

投稿類別：地球科學類

篇名：

東非蝗災與氣候變遷的關係

作者：

陳禹廷。建國高中。高二 3 班

洪佑全。建國高中。高二 10 班

陳均。建國高中。高二 13 班

指導老師：

曾慶玲老師

壹、前言

一、研究動機

2020 年，除了新冠肺炎對全球造成了極大的影響，還有另一個也同樣造成巨大損失的災害——東非蝗災。根據 BBC 報導 (Njagi, 2020)，2020 年蝗蟲侵襲東非大部分國家，包含肯亞、衣索比亞、伊朗等地，甚至從東非向亞洲擴散。如此大規模且嚴重的災害，國內研究卻較少探討大規模的蝗蟲是從何而來，以及其與氣候變遷的關聯。綜合以上，本研究想探討東非蝗災與氣候變遷的關係。

二、研究目的

今日，氣候變遷已成為人人關注的議題，許多科學家也透過分析和研究資料，來探討氣候變遷所造成的影響。本研究有兩個目的：藉由探討氣候變遷與颶風出現頻率的關聯，並分析颶風出現與蝗災爆發的時間點，找出兩者之間的趨勢，預測蝗蟲可能爆發的地區，以利盡早採取防治策略。

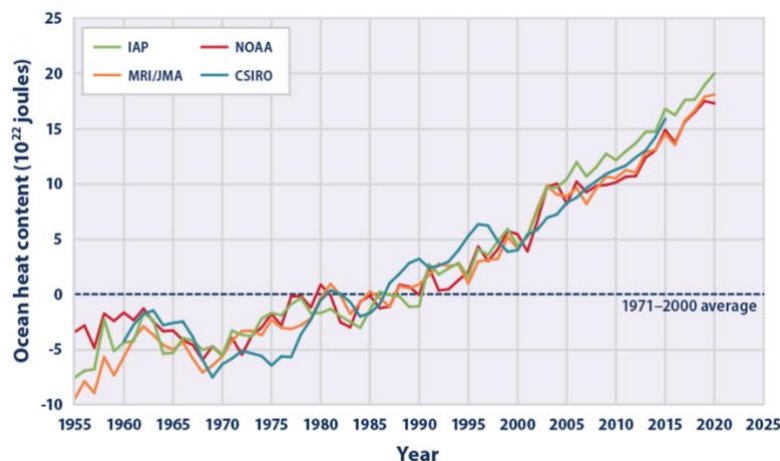
貳、文獻探討

本文獻探討分為三部分——颶風與氣候變遷的關聯、引起災害的蝗蟲基本資料及蝗災與氣候變遷之關係。

一、颶風與氣候變遷關係

根據 Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (2021) (譯作地球物理流體動力學實驗室) 研究指出，在全球氣溫上升攝氏兩度的情況下，颶風帶來的降雨量會增加 10~15%，在登陸後可能會造成洪水爆發。在 United States Environmental Protection Agency (2021) (以下簡稱 US EPA，譯作美國國家環境保護署) 的資料呈現自 1955~2020 年全球海洋海平面到七百公尺深的熱含量變化 (如圖 1)，並將 1971~2000 年的平均值設為 0，以進行比較。而

圖 1 全球海洋海平面到七百公尺熱含量圖



圖片來源：US EPA (2021)

表中各線為 NOAA（譯作美國國家海洋暨大氣總署）、CSIRO（譯作澳大利亞聯邦科學與工業研究組織）、IAP（譯作中國科學院大氣物理研究所）和 JMA（譯作日本氣象廳）使用不同方法分別計算，自 1955 年以來全球海洋海平面到七百公尺深的熱含量變化，皆有漸漸上升的趨勢。透過蒸發使得海洋逸散的熱量在大氣中轉化為水分，而水分釋放的潛熱會加劇颶風的強度以及其水量，這和颶風破壞力的增加有著一定的關聯（Trenberth, et al., 2018）。

二、災害蝗蟲的特性及防治

（一）蝗蟲特性

蝗蟲有兩種型態：獨居跟群居型態，這兩個型態可以透過顏色、生理和行為方面的差異來區分，且只有群居型態的蝗蟲會形成大規模蝗災。獨居型態的若蟲會調整其顏色使其與周圍環境相似，新陳代謝和氧氣攝取率也會比較低；而群居的若蟲有固定顏色且活躍亢奮，成蟲則除了顏色、氣味之外，還會分泌化學毒素，造成天敵鳥類無法捕食（陳永林，2007）。

