

臺灣農漁業寒害預警系統的發展

陳淡容 于宜強 朱容練 林欣弘

國家災害防救科技中心

摘要

1982至2020年，38年的冬天臺灣總計發生100場寒流事件。藉著分析歷史的寒流事件瞭解臺灣寒流之特性及對臺灣之衝擊。伴隨寒流的低溫容易導致農林漁牧的損失，寒害的天氣類型可以分為乾冷型與濕冷型二類。其中，乾冷型因夜間輻射冷卻易造成清晨低溫而導致霜害；濕冷型則多為長時間低溫和伴隨降雨，造成不耐寒及不耐潮濕之農作物受損。為評估不同類型低溫所導致的低溫規模，參考Liu et al.(2015)之溫度指數(station-day index, SDI)當作寒害規模指標。利用1995年迄今的寒害損失與之進行相關性分析，其結果顯示災害金額與SDI呈現高度相關。為了加強寒害的防災管理，利用中央氣象局鄉鎮溫度監測與預報資料，配合上述災害衝擊研究的結果，開發一套可針對不同農漁物種寒害預警系統，可提供農民與防災人員強化寒害防災管理能力。

關鍵字：寒流、低溫、寒害

一、前言

臺灣地區的災害性天氣包括颱風、大雨、豪雨、雷電、冰雹、濃霧、龍捲風、強風、低溫、焚風、乾旱等。災害防救法明訂颱風、旱災與寒害為法定的天然災害。臺灣位於東亞地區，每年冬季(12月至隔年2月)受到大陸冷高壓影響常有低溫發生，當臺北測站日最低溫達到10°C以下時，在氣象預報作業將發布「低溫特報」，此類的天氣系統稱之為「寒流」。

寒流所伴隨的低溫除了會導致民眾心血管疾病的發生外，更會造成農漁業的損失。在全球暖化的影響下，農漁業為了暖化調適與增產作為，經常會改採生長快且不耐寒的物種進行施作，因而受寒害衝擊。根據近期的低溫衝擊研究，易發生寒害的農作物包含高接梨、葡萄、芒果、蓮霧、木瓜等，易受低溫影響的養殖魚種有虱目魚、鱸魚、石斑、鯛魚及蝦。高接梨因需要接枝，低溫會導致嫁接後無法發芽或開花(張，2018)，蓮霧受低溫影響亦會發生落果或落葉等災情(陳等，2019)。其中，2016年1月份強烈低溫導致南部地區大面積養殖漁類的死亡，此次寒害事件同時也造成108億的農業損失(王等，2016)。不同的農漁物種受低溫影響的狀態有所不同，為了降低低溫的衝擊，寒害預警技術的細緻化也有其必要性。

寒害預警系統的研發，首先針對過去100場的低溫寒流事件進行分析，瞭解低溫寒流的氣象特徵與農業衝擊的狀況。再建立低溫規模指標與衝擊的關聯性，作為推估災害衝擊的基礎。低溫預警系統的開發是改良原有低溫預警功能，強化農作物衝擊評估的資訊，系統發展包含整合溫度監測、預報資

料與農業衝擊條件，建置第二代的寒害預警系統，已於2020年對外服務。

二、歷史寒流事件分析

臺灣自1982年冬季起迄今共發生100場寒流的天氣事件，平均每年有2.63場寒流發生；總計達寒流天數為217日，平均每年冬季會有5.7日受寒流影響，每場寒流事件平均影響天數為2.17日。其中，寒流影響日數以2天為最常發生，有39場；其次為1天，共有33場；最長影響日數為8天，於1993年1月發生。過去38年間有4年未發生寒流，分別為1987、2000、2016和2018年冬天，整體趨勢來看寒流發生的頻率和日數有呈現下降的趨勢(圖1)，而寒流發生頻率最高的月份為一月(105日/42場)，其次為二月(73日/40場)，12月發生寒流的頻率最低(39日/18場)(陳等(2020)研究為1982-2017年冬季，98場事件，本文更新至2019年，100場事件)。

