環境與氣象因子於臺灣登革熱疫情之分布相關性探討暨潛勢預測

「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」(TCCIP)
成果發表會
2017/01/17

長榮大學職業安全衛生學系
吳佩芝*、莊啓佑
國家災害防救科技中心
劉俊志、趙益群
Email: wupc@mail.cjcu.edu.tw

登革熱從雨林到鄉村與都市

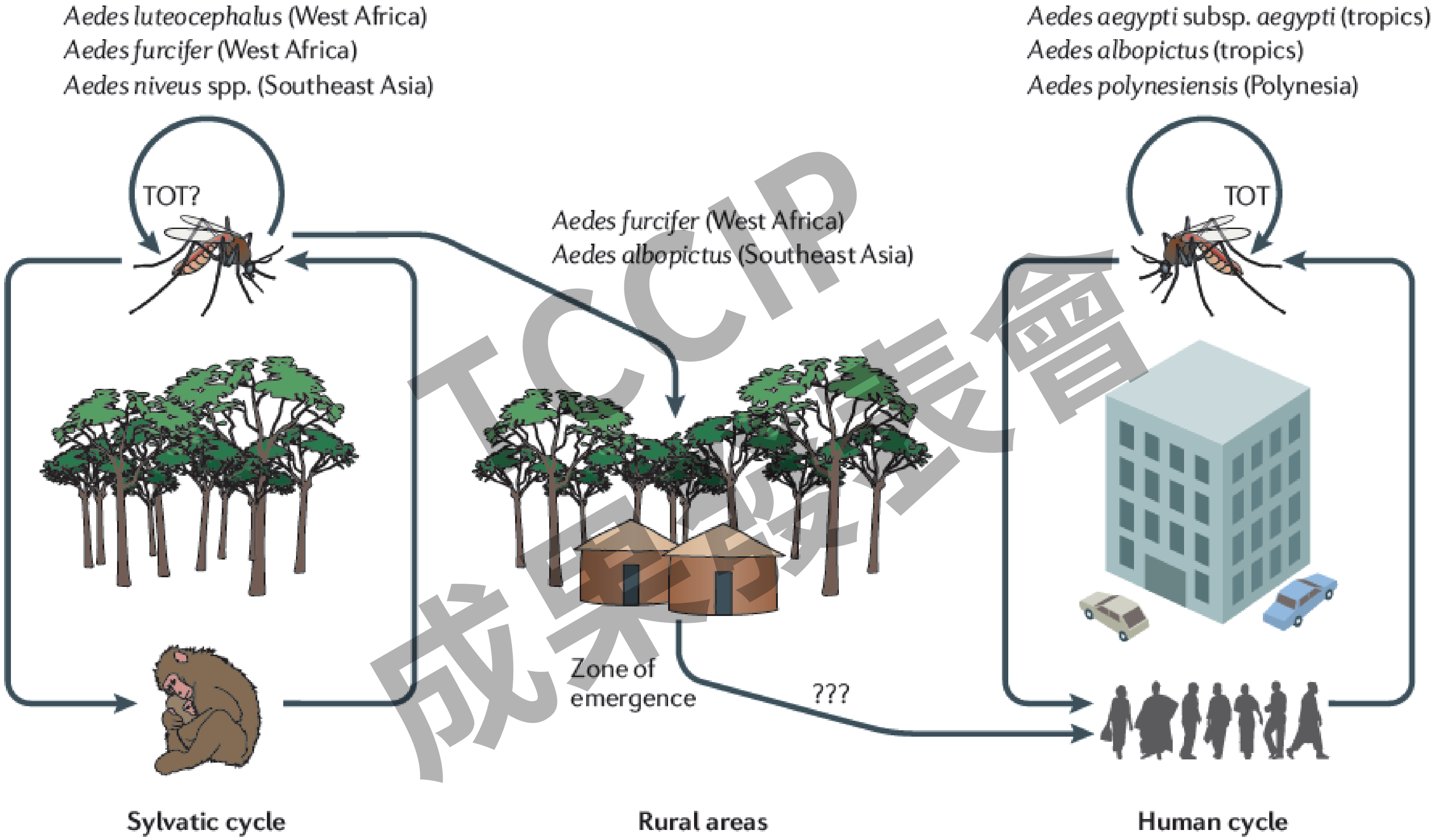

Aedes luteocephalus (West Africa)
Aedes furcifer (West Africa)
Aedes niveus spp. (Southeast Asia)
TOT?
Aedes furcifer (West Africa)
Aedes albopictus (Southeast Asia)
Aedes aegypti subsp. *aegypti* (tropics)
Aedes albopictus (tropics)
Aedes polynesiensis (Polynesia)
TOT
Zone of emergence
???
Sylvatic cycle
Rural areas
Human cycle

Figure 1 | **The transmission cycles of dengue virus.** The sylvatic origins of dengue virus, and the 'zone of emergence', where sylvatic cycles contact human populations in rural areas of West Africa and Southeast Asia. In addition, dengue virus can persist in mosquito populations by transovarial transmission (TOT), in which virus-infected mosquitoes transfer the virus to their eggs (this has been shown to occur in some species but not in all).

Nature Reviews Microbiology 9, 2011

臺灣近年來深受登革熱之侵襲

- 2014年與2015年，登革熱各在我國創下超過1萬5千與4萬3千個病例之新紀錄，又以臺南、高雄與屏東等南部縣市疫情嚴峻
- 2014及2015年案例南部地區之盛行率為其他地區之166及145倍

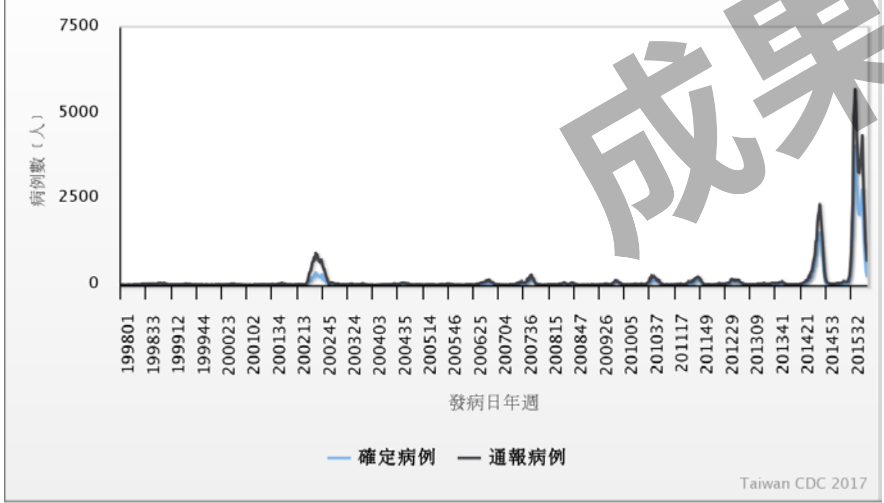
Hsu, Hsieh, & Lu, 2017

  - 傳統認為南部地處濕熱，適宜病媒蚊繁殖為最主要原因

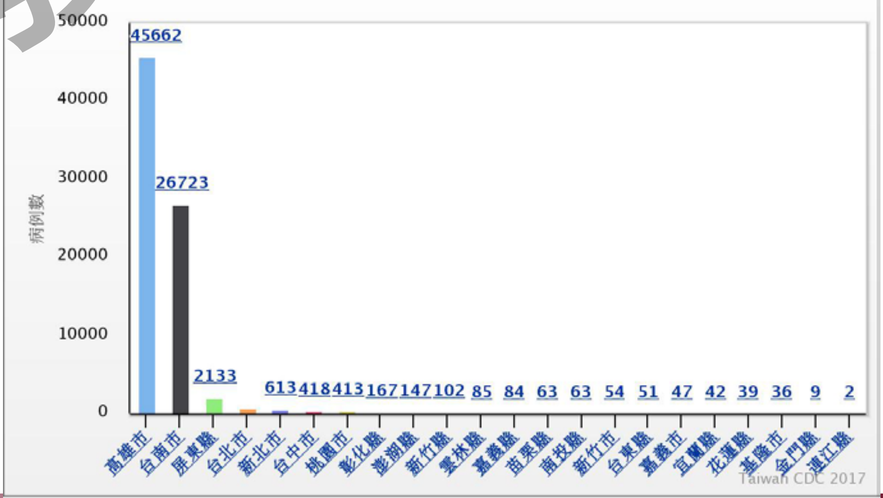
Chen & Chang, 2013

TCCIP
成果發表會

全國登革熱本土病例長期比較趨勢圖(1998年01週-2015年52週)



