施糧食出口管制，進口糧食的供應可能會更吃緊。

氣候暖化將使得小麥-玉米-大豆生產界限大幅北移，如此可能會使得美國產

量下降而加拿大產量增加（宋濟民等，1998），影響全球糧食貿易結構，影響台灣進口糧食的來源的穩定；又未來高溫、乾旱、豪雨等農業氣象發生機率可能會增多，影響全球糧食生產和農產品貿易的穩定性。

IPCC 2007年報告也指出全球暖化對不同緯度地區農業生產的影響可能不同，在上升1-2°C的情形下，高緯度溫帶國家可能因暖化使得農地耕作時間得以延長，及二氧化碳對光合作用的肥料效應而使產量增加；但低緯度的國家平常溫度高，已接近主要糧食作物經濟生產的邊緣，暖化的高溫將使該區作物生育更為艱難，加上高溫造成的病蟲害族群生長習性改變，導致產量減少。如果氣候暖化的趨勢超過2°C以上(2009年哥本哈根會議建議的管理上限)，則連高緯度溫帶國家也將遭受作物產量下降的威脅；如再考慮異常或極端氣象發生頻度與強度，尤其超過2°C以上，則以溫帶為主的小麥、玉米及大豆等糧食作物，及亞熱帶、熱帶為主的稻米及薯類等糧食作物生產都將呈現下降趨勢。

申(2007，2010)曾論及為滿足國人糧食安全需求，相關因應策略可概分為四大方向，1.提高境內糧食生產能力，2.減少境內農業氣象災損，3.確保境外糧食輸入，4.提升糧食生產預測能力。在提高境內糧食生產能力方面，農地資源和水資源的適切保護和調配，以及生產技術提升等為有效因應策略；申等(2011a)則依據WTO 有關農業境內支持之規範，提出可以提高糧食自給率，分攤農業天然災害風險，且同時減少國家溫室氣體排放量之有關農業生產政策調整方案的基本架構。在確保境外糧食輸入方面，申(2007，2010)和申等(2011)認為農業部門可協助降低國家溫室氣體排放量，以降低我國產品輸出所遭遇的貿易障礙，避免影響我國在國際穀物市場的購買/競爭能力。

2.1.4 畜牧生產的脆弱度

台灣畜牧生產以毛豬為最大宗占 2011 年畜牧總產值之 47%，其次為家禽占 31%，蛋類占 12%，其他畜產占 10%。毛豬在養隻數分布以南部區域為主占 48%，其次為中部區域 43%，北部區域 7%，東部區域 2%；肉雞在養隻數分布以南部區域為主占 40%，其次為中部區域 41%，北部區域 18%，東部區域 1%；蛋雞在養隻數分布以中部區域為主占 53.8%，其次為南部區域 44.6%，北部區域

1.3%，東部區域 0.3%；乳牛在養隻數分布以南部區域為主占 51%，其次為中部區域 38%，北部區域 8%，東部區域 3%（表 2-3，圖 2-9）。

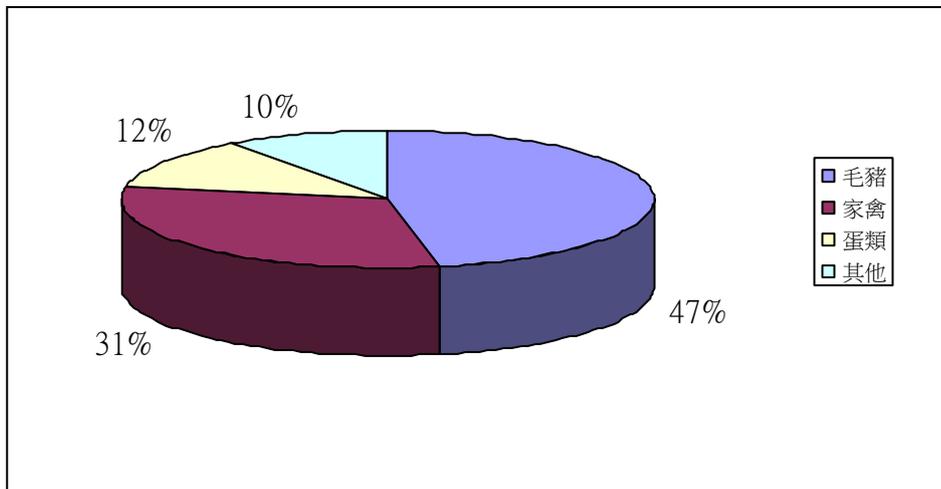


圖 2-9 我國主要畜產品產值結構

資料來源：農業統計年報，行政院農業委員會

表2-3 2011年我國主要畜產品生產地區別分佈 單位:%

項目	地區別			
	北部地區	中部地區	南部地區	東部地區
毛豬飼養隻數	7	43	48	2
肉雞飼養隻數	18	41	40.1	1
蛋雞飼養隻數	1.3	53.8	44.6	0.3
乳牛飼養隻數	8	38	51	3

資料來源：農業統計年報，行政院農業委員會

畜牧生產多有畜舍遮蔽，受高溫日曬降雨的直接衝擊相對較小，惟畜禽動物均有其最適合生長的溫度範圍與環境條件。當周遭溫度不斷上升超過生物所能承受的程度時，個體即有熱緊迫的現象發生，影響其生長、生產及繁殖等(Fuquay, 1981)，同時也會造成微生物不當滋生，動物感染疾病的機會增加、飼料產量與品質降低、畜禽基因多樣性減少等不良效應，以及造成禽畜糞尿增加，消化吸收能力下降，糞尿中營養成分增加，使得糞尿處理過程中釋放出更多的溫室氣體。

1. 豬

熱緊迫使母豬受胎率減低，發生懷孕早期及末期的胚胎死亡；哺乳母豬食慾減低，造成產乳能量耗損，離乳前吮乳仔豬存活率顯著減低；公豬的產精性能將

下降。我國本土研究顯示，熱緊迫會延長母豬離乳至再發情配種之間距，即母豬離乳後一週內再發情配種之比例會由84%減至54%。另外熱緊迫也影響藍瑞斯母豬對養分利用率(Liao and Veum, 1994)，母豬置於25 °C至 34°C之日夜溫差，以及在 32°C恆溫熱緊迫狀況下，其能量和氮的消化率以及代謝能/總能比率，皆低於置於23°C溫度帶之母豬。熱緊迫對公豬的產精性能亦有影響，杜洛克公豬在7、8、9、10月份，其精子活力與精子濃度減低、總精子數減少、精液pH值升高，顯示受熱緊迫影響程度十分嚴重，足見臺灣夏季環境溫度，已超過種公豬之適溫帶25°C的負荷，確會對公豬的產精性能產生明顯負面影響。

2. 雞

當環境溫度高於30°C時雞隻便會增加飲水、減少採食量、呼吸加速排出大量CO₂並造成鹼毒症而造成死亡。熱緊迫影響肉種雞的繁殖性能，夏季的種蛋率、孵化率、蛋重皆較涼季下降(陳等, 1996)。當環境溫度升高，產蛋母雞會降低飼料攝取量、體重、產蛋量、蛋重、蛋殼品質、蛋殼厚度及蛋內品質。環境溫度對臺灣土雞蛋殼品質及繁殖性能亦有相同的影響(黃與許,1991；黃等, 1992)。國內學者對白色肉雞進行38°C連續模擬熱緊迫試驗時，發現雞隻體溫、呼吸速率升高，血液二氧化碳分壓降低、pH值升高。另高溫除會造成家禽呼吸速率的增加，伴隨著二氧化碳之排除過多，導致血液之PCO₂降低，血液pH值上升而造成鹼中毒(謝等2002)。