根據 The Editors of Encyclopedia Britannica（No date）（譯作大英百科全書），一個處於群居型態的蝗蟲產生的後代，如果牠們成長環境周圍沒有其他蝗蟲，則會變為獨居型態。但若蝗蟲的周圍長時間都處於蝗蟲十分密集的狀態，或是若蟲在有其他蝗蟲的存在下成長時，大多數蝗蟲就會發生生理變化，轉移成群居型態，並產生群居型的後代。另外，在利於蝗蟲生長的區域，牠們就不會群體遷徙，但若牠們成長在不合適的棲息地，便會遷徙至其他地區。例如遇到對蝗蟲繁殖有利的季節時，牠們的數量會增加，使部分蝗蟲被迫進入環境負載力較低的地區，之後若這些地區的環境負載力過低時，這些蝗蟲就會返回原本環境負載力較高的區域，而這種聚集也會使蝗蟲轉為群居型態。

（二）蝗災防治

根據 Food and Agriculture Organization of the United Nations（2017）（以下簡稱 FAO，譯作聯合國糧農組織），衛星觀測有助於預測蝗蟲可能爆發的時間。只要利用土壤濕度和綠色植被分布等數據，就可以監測蝗災可能的動向。土壤濕度表示有多少水可用於植被生長以及蝗蟲繁殖，植被生長亦可判定其可能遷移方向。

在可預測蝗蟲動向的同時，現在多數國家使用生物殺蟲劑來控制沙漠蝗蟲，這是最有效且快速的方法，可以在小群蝗蟲聚集形成巨大的蝗蟲群之前就對其進行防治，例如，索馬里約有 236000 公頃土地使用了生物農藥和昆蟲生長調節劑，而生物農藥還在不斷的研發當中，目前已知的是綠僵菌屬的真菌在控制蝗蟲的數量上非常有效（FAO，2021）。

三、蝗災與氣候關係

總體而言，會影響蝗蟲活動的因素主要還受兩個自然因素的影響：氣溫及雨量。

（一）氣溫

根據 World Meteorological Organization（2016）（以下簡稱 WMO，譯作世界氣象組織），雌性蝗蟲的卵的發育狀況取決於氣溫與土壤濕度。低於 15°C 的溫度不利其生長，

接著隨著氣溫越來越高，卵的發育也會更加迅速。直到當土壤溫度高於 35°C 時，卵就有可能會發育失敗。其若蟲時期的發展週期會隨著每日氣溫從 24°C 升高到 32°C 而縮短。

而溫度改變的影響不只於蝗蟲本身，海洋溫度的改變也會影響蝗災發生與否。在印度洋海水溫度提升 1.5°C 的情況下，印度洋偶極¹（Indian Ocean Dipole，以下簡稱 IOD）事件會造成印度洋東西側海水溫度混亂，若是西側海溫上升，颶風與極端氣候發生的頻率會隨之增加，且導致東非蝗災發生的機率是印度洋海水溫度未上升 1.5°C 時的 12 倍之多，而造成更嚴重的破壞（Salih, et al., 2020）。

（二）雨量

在蝗蟲群不活躍時，沙漠蝗蟲通常僅分布於非洲、西亞和西南亞的半乾燥和沙漠這些每年降雨量不到 200 毫米的地區，且蝗蟲會因自然死亡或遷徙而減少。然而潮濕的天氣有利於蝗蟲的繁殖，2019 年 10 月至 12 月時，在非洲之角²降下了等同於當地年平均降雨量四倍的雨量，這些異常降雨是由 IOD 引起的，且氣候變遷也加劇了這一現象（United Nations Environment Programme, 2020）。

根據 FAO（1990~2020）及 WMO（2016），蝗蟲的卵需要吸收水分以完成其發育，因此通常會被產在潮濕的土壤中。但如果產卵後出現豪雨，則卵可能會被洪水破壞。沙質、潮濕土壤的位置會影響蝗蟲分布，只要有潮濕、多沙的地方，就會造成蝗蟲聚集與繁殖（National Aeronautics and Space Administration, 2021）。

