

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

潮間帶螺類對熱逆境的防避機制(1/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2523-S-002-005-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：張文亮

計畫參與人員：林信宏，林秉石，簡哲士，周心儀

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 6 月 2 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果
報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※※

※

※

※ 潮間帶螺類對熱逆境的防避機制(1/2)

※

※

※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※※

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2523-S-002-005-

執行期間： 91年 08月 01日至 92年 07月 31日

計畫主持人：張文亮

共同主持人：無

計畫參與人員：林信宏、林秉石、簡哲士、周心儀

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位： 國立臺灣大學生物環境系統工程學系

中 華 民 國 九 十 二 年 五 月 日

潮間帶螺類對熱逆境的防避機制(1/2)

計畫編號：NSC 91-2523-S-002-005-

執行期限：91年08月01日至92年07月31日

主持人：張文亮 國立臺灣大學生物環境系統工程學系

計畫參與人員：林信宏 國立臺灣大學生物環境系統工程學系

林秉石 國立臺灣大學生物環境系統工程學系

簡哲士 國立臺灣大學生物環境系統工程學系

周心儀 國立臺灣大學生物環境系統工程學系

一、中文摘要

本研究是以探討螺類(網目海蝓)在感潮濕地上散熱的機制。實驗總共分成兩部分，一是台灣大學農場實驗，裝置5個不同的土壤含水量為100%、80%、60%、40%與20%，量測螺類的熱傳導係數k值，由實驗結果發現，土壤含水量愈大螺的熱傳導係數k值愈大，例如土壤含水量為100%時，熱傳導係數k為0.35W/m，土壤含水量為20%時，熱傳導係數k為0.00093W/m。

二是挖仔尾自然生態保留區，共進行兩次連續24小時的田間實驗，結果顯示螺類及表土的溫度變化，皆符合sin曲線。其熱傳導係數也受土壤質地與土壤含水量的影響，土壤質地愈粗與含水量愈高，則螺的熱傳導係數愈大，例如在挖仔尾的第一次

實驗，平均土壤含水量為75%、55%與46%，測得其土壤熱傳導係數為6.14W/m、2.17W/m與2.13W/m，螺的熱傳導係數為0.11W/m、0.049W/m與0.061W/m，因此網目海蝓會選擇含水量較高與質地較粗的灘地為主要棲地。在第二次的實驗，發現土壤含水量為95%、85%與42%，測得其土壤熱傳導係數為4.53W/m、2.6W/m與1.33W/m，螺的熱傳導係數為0.0326W/m、0.0269W/m與0.0216W/m，皆低於第一次的結果，由微氣象資料顯示第二次的實驗風速較高，所以部分熱通量截由熱對流方式，藉著風散熱。

因此在感潮溼地的管理，為了增加網目海蝓的棲息，必須要維持質地顆粒較粗的灘地、較高的土壤含水量與較大的空氣流通率。

關鍵字：網目海蜷、熱傳導、溼地教育

二、前言

熱是潮間帶螺類必須克服的物理逆境之一，在亞熱帶及熱帶地區，熱逆境對於潮間帶生物分佈具有顯著影響 (McQuaid and Scherman 1987)。網目海蜷可在澎湖群島及台灣西海岸等亞熱帶地區發現其蹤跡。在退潮時，潮間帶生物暴露在空氣中，其體溫可能會高於海水溫度 15 以上 (Seed and Suchanek, 1992)，所有的潮間帶生物，在覓食時暴露出牠的腹足，在陽光下螺類在體內水分散失達 45% 體重時，便有乾燥致死的危險性 (Willmer et al. 2000)。螺類身體及其所產生的黏液主要由水份所組成的 (Daniel L. Dindal, 1990)，又溫度會直接影響到潮間帶生物的生存，過高的溫度會加速身體水分的蒸散導致死亡 (Nybakken, 1993)。因此，潮間帶螺類在對熱逆境的防避機制，必須快速的將身體多餘的熱量散出體外，或藉由與土壤的接觸散出。

不過螺類也有耐熱機制，如分布在加拿大至巴西潮間帶的落偏頂蛤 (*Modiolus demissus*) 生存的溫度可到 34~40°C 之間。粗紋玉黍螺甚至能待在紅樹林上生存好幾個月 (Lewis, 1964)。