臺灣的寒流事件發生與西伯利亞高壓的強度及向南爆發有直接關聯(Ding 1990; Zhang et al. 1997; Gong and Ho 2004; Wu and Wang 2002; Takaya and Nakamura 2005a; Jeong et al. 2006)，當寒流影響時冷平流增強，使得氣溫下降。同時東亞主槽的加深會使冷平流影響到低緯度地區(Jeong and Ho 2005; Bueh et al. 2011; Song et al. 2016)。前人研究指出北極振盪指數、季內振盪和聖嬰-南方振盪現象(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)等氣候條件都會間接影響西伯利亞高壓的強度。歷史寒流事件中，有74場事件在發生低溫前5至10天的北極振盪指數呈現負相位，說明有7成事件的發生與北極振盪相關；另外有28場事件中，MJO位於印度洋地區，占

比例為近3成。當反聖嬰發生時，有利於西伯利亞高壓的增強，有58場寒流事件發生在反聖嬰期間，約為6成。

使用中央氣象局測站之日溫度資料進行低溫強度分析，1982年迄今臺北測站觀測到之最低溫為4°C，發生於2016年1月；於寒流期間平地測站觀測到之最低溫為2.8°C，分別於1985年1月發生於嘉義和2016年1月發生於新竹(同陳等(2020)方法，更新至2019年)。由上述資料可以發現，臺灣地區平地的最低溫並非都發生在北部地區，顯示除了冷氣團的影響外，尚有其他因素會造成各地低溫的變化。

參考陳等(2020)研究結果，將分析寒流影響期間的天氣變化，除了冷空氣強弱的影響外，降雨和雲遮均會影響低溫的變化。因此，在此可將寒流的天氣類型分成「乾冷型」和「濕冷型」兩類，不同天氣類型之寒流會對農漁業造成不同類型的災害。「乾冷型」伴隨著晴朗無雲的天氣，夜間輻射冷卻效應強，易造成清晨極端低溫的出現，白天則因太陽加熱效應顯著，溫度明顯回升，使得日夜溫差大；「濕冷型」則因水氣多且降雨，因此天空雲量較多，冷氣團持續影響且白晝因雲遮和降雨之關係減少短波輻射加熱的作用，容易出現連續低溫。在天氣類型的分類上，排除僅影響1日之個案，挑選影響日數2日以上之個案進行分類，且為使兩類事件數相當以進行比較，將「濕冷型」的門檻調整為臺北測站降雨達10mm以上，事件數有21場；「乾冷型」定義依舊維持臺北測站降雨量為0mm，亦有21場事件。「濕冷型」平均最低溫為6.5°C，而「乾冷型」事件平均最低溫較低，為5.2°C。

冷氣團的影響可以用低溫的強度與低溫影響的時間進行評估，為評估每場事件之低溫規模，參考Liu et al. (2015)之溫度指數(station-day index，後續簡稱SDI)作為寒害規模指標。此指標計算方式為達低溫門檻之測站數和日數做累加，在此選定10°C為低溫門檻值，以及全臺19個平地氣象站作為代表測站(表1)，針對寒流期間達10°C以下的日數和代表測站數做累積，以代表此次寒流的低溫規模。寒流事件平均SDI為19；最大為67，發生於1986年一月；最小為2，於1995年2月、1997年1月和1998年2月各發生一次。

農委會公布寒害損失的資料，僅有自1998年至2018年共計21年。分析過去21年冬季的寒害導致的總損失為新臺幣235億(平均年損失為11億元)。其中以2015年冬季(2015/12~2016/02)損失最為嚴重，由於當年發生霸王級寒流事件，該事件初估為40億，由於寒害衝擊具有延遲性，最後年度統計總損失為108億。其次為2016年冬季(2016/12~2017/02)年度總損失為36億及1999年冬季(1999/12~2000/02)年度總損失為31億。