由以上關於颶風、蝗災與氣候關係的文獻探討可知，氣候變遷與颶風以及蝗災的發生是環環相扣的：颶風會造成沙漠中的湖泊溫度升高，而多沙和潮濕的土壤是沙漠蝗蟲從卵中孵化、發育和繁殖的理想環境，溫暖的環境也非常適合牠們遷徙和移動。在印度洋溫度逐漸上升、IOD 一再發生，而且颶風頻率也增加的情況下，未來蝗災的發生可能更頻繁，因此本研究將分析東非地區內蝗災與颶風之間的關係。

參、研究方法

本研究將使用文件分析法及次級資料作為研究方法。透過研讀 World Bank Group（以下簡稱 WBG，譯作世界銀行集團）的各地氣候文件後製作了圖 2 以及圖 3，並從 Joint Typhoon Warning Center（簡稱 JTWC，1984、1994、1997、2004、2008、2012、2013、2015、2018，譯作聯合颱風警報中心）的各年度熱帶氣旋報告中，篩選出在東非附近有產生颶風的幾份報告後找出關聯，再與 FAO（2018~2020）的歷年蝗蟲監測報告分析颶風如何影響蝗蟲分布，進而找出氣溫、颶風與蝗災之間的關聯。

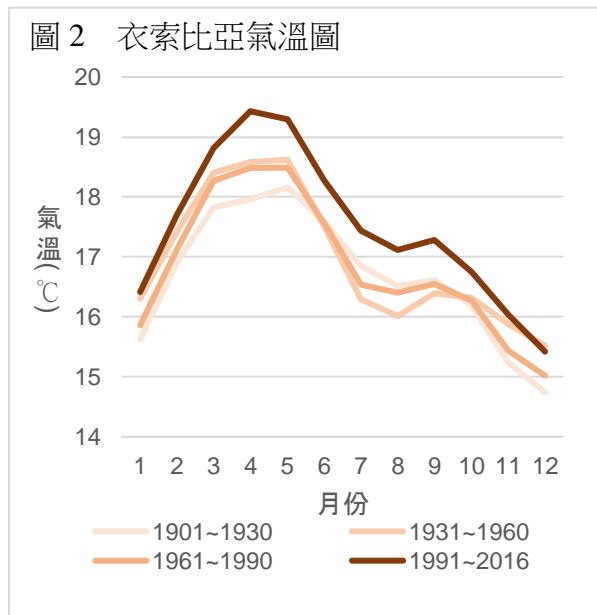
¹ 印度洋偶極子（Indian Ocean Dipole）：指印度洋異常的氣候振盪現象，由氣候研究人員於 1999 年發現，現象出現時會使印度洋東西側的海水溫度混亂，改變正常風向（科學 online，2011）

