結果

一、不同溫度下的最高攻擊速度

(一) 菊池氏龜殼花

測試的 8 隻菊池氏龜殼花中 (附錄一) ，只有在 36℃時有 2 隻個體未發生攻擊行爲，此溫度的攻擊行爲發生率爲 75%，其餘測試溫度的攻擊行爲發生率均爲 100% (表一) ，於 27℃達到最高攻擊速度，最高攻擊速度爲 157.4±6.6cm/s (表二、圖三) 。而利用最小凸多邊形法計算出攻擊速度表現能力達 95%以上的溫度寬度－B_{95}爲 7.6±1.3℃，其高低界線分別爲 32.0±0.9℃與 24.4±1.7℃；表現能力達 80%以上的溫度寬度－B_{80}爲 21.3±1.4℃，其高低界線分別爲 35.0±0.6℃與 13.8±1.4℃ (表三) 。

(二) 赤尾青竹絲

赤尾青竹絲 (n=8) 在 7℃時有 5 隻個體未發生攻擊行爲，此溫度的攻擊行爲發生率爲 38%；36℃時有 1 隻個體未發生攻擊行爲，此溫度的攻擊行爲發生率爲 88%，其餘溫度的攻擊行爲發生率均爲 100%，於 32℃達到最高攻擊速度，最高攻擊速度爲 175.4±7.8cm/s。赤尾青竹絲的B_{95}爲 7.1±1.5℃，其高低界線分別爲 35.1±0.7℃與 27.9±2.0℃；B_{80}爲 18.3±1.9℃，其高低界線分別爲 35.8±0.5℃與 17.5±1.9℃。

(三) 龜殼花

龜殼花 (n=9) 在 7℃時已經完全沒有攻擊行爲發生，此溫度的攻擊行爲發生率爲 0%，而 36℃時則是有 2 隻個體未發生攻擊行爲，此溫度的攻擊行爲發生率爲 78%，其餘溫度的攻擊行爲發生率均爲 100%，於 32℃達到最高攻擊速度，最高攻擊速度爲 205.9±8.9cm/s。龜殼花的B_{95}爲 8.8±1.3℃，其高低界線分別爲 31.7±0.7℃與

22.8±1.3℃；B_{80}爲 20.2±0.9℃，其高低界線分別爲 34.7±0.4℃與 14.5±0.8℃ 。

(四) 三種龜殼花屬蛇類最高攻擊速度之比較

以One-factor ANOVA分別針對B_{95}溫度寬度、B_{80}溫度寬度以及兩者的低溫界線進行分析，而B_{95}與B_{80}的高溫界線當中至少有一種實驗蛇的數據不符合常態分佈 (Normal distribution) ，因此以One-factor Kruskal-Wallis ANOVA進行統計分析。三種龜殼花屬蛇類的B_{95}溫度寬度 ($F_{2,22}$=0.4274，p=0.6575) (圖四) 、B_{95}低溫界線 ($F_{2,22}$=2.5565，p=0.1004) 、B_{95}高溫界線 ($F_{2,22}$=4.8286，p=0.0183) (圖五) 都沒有明顯的差異；而三種蛇的B_{80}溫度寬度 ($F_{2,22}$=1.0835，p=0.3558) 、B_{80}低溫界線($F_{2,22}$=1.9468，p=0.1665) 、B_{80}高溫界線 ($F_{2,22}$=5.0402，p=0.0158) (圖六) 同樣不具顯著的差異。顯示三種蛇最高攻擊速度表現中，95%與 80%表現能力的最適溫度範圍 (optimal temperature range) 與分布的位置都是相近的。

(五) 三種龜殼花屬蛇類沒有發動攻擊的比率比較

以邏輯迴歸 (logistic regression) 的 likelihood-ratio Chi-square test 進行檢測，於 7℃時三種蛇類沒有發動攻擊行爲的比率具有顯著的差異 ($p<0.0001$) ；龜殼花不發動攻擊行爲的比率最大，赤尾青竹絲次之，菊池氏龜殼花的比率則最低。但在 36℃的高溫下這三種蛇沒有發動攻擊行爲的比率則是無顯著差異 (p=0.7946)。

