

感潮溼地不同含水量對網目海蝨熱傳導之影響

Soil Water Content of Tidal Wetlands Effect on Thermal Conductivity of *Cerithidea Rhizophorarum*

國立台灣大學生物環境系統工程學系碩士

國立台灣大學生物環境系統工程學系教授

林信宏

張文亮

Hsing-Hom Lin

Wen-Lian Chang

摘 要

本研究是以探討網目海蝨在感潮溼地上散熱的機制。研究地點為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，皆符合熱傳導的理論假設 sin 曲線。其熱傳導係數受土壤質地與土壤含水量的影響，土壤質地愈粗與土壤含水量愈高，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% 時，測得螺的熱傳導係數為 0.254mcal/cmsec °C、0.116mcal/cmsec °C 與 0.147mcal/cmsec °C，因此網目海蝨會選擇土壤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，土壤含水量為 95%、85% 與 42% 時，測得螺的熱傳導係數為 0.10mcal/cmsec °C、0.086mcal/cmsec °C 與 0.061 mcal/cmsec °C，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，所以螺類部分熱通量由熱對流方式，藉由風散熱。因此在感潮溼地的管理，為了增加網目海蝨的棲息，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。

關鍵詞：網目海蝨，熱傳導，溼地。

ABSTRACT

The main purpose for this study was to assess how *Cerithidea rhizophorarum* uses the heat dissipating mechanism on the tidal wetland. The experimental site is located at the Waziwei Natural Ecological Reservoir. In the study, two continuous 24-hour monitor on the temperature of the soil were preceded. The result of this experiment shows that, the soil surface and the snail's temperature are matched with the sin graph hypothesis of the thermal conductivity theory. In addition, the moisture and composition of the soil would effect the thermal conductivity, because the coarser and wetter the soil

are, the higher the thermal conductivity will be. For example, on the first experiment in Waziwei, when the averages of the soil moisture percentages were 75%, 55% and 46%, the *Cerithidea rhizophorum*'s thermal conductivity would be 0.254 kcal/cmsec °C, 0.116 kcal/cmsec °C, and 0.147 kcal/cmsec °C. As a result, *Cerithidea rhizophorum* would choose coarser and soil with heavy moisture for habitation. On the second experiment, when soil moisture were 95%, 85% and 42%, the *Cerithidea rhizophorum*'s thermal conductivity would be 0.10 kcal/cmsec °C, 0.086 kcal/cmsec °C and 0.061 kcal/cmsec °C. In comparison with the first experiment in Waziwei, the first experiment's wind speed at the time was stronger than the second one. Therefore, snail would dissipate heat through the wind. In order to increase habitation for *Cerithidea rhizophorum* in the tidal wetland, coarse sand, soil with heavy moisture and wind ventilation are a must.

Keywords: *Cerithidea rhizophorum*, Thermal conductivity, Wetland.

一、前言

潮間帶是指高潮位與低潮位之間的海岸地帶。在潮間帶中可將其深度區分成頂潮緣、浪花區、上層潮間帶、中層潮間帶及下層潮間帶(Manuel, 2002)。生物在此潮間帶區，需有特殊的生理和行爲方能適應鹽分的改變、過高的溫度與長期的暴露在空氣中的缺水逆境(Nybakken, 1993)。

螺類的生存棲地主要是以上層潮間帶為主，這代表高潮位時會被水所淹沒，低潮位時會直接暴露於陽光的輻射。其所承受的逆境因子包括太陽輻射、波浪的衝擊、與土壤乾濕變化。

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°C 以上(Seed and Suchanek, 1992)，所有的潮間帶生物，在覓食時會暴露出牠的腹足，在陽光下螺類在體內水分散失達體重 45%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, 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，潮間帶的粗紋玉黍螺甚至能待在紅樹林上生存好幾個月(Lewis, 1964)。另外陸生螺類生活在潮濕環境，晝伏夜出，當遭遇惡劣環境時便進入夏眠(estivation)或冬眠(hibernation)，這些機制都是為了減少體內水分的散失。特別是在一些陸生種類其運動方式為纖毛滑行(如蝸牛)，其腹足必須先分泌大量的黏液；這樣便會散失大量的水分。所以由陸生種類的排泄物中減少水分的散失是十分重要的，是他們對陸地生活的一種適應方式(任淑先, 1995)。