² 非洲之角：東非的部分區域，包含吉布地，厄利垂亞，衣索比亞和索馬利亞。

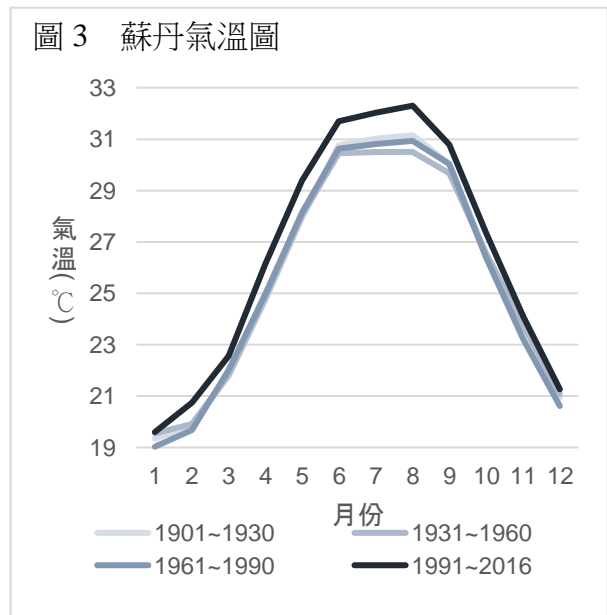
肆、研究分析與結果

一、東非的氣溫變化與颶風出現頻率

首先，本研究將東非定義為衣索比亞、索馬利亞、蘇丹、吉布地、厄利垂亞等國，並從其中選定兩個蝗災特別容易發生的區域——衣索比亞和蘇丹，再根據 WBG (No date) 提供的非洲氣象資料繪製出圖 2 及圖 3。圖中各曲線由淺至深分別為 1901~1930 年、1931~1960 年、1960~1990 年以及 1991~2016 年，記錄這四個區間年份各月月均溫的平均。從中可以看出自 1901 年至今，平均氣溫有漸漸升高的趨勢，尤其又以 1991~2016 年的平均氣溫明顯高出 1901~1930 年、1931~1960 年以及 1961~1990 年的數據許多。

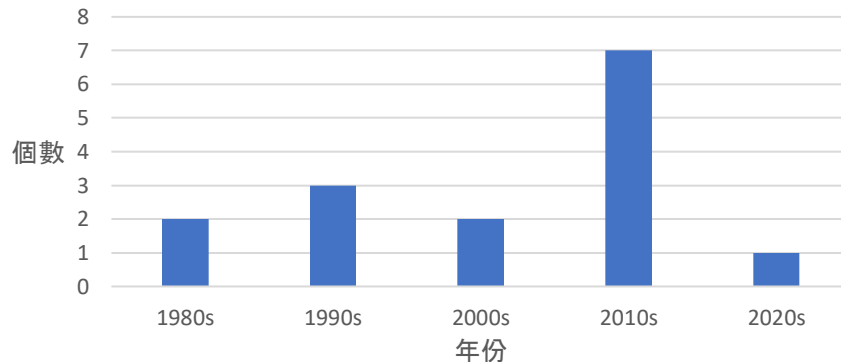


圖表來源：本研究繪製
資料來源：WBG (No date)



圖表來源：本研究繪製
資料來源：WBG (No date)

圖 4 東非歷年颶風數量



圖片來源：本研究繪製（註：2020s 僅有 2020 年的資料）

資料來源：JTCW (1984, 1994, 1997, 2004, 2008, 2012~2013, 2015, 2018), FAO (2019~2020)

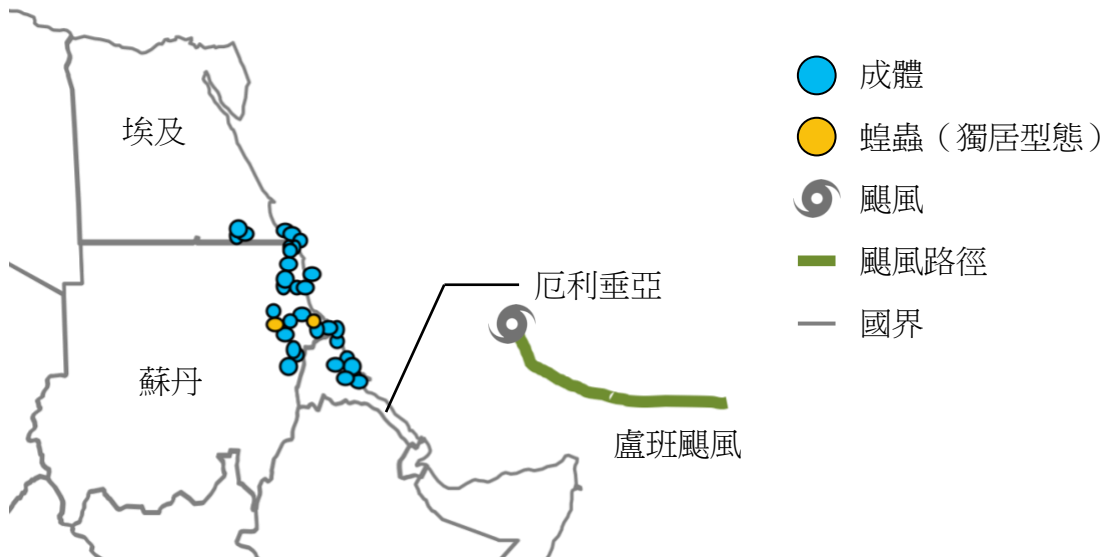
判定東非颶風數量的標準是根據中央氣象局，颶風侵襲定義為「颶風中心在臺灣登陸；或雖未登陸，僅在近海經過，但陸上有災情者」，再進一步根據 JTWC 與 FAO 各年度熱帶氣旋報告發現，東非的熱帶氣旋相較於 1980、1990 及 2000 年代，在 2010 年代有明顯的增加，如圖 4。