三、理論模式

根據 Fourier 定律，物體中熱量傳導之方向與溫度梯度一致，且與之成正比，故

$$Q_{cond} = -k \frac{dT}{dz} \quad \dots(1)$$

其中 Q_{cond} 為在 z 方向的热通量 (Heat flux)，表示單位時間通過物體斷面積的熱量 ($cal/cm^2 sec$)， T 為溫度 ()， z 為物體深度 (cm)， k 則為物體的热傳導係數 ($cal/cmsec ^\circ C$)。

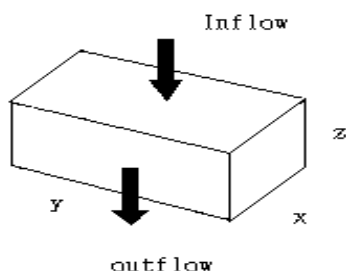


圖 2-1 物體中的熱流

$$[Outflow] - [Inflow] =$$

$$\begin{aligned} & \left[Q_{cond} + \left(\frac{\partial Q_{cond}}{\partial z} \right) \Delta z \right] \Delta y \Delta x - Q_{cond} \Delta y \Delta x \\ & = \left(\frac{\partial Q_{cond}}{\partial z} \right) \Delta z \Delta y \Delta x \\ & = \left(\partial k \frac{\partial T / \partial z}{\partial z} \right) \Delta V \end{aligned} \quad \dots(2)$$

$$\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z \quad \dots(3)$$

其中 x 為物體的寬度， y 為物體的長度， z 為物體的高度。 ΔV 為物體的體積。

假設 k 不隨 z 而改變，則第(2)式可改成

$$\left(\partial k \frac{\partial T / \partial z}{\partial z} \right) \Delta V = -k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \Delta V \quad \dots(4)$$

當熱傳導通過單位物體，其熱量 Q_{cond} 隨著時間而改變，所以由能量不滅可得下式：

$$-\frac{\partial Q_{cond}}{\partial t} = -k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \Delta V \pm S T \quad \dots(5)$$

其中 $S T$ 是指熱來源與熱消失統項，在本研究中假設忽略不計。

Q_{cond} 會依物體特性而改變，則 Q_{cond} 與溫度關係如下式：

$$Q_{cond} = C_v \cdot \Delta V \cdot T \quad \dots(6)$$

其中 C_v 為體積熱容量 (heat capacity) ()，表示要提高 1 時，在 $1 cm^3$ 體積所需要的熱量。

$$C_v = \dots C_g \quad \dots(7)$$

式中 \dots 為體積密度 (g/cm^3)， C_g 為比熱 (specific heat) (cal/g)，表示要提高 1，在 1g 重量，所需要熱量。

在本研究中，由於物體含有固相、液相及氣相， C 值的計算由下式表示：

$$C = f_s C_{s_i} + f_w C_w + f_a C_a \quad \dots(8)$$

其中 f 表示各相的體積比率，固相(s)、液相(w)及空氣(a)。而固體的組成含有許多不同成分因此在計算時利用下標 i 來做區別。

將第(6)式代入第(5)式得

$$-C_v \Delta V \frac{\partial T}{\partial t} = -k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \Delta V$$

$$\text{可得 } \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{C_v} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad \dots(9)$$

$$= D_T \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad \dots(10)$$

其中 D_T 為熱擴散係數 (Thermal Diffusivity) (cm^2/sec)。

由(7)、(9)及(10)式 可得關係式：

$$D_T = \frac{k}{C_v} = \frac{k}{\dots C_g}$$

又溫度在一日的變化，假設類似 \sin 的曲線，可得一邊界條件如下：

$$T(z, t) = a \sin(\check{S}t), z=0 \quad \dots(11)$$

其中 $T(z, t)$ 為溫度隨著物體深度與時間的變化 ($^{\circ}C$)， a 為溫度變化 \sin 曲線的振幅， \check{S}

為弧度頻率 $\check{S} = \frac{2f}{24} = 0.262 \text{ rad/hr}$ 。

假設當深度到達一個程度時，溫度並不會呈現 \sin 函數的變化，因此

$$z \rightarrow \infty, T(z, t) = 0 \quad \dots(12)$$

根據分離變數的方法

$$T(z, t) = f(z)g(t)$$

$$\text{故 } \frac{\partial T}{\partial t} = fg', \quad \frac{\partial T}{\partial z} = f'g, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = f''g$$