3. 乳牛

熱緊迫對乳牛繁殖與泌乳性能之不利影響更為明顯。當環境溫度與濕度開始升高或是溫濕度指數超過一定標準時，牛隻就開始處於不同程度的熱緊迫。過高的熱緊迫輕者使牛乳的分泌下降、受孕率降低，重者更可能導致牛隻死亡(Chase, 2006；Thornton et al.,2009)。此外，高溫對本地牧草維持良好飼養價值之採收期縮短，不利酪農取得高品質的芻料及牧草。飼料作物之生產因氣溫之劇升陡降，容易有黴菌毒素污染之問題發生，直接影響反芻動物的生長及繁殖性能，及誘發不當使用抗生物質的問題。降雨集中及乾旱期延長也將嚴重影響飼料作物之生產效率。

4. 影響畜牧業生產的氣候因子

闕雅文(2010)以1979-2008為基期，日照累積正距平佔影響權重最高，為-82%；輻射累積正距平影響佔10%；剩餘8%權重則為聖嬰及極端氣候負面影響。顯示我國畜牧產業對日照增強十分敏感，日照高於平均值對畜牧生產將有不良影響，而輻射提昇則會促進畜牧生產提升，但影響程度有限。另由於我國畜牧產業多為畜舍飼養形式，受降雨，氣溫變動影響較不明顯。

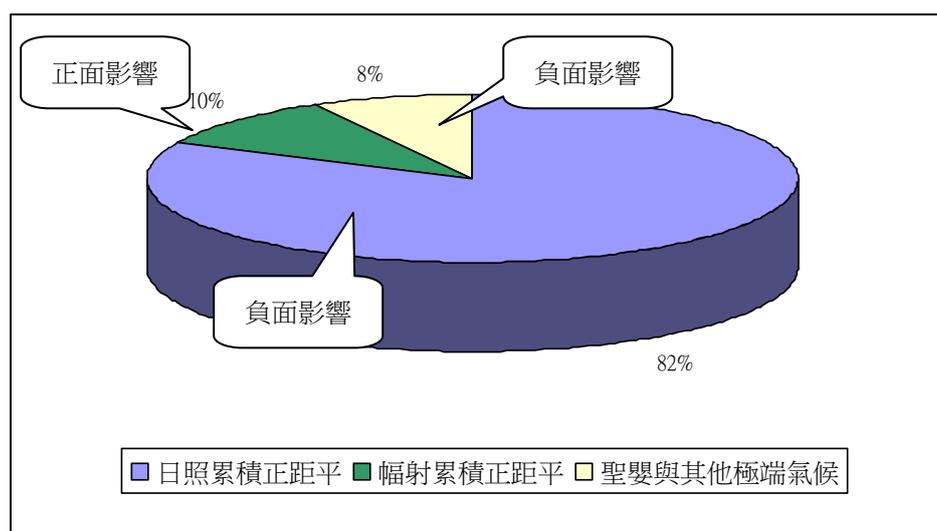


圖 2-10 畜牧業生產複合氣候指數

資料來源：闕雅文(2010)

2.1.5 漁業生產的脆弱度

漁業生產分為遠洋漁業、近海漁業、沿岸漁業及養殖漁業。2011年漁業總產值中，遠洋漁業占45%，近海漁業12%、沿岸漁業3%，內陸養殖漁業33%。水產養殖面積2011年計5.5萬公頃，其中鹹水養殖占41%，淡水養殖34%，淺海養殖23%，其他魚塢2%，另有箱網養殖55.4萬立方公尺。水產養殖面積之分布，以南部區域最多占65%，其次為中部區域26%，北部區域7%，東部區域2%；箱網養殖之分布，以澎湖縣最多占78%，其次為屏東縣22%。

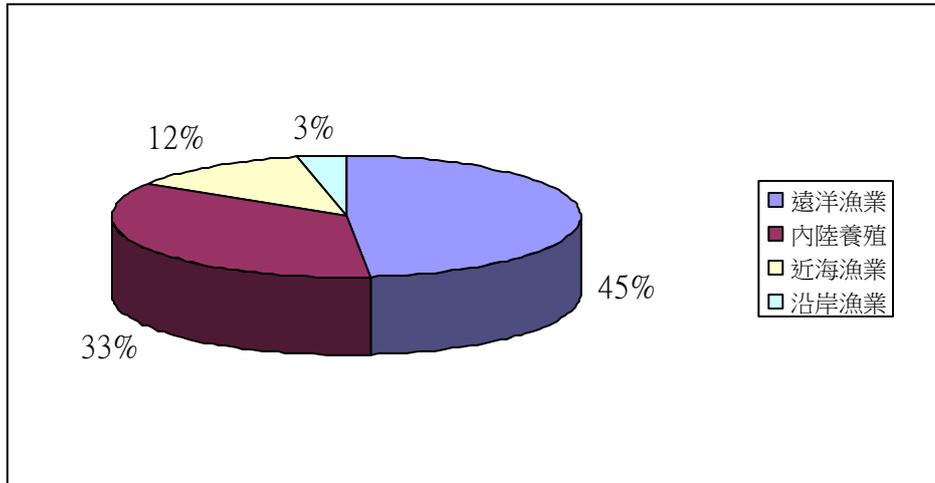


圖2-11 2011年我國漁業產值結構

資料來源：農業統計年報，行政院農業委員會

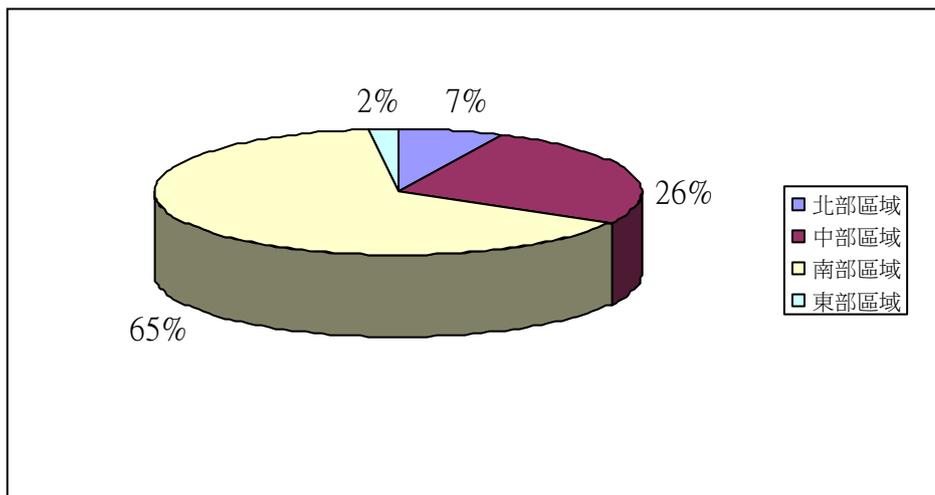


圖2-12 2011年我國養殖漁業種類所佔面積百分比

資料來源：農業統計年報，行政院農業委員會

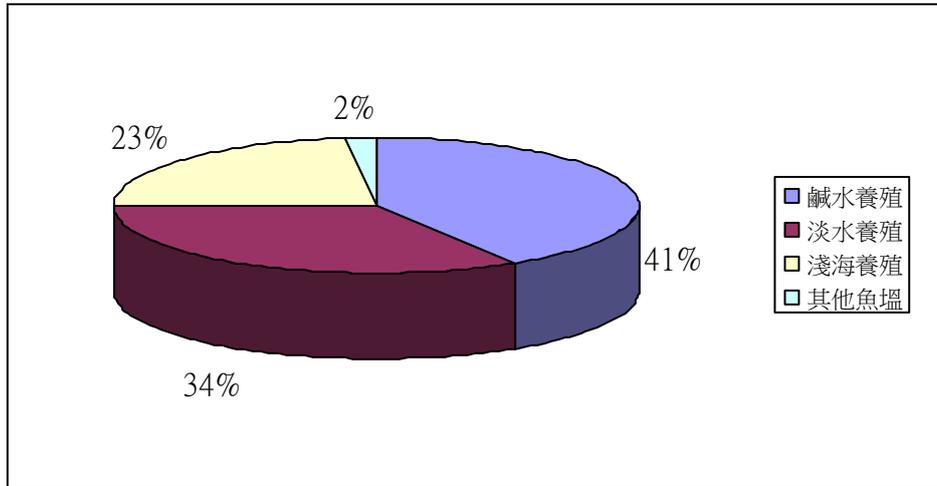


圖2-13 2011年我國水產養殖面積地區別分佈

資料來源：農業統計年報，行政院農業委員會

漁業生產與水溫密切相關，海水溫度上升會導致海洋漁業資源數量改變，漁場位移或消失，魚群迴游路線改變，養殖物種之生長與繁殖也可能因水溫上升而衝擊生產力與生產量。各類漁業因經營形式不同，所受的影響不同。