總結東非各地區歷年氣候圖（圖 2、3）及東非歷年颶風數量圖（圖 4），可以發現氣溫與颶風在 2010 年代時皆有增加的趨勢，由於 2020s 目前缺乏完整資料，因此無法與其他年代做比較。

二、颶風與蝗災的關係

2018 年 5 月，一個規模巨大的颶風梅庫努（Mekunu）登陸阿拉伯半島上空（因未靠近非洲之角，故未在圖 5 中畫出）。颶風通常在到達陸地時會減弱，但梅庫努卻越過阿曼並造成大雨，溫暖、多沙和潮濕土壤是蝗蟲從卵孵化和發育的完美環境。一般來說，遭颶風影響的地區恢復乾燥後，蝗蟲會因不利其生長而減少，但 2018 年 10 月，另一個颶風盧班（Luban）再度侵襲阿拉伯半島（如圖 5），讓蝗災得以延續，且葉門政治上的動盪亦影響了蝗災的控制進度，使蝗災擴散到僅隔著紅海的東非地區（Salih, et al., 2020）。

圖 5 2018 年 11 月東非颶風與蝗災分布圖

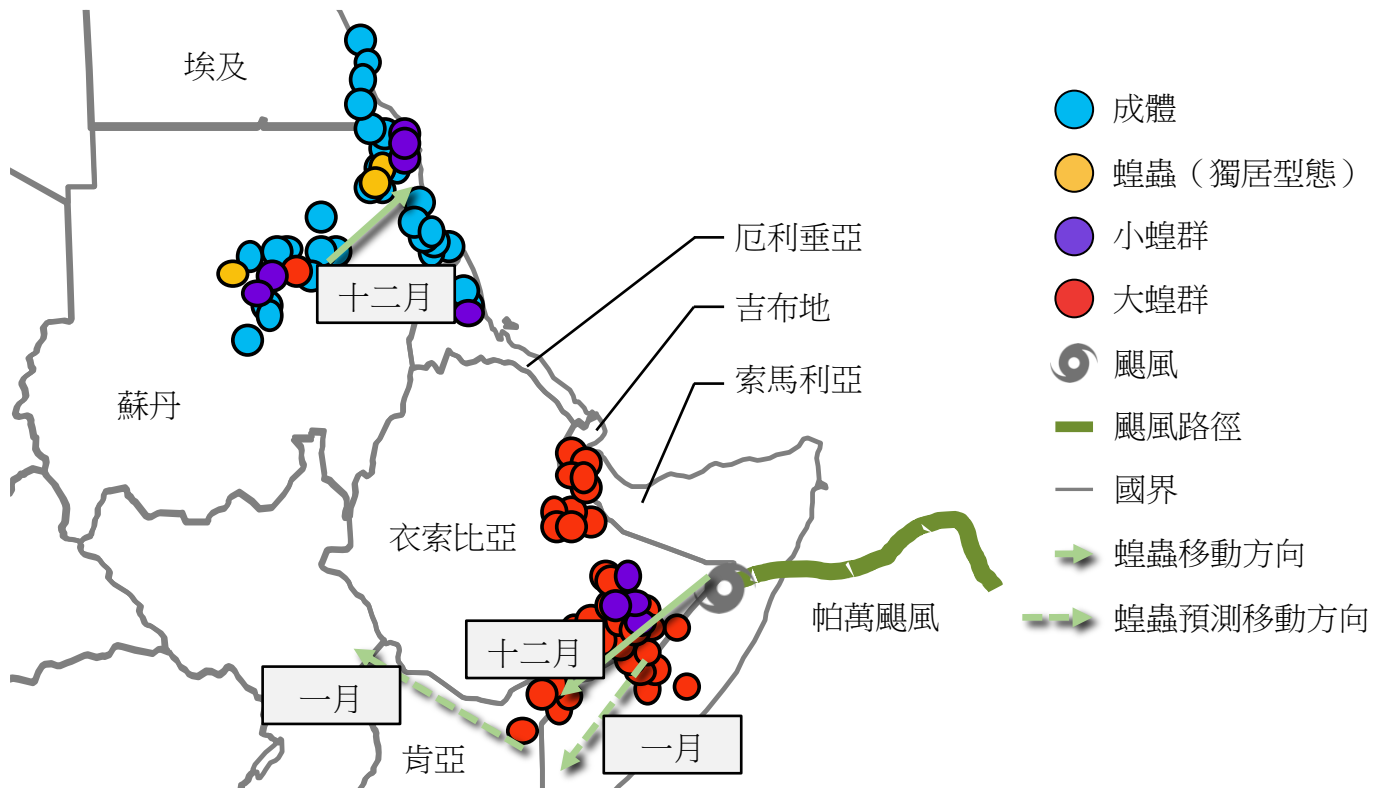


圖片來源：本研究繪製