全國登革熱本土病例之病例數排名比較圖(1998年01週-2015年52



病媒蚊生態深受氣象條件影響

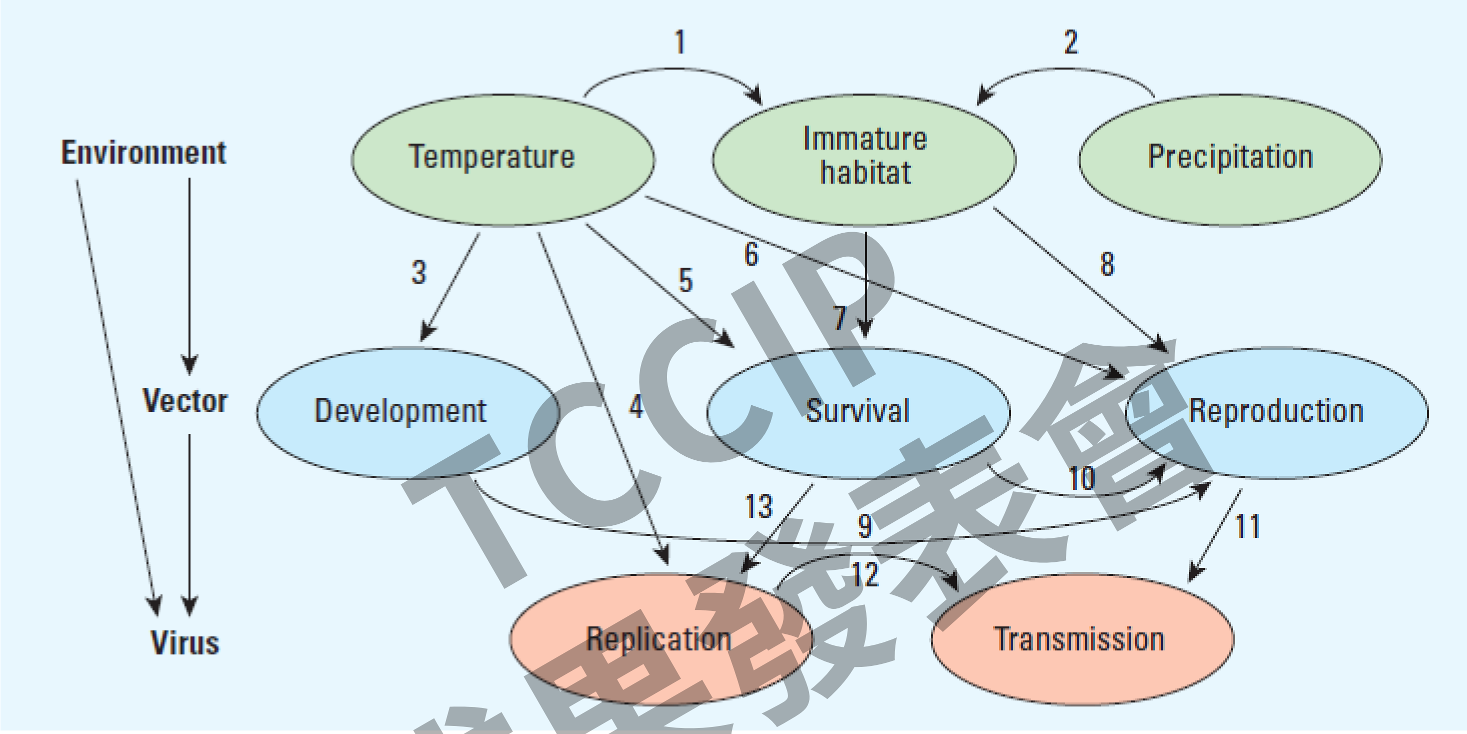
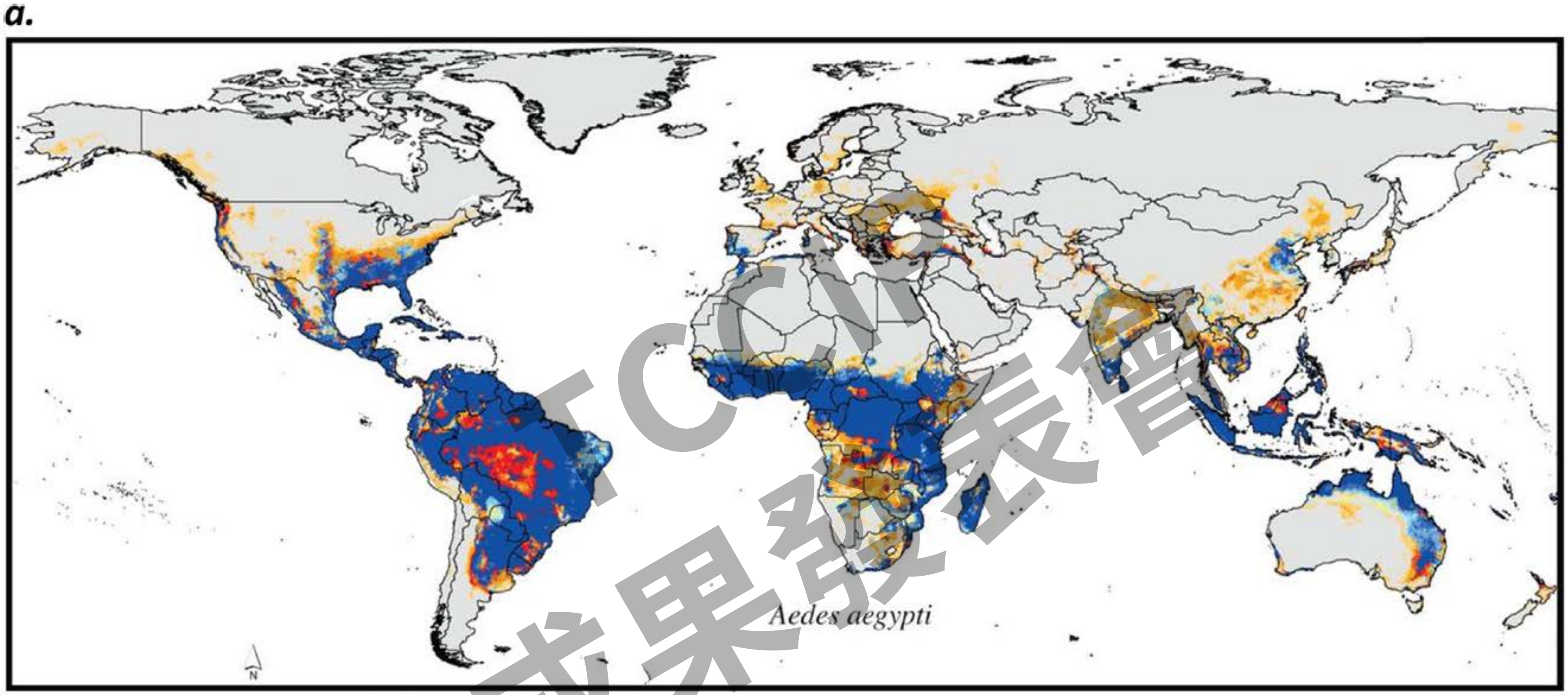