考量農業受災有延遲性之特性，在評估低溫規模與災損之關聯性時，以整個冬季之低溫規模(SDI)和年度寒害總災損進行相關性分析。結果顯示冬季年度寒害總災損和SDI相關性相當高，其中冬季災損超過20億元以上之SDI皆大於70，平均SDI為91；災損介於1億~20億元之平均SDI為51；小於1億之平均SDI為22，整體而言較大的SDI會有較大之災害(相關性分析圖如圖2)。

三、寒害衝擊影響

根據農委會食農教育資源平台上介紹寒害一文中，將寒害分類為凍害與冷害。凍害是指0°C以下的低溫對越冬作物(秋季播種至隔年春、夏季收成之作物)造成傷害；冷害則是指0°C以上低溫對作物造成損害，使得作物的生理活動受到障礙，嚴重時作物組織壞死或無法生長。低溫對作物的每一階段均有不同的影響，從種子、抽芽、生長到開花、孕育，如果有所損傷，都會影響後來的產量。低溫對養殖漁業之影響則是降低魚群覓食能力與活動力，嚴重時會導致魚群沉底，失去平衡後死亡，存活魚也容易發生疾病，導致魚池污染造成經濟損失。

然而前述提及之「乾冷型」和「濕冷型」寒流皆會對農漁業造成損失，伴隨的低溫會減緩植物生長速度、葉片枯萎使得養分無法輸送發生落葉或落果。且由於「乾冷型」與「濕冷型」伴隨的溫度與濕度的變化不同，對不同物種的致災原因亦會有所不同。「乾冷型」天氣型態因夜間輻射冷卻效應顯著容易造成清晨極端低溫，近地面易因低溫而結霜造成作物霜害，較易發生凍害；又因白天日照加熱顯著而快速回溫，日夜溫差大亦是農作物發生損傷的原因。「濕冷型」天氣類型因伴隨降雨，低溫期間不耐降雨之果實表皮容易產生損傷，在天氣轉晴時黴菌滋長而造成果實腐爛；同時因濕冷型天氣於白天回溫不顯著，易有連續低溫，導致不耐長時間低溫的物種發生冷害影響。

養殖漁業因大面積養殖，養殖池換水不易，容易受到氣溫影響，尤其是淺池養殖更容易受影響。當氣溫降低時，水溫亦逐漸降低，水中魚種會潛至水溫較高的養殖池深處，但若低溫時間持續，水池深處的水會持續降低，當降至魚種無法承受之臨界值時則會造成災害。「乾冷型」的低溫雖然易於清晨有極端低溫發生，但因白天太陽加熱回溫，若回溫速度快則會減輕漁業損失；「濕冷型」天氣類型因白天回溫不顯著，易長時間低溫導致養殖池水溫持續下降，若養殖池屬於淺池，當池底達到致災水溫時會發生魚隻死亡的損失。近年在寒害災情分析中發現，在微弱的「乾冷型」天氣中，原估計損失應相當輕微之案例，但仍有明顯災情傳出。由於全

球暖化的影響下，低溫發生頻率減少，且養殖文蛤時會有藻類孳生，導致文蛤池水質改變且易造成文蛤窒息，因此養殖業者會採取在文蛤養殖池中放入虱目魚或蝦等混養方式，以改善水質減少人力清除藻類的成本。由於文蛤養殖池較淺，雖然遭受微弱的「乾冷型」低溫影響，但池中虱目魚和蝦將無法下潛至較深區域等待白晝溫度回升，因而導致暴斃死亡。

