

# 高溫對家蠶生育的影響

廖久薰（副研究員）

## 前言

家蠶是人為長期飼養與馴化的經濟昆蟲，其生長與蠶絲產品生產受到環境因子影響甚巨，尤其是溫度因子。家蠶幼蟲的最適飼養溫度是 25~28℃，一旦飼養環境超過 28℃，家蠶的健康、蠶繭生產量及蠶絲品質會明顯低下。高溫同時也會影響蠶卵受精率，在炎熱夏季蠶卵的未受精卵比例大增。

近來全球氣候變遷速率加劇，全球暖化、大氣 CO<sub>2</sub> 濃度增加、極端氣候頻繁及水資源分配不均等，導致農業生產受阻，田間桑樹因此生長不良、桑葉品質不佳及收穫困難。綜觀百年來臺灣地區氣候，暖化趨勢極為明顯，20 世紀全球平均氣溫上升 0.6℃ / 百年，臺灣陸地平均溫度從 1901 至 2000 年上升 1.3℃，暖化速度是全球總平均的兩倍，且夜溫上升的幅度大於日間，因此日夜溫差呈現下降趨勢。學者分析臺灣暖化嚴重的原因在於都市密集、人口密度高，加上工業化程度高，導致暖化的速度加快。農民若在沒有控溫設備下養蠶，最直接的影響便是養蠶室溫度不穩定，採收桑葉快速萎凋，家蠶呼吸速率增快，加上室內通氣不良，造成 CO<sub>2</sub> 濃度積累，家蠶活力及食慾變差，抗病力不佳，導致家蠶發育及蠶繭生產量低下，直接影響蠶農生計。Kumari *et al.*(2010) 以波動溫度飼育不同齡期家蠶幼蟲比各齡期恆溫飼養更有利於幼蟲的生長與健康。將細胞短暫暴露於

近致死高溫下，細胞會啟動熱休克蛋白 (heat shock proteins) 表現與作用，以保護生物體免受嚴重的溫度變化帶來的影響，避免死亡。因此，為調適氣候變遷造成溫度對家蠶的生育力之影響，探究在變溫環境下家蠶對高溫的適應能力及選育耐熱品種是刻不容緩的工作。

## 家蠶對溫度耐受性

家蠶生育最適溫度雖然介於 25~28℃，但仍依幼蟲的齡期不同而有所差異，一齡建議溫度 28±1℃，每增加 1 齡，養蠶室溫度調低 1℃直至上簇及化蛹。每年 4 月中旬至 6 月上旬是臺灣地區春季養蠶期，若當年度 5 月份氣溫過高對家蠶的生長會造成極大挑戰。綜觀過去 30 年臺灣 5 月份平地平均氣溫，從 1991 年 28.9℃至 2021 年 31.7℃，不利於家蠶生長。再者近年來頻繁出現短時間內氣溫驟增、跳崖式降溫或強降雨等極端現象，導致農作物或經濟動物適應不良，尤以家蠶屬於變溫動物，對外界溫度急遽變化時無法自發性立即性調整，造成體內生理活動調適不良而死亡。

家蠶幼蟲對溫度的適應性不同，一齡適應性最強，其次是二齡、三齡及四齡，五齡的耐受性較差；壯蠶期（四、五齡）食量與活動力增加，高溫引起家蠶呼吸作用旺盛，微環境 CO<sub>2</sub> 濃度增加，容易造成家蠶取食量及消化率低下，蠶體養分累積不足，營養代

謝不平衡，其生長發育及蠶繭品質易受到影響。不同蠶種對高溫的耐受程度也不同，多化性蠶適應性最高，二化性蠶其次，一化性蠶最不耐熱。惟多化性家蠶的蠶絲產量及品質遠不如二化及一化性蠶，因此在經濟生產上，農民偏好兼具耐高溫、體健及蠶絲品質佳的品種作為適應氣候暖化及環境極端變化的選育目標。以多化性蠶對溫度耐受性高之特性及二化性蠶強健及蠶絲品質佳之特性，若能育成二化與多化性蠶的雜交新品種，將有機會因應全球暖化的嚴苛條件並兼顧蠶絲高產及優良品質。

