

面臨氣候變遷挑戰養蠶業之因應策略

廖久薰（副研究員）

前言

昆蟲是地球上數量最多且種類豐富的物種，對地球生態、環境及人類經濟有其重要性。家蠶（*Bombyx mori* L.）絲具有親膚、透氣、抗菌及良好的延展特性，人類長期飼養家蠶並生產蠶絲，不僅帶動農村經濟發展，養蠶業（sericulture）與絲路（silk road）更是串起東西方科學、貿易及文化交流的重要產業。

家蠶長期以人為飼養，幾乎完全喪失野外生存的能力，因此對於飼養環境的敏感度顯著高於其它物種。桑樹是家蠶的主要食物來源，能夠滿足家蠶生長及其蠶繭生產所需的營養需求。在影響蠶繭產量的因素中，以桑葉占 38.2%，其次是氣候（37.0%）、飼養技術（9.3%）、蠶品種（4.2%）、蠶卵（3.0%）以及其他因素（8.2%）（Raksha Sharma *et al.*, 2024）。在氣候因子中尤以溫度影響最大，家蠶生育溫度範圍為 20~30°C，最適的溫度介於 25~28°C，有利於家蠶生育、蠶繭產量及品質。

全球氣候變遷現象包括全球平均氣溫升高，降水模式改變而導致部分地區乾旱或水災，或颱風及颶風頻率增加等極端氣候，對農作生產與經濟收入影響甚鉅。為因應全球氣候變遷對蠶桑產業的衝擊，並維持產業能夠永續發展，本文統整研究報告，根據蠶桑品種改良、飼養管理、農業科技及國際交流等綜合策略，逐一說明因應作為。

氣候變遷對養蠶業的影響

氣候變遷是指自然氣候模式，如降雨、風及熱等快速變化的全球現象。氣候變遷對全球物種的生存和生態系統的穩定構成了重大挑戰。家蠶作為重要的經濟昆蟲，因其為變溫動物，表示牠的體溫與周遭環境密切相關，進而影響家蠶行為、分佈、發育、存活、生長及繁殖。高溫會加速家蠶代謝，尤其在四、五齡幼蟲時期適逢高溫，導致蠶絲產量下降，並且增加對微生物的感受性，對其生長發育、蠶繭品質、產量與生殖功能均可能受到干擾。比較不同飼育溫度對國內家蠶推廣品種及原種的生育及繁殖力，調查結果發現所有供試品種（系）在 30°C 環境下，幼蟲重量、健蛹率、營繭率及繁殖力與 25°C 對照組沒有差異；當溫度處理達 35°C 時，顯著影響家蠶的健蛹率及繁殖力（表一）。

桑樹是家蠶主要食物來源，極端氣候下，降雨模式改變與土壤理化特性變化，包括土壤濕度、肥力及田間蟲害與微生物活性等，直接影響桑樹生長、品質及營養。氣候變遷的現象，包括降雨、濕度、溫度及土壤肥力等環境因素相互作用，影響植物生命週期，尤其會影響光合作用，而造成桑樹栽培面積縮減及桑葉減產。此外，田間溫度波動影響桑樹新芽萌發與新葉展開，對家蠶健康與蠶絲產量皆有顯著影響。短延時強降雨或長時間降雨的季節養蠶，桑葉挾帶大量雨水與濕氣，需耗費成本儘速風乾，否則增加室內濕度；桑葉表面的雨水易滋生病原菌，造成家蠶感染及死亡。

表一、不同溫度處理對家蠶原種及推廣品種生育及繁殖力之影響

品種(系)	溫度	幼蟲重量 (g)	健蛹率 (%)	營繭率 (%)	繁殖力 (顆/蛾)
臺蠶八號	25	1.95±0.23 b ^z	100±0 a	19.7±3.0 a	476±43 a
	30	2.45±0.27 a	65.3±9.4 c	19.8±1.5 a	460±57 a
	35	2.29±0.11 ab	83.6±7.4 b	17.6±0.8 a	469±76 a
臺蠶九號	25	2.00±0.18 b	98.0±3.4 a	15.7±1.0 a	381±31 a
	30	2.24±0.02 a	87.6±10.9 ab	16.0±1.3 a	410±31 a
	35	2.19±0.03 ab	75.5±12.5 b	14.7±2.5 a	357±72 a
臺蠶十號	25	2.77±0.33 a	97.9±3.6 a	22.4±0.3 a	327±49 b
	30	2.66±0.16 a	83.3±15.7 a	19.7±1.1 b	483±45 a
	35	2.82±0.16 a	63.2±1.3 b	16.7±0.9 c	406±90 ab
臺蠶十一號	25	2.96±0.11 a	95.8±3.6 a	18.3±1.1 a	570±59 a
	30	2.97±0.16 a	87.6±6.4 a	15.3±0.9 b	582±44 a
	35	3.03±0.24 a	0 b	0 c	0 b
瀛國×瀛富	25	3.19±0.22 a	98.4± 3.4 a	25.2±0.5 a	709±117 a
	30	3.15±0.14 a	79.2±21.9 a	24.8±0.5 a	578±46 b
	35	3.33±0.17 a	0 b	0 b	0 c
華農×華豐	25	3.30±0.08 ab	94.0±5.9 a	26.6±2.3 a	472±65 a
	30	3.10±0.17 b	79.4±7.6 b	27.1±2.6 a	558±92 a
	35	3.51±0.10 a	0 c	0 b	0 b
(瀛國×瀛富)×(華農×華豐)	25	4.09±0.18 ab	100± 0 a	26.3±1.1 a	598±122 a
	30	4.00±0.12 b	87.9±10.5 a	25.4±1.5 ab	631±77 a
	35	4.23±0.22 a	39.0±10.4 b	22.9±1.1 b	625±112 a