因此，種植物種與養殖方式的改變，將是在研發預警技術中較難以掌握的因素，也是僅以溫度作為預警寒害時將會發生明顯誤判的原因。

四、寒害預警系統建置

2016年霸王級寒流發生後，政府要求強化寒流低溫的預警能力。國家災害防救科技中心利用氣象局的溫度監測與城鄉預報資訊，配合不同農漁物種的耐低溫警戒標準，開發第一代低溫預警系統。過去氣象局在寒流影響期間會針對溫度達 10°C 以下提出低溫警示，在108年11月1日起氣象局為加強低溫預警，在過去低溫特報的基礎上，改以燈號方式呈現，將低溫燈號分為三個等級，分別為黃色、橙色與紅色燈號。其中黃色燈號為寒冷：平地氣溫降至 10°C 以下；橙色燈號為非常寒冷：平地氣溫降至 6°C 以下，或降至 10°C 以下且連續24小時氣溫低於 12°C ；紅色燈號為嚴寒：平地氣溫連續24小時低於 6°C 。此次為了強化低溫預警能力，低溫預警系統配合氣象局低溫特報分級化進行調整。且除了原來10種農漁物種的預警外，還增加了產值較高的毛豆，利用農委會所提供的11個不同預警標準進行警示。

由於季節尺度之SDI與總災損存在高度相關，為了推估寒害災害規模，採用歷史災情類比法。因此建置寒害預警系統時，將SDI作為推估災損的指標。當寒流來襲時，即時計算本次寒流之低溫規模指標，其計算方式為利用中央氣象局未來一週最低溫預報資料，以萬年曆之方式呈現不同日期的低溫規模程度，並針對該場事件之SDI提供歷史上相似規模程度所造成的災害相關資料，提供使用者參考(如圖3)。

由於不同物種之農作物對低溫的耐受度不同。因此，在設計農作物預警時，需針對不同作物的溫度耐受度訂定警戒值(圖4)。在農業預警部分，依據農試所規劃之55個農業專區個別選取鄰近氣象站，將氣象要素的觀測和預測資訊繪製於圖中。預警資訊中，整合了觀測和預測的溫度及雨量資訊，觀測部分提供過去2週之日最低溫度和降雨資料，預測部分則有氣象局未來一週日最低溫預測(藍虛線)、NCDR系集未來3日平均溫度(綠虛線)、未來15日

MPAS(粉紅虛線)和WRF降尺度(棕虛線)日最低溫及全球模式之雨量預估，可清楚知道過去2週和未來15天之氣溫和降雨變化情形。除了近一個月之觀測和預測資料外，並於圖中提供1982至2019年日最低溫度之氣候平均值(圖3灰實線)，及過去日最低溫的最高和最低值範圍(圖3灰色填色部分)，讓使用者明瞭此次事件之溫度與歷史相比是否為極端低溫，以及早做準備。同時，在55個農業專區中，提供了當地物種的詳細介紹與栽培曆，可讓使用者了解未來種植與防災的重點事項。

漁業預警部分，目前僅針對陸上養殖漁業做低溫預警，預警的物種則有不耐低溫之虱目魚、鱸魚、石斑、鯛魚和白蝦等5類，警戒溫度為 10°C 。預警圖資針對不同魚種繪製出養殖區，針對養殖區域的預報溫度填上對應之預警燈號，供使用者瞭解不同魚種可能受災之情形(圖5)。

五、結論

雖然全球暖化影響下，低溫寒流的事件有明顯減少的趨勢。分析歷史寒害災損資料，在過去21年的寒害損失金額的比較，最高的二年是在近五年之內發生。說明氣候變遷中，冬季寒害的損失並沒有因全球暖化而明顯的減少。主要因素在暖化調適策略中，為了減少暖化衝擊的同時，卻製造了寒害的風險。因此，強化低溫預警技術仍是必要的防災工作。

國家災害防救科技中心整合了氣象局溫度監測及預報資訊與農委會相關防災成果，精確掌握當地農作物的種類與分布，進行低溫預警技術的開發，已經可以相當精準地預測低溫影響的範圍與時間，可有效減少低溫衝擊與作物的損失。低溫規模指標(SDI)與年度總損失有著明顯的相關性，預警系統內也透過SDI與歷史災情比對方法，利用溫度預報資料進行類比過去災損事件方式推估損失金額，可以在低溫影響前瞭解此次整備的需求。二代寒害預警系統已於2020年改版上線進行測試，有助於提升寒害預警服務的品質。