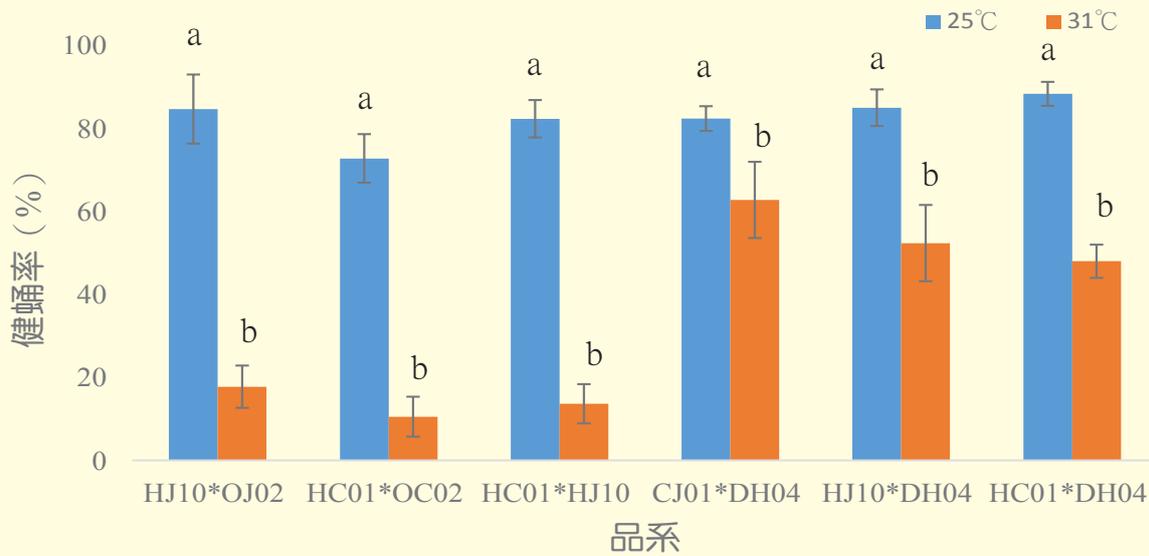
### 家蠶遭遇高溫及變溫耐受性之研究

本場經 5 年調查，完成以下試驗：一、以 30°C 高溫環境全齡飼養，廣篩出 13 種可耐高溫的家蠶品系（種），包括 12 個二化性種原與 1 個多化性蠶種。二、將 13 個蠶種飼養在無溫控養蠶室以模擬逆境且紀錄室內溫度變化，並以全開門窗自然通氣調節 CO<sub>2</sub>；因適度通風可以緩解高溫對家蠶的傷害，即使室外氣溫度達 34°C，家蠶仍可正常生長及結繭。三、將 13 個品系（種）相互雜交後觀察全齡飼育在溫控於 31°C 養蠶室的健康情形，試驗結果顯示，若親本之一為多化種的雜交組合在 31°C 養蠶室皆可存活；二化種雜交 F<sub>1</sub> 的家蠶因高溫造成桑葉快速乾燥品質不良使其食慾不佳，導致體型過小或抗病性差而死亡（圖一）。四、第 4 年進一步調升室溫至 34°C 時，致使桑葉萎凋更加快速，且家蠶對高溫無法耐受，存活率低於 50%，調查數據顯示以含多化性親本之雜交 F<sub>1</sub> 蠶種對高溫的耐受性較好。導入回交育種形成

近同源系 (near isogenic line, NIL)，引入多化性耐熱特性到二化性種原，有助於後代的生長及蠶繭生產 (Das *et al.*, 2013)。五、試驗的第 5 年，將前一年經高溫飼育存活的 F<sub>1</sub> 與經濟性狀好的二化性親本回交一代 (BC<sub>1</sub>)，每日移入 36°C 非致死高溫生長箱飼養 8 小時，再移回 25°C 養蠶室直至結繭，結果顯示家蠶健蛹率達 95.7~99.3%，繭層率較雜交親本增加 18.5%，單粒繭層重量增加 29.4%（表一），推測家蠶在變溫處理高溫過程，蠶體內可能產生熱休克蛋白的保護因子，改變家蠶對 36°C 高溫的適應能力，同時改進蠶繭品質，本假說應可進一步探討熱休克蛋白基因表現，以確定其耐熱表現機轉。