1. 海洋漁業

氣候變遷對臺灣海洋漁業的可能衝擊包括：(1)漁場分布的改變及捕獲量降低，根據全球變遷中心模擬結果預測，臺灣周邊海域的表面水溫將隨著週邊流系之消長而變動，黑潮流之暖溫性魚種漁獲比率將增加，而大陸沿岸水流系之冷暖性魚種漁獲比率將減少，故未來EEZ (主權水域) 內的漁獲量將減少。(2)過度捕撈、棲地破壞、汙染及溫排水、外來種入侵等人為因素影響，使漁業資源面臨氣候變遷衝擊時更形脆弱，漁獲量更容易受到氣候變異左右及劇烈變動。(3)漁場位移與資源的變動，及隨著極端海象之發生頻率與強度增加，使從事漁業工作的危險性增高，漁業生產成本增加，漁民生計或漁業經營陷入困境。

根據相關統計數據顯示，於1982到2008年間，台灣東北部水域溫度約上升0.85°C、東部水域溫度約上升0.65°C、西南水域溫度上升0.71°C。此一情況伴隨黑潮與南海洋流所帶來的暖水性魚種之分布逐漸向北擴展，而隨著大陸沿岸流南下越冬之經濟魚種則是向北遷移遠離，造成沿近海漁獲之魚種交替的現象，漁獲量隨海水溫上升而下降者，包含了底棲性魚種、海水表層洄游性魚種等。反之，

暖水性魚種則是隨海水溫度上升而帶來漁獲量之上升（李國添，2003；呂學榮，2003；李國添，2004；柳中明、蕭代基，2009）。

遠洋漁業也因氣候變遷帶來海水表水溫之變化，造成不同魚種形成的「交替」現象。如遠洋漁業中最主要的鮪魚業，由於鮪魚為生長週期較長之魚種，且擁有較大之洄游範圍，因此在海水溫度上升時，其分布與洄游空間也將更加寬廣（Kimura et al., 1997）。換言之，氣候變遷可能帶來漁場分布之改變，進而影響相關魚種之漁獲率（Joseph & Miller, 1989；Hampton, 1997；Lehodey et al., 1997；Lu et al., 1998；Lu et al., 2001）。如果未來極端海象發生頻率與強度增加，從事漁業工作的危險性將增高，且會造成漁業生產、漁船及養殖設施損失。

2. 養殖漁業

臺灣的箱網養殖利用天然條件進行生產，彌補了水土資源的不足，但由於海面箱網養殖採完全天然的生產流程，因此，氣候的巨變及微變都直接或間接的影響到生產過程。淺海養殖以濾食性的牡蠣、文蛤及九孔養殖為最主要的養殖物種，其生長過程均仰賴環境中的浮游生物為食。因此，天然環境的微變，極易造成基礎生產力的改變，導致養殖物種罹病率及死亡率的問題產生。根據IPCC的報告，未來淡水資源的不足將是氣候暖化所造成的影響之一，水資源直接影響到的即是淡水養殖魚塢。

氣候變遷對於養殖漁業之影響，除直接衝擊養殖標的物之生產力，另一則是特殊的作業形式所導致之延伸衝擊。對生產力的衝擊是海水溫度上升，使台灣沿海之放養牡蠣排卵形態產生變化，漁民難以掌握附苗時間；而溫度較低之大陸沿岸流的減少，導致九孔附苗失效（李國添，2004）。又當水溫高於30°C時，淺海養殖文蛤之生產力受到衝擊（陳瑤湖，2005）。而台灣養殖類中最普遍之尼羅吳郭魚，溫度超過34°C時，攝食行為急速下降，影響其產量。又目前台灣養殖之日本鰻魚苗需依賴捕獲取得，無法人工培育；在氣候變遷下，鰻苗捕獲量相對減少，增加魚苗來源之不穩定性（呂學榮，2005）。

另一個延伸自養殖漁業之問題，乃是因作業需求而抽地下水所造成之地層下陷的潛在衝擊。根據資料顯示，幾個地層下陷情況較嚴重的縣市，如彰化、雲林、

嘉義等縣，目前仍有約820平方公里之面積呈現「持續下陷」的情況；而最大下陷的速率，則是介於每年3.8公分到7.1公分之間（行政院經濟部水利署，2010）。

3.影響漁業生產的氣候因子

闕雅文(2010)以1950-1999年為基期，氣溫累積正距平對於漁業生產的影響佔44%權重，氣溫累積負距平則佔-12%影響權重；日照累積正距平佔-34%的影響權重；輻射累積正距平佔7%影響，剩餘的3%影響權重則屬於聖嬰及其他極端氣候所產生的負面影響。顯示氣溫提升對我國漁業生產有顯著正面效果，輻射強度提升亦有正面效果，而日照強度增加與氣溫降低則對漁業生產有明顯負面影響，降雨變化對漁業幾乎沒有影響。

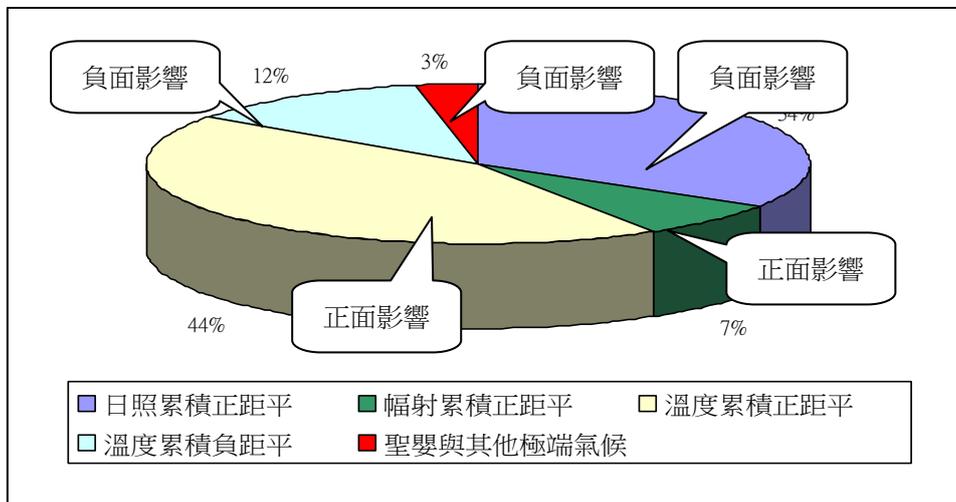


圖 2-14 漁業生產複合氣候指數

資料來源：闕雅文(2010)

2.1.6 林業生產的脆弱度

依據第三次臺灣森林資源及土地利用調查資料，全島林地面積為210萬公頃，其中國有林161萬公頃，占77%；林木種類以闊葉樹林面積111.7萬公頃為最多，針葉樹林面積為43.9萬公頃，針闊葉混淆林為39.5萬公頃，竹林為15萬公頃。森林面積中，天然林占73%。林地面積之分布以東部區域最多，占30%，其次為中部區域26%，北部區域22%，南部區域21%。