參考文獻

王安翔、龔楚嫻、吳宜昭、于宜強，2016：2016年1月臺灣地區寒害事件彙整與分析。國家災害防救科技中心，災害防救電子報第128期。

陳淡容、于宜強、朱容練、吳宜昭，2018：2018年1月9-13日寒流事件分析。國家災害防救科技中心，災害防救電子報第153期。

陳淡容、于宜強、朱容練，2020：臺灣寒流的農漁業衝擊與低溫預警技術研究。災害防救科技與管理學刊，第9卷第1期(2020年3月)，13-24頁。

張雅玲，2018：高接梨寒害發生條件及因應方法。農業氣象災害技術專刊 210號，行政院農業委員會農業試驗所。

Bueh, C., N. Shi, and Z. Xie, 2011: Large-scale circulation anomalies associated with persistent low temperature over southern China in January 2008. Atmos. Sci. Lett., 12, 273–280, doi:10.1002/asl.333.

Ding, Y., 1990: Build-up, air mass transformation and propagation of Siberian high and its relation to cold surge in East Asia. Meteor. Atmos. Phys., 44, 281–292, doi:10.1007/BF01026822.

Gong, D.-Y., and C.-H. Ho, 2004: Intra-seasonal variability of wintertime temperature over East Asia. Int. J. Climatol., 24, 131–144, doi:10.1002/joc.1006.

Jeong, J.-H., and C.-H. Ho, 2005: Changes in occurrence of cold surges over East Asia in associated with Arctic Oscillation. Geophys. Res. Lett., 32, L14704, doi:10.1029/2005GL023024.

Jeong, J.-H., B.-M. Kim, C.-H. Ho, D. Chen, and G.-H. Lim, 2006: Stratospheric origin of cold surge occurrence in East Asia. Geophys. Res. Lett., 33, L14710, doi:10.1029/2006GL026607.

Song, L., L. Wang, W. Chen, and Y. Zhang, 2016: Intraseasonal variation of the strength of the East Asian trough and its climatic impacts in boreal winter. J. Climate, 29, 2557–2577, doi:10.1175/JCLI-D-14-00834.1.

Song, L., and R. G. Wu, 2017: Processes for Occurrence of Strong Cold Events over Eastern China. J. Climate, 30, 9247–9266, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0857.1

Takaya, K., and H. Nakamura, 2005a: Geographical dependence of upper-level blocking formation associated with intraseasonal amplification of the Siberian high. J. Atmos. Sci., 62, 4441–4449, doi:10.1175/JAS3628.1.

Wu, B., and J. Wang, 2002: Winter Arctic Oscillation, Siberian high and East Asian winter monsoon. Geophys. Res. Lett., 29, 1897, doi:10.1029/2002GL015373.

Zhang, Y., K. R. Sperber, and J. S. Boyle, 1997: Climatology and Interannual Variation of the East Asian Winter Monsoon: Results from the 1979–95 NCEP/NCAR Reanalysis. Mon. Wea. Rev., 125, 2605–2619, doi:10.1175/1520-0493(1997)125,2605:CAIVOT.2.0.CO;2.