1
2
Environment
Temperature
Immature habitat
Precipitation
3
5
6
8
7
Vector
Development
4
Survival
Reproduction
10
13
9
11
12
Virus
Replication
Transmission

Figure 1. Diagram of biophysical influences on DENV ecology showing the interactions between climate variables, vectors, and the virus. Numbers identify relationships between variables. Habitat availability for mosquito larvae is influenced by temperature through evaporation and transpiration (*1*) and incoming precipitation (*2*). Temperature is a major regulator of mosquito development (*3*), viral replication within infected mosquitoes (*4*), mosquito survival (*5*), and the reproductive behavior of mosquitoes (*6*). Habitat availability is required for immature mosquito survival (*7*) and reproduction of adult mosquitoes (*8*). Faster mosquito development and increased survival will accelerate mosquito reproduction (*9* and *10*). Increased mosquito reproduction enhances the likelihood of transmission by increasing the number of blood feedings (*11*), whereas faster viral replication increases transmission by shortening the extrinsic incubation period (*12*). Last, increased survival of the adult mosquito increases the amount of viral replication (*13*).

Morin, EHP.121, 2013

研究顯示氣候變遷將提供病媒蚊更廣泛生存範圍



Potential geographic distribution patterns of a. *Ae. aegypti* and b. Ae. albopictus in 2050 under a moderate emissions scenario. Campell et al., 2015

- Geographic ex-pansion was projected in eastern North America, farther south in South America, northward in southern Europe, more broadly in Central Africa, more broadly in East Asia, and across northern and eastern Australia

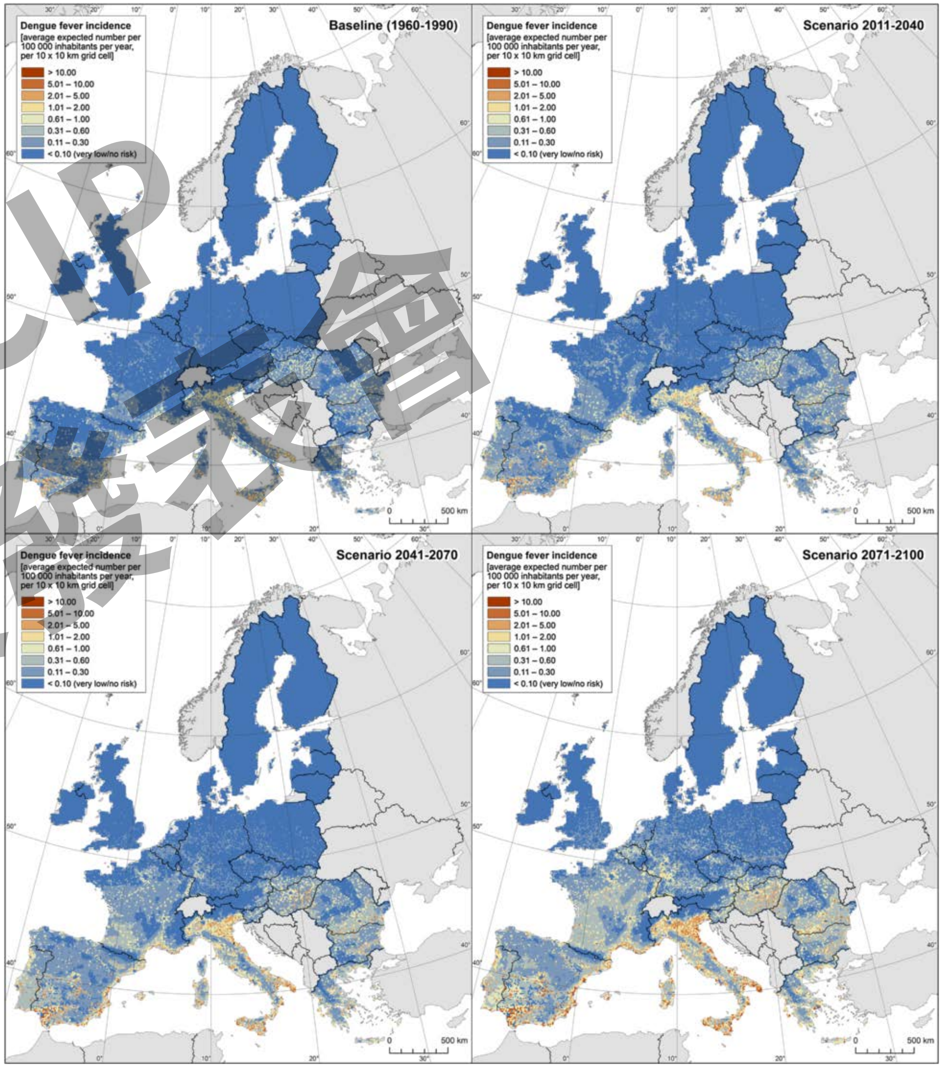
研究顯示氣候變遷也將致使登革熱版圖擴張

- Bouzid等人以IPCC AR4 A1B情境模擬顯示未來西班牙地中海、亞得里亞海、義大利海岸、波河河谷等地區都會成為登革熱疫情高風險區域

- 南歐海岸地帶為具有最高風險之區域，北歐與英國則暫無風險

- 當疫情進入歐洲中心地帶後，可能快速擴張而引發流行

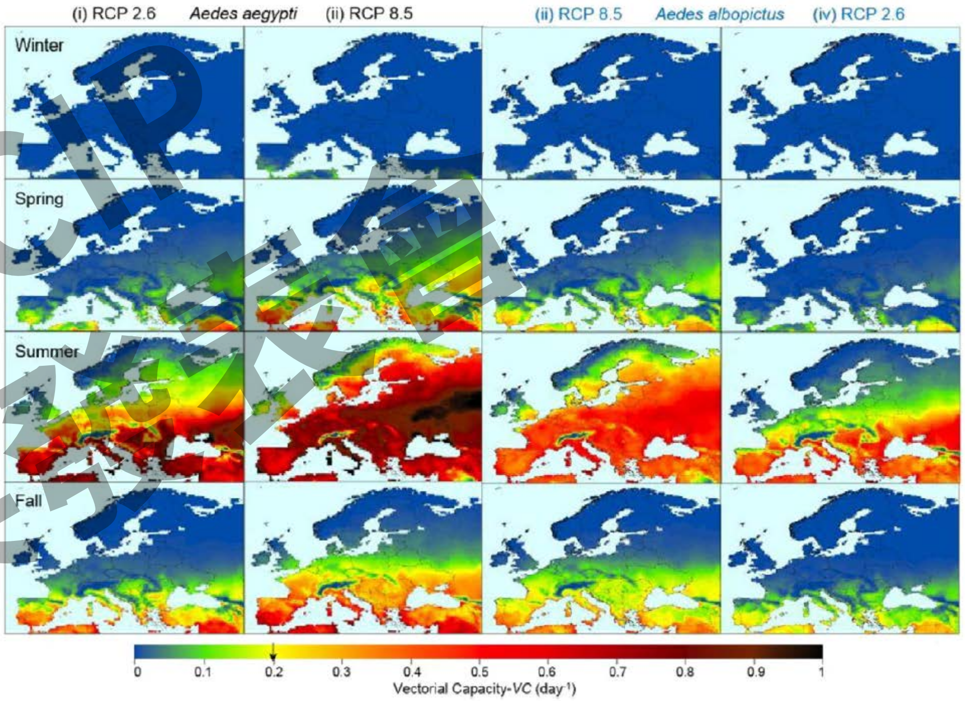
TCCIP
成果發表會


Baseline (1960-1990)
Scenario 2011-2040
Scenario 2041-2070
Scenario 2071-2100
Dengue fever incidence
[average expected number per 100 000 inhabitants per year, per 10 x 10 km grid cell]
> 10.00
5.01 – 10.00
2.01 – 5.00
1.01 – 2.00
0.61 – 1.00
0.31 – 0.60
0.11 – 0.30
< 0.10 (very low/no risk)
0
500 km