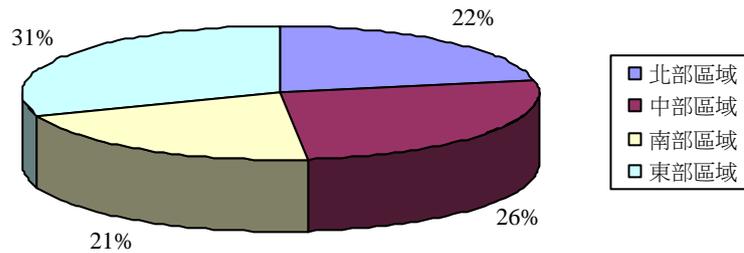


圖2-15 2011年我國林地地區別分布

資料來源：農業統計年報，行政院農業委員會

森林在氣候變遷過程中，除扮演著碳吸存的減碳角色，同時可能因氣候變遷帶來森林的衝擊與脆弱化，進而造成森林的碳吸存的功能及森林的生態功能的下降。臺灣森林遭受氣候變遷的衝擊，目前主要為海岸林及山地森林所受的災害。海岸林樹種組成及林相結構皆單純，加上沿海地帶因抽取地下水，致地層下陷，淹水機會增高。在極端氣候及氣候變遷下，西部沿海地區海岸林屢遭受強烈砂暴或濃鹽霧之害，一部分則因長期淹浸海水而活力衰退甚或死亡。山地森林自賀伯颱風豪雨的侵襲、921大地震及隨後數次颱風豪雨的發生，造成山地森林及其土壤因豪雨沖刷遭受嚴重破壞，引發土石流，造成森林面積減少，以2009年莫拉克風災為例，濁水溪以南災區崩塌面積3.89萬公頃，新增塌地約2.39萬公頃，其中位於國有林班地面積占1.9萬餘公頃。

溫度升高使林木生長季節延長以及CO₂濃度升高所具有之施肥效果，可能促進森林成長，惟就已有的資料分析，係指溫帶地區的森林在土壤水分足夠、養分可用性高之條件下的結果，且有不確定性。未來氣候暖化及極端氣候頻度增加，對森林及林業的可能衝擊包括高海拔地區物種遭受生存威脅、人工林健康度下降、森林植群帶分布改變、山坡地脆弱度增加。

1. 高海拔地區物種遭受生存威脅

天然植群分布具有最適的生態幅度，當氣候變遷造成地區性的溫度與雨量發生變化時，以長時間而言，森林植群與林相為了適應當地氣候狀態，必須面臨適應性的改變，當氣候變化緩慢時，植群可藉由植物演化適應之。但以當前的氣候快速變化，植物內部的逆境處理機制，已無法抵抗外在氣候所造成的傷害，因此

在生態幅度極限兩端的天然植群將面臨衝擊，其所帶來的影響為林木生長模式改變，對於森林棲地環境造成衝擊，甚至對於高海拔地區之物種產生生存的威脅(王慈憶、陳朝圳，2008；2009)。國內學者研究指出臺灣高海拔山區，受氣候暖化的影響，植群有向上推移之趨勢，物種多樣性有逐年增加之趨勢，且產生物候的改變，部分物種會有消失的可能性(周昌弘，2008)。

2.人工林健康度下降

人工林的經營，依據伐期齡的長短，短者數十年長者百年，過去的造林生育地選擇，往往以樹種的生態幅度進行之，而當百年內的氣溫升高1.0-1.4°C時，以每上升100公尺溫度下降0.6°C計算，其溫度的提升，將造成167-233公尺高程的生態幅度改變，理論上，在過去的生育條件下所建造的人工林，將因樹種生態幅度的海拔高度提升，造成同一樹種之人工林，其較低海拔區域之林木生長遭受影響為大(陳朝圳等，2008)，如再加上無適當的中後期撫育，會造成林木健康度的下降，當有極端氣候如颱風、乾旱、豪雨干擾時，將造成林木的枯死或林地的崩塌。

3.森林植群帶分布改變

在生態系上受到氣候變遷衝擊，其影響層面最廣則為植群帶分布的改變，造成生態功能的下降。國內學者曾利用台大全球氣候變遷中心之長期氣候情境模擬資料，進行臺灣森林植群帶至2060年及2099年分布情境模擬，顯現目前的中高海拔涼溫帶針闊葉混合林、冷溫帶針葉林、亞高山針葉林分布面積有縮減的可能(關秉宗，2005)；而臺灣全區亞熱帶闊葉林、暖溫帶針闊葉混合林分布面積會擴大，大幅度地取代涼溫帶針闊葉林群系，而成為全島分布最廣的森林群系，快速的氣候改變，將造成植群適應環境的困難，林地脆弱度增高，對極端氣候事件衝擊的容忍度下降(chen et al., 2008)。

4.山坡地脆弱度增加

臺灣山坡地存在不同程度之地形陡峭與地質破碎，而經濟發展帶動部分產業及人口積極往山坡地發展，開發利用及颱風豪雨所導致之土砂災害，往往造成重大的損失。氣候變遷對臺灣山坡地的影響多屬於突發性的災害，其產生原因多為短時間的暴雨所造成，因豪雨則易發生山崩、土石流等災害，加上雨水不斷沖刷，

易誘發嚴重的土石流，造成上游森林地區林木滑落，產生嚴重漂流木堆積下游與阻礙出海口，尤其近年來因為全球氣候變遷，極端氣候日益加劇，暴雨所帶來的土砂災害，已造成下游地區生命財產安全的嚴重威脅，近年來颱風所帶來的驚人雨量以及漂流木和地質潛在的危險如山崩、地滑、土石流、淹水堆積等災害，已改變原有地景生態，對森林生態系產生劇烈變化的衝擊。

5. 影響林業生產的氣候因子

闕雅文(2010)以1950-1999年為基期，發現林業生產受氣溫累積正距平(累積高於基期平均氣溫幅度)影響佔-37%權重，而受氣溫累積負距平(累積低於基期平均氣溫幅度)影響佔40%；雨量累積負距平(累積低於基期平均降雨幅度)影響佔12%；日照累積正距平(累積高於基期平均日照幅度)影響佔11%。顯示林業生產對氣溫變化最為敏感，過高的氣溫對林業生產將產生明顯負面影響，反之較低的氣溫有助於林業生產，兩者對林業生產影響的程度約都在40%左右；其次如雨量低於平均降雨，日照高於平均值皆對林業生產會產生正面影響，但仍不如氣溫變化影響來得明顯。

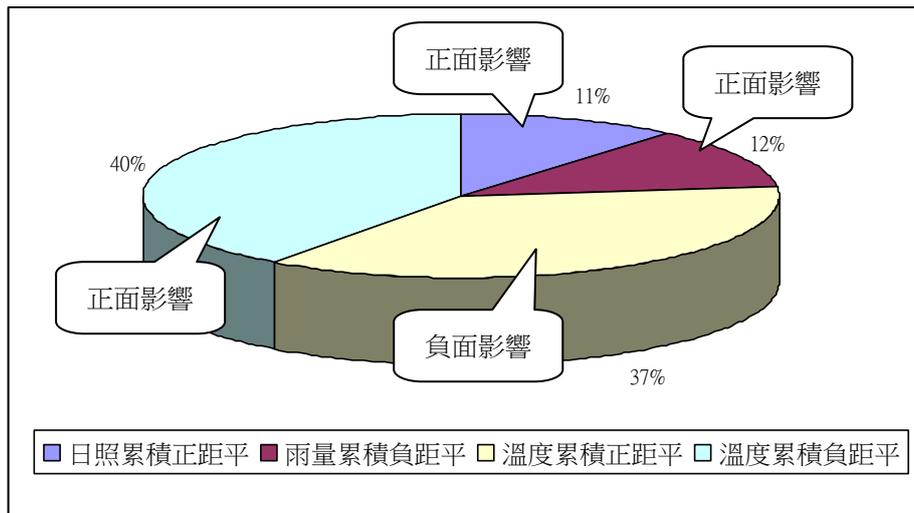


圖2-16 林業生產複合氣候指數

資料來源：闕雅文(2010)