帶入(10)式可改寫成

$$fg' = Df''g \quad \text{令比值 } r \text{ 為定值}$$

$$\text{可得 } \frac{g'}{Dg} = \frac{f''}{f} = r$$

故得二線性微分方程式

$$\begin{cases} g' - rDg = 0 & \dots(13) \\ f'' - rf = 0 & \dots(14) \end{cases}$$

假設上兩式有通解 $f(z) = e^{mz}$ $g(t) = e^{nt}$

故(13)式可改寫成

$$ne^{nt} - rDe^{nt} = 0, \quad \text{故 } n = rD$$

所以

$$g(t) = e^{rDt} \quad \dots(15)$$

(14)式可改寫成為

$$m^2 e^{mz} - r e^{mz} = 0, \quad \text{故 } m = \pm\sqrt{r}$$

所以

$$f(z) = e^{\pm\sqrt{r}z} \quad \dots(16)$$

根據(15)與(16)， $T(z, t)$ 的通解可以表示為

$$T(z, t) = cf(z)g(t) = ce^{\pm\sqrt{r}z} e^{rDt} \quad \dots(17)$$

令 $r < 0$ ， $r = iw/D$ ，(17)式可以寫為

$$T(z, t) = ce^{i\check{S}t} e^{\pm\sqrt{i\check{S}/D}z} \quad \dots(18)$$

當 $z \rightarrow \infty$ ， $T(z, t) = 0$ ，因此第(18)式只有負號才會有意義，故

$$T(z, t) = ce^{i\check{S}t} e^{-\sqrt{i\check{S}/D}z} \quad \dots(19)$$

因為 $\sqrt{i} = (i+1)/\sqrt{2}$ 帶入(19)式得

$$T(z, t) = ce^{i\check{S}t} e^{-[(i+1)/\sqrt{2}] \left[\frac{\check{S}}{D} \right]^{1/2} z}$$

$$T(z, t) = ce^{i\check{S}t - \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{\check{S}}{D} \right)^{1/2} z} e^{-\frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{\check{S}}{D} \right)^{1/2} z}$$

$$\dots(20)$$

根據 Euler Equation， $e^{it} = i \sin t + \cos t$ 則

$$T(z, t) = c \left\{ \begin{aligned} & \left[\cos \left(\check{S}t - \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{w}{D} \right)^{1/2} z \right) \right] \\ & + i \sin \left[\check{S}t - \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{w}{D} \right)^{1/2} z \right] \end{aligned} \right\} e^{-\left(\frac{w}{D} \right)^{1/2} z}$$

$$\dots(21)$$

又當 $z = 0$ 時， $T(z, t) = a \sin(\check{S}t)$ 故

$$T(z, t) = a \sin \left[\check{S}t - \left(\frac{\check{S}}{2D} \right)^{1/2} z \right] e^{-\left(\frac{\check{S}}{D} \right)^{1/2} z}$$

$$\dots(22)$$

令 $d = (2D/w)^{1/2}$

$$T(z, t) = a \sin(\check{S}t - z/d) e^{-z/d} \quad \dots(23)$$

因此由(23)式可以預估物體溫度的變化，也可預估物體的溫度，並得一物體溫度剖面方程式如下：

$$T_b(z, t) = \bar{T} + a \sin(\check{S}t - z/d) e^{-z/d} \quad \dots(24)$$

同理，由(24)式中可推求出螺殼溫度剖面方程式，表示如下：

$$T_{snail}(z, t) = \bar{T}_1 + a_1 \sin(\omega t - z/d_1) e^{-z/d_1} \dots(25)$$

土壤溫度剖面方程式表示如下：

$$T_{soil}(z, t) = \bar{T}_2 + a_2 \sin(\omega t - z/d_2) e^{-z/d_2} \dots(26)$$

其中 $T_{snail}(z,t)$ 表示溫度隨著螺殼深度與時間的變化(°C)， $T_{soil}(z,t)$ 表示溫度隨著土壤深度與時間的變化(°C)， a_1 為螺殼溫度變化 sin 曲線的振幅， a_2 為表土溫度變化 sin 曲線的振幅， d_1 為螺類的阻抑深度， d_2 為土壤的阻抑深度， \bar{T}_1 為螺殼層的平均溫度， \bar{T}_2 為表土層的平均溫度，一般認為 \bar{T} 在各深度為定值， \bar{T} 主要是受氣象因子影響。在(25)式及(26)式中最主要與土壤和螺類有關的參數 d_1 與 d_2 ，因為 $d = (2D/w)^{1/2} = (2k/c_v \cdot w)^{1/2}$ ，即受 k 與 C_v 兩個因子影響。