Bouzid, Colon-Gonzalez, Lung, Lake, & Hunter, 2014

研究顯示氣候變遷也將致使登革熱版圖擴張

- Liu-Helmersson等人使用IPCC AR5情境模式預測病媒蚊擴張條件
- RCP 2.6情境下登革熱將由南歐擴張至法國中心之巴黎與尼斯地區
  - 羅馬、雅典、西班牙馬尼加(2020)
- RCP 8.5情境下，至本世紀末北歐區域也將籠罩在登革熱風險之中
  - 巴黎(2020)、柏林(2030)、倫敦(2060)、阿姆斯特丹(2070)、斯德哥爾摩(2080)


(i) RCP 2.6
Aedes aegypti
(ii) RCP 8.5
(ii) RCP 8.5
Aedes albopictus
(iv) RCP 2.6
Winter
Spring
Summer
Fall
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
Vectorial Capacity-VC (day⁻¹)

Season stratified maps of vectorial capacity (VC) for Europe of the last decade of this century (2090–2099) under the greenhouse gas emission pathways RCP2.6 (i & iv) and RCP8.5 (ii & iii) for two *Aedes* vector

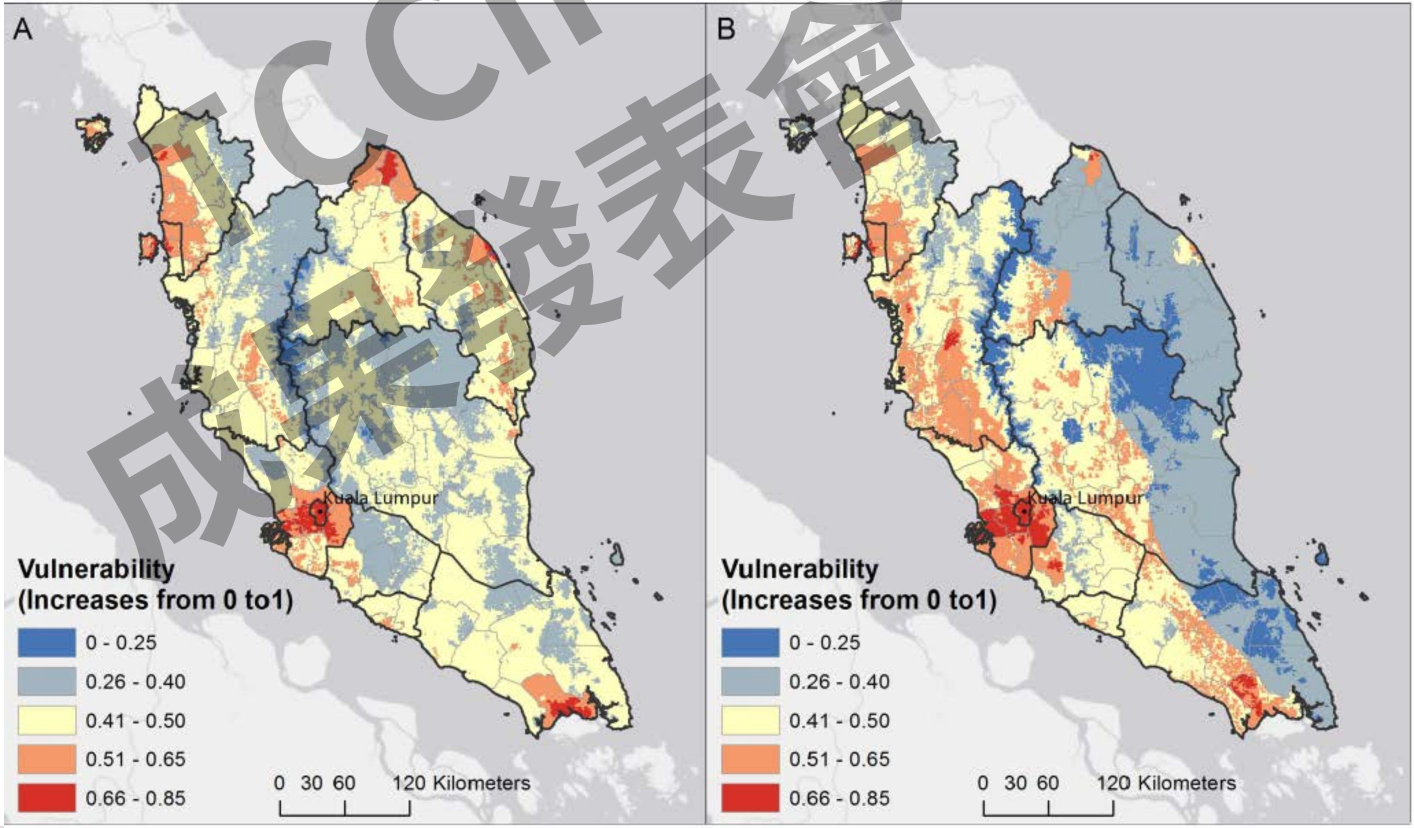
近年來興起社會環境因子於登革熱之效應討論

- 2011年泰國研究顯示鄰里效應具有顯著影響
  - 鄰里效應(neighborhood effect)：包括了前往最近都市之距離、家庭人口數目較少，特別對於小型農鄉村

- 農鄉村風險因子：新發展區域之衛生設施不良、醫療資源不足、居民來回都市謀生

- 限制因子：都市化過程漫長，為期數十年，缺乏運輸資料、病媒蚊指數

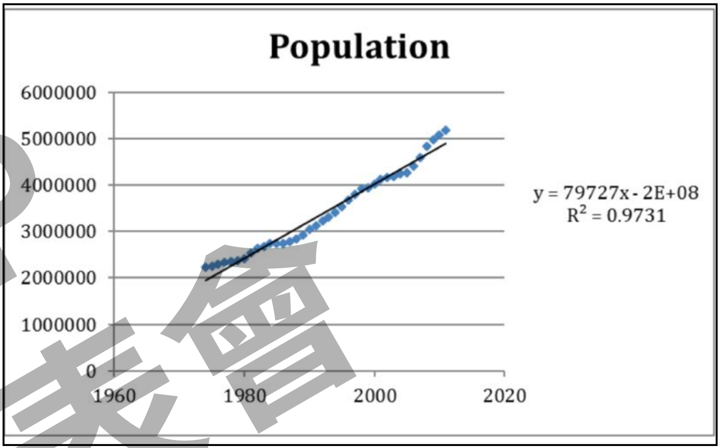
TCCIP
成果發表會

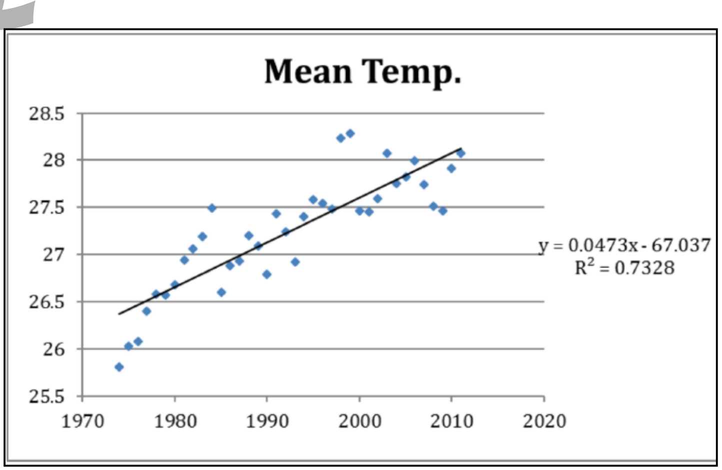

A
B
Kuala Lumpur
Kuala Lumpur
Vulnerability
(Increases from 0 to1)
🟦 0 - 0.25
▨ 0.26 - 0.40
🟨 0.41 - 0.50
🟧 0.51 - 0.65
🟥 0.66 - 0.85
0 30 60 120 Kilometers