2.1.7 生物多樣性的脆弱度

「生物多樣性」泛指一切生命形式的變異(variation)，亦即包括了遺傳多樣性(genetic diversity)、物種多樣性(species diversity)和生態系多樣性(ecosystem diversity)。工業革命以來，生物多樣性的加速消失，包括基因的流失、物種的滅絕以及生態系的劣化，除了引發諸多經濟、社會和環境問題外，對農業生產和糧食安全也產生極大的威脅。

每一種生物適應生存的環境條件都不一樣，因此每一物種受到環境變遷衝擊的程度以及它們適應環境變遷的能力亦有所不同。根據以往調查的預測，最容易受氣候變遷影響的物種及族群包括分布範圍侷限、生態需求特殊、播遷能力薄弱、以及分布在現有分布範圍邊緣、高海拔地區、極地、或海岸濕地的種類。此外，遷移性動物也可能因遷移路線上任一處棲地、渡冬地或繁殖地的變化，影響生殖與存活，產生毀滅性的結局。氣候變遷最敏感的生態系包括森林、海岸、內陸濕地、河川及海洋生態系。基因與物種及生物多樣性之脆弱度分述如下：

1. 基因與物種

根據台灣生物多樣性資訊網(TaibNet)的統計，台灣目前已知的物種共計51,218種，其中因分布侷限、族群數量縮減或受到各種自然與人為干擾壓力而面臨生存威脅，被列入《野生動物保育法》保育類名錄的野生動物計有17種哺乳類、

90種鳥類、44種兩棲爬蟲類、10種淡水魚及23種昆蟲，合計184種。野生植物尚未有全面的評估，僅有台灣穗花杉、台灣油杉、南湖柳葉菜、台灣水青岡、清水圓柏等5種植物列入《文化資產保存法》，受到法律的保護。以上189種動植物，和棲息侷限於前述易受氣候變遷衝擊的高山、濕地、河川、海岸、海洋等生態系中的物種，都是最可能進一步受氣候變遷影響而滅絕的物種。

除了個別物種的存活可能發生問題外，物種間的互動或相互依存的關係，可能使少數物種的滅絕連帶引發更多物種滅絕的連鎖反應。至於其他物種，有的因為缺乏生理適應的通盤研究，有的缺乏長期監測資料，難以掌握其物種數量或分布的變化，雖都有可能受到氣候變遷衝擊而滅絕，惟其種類、數量尚難估計。

2. 森林生態系

台灣的森林面積約210 萬公頃，佔全島土地面積的58.5%，是最主要的陸域生態系。根據以往的調查與預測，暖化可能導致中高海拔溫帶針葉林分布向上推移，分布的面積因而縮減，其中以暖溫帶雨林群系的變動幅度最大，其分布將侷限在目前垂直分布的上限；冷溫帶與亞高山針葉林群系則僅能零星分布在海拔極高的山區。透過森林脆弱度指標(Forest Vulnerability Index, FVI)的評估顯示，溫度升高和降雨增加會使得部份森林日益脆弱，並影響其生長與功能。至於隨著暖化與植被的向上推移，各主要林型內的物種多樣性分布與組成、不同林型交會帶的海拔分布與組成究竟會有怎樣的變化，均因缺乏相關研究而難以預測。

氣候變遷帶來的高溫及乾旱所引發的林火增加趨勢尚未在台灣出現，不過，愈見頻繁的極端暴雨事件與地滑確已增加了森林流失、崩落發生的次數與規模。以八八風災為例，全台因暴雨衝擊而新增的崩塌地面積高達51,304公頃，其中國有林崩塌地面積就有19,000餘公頃，對國土保安、水土保持、天然河川的維護、水利設施的運作及防災等構成巨大的挑戰。

3. 河川與淡水溼地生態系

台灣大小河川多達百餘條，總長度約三千公里。雖然大多數河川相當短促，在枯水期甚至會有部份河段乾涸，但和內陸的湖泊、埤塘等淡水溼地一樣，都發揮調節氣候、旱澇，灌溉、生產、供水、發電、水生物棲息繁衍以及休閒娛樂等

多種功能。然而目前大部分的河川與淡水溼地都已因種種原因被改造、切割、攔阻、渠道化、水泥化，甚至填土而消失，再加上污染與外來入侵種的影響，造成許多物種瀕絕以及上述生態系功能的衰退。

氣候變遷導致極端氣候發生的頻度與強度增加，不但造成河川擾動增加，影響河川物理、化學結構、以至於生物組成，而且影響河川生態系功能的發揮。河川過多的人工結構物，不但難以抵擋暴雨的沖刷，更加劇了河川生態系的擾動，例如從人工結構物沖刷下來的粗粒流入河川中，往往造成更大幅度的擾動與傷害。

4. 海岸與鹹水溼地生態系

台灣的海岸線全長約1,200公里 (若加上澎湖群島則總長約1,520公里)，包含有岩礁岸、藻礁、泥灘、沙灘、河口、紅樹林、草澤、沙洲、潟湖等多樣的棲地類型。這些棲地不僅孕育了多種生物，生產力高，是沿近海漁業得以維繫的基礎，更具有保護海岸、防洪、淨水、調節微氣候、吸附清除毒物等功能。然而因為各種開發與人工設施的設置、堆放，使得半數以上的天然海岸消失，同時面臨污染、過漁、地層下陷等各種環境問題。

氣候變遷可能導致海平面上升，與暴雨颶風的頻度與強度增加，這些變化將直接造成海岸土地的淹沒、海岸侵蝕及海岸線的退縮，洪氾加劇，鹹水入侵河口或淡水的地下蓄水層，導致原本多樣的海岸棲地及其功能消失、當地的生物族群衰退、漁業資源枯竭，同時衝擊海岸地區人類的居住環境、阻礙漁業與工商活動。海岸防風林也會受到氣候變遷的影響，而難以發揮其抗風、抗鹽、生產、提供野生動物棲地、維護景觀、保護農地的多重功能。人為的破壞與氣候變遷所產生的複合效應對海岸與沿海溼地生態系威脅更大，例如海岸過多的人工結構物，不但難以抵擋海水的入侵，反而成為日後海平面上升後棲地自然演替的障礙；而河川輸沙受人工設施的攔阻或過度的抽取利用，也可能使海岸沖蝕的問題雪上加霜。