四、實驗設計

分成兩組實驗方法，首先為農場實驗，利用五個小箱子來模擬螺類棲地，並控制砂土的含水量為 100%、80%、60%、40% 及 20%，來觀察在土壤質地下，不同含水量對於螺類與土壤間之熱傳導現象。其次是兩次的八里挖仔尾自然生態保護區實驗，依照潮水位的高低來選擇實驗地點，直接觀察螺類生長棲地環境與螺類間之熱傳導。

五、結果與討論

1、潮間帶螺類的熱傳導係數值(Thermal

conductivity)愈大，對於必須生長暴露在高溫的上潮間帶區螺類有很大的幫助，可藉由與地面的接觸，快速的傳導出身體多餘的熱量。

2、防止質地變細如黏土，因為砂的傳導性大於黏土的傳導性，因此在建造或復育溼地時，應選擇傳導性較好的砂質土壤為灘地材料。

3、防止陸域化的產生，溼地若發生陸域化的現象，會使的水份流失，土壤的含水量降低，相對的土壤的溫度便會升高，不利於生物在感潮濕地的棲息。

4、熱會經由熱對流由風帶走，因此在感潮溼地中必須考慮空氣的流動性，所設計的工程與植生不可阻擋空氣的流動，以免影響到感潮濕地中螺類的生存。

六、參考文獻

- [1] Helmuth, B. S. T. 1998. *Intertidal mussel microclimate: predicting the body temperature of a sessile invertebrate. Ecological Monographs* 68: 51-74.
- [2] Hillel, D., 1998. *Environment Soil Physics*. USA.
- [3] Nybakken, J. W., 1993. *Marine Biology: An Ecological Approach*, Third Edition. HarperCollins College Publishers, New York, USA.
- [4] Datta, A.K., 2002. *Biological and Bioenvironmental Heat and Mass Transfer*. [illustrations by Kevin C. Hodgson and Ashim K. Datta], New York: Marcel Dekker.
- [5] Willmer, P., G. Stone and I. Johnston 2000. *Environmental Physiology of Animals*. Blackwell Science, Malden, UK.
- [6] 高裕群。2002。潮間帶燒酒海蜷之避熱機制。國立臺灣大學生物環境系統工程。