### 結論

隨著全球氣候變遷造成的暖化現象，對家蠶生育帶來極大的威脅且可能造成蠶農民的損失，探究家蠶種原耐熱特性及選育可適應高溫逆境的品種為刻不容緩的工作。本研究篩選 13 個對高溫耐受性強的家蠶種原，採用回交育種策略提高子代的耐熱性與蠶繭經濟性狀的表現。未來將探討回交次數與提高經濟性狀之相關性，以選育出具耐熱高產之新品種為目標。本研究發現家蠶幼蟲以變溫處理飼養，可能觸發家蠶生理保護機轉，使蠶體免於 36°C 高溫傷害。未來將進一步以分子層次探討變溫處理對家蠶熱休克基因的啟動與蛋白質表現，作為選育耐熱家蠶適應性的評估指標。



圖一、F<sub>1</sub> 品系在 25 及 31°C 養蠶室的健蛹率表現。誤差線是平均值標準差 (n=3)，同雜交組合兩兩比較，平均值上示相同英文字母為 5% 顯著水準下經最小顯著差異 (LSD) 測驗未達顯著差異。

表一、BC<sub>1</sub> 世代飼養在 36/25°C 變溫處理的健蛹率及蠶繭性狀表現情形

雜交組合	世代	健蛹率 (%)	繭層率 (%)	單粒繭層重 (g)	繭長 (mm)	繭幅 (mm)
A1	BC <sub>1</sub>	97.3 ± 0.6 <sup>x</sup> (2.7) <sup>y</sup>	16.3 ± 0.6(18.5)	0.22 ± 0.01(29.4)	31.0 ± 0.2(6.9)	18.3 ± 0.6(2.8)
	P <sub>1</sub>	94.8	13.8 ± 0.5	0.17 ± 0.01	29.0 ± 0.1	17.8 ± 0.1
A5	BC <sub>1</sub>	96.3 ± 1.5(-1.7)	16.9 ± 1.5(9.0)	0.25 ± 0.01(8.7)	34.4 ± 0.4(5.2)	16.7 ± 0.8(-1.2)
	P <sub>1</sub>	98.0	15.5 ± 0.1	0.23 ± 0.01	32.7 ± 0.7	16.9 ± 0.1
A6	BC <sub>1</sub>	98.7 ± 1.2(4.7)	17.4 ± 0.9(14.9)	0.24 ± 0.03(14.3)	32.5 ± 0.7(2.5)	16.8 ± 0.5(-4.5)
	P <sub>1</sub>	94.3	15.2 ± 0.3	0.21 ± 0.01	31.7 ± 0.6	17.6 ± 0.3
A10	BC <sub>1</sub>	97.3 ± 0.6(5.2)	16.0 ± 0.2(5.0)	0.23 ± 0.01(15)	32.2 ± 1.2(2.5)	17.1 ± 0.6(-3.9)
	P <sub>1</sub>	92.5	15.2 ± 0.4	0.20 ± 0.01	31.4 ± 0.3	17.8 ± 0.5
A12	BC <sub>1</sub>	98.3 ± 1.5(0.3)	16.9 ± 1.5(7.2)	0.20 ± 0.01(-13)	30.7 ± 0.6(-6.9)	16.4 ± 0.3(-8.9)
	P <sub>1</sub>	98.0	15.8 ± 0.4	0.23 ± 0.03	33.0 ± 0.5	18.0 ± 0.3
B1	BC <sub>1</sub>	95.7 ± 0.6(4.8)	16.3 ± 0.6(15.1)	0.23 ± 0.01(27.8)	32.6 ± 0.6(5.8)	16.4 ± 0.5(0)
	P <sub>1</sub>	91.2	14.2 ± 0.3	0.18 ± 0.01	30.8 ± 0.3	16.4 ± 0.2
B2	BC <sub>1</sub>	97.3 ± 1.2(4.3)	16.2 ± 2.3(14.9)	0.21 ± 0.04(0)	30.8 ± 0.6(-0.3)	16.8 ± 0.5(-5.1)
	P <sub>1</sub>	93.3	14.1 ± 0.6	0.21 ± 0.01	30.9 ± 0.1	17.7 ± 0.2

<sup>x</sup> 平均值 ± 標準差 (n=3)

<sup>y</sup> BC<sub>1</sub> 對親本 P<sub>1</sub> 的增減幅度