5. 海洋生態系

台灣四面環海，海洋中散布了珊瑚礁、海草床、熱泉、冷泉、淺灘、深海、大洋等不同的海洋生態系，這些生態系不僅是多種生物棲息繁衍的重要棲地，也

提供重要的海洋資源、碳吸存、與休閒遊憩的功能。然而海洋也持續受到污染、過漁、開採等諸多人為干擾。

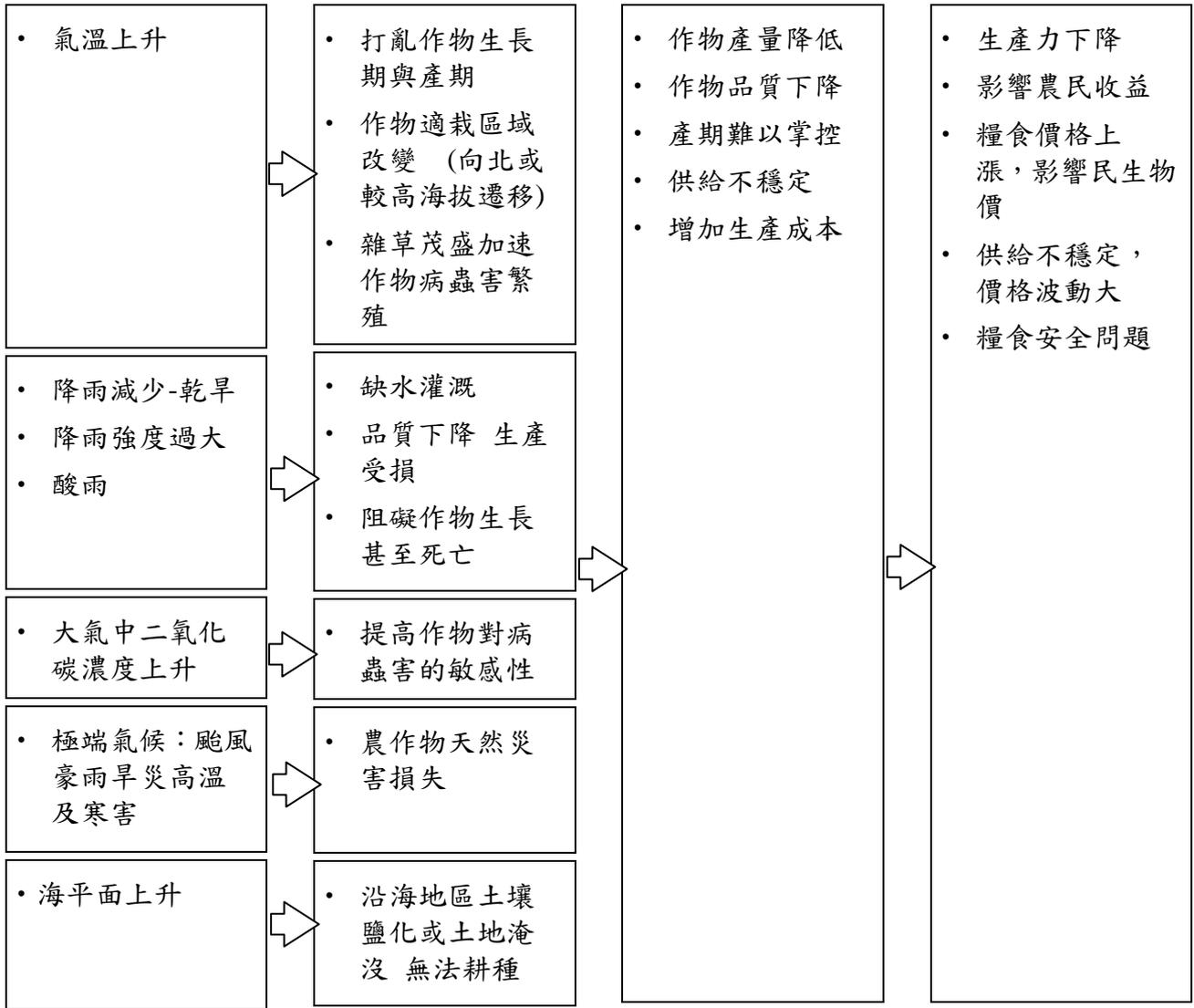
氣候變遷對海洋生態系的衝擊包括水溫升高衝擊物種的適應存續、海水酸化改變海水的物理及化學特性，降雨改變影響鹽度、溶氧，以及改變洋流流向與湧昇流強度，改變營養鹽分布等，這些改變都可能影響海洋生物正常的生理運作、存活，並使基礎生產力降低，而其骨牌效應則會影響到整個海洋食物網的組成結構，包括影響漁業資源的永續使用。此外，上述改變亦會影響海洋生物幼生的著床、播遷、或成體的洄游及漁場位置等。

2.2 影響評估

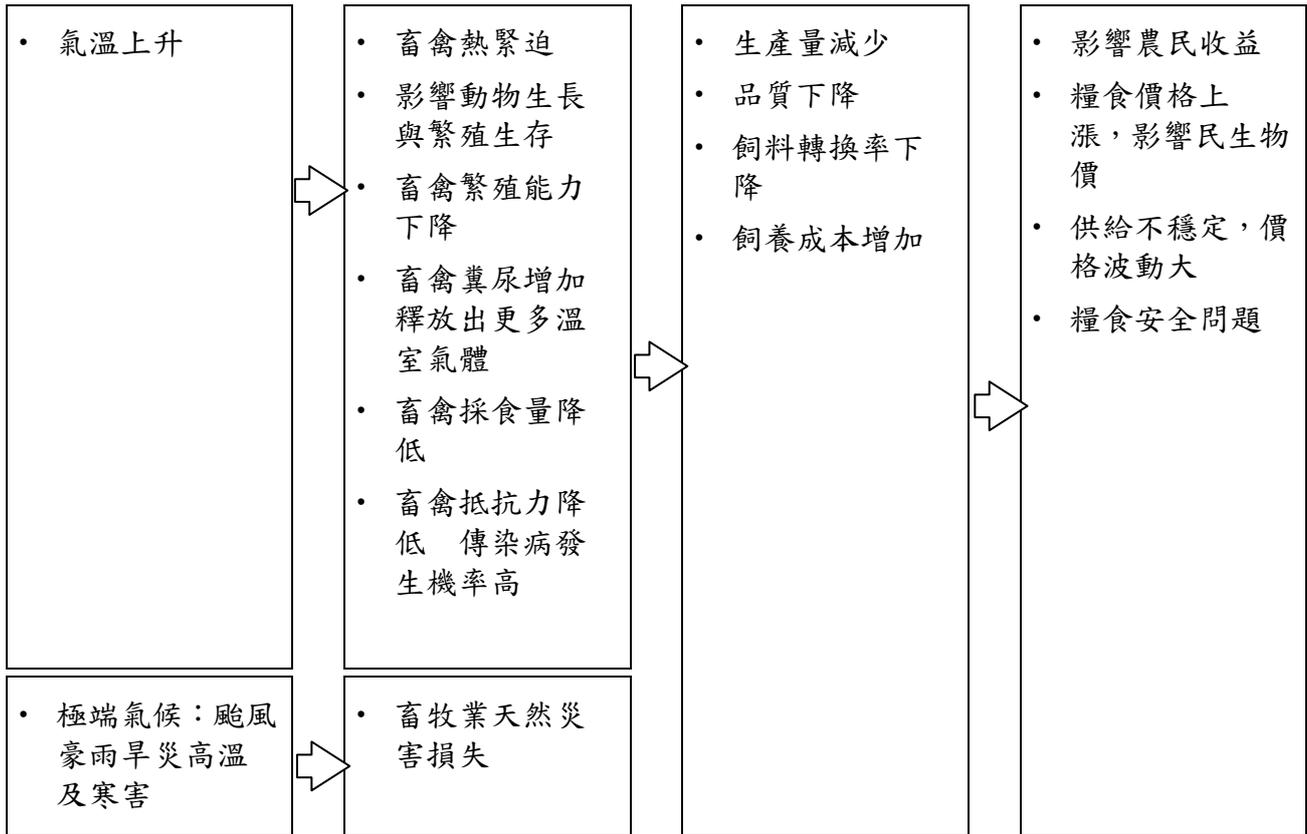
氣候變遷趨勢下，可能發生溫度升高、降雨量型態改變、極端氣候發生頻率及極強度增加的情況下，對農業生產與生物多樣性可能造成衝擊，農業生產可能減少、品質下降、危及糧食安全，生態系原有棲地可能受影響，造成生物多樣性流失等。各系統可能遭受氣候變遷之衝擊影響如下表。惟目前相關之影響評估研究與觀測資訊還不完善，且未來有關氣候變遷之趨勢也有相當的不確定性，因此現有資訊不足以進行影響評估，未來需持續加強蒐集分析。