1982-2019冬季寒流日數、事件數



圖1 1982至2019年冬天寒流次數和日數

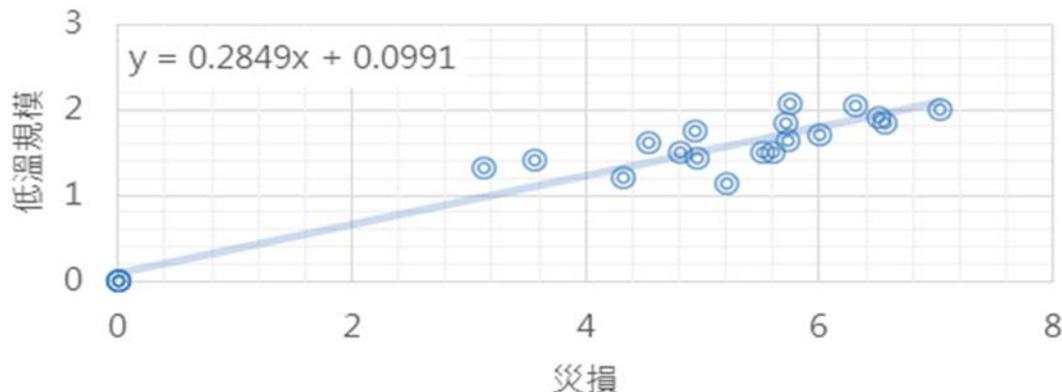


圖2 低溫規模與寒害年度總損失相關性比較

表1 全臺19個用於低溫規模指標計算之平地氣象站

站號	站名	海拔高度(m)	所屬縣市	鄉鎮
466900	淡水	19	新北市	淡水區
466920	臺北	6.3	臺北市	中正區
466940	基隆	26.7	基隆市	仁愛區
466950	彭佳嶼	101.7	基隆市	中正區
466990	花蓮	16	花蓮縣	花蓮市
467060	蘇澳	24.9	宜蘭縣	蘇澳鎮
467080	宜蘭	7.2	宜蘭縣	宜蘭市
467300	東吉島	43	澎湖縣	望安鄉
467350	澎湖	10.7	澎湖縣	馬公市
467410	臺南	40.8	臺南市	中西區
467440	高雄	2.3	高雄市	前鎮區
467480	嘉義	26.9	嘉義市	西區
467490	臺中	84	臺中市	北區
467571	新竹	26.9	新竹縣	竹北市
467590	恆春	22.1	屏東縣	恆春鎮
467610	成功	33.5	臺東縣	成功鎮
467620	蘭嶼	324	臺東縣	蘭嶼鄉
467660	臺東	9	臺東縣	臺東市
467770	梧棲	31.7	臺中市	梧棲區