資料來源：FAO East Africa: Desert Locust briefs (2018)

根據 Madeleine, S. (2020)，在 2019 年 12 月帕萬颶風登陸索馬利亞，延續了該年夏天蝗蟲的繁殖。12 月下旬，第一波蝗群抵達肯亞，並擴及該國北部及中部，這波蝗群到 1 月時，演變為肯亞 70 年以來最嚴重的蝗災，同時蝗群也移動到吉布地與厄利垂亞。FAO 的 Update on FAO's response to the Desert Locust upsurge (2020) 亦提到，新一代的蝗蟲從衣索比亞東北部隨著風擴散，進入肯亞、南蘇丹、烏干達、坦尚尼亞、厄利垂亞和吉布地等國家。遭帕萬侵襲的地區，成為一個月後蝗群爆發的起源地。

圖 6 2020 年 1 月東非颶風與蝗災分布圖

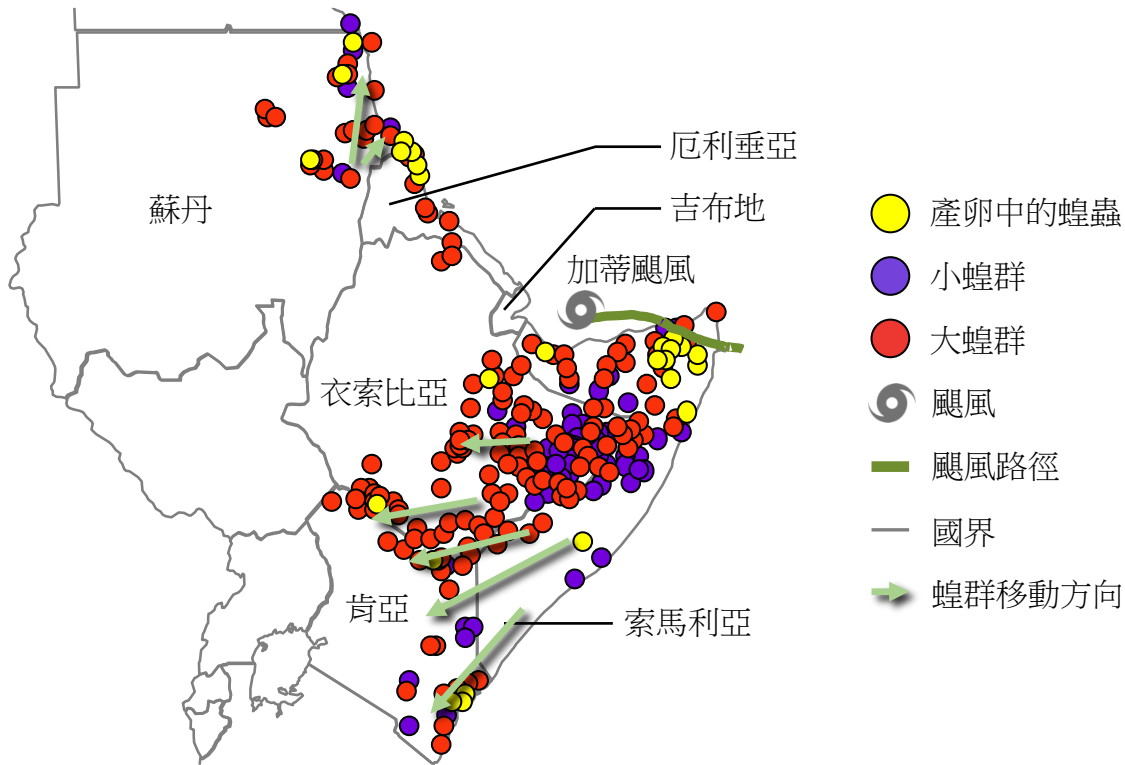


圖片來源：本研究繪製

資料來源：FAO East Africa: Desert Locust briefs (2020)