Tipayamongkholgul, 2011

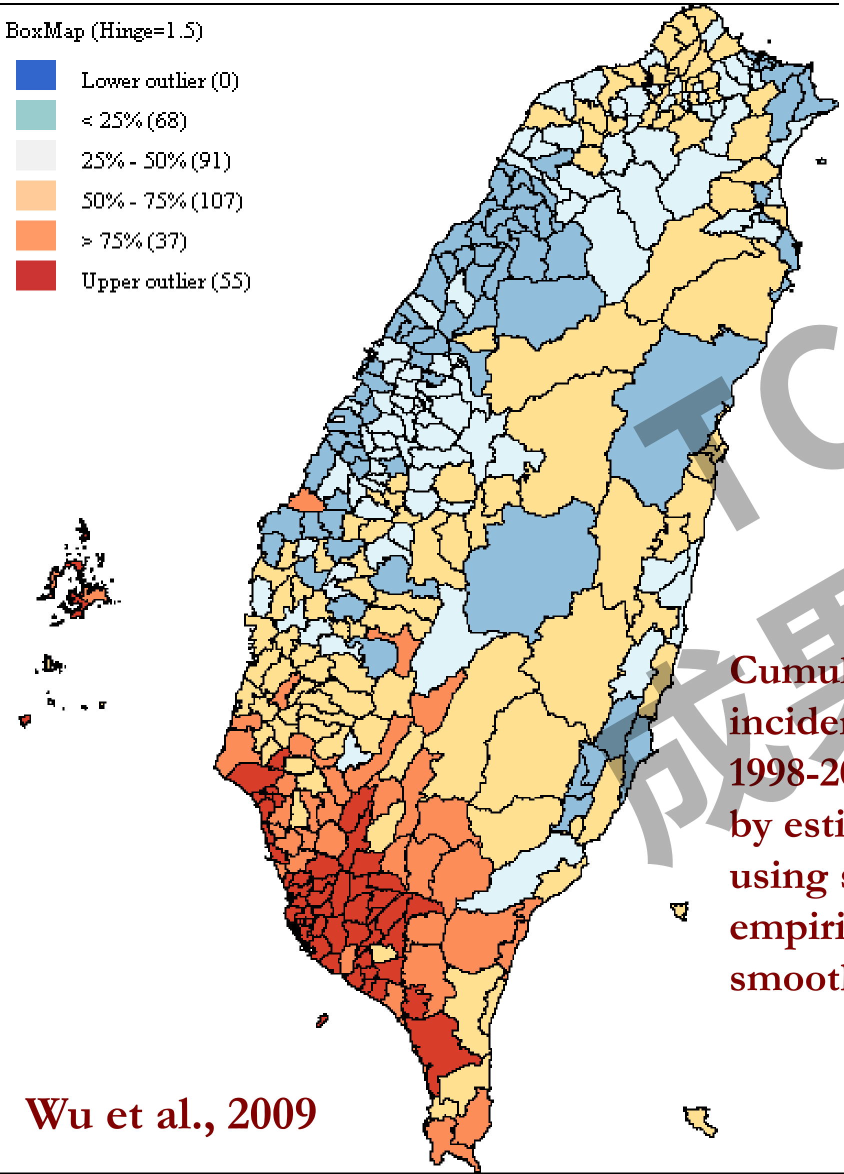
近年來興起社會環境因子於登革熱之效應討論

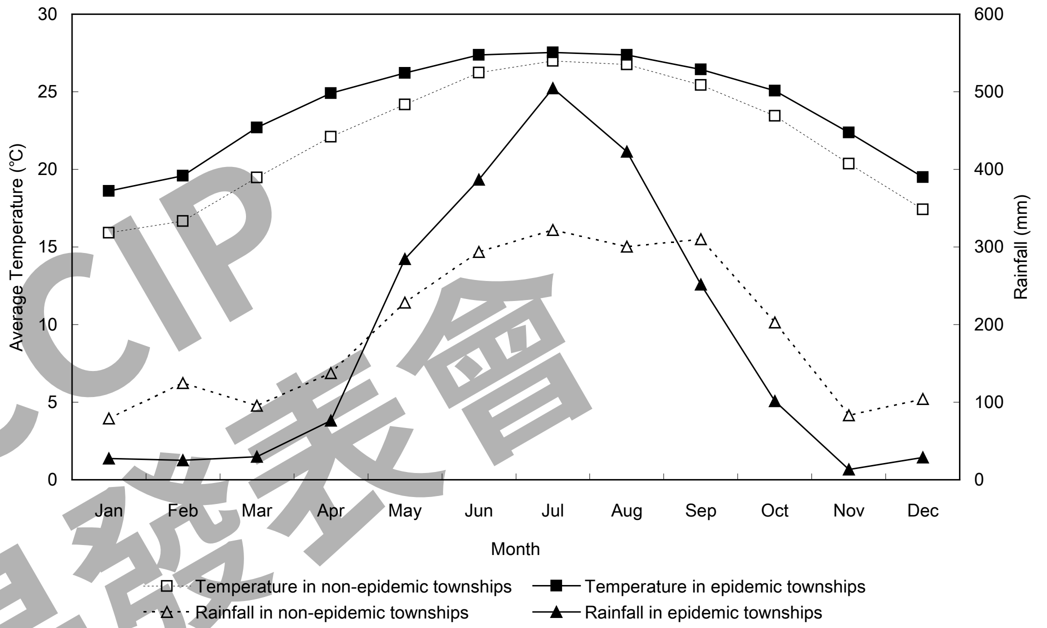
- 新加坡針對1974 – 2011登革熱發生率與人口、氣象資料分析
  - 人口數增多之RR為42.7，氣象因 子(均溫與最低溫)之RR僅有7.1
  - 人口對於疫情上昇之貢獻為86%，其餘因素為14%
- 新加坡地處長年濕熱氣候地帶，全年溫度差異不大
  - 年均溫遠> 30 ℃ 超越病媒蚊活動力降低閾值
  - 人口成長與密度提高、都市化發展是顯著驅力
  - 航空來客數與疫情並無相關





Higher temperature and urbanization affect the spatial patterns of dengue fever transmission in subtropical Taiwan





Cumulative incidence during 1998-2002 estimated by estimated by using spatial empirical Bayes smoothing method