農業生產與生物多樣性領域各系統之脆弱度與影響評估關聯圖如下：

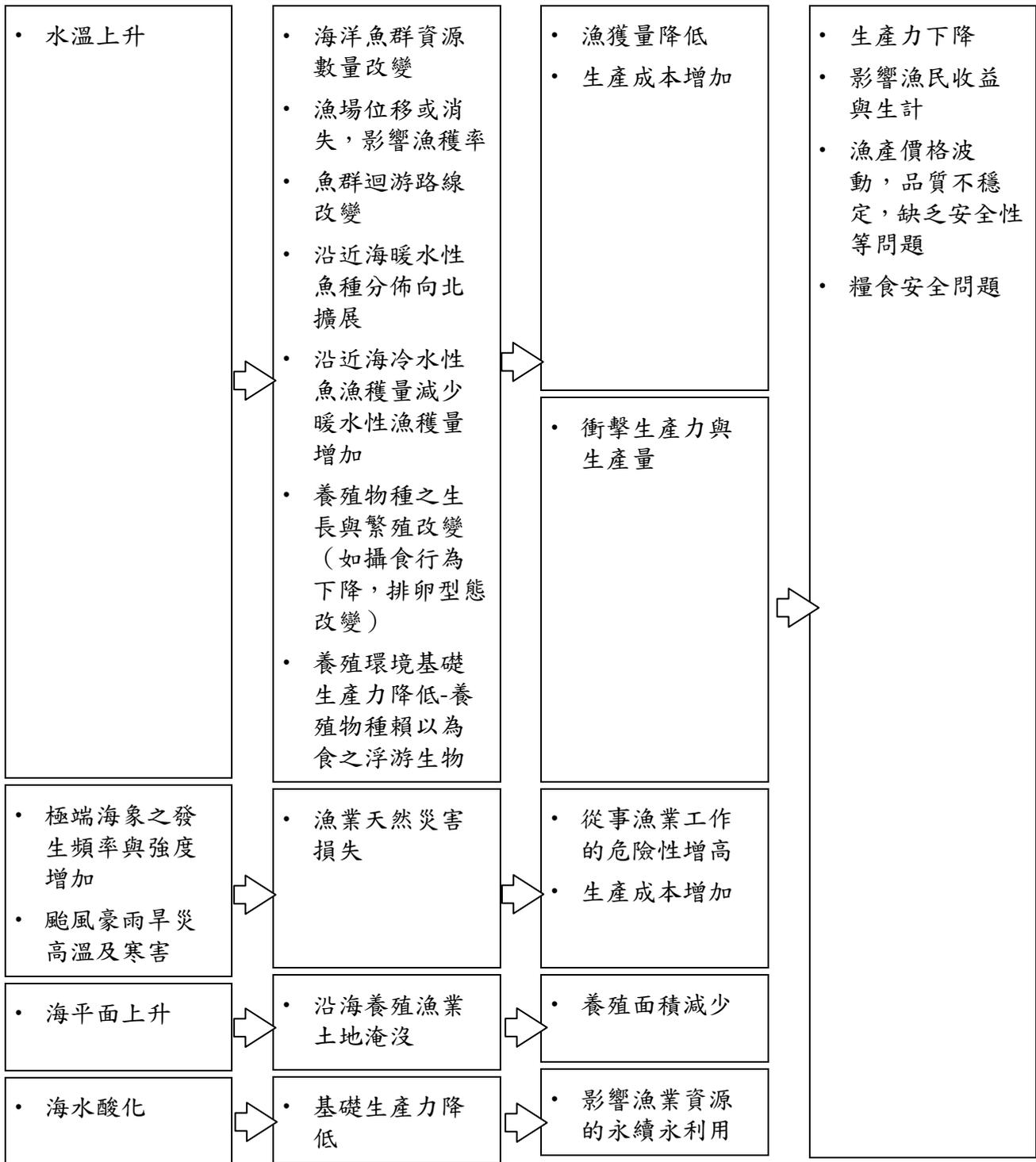
農業生產



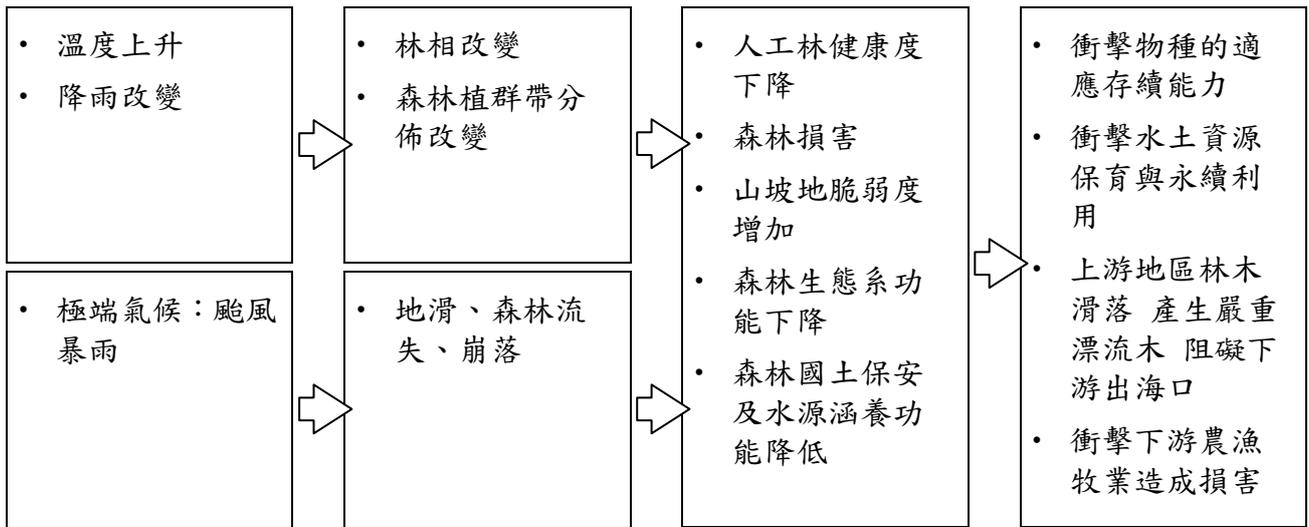
畜牧生產



漁業生產



林業生產



生物多樣性

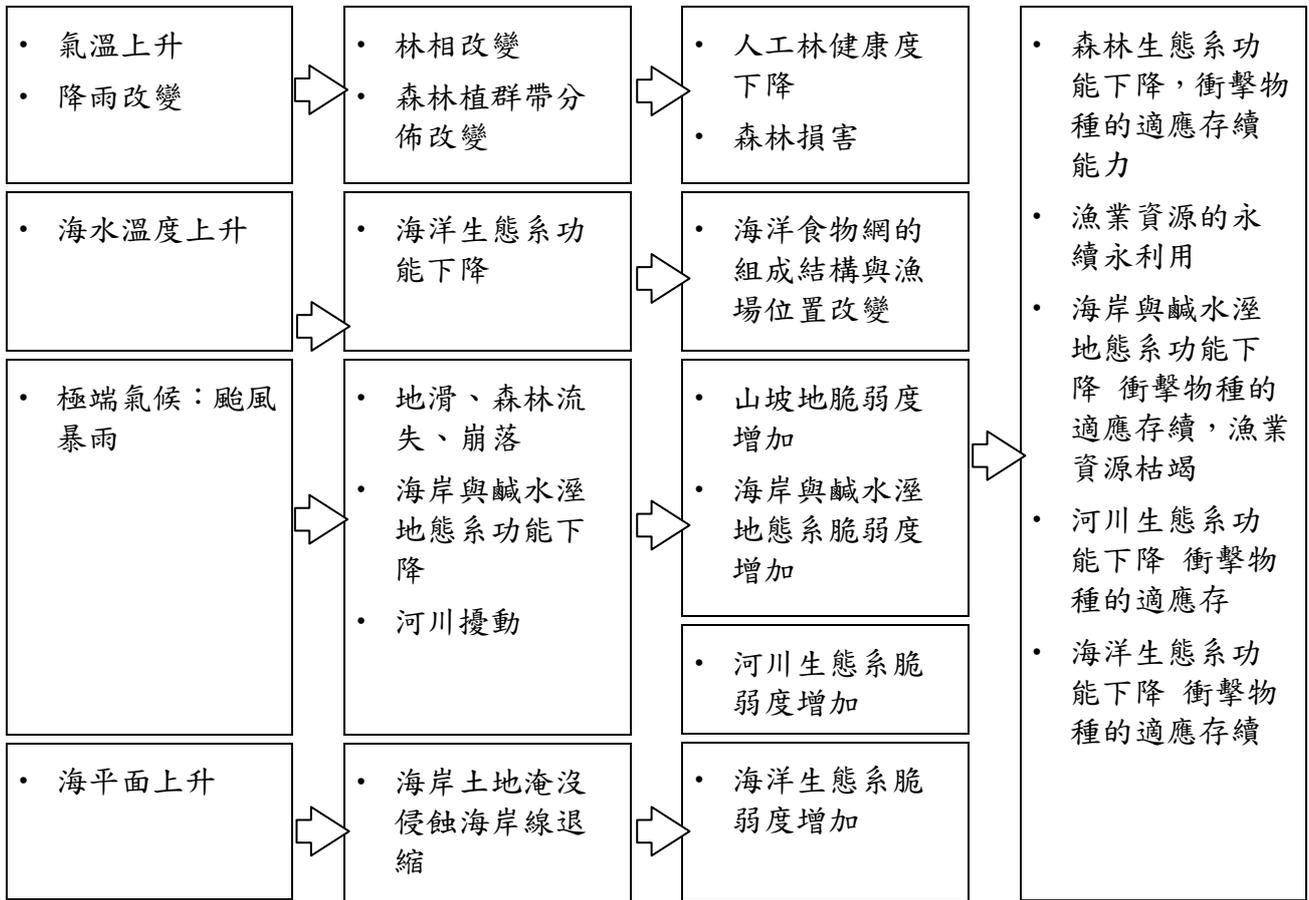


圖 2-17 農業生產與生物多樣性領域各系統之脆弱度與影響評估關聯圖

2.3 課題分析

因應氣候變遷農業生產與生物多樣性需要解決或加強之課題如下：

2.3.1 農作物生產

1. 農業用水面臨內部不足及外部移用壓力，宜加強推動農業灌溉節水措施，改善農田水利設施，提升農業用水效益。
2. 面對氣候變遷的逆境，宜調整農作物生產，加強耐逆境之育種，及提升育種效率。並積極發展環境親合型栽培技術，包括精準肥料管理、土壤保育、栽培期調節、節水與節能、環境親和型、病蟲害綜合防治及節能型設施等。
3. 合理規劃農地資源並確保優良農地，維持糧食生產所需的農地。
4. 建立氣象、生產、與市場預測：結合氣象模式及經濟與市場模式，預估氣候變遷對各地區主要作物生產及產業影響程度。惟目前科技界對異常及極端氣象之預測能力仍然薄弱，影響因應措施之擬訂，須積極研發。

2.3.2 畜牧業

1. 為因應氣候變遷趨勢下畜禽可能面臨熱緊迫的衝擊，宜加強選育耐熱及抗病之畜禽品種，同時採用可提高畜禽繁殖性能、改善產業經營效率之生產管理方式，改善畜舍結構，減少降溫或沖洗之用水量，以及加強廢水循環再利用等技術之整合，以因應氣候變遷。
2. 面對氣候變遷可能面臨進口飼料穀物供應之不確定性，宜加強研發及生產優質的飼料作物及傳統飼料原料的替代品，並提高國產飼料原料之使用率，掌握飼料自給率。

2.3.3 漁業

1. 海洋漁業：加強沿近海域水產資源的監測與評估工作，建立預警制度；加強氣候變遷教育，提升相關從業者及漁民的認知；透過區域性漁業管理組織加強跨界及高度迴游魚種的管理；降低臺灣沿近海域過剩的漁捕力；必須改變臺灣周邊目前漁業對生物資源的利用方式；對因暖化而移入沿近海漁場之漁業資源，必須加強評估其開發利用的價值；增加天氣預警系統、船隻穩定度、安全性方面的投資及遇難救助，因應未來漁業作業風險的增加。

2. 養殖漁業：輔導箱網養殖及海水魚塭成立養殖專區，整合水資源之使用；落實建立養殖漁業基礎資料，作為產銷調節及天然災害救助措施之參考；發展綠色養殖產業，鼓勵替代能源(如太陽能等)；強化生物技術之應用，評估優勢之養殖魚種，規劃相關養殖魚種種原保存機制。
3. 漁產品供應：掌握氣候變遷對漁業生產量價變化及趨勢，強化產銷合作以穩定內需市場，鼓勵契約產銷及垂直整合，降低量價變化波動。

2.3.4 糧食供應