FAO (2020) 的 Desert Locust briefs 指出，在 2020 年 11 月，強烈的加蒂颶風 (Gati) 登陸索馬利亞，為該地有紀錄以來最強的颶風。加蒂在索馬利亞北部集中降雨，而該處為當時蝗蟲繁殖區的北部。儘管加蒂的路徑僅掃過北部，其降雨仍有利於衣索比亞東部和索馬利亞中部地區的未成熟蝗群迅速成長並產卵。無論是衣索比亞東部、索馬利亞中南部的蝗蟲大量繁殖，或是蝗蟲群在索馬利亞北部擴張，都導致大量未成熟的蝗蟲群在 12 月初形成。這些蝗蟲群遷移到衣索比亞南部和索馬利亞南部，並在 12 月中旬到達肯亞北部，此後繼續往南。

圖 7 2020 年 12 月東非蝗災與颶風分布圖



圖片來源：本研究繪製

資料來源：FAO (2021)

總結以上三個年度的東非蝗災與颶風分布圖（圖 5、6、7），可以發現颶風與蝗災的爆發有一定的關聯，且 2019 和 2020 的事件更為明顯，這兩年的颶風皆登陸東非之角，伴隨大量的降雨，創造了蝗蟲繁殖的理想環境，在侵襲後的幾個禮拜，颶風經過之處成為了蝗群擴散的起源地，同時在颶風周圍的區域亦因降雨受到影響，加速蝗蟲的成長與繁殖。

伍、研究結論與建議

一、研究結論

此研究中分成兩個面向分析：氣溫與颶風的關係及颶風與蝗災的關係。從研究分析與結果的第一點可發現，在 1991～2016 年間的月均溫曲線皆明顯高於其他三個時期一截，而在 2010～2019 年間侵襲非洲之角的颶風相較其他年代亦有爆發性的增加；另外，從研究分析與結果的第二點則可看出，2018～2020 年颶風所帶來的降雨，加快了蝗蟲的成熟速度，以 2018 年為例，潮濕的土壤有利蝗蟲生長，但隨著該地區恢復乾燥，蝗蟲便減少數量，可得知降雨為蝗蟲生長的關鍵。在 2019～2020 年，侵襲東非之角的颶風造成更大的破壞，同時在過境後幾個禮拜便有大量蝗蟲出現，隨後擴散至周圍的區域及國家。由此可看出蝗蟲與颶風之間的連結。

總結全文，近三十年的氣溫、海洋熱含量與颶風出現頻率的變化，皆有增加的趨勢，且颶風加劇蝗災的例子亦頻繁出現，可見颶風會產生有利於沙漠蝗蟲繁殖的環境——包含足夠

的土壤濕度、降雨等適合植被生長的條件，因此本研究推測氣候變遷所引起的颶風也會一定程度地影響蝗災的分布。

二、研究建議

根據上述的研究結果，可以得知近年來在東非地區的年均溫、颶風及蝗災皆有增加的趨勢，並且在颶風發生後的幾個禮拜內，颶風所經過地區的蝗蟲群皆會增加，如 2019 年 12 月的帕萬颶風發生過後一個月就造成了蝗蟲繁殖成災，而這其中的原因就是颶風帶來的熱量與雨量提供了很好的環境供蝗蟲繁殖、成長。若能透過衛星事先觀測土壤濕度和植被分布，再結合颶風可能的行進路徑，或許有辦法預測蝗災的動向、分析可能爆發的地區，並及早噴灑對環境無害的生物農藥，試著降低對環境帶來的破壞及災害，此為日後可再著重探討的議題。