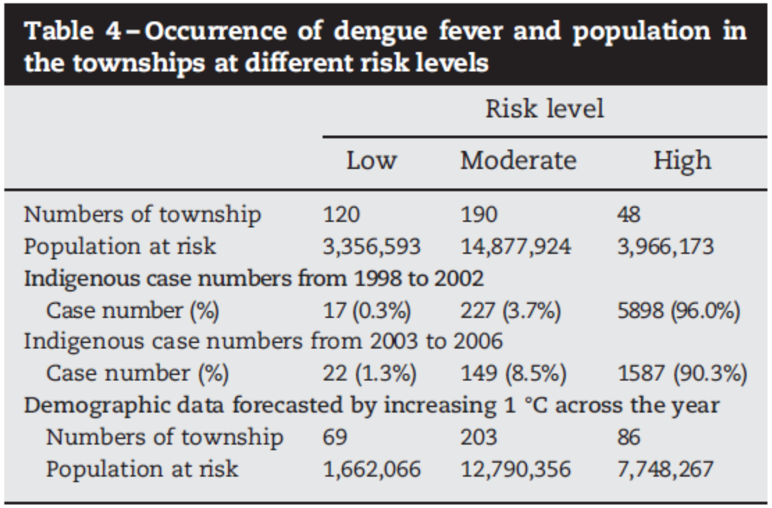
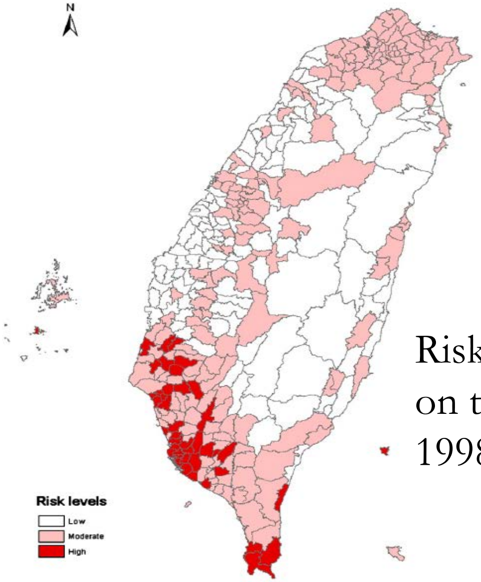


Table 4 – Occurrence of dengue fever and population in the townships at different risk levels

	Risk level		
	Low	Moderate	High
Numbers of township	120	190	48
Population at risk	3,356,593	14,877,924	3,966,173
Indigenous case numbers from 1998 to 2002			
Case number (%)	17 (0.3%)	227 (3.7%)	5898 (96.0%)
Indigenous case numbers from 2003 to 2006			
Case number (%)	22 (1.3%)	149 (8.5%)	1587 (90.3%)
Demographic data forecasted by increasing 1 °C across the year			
Numbers of township	69	203	86
Population at risk	1,662,066	12,790,356	7,748,267

Wu et al., 2009

2014研究發現氣溫與都市化為本土疫情風險因子



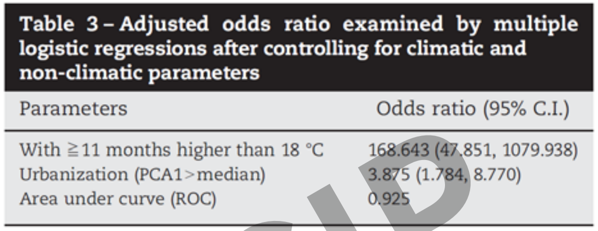


Table 3 – Adjusted odds ratio examined by multiple logistic regressions after controlling for climatic and non-climatic parameters

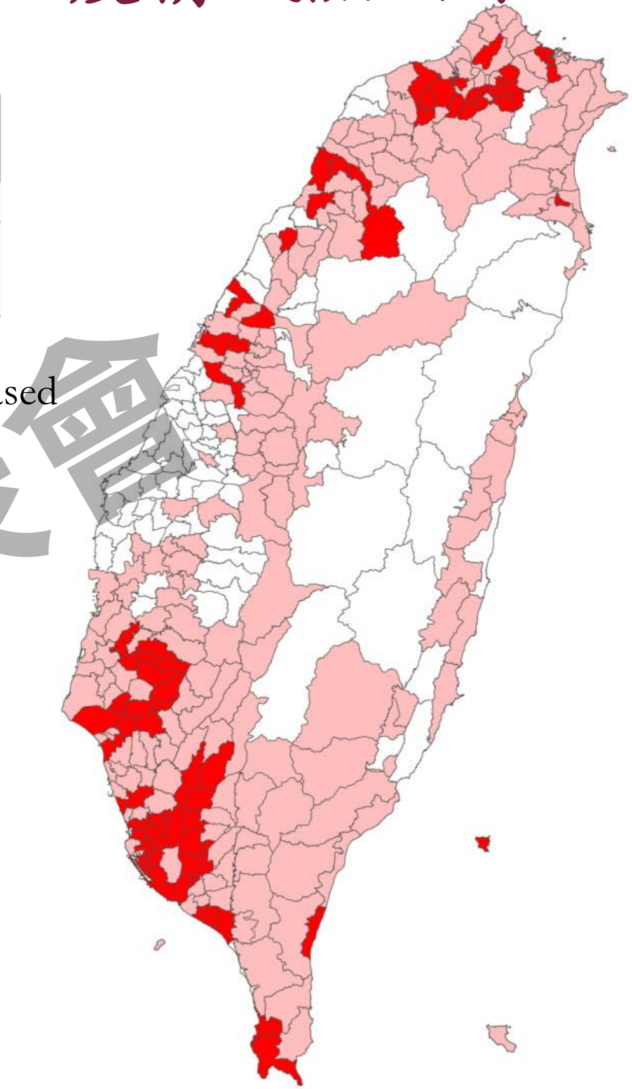
Parameters	Odds ratio (95% C.I.)
With ≧11 months higher than 18 °C	168.643 (47.851, 1079.938)
Urbanization (PCA1>median)	3.875 (1.784, 8.770)
Area under curve (ROC)	0.925

Risk map of dengue fever transmission based on temperature and urbanization between 1998 and 2002

	Risk level		
	Low	Moderate	High
Numbers of township	120	190	48
Population at risk [a]	3,356,593	14,877,924	3,966,173
Demographic data forecasted by IPCC-AR4 a1b ensemble [b]			
Numbers of township	78	198	82
Population at risk [c]	2,278,997	11,538,434	9,468,469

[b] IPCC-AR4 a1b ensemble（Data from NCDR)

[c] 2020 Population data (Data from NCDR)



Risk levels
- ☐ 0
- 🟥 1
- 🟥 2

Risk map of dengue fever transmission estimated by using average monthly temperature in IPCC-AR4 a1b ensemble（Data from NCDR)

2015使用IPCC AR5 RCP 8.5進行空間分析與潛勢預測

表1. 我國2010年人口普查資料之環境因子PCA分析結果

元素	解釋變異	Loading
因子 1: 都市化	37.09%	
平均人口密度(人/平方公里)		0.783
從事服務業比率(1/10000)		0.793
從事農業比率(1/10000)		-0.565
房屋擁有率(1/10000)		-0.454
每一萬人可使用診所數		0.768
收入中位數[a]		0.651
因子 2: 老年人口	15.89%	
獨居老人比率(1/10000)		0.867
老年人口比率(1/10000)		0.866
失能人口比率(1/10000)		0.732
因子 3: 原住民人口	12.00%	
原住民人口比率(1/10000)		0.886
房屋擁擠率(1/10000)		0.565
總解釋變異量	64.97%	