^zmean ± standard error (n=4) followed by the same letter within the same variety (line) are not significantly different at 5% level by LSD test.



圖一、桑樹品質對家蠶健康有顯著影響。

為了因應溫度波動對養蠶業挑戰，近年來研究學者探討家蠶的高溫適應機制與熱休克蛋白（Heat Shock Proteins, HSPs）表現。熱休克蛋白是一類在逆境（如高溫）下大量表現的保護性蛋白質，具有穩定細胞蛋白質結構及協助折疊與修復受損蛋白的功能。文獻指出家蠶在高溫環境下，體內會顯著提升如 HSP70、HSP90 等基因的表現量，以減緩高溫造成的細胞損傷。將第五齡家蠶暴露於 34°C，與對照組（26°C）相比，其體內超過 3,000 個基因表現發生變化，涵蓋免疫調節、抗氧化代謝與絲蛋白合成等關鍵路徑，其中

以 HSPs 基因最為顯著。此外熱逆境對家蠶的繁殖系統亦有負面影響。高溫環境會抑制卵黃原蛋白（vitellogenin）基因的表現，導致卵巢發育遲緩與產卵數下降，對家蠶繁殖與產業維繫帶來隱憂。

養蠶業面對氣候變遷之調適策略與作為

一、育種與品種改良

- (1) 進行桑樹品種改良：未來可朝向選育耐旱、耐熱或耐淹水特性的新品種，提升桑樹在極端氣候下的適應力。桑樹透過新品種選育及田間營養管理，有機會提升桑葉營養組成與再生力，即使面對氣候變遷的產葉量下降，仍能提供家蠶足夠養分。
- (2) 進行家蠶品系改良：選育耐熱與抗病品系，維持家蠶存活率及蠶繭產量。若能以家蠶熱休克蛋白表現模式與表型連鎖，建立分子標誌輔助選育技術，可快速培育具氣候韌性的新品系。

二、改善蠶室與飼養技術

- (1) 建設溫濕自動控制的蠶室：可以自動監控養蠶室的環境條件，降低室外極端天氣對蠶室的影響。室外架設綠能與智慧系統，如太陽能通風或自動濕度控制，可減少能源消耗。
- (2) 調整飼養時程：農民可根據氣象預報調整養蠶期與桑葉採收時程，避開短延時降雨或極端高溫季節。採用分期分批飼養模式，可降低固定季節的天候因子帶來的風險。建立桑葉採後保鮮技術，可因應梅雨及颱風季節，強降雨及濕葉對家蠶健康風險。因應氣候條件適度調整採收桑葉的時間，並透過保鮮技術維持桑葉營養品質，以維護家蠶適口性與蠶繭產量。

三、推動智慧農業

隨著人工智慧及物聯網科技蓬勃發展，建立智慧養蠶（smart sericulture），以自動化養蠶系統，即時監控養蠶室溫濕度與病害風險，同時導入氣象預警系統與決策支援平台，精準掌握田間桑樹健康與養分狀況，適時調整家蠶取食與生育。協助農民提前準備，減少勞力及人為錯誤，優化蠶桑生產與提高蠶繭產量是未來發展趨勢。

四、病蟲害預防與綠色管理

建立區域性桑樹病蟲害預警網絡，有效監控並快速通報，整合相關防治資源。建立並推廣桑樹生物防治，如利用天敵或微生物菌劑防治害蟲與病原菌，減少農藥使用，不僅可以維護桑園生態平衡，還可確保家蠶取食安全。此外，著重人工飼料養蠶的研究，可在飼料中添加天然抗氧化劑或免疫促進物質，增強家蠶免疫力，朝向蠶桑綠色管理的目標。

五、區域合作與國際交流

加強與印度、日本或泰國等其他蠶桑主要生產國有關氣候調適經驗交流，以推動區域性的物候資料共享，促進家蠶遺傳資源保護與利用，提升全球蠶桑產業韌性。

結語

氣候變遷顯著影響蠶桑生產與產業發展，為提升家蠶對高溫環境的適應力，研究學者積極開發具高溫耐受性的品系，期望在高溫條件下仍能維持良好的蠶繭產量與存活率。未來應朝向整合分子育種與飼養技術，以強化家蠶對極端氣候的韌性。氣候變遷雖然對蠶桑產業帶來挑戰，但透過科技創新與智慧管理，蠶桑業依然具有邁向更經濟、可持續與具韌性的前景。