二、不同溫度下對刺激物的反應行爲表現

(一) 攻擊相關行爲

1. 未轉頭直接攻擊

菊池氏龜殼花表現未轉頭直接攻擊的行爲比率，有大於另外兩種

蛇的趨勢 (圖七) 。以邏輯迴歸 (logistic regression) 的 likelihood-ratio Chi-square test 進行檢測，顯示菊池氏龜殼花及赤尾青竹絲未轉頭直接攻擊行爲的表現能力皆受到溫度影響，龜殼花表現能力與溫度的關係則是不顯著 (菊池氏龜殼花 p=0.0004，赤尾青竹絲 p<0.0001，龜殼花 p=0.0045) 。我們原本假設行爲表現與溫度之間應當呈現近似鐘型曲線的二次方關係，但是菊池氏龜殼花與赤尾青竹絲的溫度平方自變數 (independent variable) 均爲不顯著 (菊池氏龜殼花 p=0.0142，赤尾青竹絲 p=0.7214) ；顯示溫度與未轉頭直接攻擊成一次性 (linear) 關係，因此僅以單次方邏輯迴歸進行分析。結果顯示此兩種蛇的表現能力均與溫度的增加呈現正相關。溫度每上升 1℃，菊池氏龜殼花表現此行爲的勝算 (odds) 便增加 10%；赤尾青竹絲的勝算 (odds) 則是每次增加 17%；即溫度越高表現能力越佳，36℃爲兩種蛇未轉頭直接攻擊的最適溫度。

2. 轉向或攻擊方位錯誤

三種蛇在 17℃到 32℃之間不會發生轉向或攻擊方位錯誤的行爲，而在 7℃與 36℃則均會發生此行爲。在 36℃下三種蛇發生此行爲的比率都是 8%，而在 7℃時菊池氏龜殼花、赤尾青竹絲和龜殼花發生此行爲的比率分別是 8%、25%和 17% ，此外有 8%的赤尾青竹絲、25%的龜殼花呈現連攻擊姿勢都無法形成的無反應狀態 (表四) 。雖然菊池氏龜殼花在低溫下發生此行爲的比率似乎小於另兩種蛇類，但統計上沒有顯著的差異 (likelihood-ratio Chi-square test，p=0.1771)。

菊池氏龜殼花與龜殼花在 36℃的實驗溫度中均有 1 隻個體發生方位判定錯誤；兩種蛇類此行爲發生的比率均爲 8%，而發生錯誤的個體似乎因高溫導致紊亂，呈現沒有刺激物也持續不斷攻擊，或者是不

判定刺激物位置便隨意攻擊的狀況。

3. 喪失平衡能力

喪失平衡能力的行爲只發生在低溫的情況，赤尾青竹絲在 7℃有 17%的個體喪失平衡能力，龜殼花則是 12℃即有 33%的個體喪失此能力，7℃喪失的比例更高達 58%，此外有 8%的赤尾青竹絲、25%的龜殼花呈現連攻擊姿勢都無法形成的無反應狀態，而菊池氏龜殼花都沒有發生此行爲 (表五) 。三種蛇於 7℃喪失平衡能力的比率具有顯著的差異 (likelihood-ratio Chi-square test，$p<0.0001$) ；龜殼花喪失平衡能力或呈現無法反應的機率最大，赤尾青竹絲次之。

4. 其他相關行爲表現

於 36℃的實驗溫度中，1 隻 (8%) 赤尾青竹絲個體發生爬行過程中自行翻成反面，卻無法翻回正面的狀況。於 7℃中，龜殼花則是分別出現 3 隻個體 (25%) 喪失爬行能力與 2 隻個體 (17%) 咬到自己 (Self bite) 的情形。

(二) 攻擊反應時間

1. 菊池氏龜殼花

菊池氏龜殼花 (n=12) (附錄二) 在 7℃ (100%) 已經對所有的刺激都沒有攻擊反應，36℃則有 5 隻 (42%) ，12℃與 32℃各有 2 隻 (17%) 呈現無攻擊反應的情況。於 17℃達到前方攻擊反應時間的最適溫度 (圖八) ；由於數據以倒數進行統計，且極端溫度的「無攻擊反應」無法數據化，因此無法計算出各個溫度攻擊反應時間的平均值。前方攻擊反應時間的B_{95}爲 3.2±0.8℃，其高低界線分別爲 26.8±2.0℃與 23.6±2.1℃；B_{80}爲 9.7±1.5℃，其高低界線分別爲 30.0±1.9℃與 20.3±1.8℃ (表六) 。菊池氏龜殼花側面攻擊反應時間的