[a] 使用Wu et al., 2009資料

2010年人口普查資料由TCCIP提供

高於18°C的月份數、都市化與原民人口為風險因子

表2. 1998至2002年 vs. 2003至2013年登革熱平均發生率各因子之空間迴歸分析

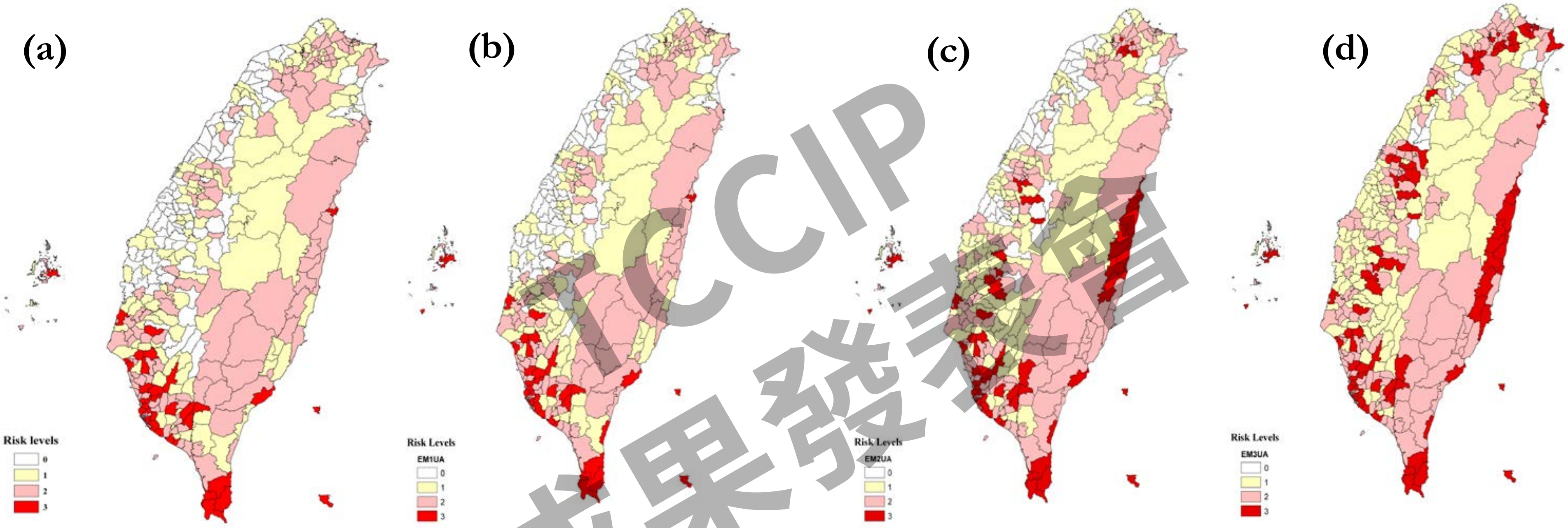
	[a]1998-2002年平均發生率	2003-2013年平均發生率			
係數	Spatial lag model	BI>0	BI>1	BI>2	Mean of BI
	$R^2=0.4989$	$R^2=0.4413$	$R^2=0.4379$	$R^2=0.4376$	$R^2=0.4391$
境外發生率	0.1564	0.2673	0.2319	0.189	0.2425
布氏指數調查率	0.0273	0.0278**	0.0297	-0.0017	0.0148
年雨量	-0.0116	-0.0134	-0.0146	-0.0127	-0.0155
每年平均月溫高於18°C的月份數	0.6660**	0.5855***	0.6200***	0.7454***	0.5920***
因素1：都市化	1.3198***	1.3818***	1.3208***	1.2289***	1.3578***
因素2：老年人口	-0.0014	0.1105	0.1279	0.1054	0.1587
因素3：原住民人口	0.9785	0.8410**	0.8339**	0.9219**	0.8206**
Constants	-5.1073	-4.653	-4.1822	-5.0143	-4.1796
Rho	0.7005	0.5615	0.5666	0.5773	0.5643

** $p<0.05$ ***$p<0.01$

[a] 布氏指數調查率為(Wu et al.,2009)資料

氣象因子解析度為5 km (NCDR提供 Version 3)

以IPCC AR5 RCP 8.5情境推估未來登革熱風險潛勢


(a)
(b)
(c)
(d)
Risk levels
0
1
2
3
Risk Levels
EM1UA
0
1
2
3
Risk Levels
EM2UA
0
1
2
3
Risk Levels
EM3UA
0
1
2
3

TCCIP
成果發表會

(a) 2003-2013年觀測溫度之登革熱風險分布地圖 及未來不同年份IPCC AR5 RCP8.5 Ensemble模式之登革熱風險潛勢地圖(b) 2016-2035年 (c) 2046-2065年 (d) 2081-2100年

實際案例驗證空間迴歸模式與風險地圖具有可信度

表3. 登革熱本土案例於不同風險等級鄉鎮之發生個數比例

	無風險	低風險	中風險	高風險
風險鄉鎮數	87	114	122	35
2003-2013年 本土案例數(%)	28 (0.28%)	761 (7.67%)	3577 (36.03%)	5562 (56.02%)
2014年 本土案例數(%)	20 (0.13%)	559 (3.6%)	3009 (19.4%)	11921 (76.87%)

- 2003-2013年臺灣登革熱本土案例中，有99.7%之案例發生地圖之具風險區域，且有92.05%案例發生於中度及高度風險區域
- 2014年本土案例亦有99.87%發生於地圖中具風險區域
- IPCC AR5 RCP 8.5情境模式推估未來登革熱風險區域版圖擴張
  - 2016-2035高風險鄉鎮數為28個、2046-2065為63個、2081-2100為91個，高風險鄉鎮數為現階段的2.6倍。

氣候變遷下對於登革熱之控管與調適作為不容忽視

- 2015年研究中空間迴歸模式分析2003-2013結果顯示：
  - 每年月均溫高於18℃的月份數、都市化及原住民人口等因子，對於本島登革熱平均發生率皆具有顯著相關性
  - 病媒蚊生態指標布氏指數BI僅於BI >0時有所相關，指數升高對於疫情發生並無顯著影響
  - 未來在臺灣登革熱疫情版圖將會擴張，預計風險鄉鎮數可能達到2.6倍
- Morin et al. 2012之回顧文章顯示：高溫雖有助於登革熱病毒傳播，但其他人為與環境因素影響更大
  - 承受較多日照之容器，保有更多子孓，因為高溫日照使水體升溫至適當範圍、水中有機物更多生存越佳
  - 降雨較多，有助於埃及斑蚊繁殖，人造容器為最主要棲息處
  - 乾燥年度因人類居家儲水增加，病媒蚊範圍反而擴張
  - 美墨邊境地帶研究兩區病媒蚊數量接近，但德州因住居環境具全空調、社經地位較佳、戶外活動時間少，疫情遠低於墨西哥

Barrera et al., 2006; 2011, Otero, 2006; Wong et al., 2011, Reiter et al., 2003

氣候變遷下對於登革熱之控管與調適作為不容忽視

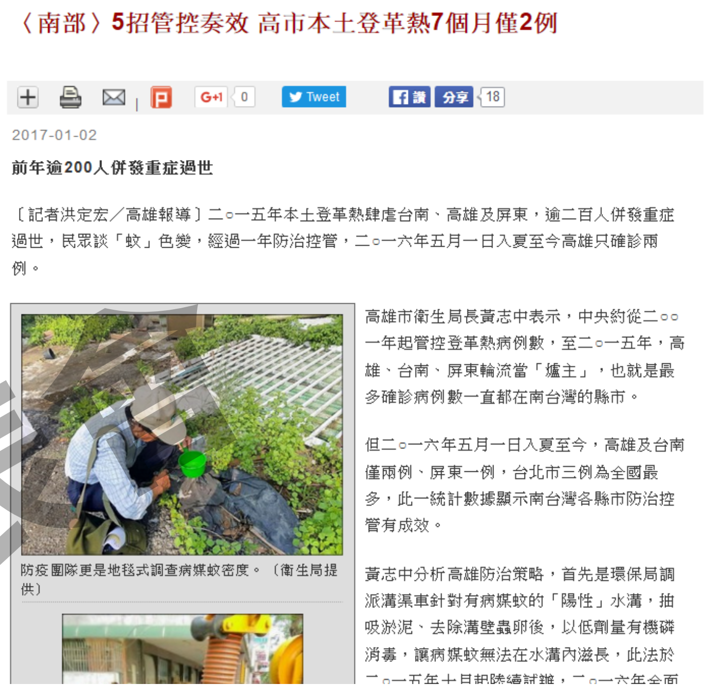
- 氣候變遷將改變病媒蚊之時空分布，進而影響登革熱疫情
    - 延長病媒蚊活動時間、擴張區域、縮短EIP循環
    - 對於熱帶或溫暖區域，增溫卻反而對於病媒蚊活動力、繁殖力有負面效應
    - 對病媒蚊展最佳之溫度範圍，不見得有利於病毒繁殖