陸、參考文獻

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2017). New satellite imaging to better forecast locust plagues. <http://www.fao.org/news/story/en/item/895920/icode/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018). East Africa: Desert Locust briefs 2018. <http://www.fao.org/ag/locusts/en/archives/briefs/1810/2412/index.html>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). East Africa: Desert Locust briefs 2019. <http://www.fao.org/ag/locusts/en/archives/briefs/1810/2453/index.html>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). East Africa: Desert Locust briefs 2020. <http://www.fao.org/ag/locusts/en/archives/briefs/2515/2516/index.html>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). Update on FAO's response to the Desert Locust upsurge. <http://www.fao.org/3/nc807en/nc807en.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021). East Africa: Desert Locust briefs 2021. <http://www.fao.org/ag/locusts/en/archives/briefs/2515/2568/index.html>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021). Biopesticides for locust control. <http://www.fao.org/fao-stories/article/en/c/1267098/>
- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (2021). Global Warming and Hurricanes. <https://www.gfdl.noaa.gov/global-warming-and-hurricanes/>
- Joint Typhoon Warning Center (1984). 1984 ANNUAL TROPICAL CYCLOON REPORT. <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/products/atcr/1984atcr.pdf>
- Joint Typhoon Warning Center (1994). 1994 ANNUAL TROPICAL CYCLOON REPORT. <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/products/atcr/1994atcr.pdf>
- Joint Typhoon Warning Center (1997). 1997 ANNUAL TROPICAL CYCLOON REPORT. <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/products/atcr/1997atcr.pdf>

- Joint Typhoon Warning Center (2004). 2004 Annual tropical cyclone report.
<https://www.metoc.navy.mil/jtwc/products/atcr/2004atcr.pdf>
- Joint Typhoon Warning Center (2008). 2008 Annual tropical cyclone report.
<https://www.metoc.navy.mil/jtwc/products/atcr/2008atcr.pdf>
- Joint Typhoon Warning Center (2012). Annual tropical cyclone report 2012.
<https://www.metoc.navy.mil/jtwc/products/atcr/2012atcr.pdf>
- Joint Typhoon Warning Center (2013). Annual tropical cyclone report 2013.
<https://www.metoc.navy.mil/jtwc/products/atcr/2013atcr.pdf>
- Joint Typhoon Warning Center (2015). Annual tropical cyclone report 2015.
<https://www.metoc.navy.mil/jtwc/products/atcr/2015atcr.pdf>
- Joint Typhoon Warning Center (2018). Annual tropical cyclone report 2018.
<https://www.metoc.navy.mil/jtwc/products/atcr/2018atcr.pdf>
- Madeleine, S. (2020). A plague of locusts has descended on East Africa. Climate change may be to blame. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/locust-plague-climate-science-east-africa>
- National Aeronautics and Space Administration (2021). Soil Data Aids Prediction of Locust Swarms. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/148314/soil-data-aids-prediction-of-locust-swarms>
- Njagi, D. (2020). The Biblical locust plagues of 2020. <https://www.bbc.com/future/article/20200806-the-biblical-east-african-locust-plagues-of-2020>
- Salih, A., Baraibar, M., Mwangi, K., & Artan, G. (2020). Climate change and locust outbreak in East Africa. *Nature climate change*, 10(7), 584–585. <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0835-8#change-history>
- The Editors of Encyclopaedia Britannica (No date). Locust. Retrieved June 12, 2021. from <https://www.britannica.com/animal/locust-insect>
- Trenberth, K., Cheng, L., Jacob, P., Zhang, Y., & Fasullo, J. (2018). Hurricane Harvey Links to Ocean Heat Content and Climate Change Adaptation. *Earth's Future*, 6(5), 730–744. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2018EF000825>
- United Nations Environment Programme (2020). Locust swarms and climate change. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/locust-swarms-and-climate-change>
- United States Environmental Protection Agency (2021). Climate Change Indicators: Ocean Heat. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-ocean-heat>
- World Bank Group (No date). Africa Western and Central. Retrieved June 12, 2021. from <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/region/africa-western-and-central/climate-data-historical>

World Meteorological Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016). Weather and Desert Locusts. <http://www.fao.org/3/i6152en/i6152en.pdf>

科學 online (2011)。印度洋 (Indian Ocean) 偶極子震盪現象 (一)。
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=34445>

陳永林 (2007)。中國主要蝗蟲及蝗災的生態學治理 (簡體書)。科學出版社。