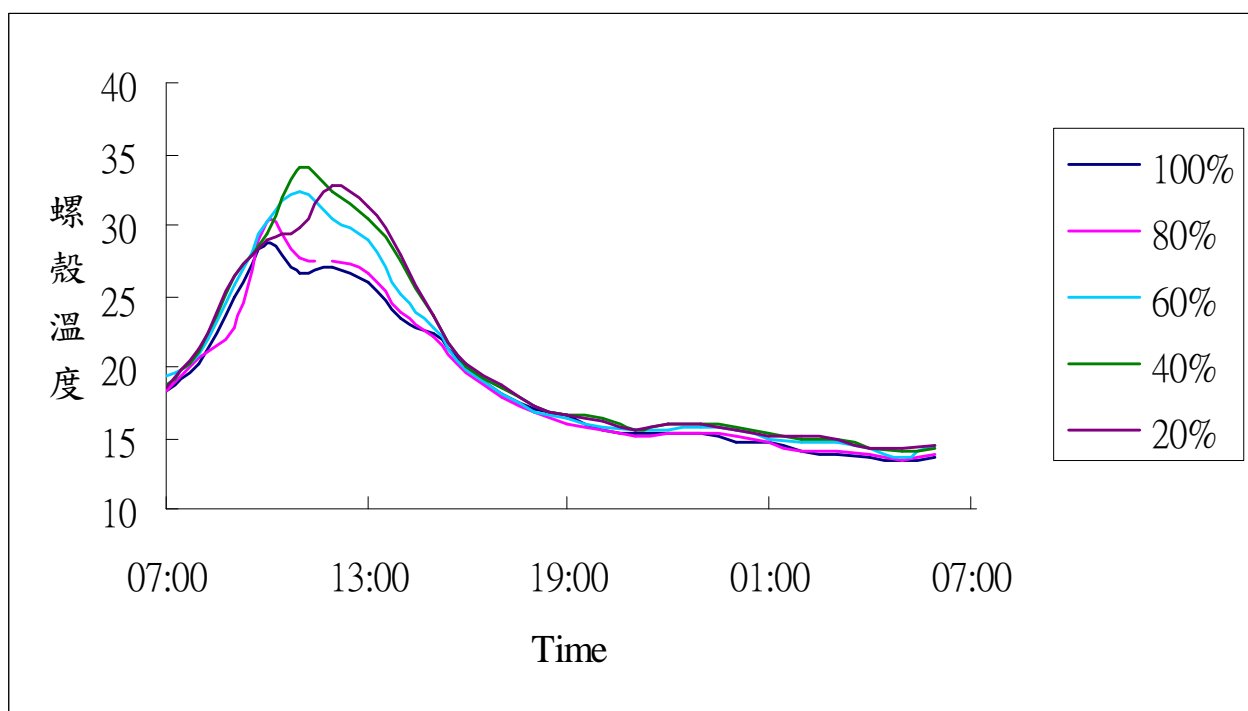


圖 1 台灣大學農場螺殼溫度與時間的關係圖，溫度的變化與 sin 曲線相符合。

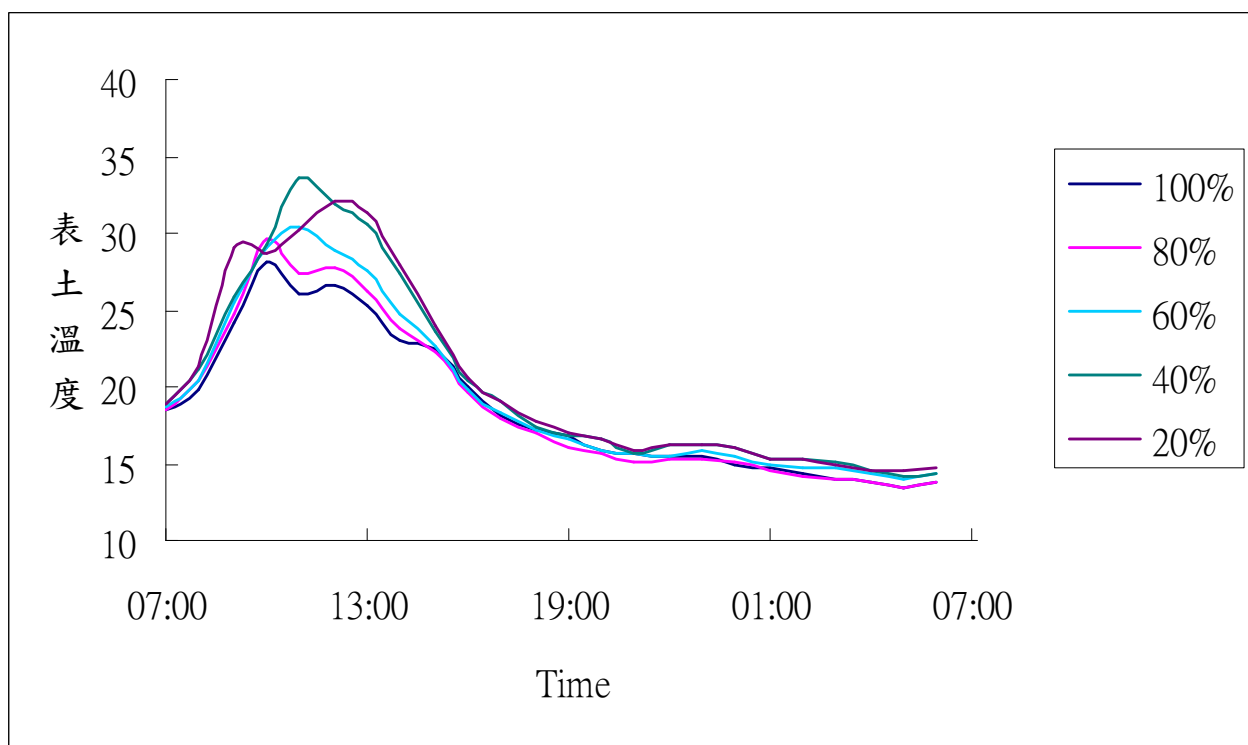


圖 2 台灣大學農場表土溫度與時間的關係圖，溫度的變化與 sin 曲線相符合。