Thomas et al.., 2011; Morin et al.., 2012

- 防治作為也可能是研究干擾因子

Hurtado-Diaz et al., 2007; Tipayamongkholgul et al., 2009

TCCIP 成果發表


〈南部〉5招管控奏效 高市本土登革熱7個月僅2例

2017-01-02

前年逾200人併發重症過世

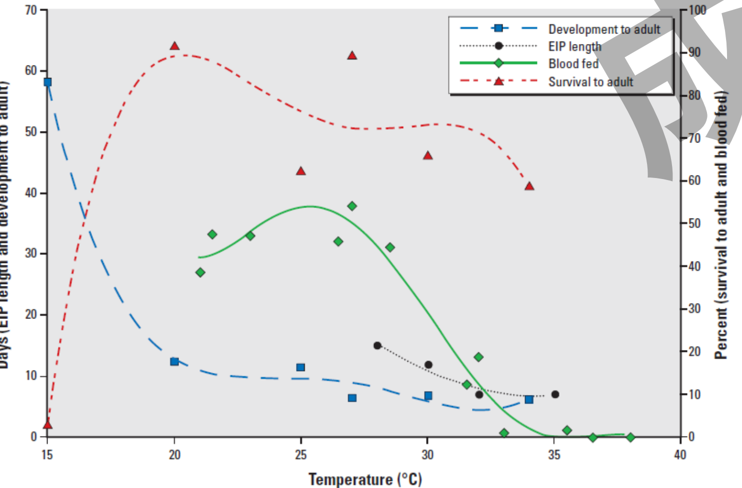
〔記者洪定宏／高雄報導〕二○一五年本土登革熱肆虐台南、高雄及屏東，逾二百人併發重症過世，民眾談「蚊」色變，經過一年防治控管，二○一六年五月一日入夏至今高雄只確診兩例。

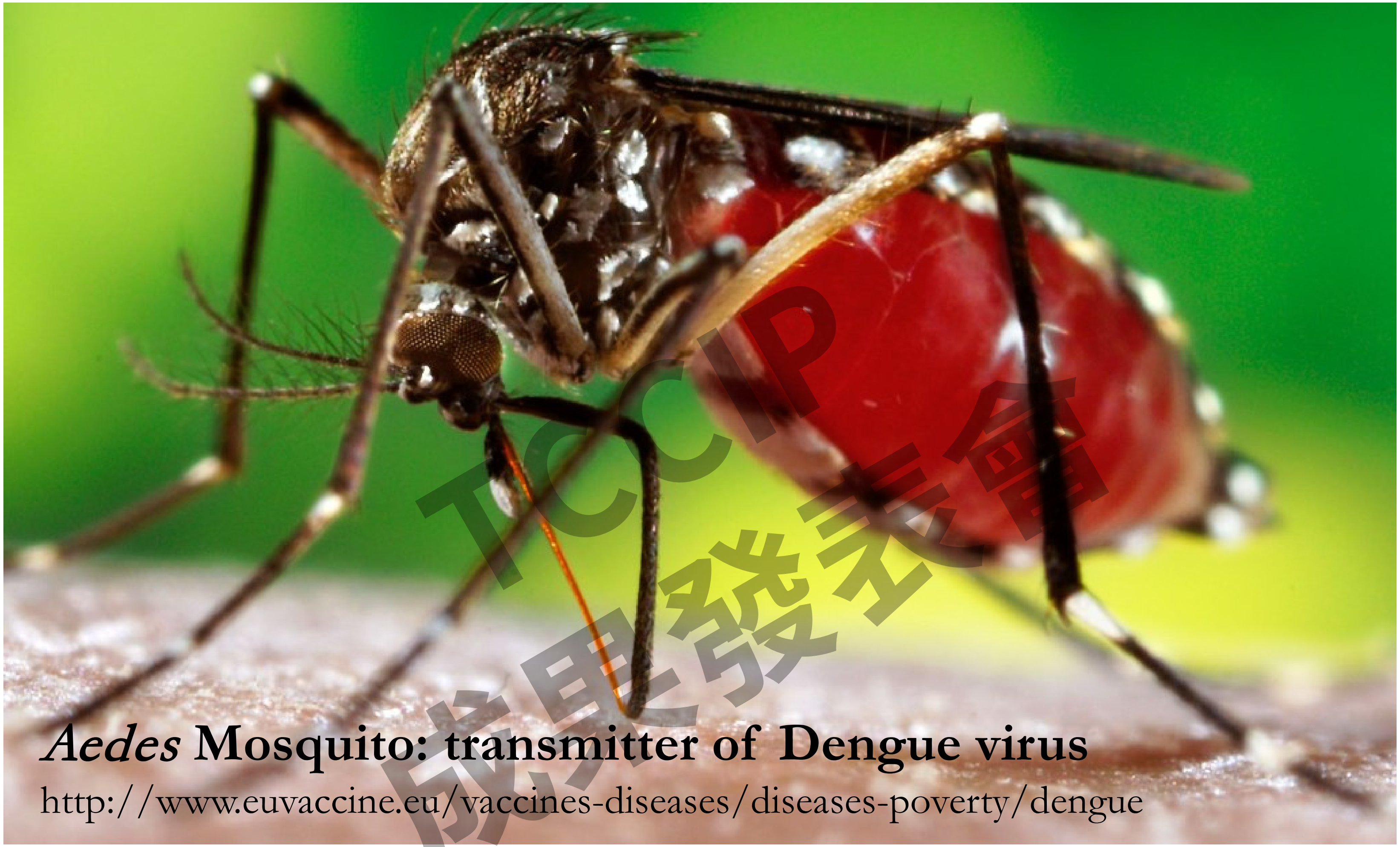
防疫團隊更是地毯式調查病媒蚊密度。（衛生局提供）

高雄市衛生局長黃志中表示，中央約從二○○一年起管控登革熱病例數，至二○一五年，高雄、台南、屏東輪流當「爐主」，也就是最多確診病例數一直都在南台灣的縣市。

但二○一六年五月一日入夏至今，高雄及台南僅兩例、屏東一例，台北市三例為全國最多，此一統計數據顯示南台灣各縣市防治控管有成效。

黃志中分析高雄防治策略，首先是環保局調派溝渠車針對有病媒蚊的「陽性」水溝，抽吸淤泥、去除溝壁蟲卵後，以低劑量有機磷消毒，讓病媒蚊無法在水溝內滋長，此法於二○一五年十月起陸續試辦，二○一六年全面





Aedes **Mosquito: transmitter of Dengue virus**

http://www.euvaccine.eu/vaccines-diseases/diseases-poverty/dengue

Dengue is estimated to infect close to 400 million people and cause 250,000 ~ 500,000 cases of severe dengue annually, leading to hundreds of thousands of hospitalizations, countless hours of lost productivity, and approximately 20,000 deaths per year.

The global distribution and burden of dengue, *Nature*, 2013, 25(496).