農作物生產、畜牧生產與漁業生產關係著國內糧食供應。為確保糧食供應無虞，除需加強國內生產因應氣候變遷的課題，亦需加強針對糧食進口來源可能受氣候變遷的影響，尤其是極端氣候造成的供應與價格之不穩定，建立有效監測及預警機制，加強糧食供應之風險管理機制。

2.3.5 林業

1. 發揮森林公益功能，降低氣候變遷對生活環境的衝擊：強化林地管理，建立林地變更使用之審核機制，避免不當開發造成林地損失與破壞；檢討保安林解編機制或增編的可行性評估，增進都市林、海岸林、濱溪保護林帶的保護或營造，擴大森林國土保安效益；檢討綠色造林、造林獎勵、限制伐採補償等政策誘因，擴大民眾參與，提高森林覆蓋。
2. 森林與山坡地之空間規劃與使用管制：檢討相關土地使用管制相關法規，以氣候變遷調適思維建立因應策略或機制；調整森林及山坡地分級分區使用，合理規劃可供經營及應予保育之區位；加強山坡地敏感區位及易致災區調查及評估；研修水土保持相關法規，強化相關技術規範，確保山坡地利用安全。
3. 強化森林健康及降低脆弱性，確保森林永續經營：應建立森林健康監測及脆弱度評估指標，以界定森林敏感及脆弱區域範圍；應落實森林經營計畫，建立能反應衝擊調適，具有彈性的森林經營體系或機制。
4. 木材生產方面：在面對當前國際間各國施行保育政策後木材出口量縮減，及國際木材市場採行森林認證，造成我國林產加工業原料來源可能受到影響，應逐步研擬「提高木材自給率」之調適策略。待加強之課題為：保存及利用林

木遺傳資源，確保原生樹種永續利用；提升育林及管理技術，營造永續木材生產之健康優質森林；創新國產木、竹材利用，輔導取得環保標章認證。

2.3.6 防檢疫

為因應氣候變遷可能對動植物病害與疫情之衝擊，宜加強利用及整合動植物疫情監測資訊，建立動植物有害生物預測模式與早期預警系統，並透過跨國合作評估可能發生之新浮現及突發之病蟲害，以研擬監測及緊急防治方式；開發新的動植物有害生物防治方法，以因應新的有害生物種類；加強相關天敵的開發與利用，降低化學藥劑的使用壓力；加強農業生態系與環境的研究，因應自然環境持續的變動，使其發揮自然生態系的修補功能。

2.3.7 生物多樣性

1. 維護健全生態體系，提升因應氣候變遷能力：整體規劃與落實外來入侵種之防除；規劃管制措施以解除生態系遭受各類污染、開發、火災及病蟲害等干擾所造成之壓力；劣化生態系(污染農田、漁塭、鹽漬地、崩坍地及地層下陷區等)之復育；探討氣候變遷及人為活動對海洋生物多樣性之影響及其減輕對策。
2. 加強生物多樣性因應氣候變遷之研究：評析與確認生物多樣性之脆弱度；瞭解生物多樣性對調節氣候與災害防救的貢獻；調整農業研究優先順位；研究、開發因應氣候變遷所需的工具。
3. 加速生物多樣性監測、評估與資訊流通：設立生物多樣性全國資料庫、資訊中心，以保存、整合、有效分析與運用生物多樣性資料；建立生態系監測架構，持續監測其變化；建立氣候變遷與海洋生態系相關之評估及預測方法及模式。