圖3 預警系統利用未來一週最低溫度預測資料計算逐日SDI，並針對該場事件之SDI提供歷史上相似規模之寒流所造成的災害衝擊資料

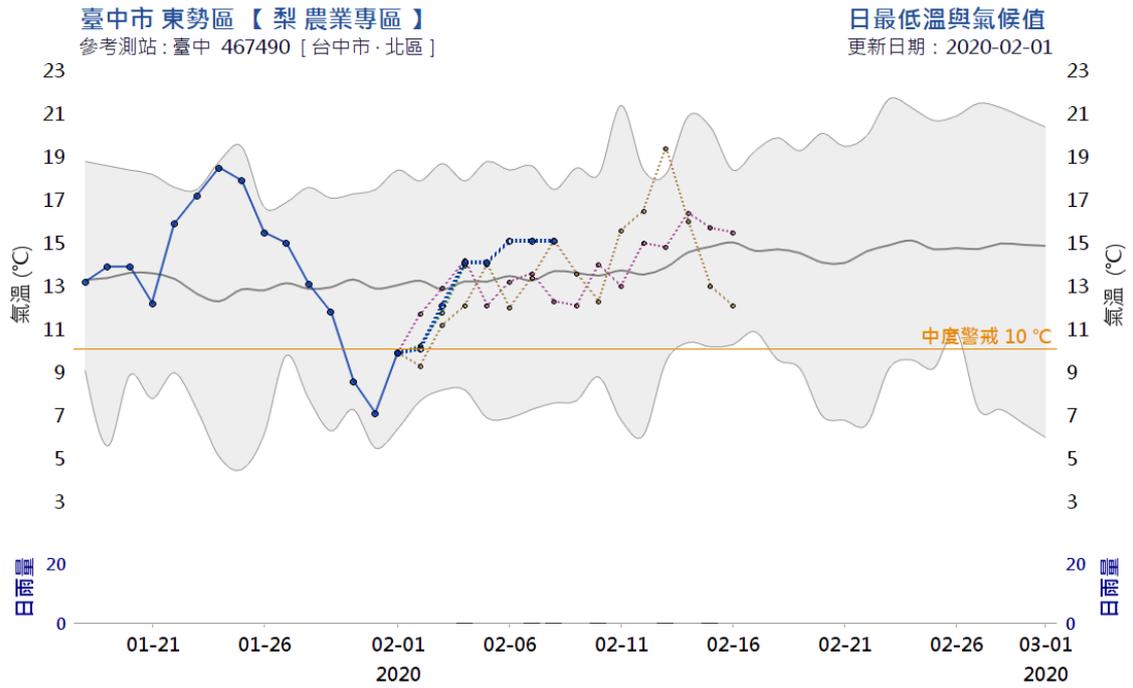


圖4 農業專區(以臺中東勢梨為例)過去2週觀測(藍色實線)、中央氣象局未來一週日最低溫預測(藍虛線)、NCDR系集未來三天平均溫度(綠虛線)、未來15日MPAS(粉紅虛線)和WRF降尺度(棕虛線)日最低溫預測及全球模式之雨量預估

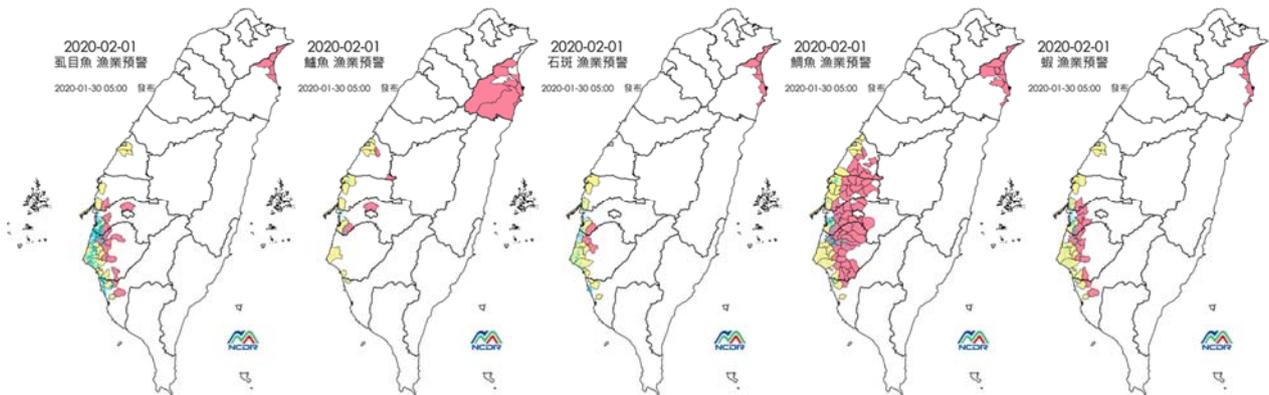


圖5 虱目魚、鱸魚、石斑、鰻魚和蝦之低溫預警分布圖

The development of the cold damage early warning system of the agricultural and fishery losses in Taiwan

Dan-Rong Chen, Yi-Chiang Yu, Jung-Lien Chu and Hsin-Hung Lin

National science and technology center for disaster reduction

Abstract

From 1982 to 2018, there are 98 cold wave events in Taiwan during 36-yr winter. Explore the characteristics of Taiwan's cold damage and its impact on Taiwan by analyzing historical cold events. The agricultural and fishery losses of winter cold damage are attributed to low temperature events of cold wave. In addition, the weather type of the cold damage can be classified into two type : dry-cold and wet-cold. Among, the dry-cold events are easy to cause the frost damage due to the long wave radiation cooling in morning, and the wet-cold events cause the frost bite of agriculture because of the long term cold and rainfall. In order to evaluate the scale of cold damage caused by the different cold events, the temperature index (station-day index, SDI) of Liu (2015) is used. The correlation between the agriculture and fishery losses and SDI from 1995 to 2018 is very high. The National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) is cooperating with the Council of Agriculture to develop the cold damage early warning system by the observed and forecast temperature of CWB issued and the result of the research of cold damage impact. At present, it is capable of providing cold early warning information for different agricultural and fishery species in time, to strengthen the management of cold damage prevention.

Keyword Cold wave event, Low temperature, Cold damage