最適溫度爲 22℃ (圖九) ，所預測出的B_{95}則爲 3.8±0.7℃，其高低界線分別爲 27.5±1.8℃與 23.7±1.7℃；B_{80}爲 10.4±0.9℃，其高低界線分別爲 31.2±1.2℃與 20.8±1.4℃ (表七) 。

2. 赤尾青竹絲

赤尾青竹絲 (n=12) 在 7℃ (100%) 同樣對所有的刺激都沒有攻擊反應，在 12℃有 3 隻 (25%) 與 36℃有 1 隻 (8%) 呈現無攻擊反應的情況。於 32℃達到前方攻擊反應時間的最適溫度，而計算出的B_{95}爲 3.3±0.8℃，其高低界線分別爲 29.9±1.3℃與 26.6±1.4℃；B_{80}爲 10.4±1.1℃，其高低界線分別爲 32.3±0.9℃與 21.9±1.1℃。赤尾青竹絲側面攻擊反應時間的最適溫度則爲 17℃，B_{95}則爲 4.1±1.2℃，其高低界線分別爲 25.7±2.0℃與 21.6±2.1℃；B_{80}爲 11.9±1.4℃，其高低界線分別爲 30.6±1.5℃與 18.8±1.6℃。

3. 龜殼花

龜殼花 (n=12) 在 7℃ (100%) 也對所有的刺激均沒有攻擊反應，而 12℃、32℃與 36℃皆有 2 隻 (17%) 呈現無攻擊反應的情況。於 27℃達到前方攻擊反應時間的最適溫度，計算出的B_{95}爲 3.6±0.9℃，其高低界線分別爲 26.0±0.9℃與 22.4±1.0℃；B_{80}爲 9.0±1.3℃，其高低界線分別爲 28.2±0.7℃與 19.2±1.0℃。龜殼花側面攻擊反應時間的最適溫度則爲 17℃，B_{95}爲 3.5±0.6℃，其高低界線分別爲 25.4±1.4℃與 21.9±1.1℃；B_{80}爲 10.1±0.9℃，其高低界線分別爲 28.2±1.4℃與 18.2±0.8℃。

4. 三種龜殼花屬蛇類攻擊反應時間之比較

除了前方攻擊反應時間的B_{80}低溫界線以及側面攻擊反應時間的B_{80}溫度寬度、B_{80}高溫界線因符合常態分布，所以用One-factor ANOVA 進行分析之外，其餘的項目當中至少有一種實驗蛇的數據不符合常態

分佈，因此皆以One-factor Kruskal-Wallis ANOVA進行統計分析。結果三種龜殼花屬蛇類前方攻擊反應時間的B_{95}溫度寬度、B_{80}溫度寬度(圖十) 、兩項溫度寬度的低溫界線 (圖十一、圖十二) 及高溫界線均呈現彼此間沒有差異 (B_{95}溫度寬度 $F_{2,33}$=0.1387，p=0.871； B_{95}低溫界線 $F_{2,33}$=2.0437，p=0.1456； B_{95}高溫界線 $F_{2,33}$=3.7233，p=0.0348；B_{80}溫度寬度 $F_{2,33}$=0.6771，p=0.515； B_{80}低溫界線 $F_{2,33}$=0.9886，p=0.3829； B_{80}高溫界線 $F_{2,33}$=4.5613，p=0.0178)；三種蛇在側面攻擊反應的所有溫度項目 (圖十三、圖十四、圖十五) 則是都沒有達到顯著的差異 (B_{95} $F_{2,33}$=0.1092，p=0.8969； B_{95}低溫界線 $F_{2,33}$=1.0034，p=0.3775； B_{95}高溫界線 $F_{2,33}$=0.8578，p=0.4333； B_{80} $F_{2,33}$=0.7528，p=0.4789； B_{80}低溫界線 $F_{2,33}$=0.9661，p=0.3911； B_{80}高溫界線 $F_{2,33}$=1.3648，p=0.2695) 。三種蛇前方與側面攻擊反應時間所有項目均無顯著的差異，顯示 95%與 80%表現能力的最適溫度範圍 (optimal temperature range) 與分布的位置都是相近的。因此，三種蛇類前方與側面攻擊反應時間的B_{95}與B_{80}所涵蓋的溫度寬度與分布的位置均在相近的範圍之內。

三、不同溫度下的攝食行爲表現

(一) 攝食溫度範圍

1. 菊池氏龜殼花

菊池氏龜殼花 (n=26) (附錄三) 於 22℃與 27℃達到最高的攝食率 (100%) ，而攝食率最低的溫度爲 7℃ (30.8%) (表八、圖十六) ，36℃的攝食率則爲次低(53.9%)；另外，36℃有 2 隻個體 (8%)發生吞食小白鼠，一段時間之後卻又吐出的狀況。

2. 赤尾青竹絲

赤尾青竹絲 (n=26) 於 22℃達到最高的攝食率 (100%) ，而攝食率最低的溫度為 7℃ (19.3%) ，次低則為 36℃ (23.1%)；7℃有 1 隻個體 (4%)發生吞食後又吐出的狀況。17℃至 32℃的攝食率均在 90%以上。

3. 龜殼花

龜殼花 (n=19) 於 22℃達到共有 18 隻個體進食的最高攝食率 (94.4%) ，而 7℃與 36℃完全沒有個體攝食 (0%)；12℃與 32℃則各有 1 隻個體 (4%)發生吞食後又吐出的狀況。17℃至 27℃的攝食率均在 80%以上。

4. 三種龜殼花屬蛇類攝食比率的比較

三種蛇於 36℃中不會進食的比率達到顯著差異 (likelihood-ratio Chi-square test，36℃ $p<0.0001$) ，其中龜殼花喪失攝食行為的比率為最高，赤尾青竹絲次之，菊池氏龜殼花最低。換句話說，在 36℃的環境溫度中，菊池氏龜殼花會攝食的比率均為最高，而龜殼花則為最低。三種蛇 7℃的攝食率在統計上則是沒有顯著的差異。
(likelihood-ratio Chi-square test，7℃ $p=0.0066$)

(二) 野生老鼠攻擊成功率

菊池氏龜殼花 (n=6) (附錄四) 獵食野生老鼠的攻擊成功率在 10℃為 6.7±1.2%、21℃為 31.0±14.2%、32℃為 100.0±0%；赤尾青竹絲 (n=5) 的攻擊成功率在 10℃為 35.9±20.3%、21℃為 26.9±15.3%、32℃為 42.1±13.5%；龜殼花 (n=5) 的攻擊成功率在 10℃為 3.1±0.9%、21℃為 15.6±7.4%、32℃為 16.2±3.4% (表九) 。在三種龜殼花屬蛇類當中，菊池氏龜殼花 ($r=0.87$，$p<0.0001$) 與龜殼花 ($r=0.74$，$p=0.0016$) 在溫度和攻擊成功率之間都有著顯著的正相關，而赤

尾青竹絲 (p=0.34) 溫度與攻擊成功率之間的關係則是不顯著。如果將相同溫度之下的攻擊成功率進行比較，三種蛇在 32℃中具有顯著差異 ($F_{2, 13}$=13.8453，p=0.0006) ，以Tukey’s test進行事後比較，結果爲菊池氏龜殼花的攻擊成功率高於另外兩種蛇類；在 10℃ (p=0.1374) 與 21℃ (p=0.6637) 的攻擊成功率則是都沒有差異。

從實驗中所觀察的結果，三種蛇在 21℃環境下的獵食反應都沒有出現異常的情形，但是在 32℃有 1 隻龜殼花個體 (20%) 發生吞食後又吐出的現象，在 10℃中則是反應能力已經明顯變的遲鈍，且部分的個體已經出現嚴重的行爲失常。其中又以龜殼花失常的情形最爲嚴重。牠們往往要等到被森鼠觸碰或者是攻擊後才會有所反應，甚至還出現森鼠已經咬完跑離一段距離後實驗蛇才發動攻擊或者是無法正確攻擊森鼠位置的情形；例如森鼠在後方咬實驗蛇的尾巴，但是實驗蛇卻往吻端的左側發動攻擊。而赤尾青竹絲失常的狀況與龜殼花相同，只是發生的比率較低。菊池氏龜殼花失常的情況則最輕微，牠們雖然同樣要被森鼠觸碰或者是攻擊後才會有所反應，但是不會有森鼠遠離後才攻擊或者是攻擊方位錯誤的情況發生。如此多次的被森鼠咬到是其他溫度未曾發生的；而在進行實驗的過程中，甚至發生龜殼花與赤尾青竹絲在 10℃均有 1 隻個體被森鼠咬死的情況，由於無法繼續獲得實驗數據，因此實驗分析所使用的數據並不包含這兩隻死亡的個體。