由於螺殼的重量對於螺類的移動性(mobility)而言是一大障礙，使其無法如同昆蟲與爬蟲類一般，可藉由行爲的調整以適應其周遭的環境(Berwaerts et al., 2001, Hazel, 2002, Forsman et al., 2002)。因此，潮間帶的螺類必須選擇適當的棲地或是藉由形態上的改變以適應過高溫度造成的熱逆境(Helmuth, 1998)。

由於潮汐會造成潮間生物每天規律性體溫的劇烈變化，對於熱逆境的適應性也被證實為影響許多潮間帶無脊椎動物分佈的主要因子例如藤壺類(*Chthamalus* spp. 與 *Semibalanus* spp.) (Wetthey, 1984)、貽貝類(*Mytilus* spp.) (Seed and Suchanek, 1992, Hofmann and Somero, 1996)、笠

螺類 (*Cellana grata*) (Williams and Morritt, 1995)、玉黍螺類 (*Littorina sitkana*) (Jones and Boulding, 1999)等。

當太陽照射到螺殼或土壤時，有些能源就會被吸收。此時螺殼及土壤表面的溫度便會上升，這些熱源會經由傳導的作用而流至螺殼體內或土壤深層。其傳導速率的快慢，便是決定網目海蝨能否適時的將體熱排出，以達到身體的熱平衡。

由土壤溫度來預測土壤表面能量平衡較由土壤含水量來預測有用(Alevenas, 1997)。因此開始研究潮間帶螺類與土壤之間的熱傳導性，並觀察潮間帶的螺類與棲地中土壤質地的關係，在相同的土壤質地不同的含水量下，測得關於螺殼及土壤熱傳導係數，並比較其關係，希望讓螺類在烈日的照射下，能夠選擇適合的土壤質地居住生存。

某些研究中很少會將熱傳導列入溼地工程整治的項目，但是熱傳導對於感潮溼地中螺類棲地的選擇有很大的影響。近代的研究，網目海蝨在感潮溼地的數量有逐漸減少的趨勢，與其生長棲地的破壞，如陸域化使含水量減少，或潮水線後退，或泥粒增多(Nybakken, 1993)。

本研究的目的是，在探討網目海蝨的散熱機制，並以微環境與土壤質地、溫度及含水量之間的關係，進而提供往後復育感潮溼地網目海蝨棲地的方法。

二、理論分析

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

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

其中 Q_{cond} 為在 z 方向的熱通量(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($^{\circ}C$)， z 為物體深度(cm)， k 則為物體的熱傳導係數($cal/cmsec^{\circ}C$)。

由(Hillel, 1998)土壤熱傳導理論，可得一物體溫度剖面方程式如下：

$$T_b(z,t) = \bar{T} + a \sin(\omega t - z/d) e^{-z/d} \dots\dots\dots(2)$$

經由(2)式中可推求出螺殼溫度剖面方程式，表示如下：

$$T_{snail}(z,t) = \bar{T}_1 + a_1 \sin(\omega t - z/d_1) e^{-z/d_1} \dots\dots(3)$$

土壤溫度剖面方程式表示如下：

$$T_{soil}(z,t) = \bar{T}_2 + a_2 \sin(\omega t - z/d_2) e^{-z/d_2} \dots\dots(4)$$

其中 $T_{snail}(z,t)$ 表示溫度隨著螺殼深度與時間的變化($^{\circ}C$)， $T_{soil}(z,t)$ 表示溫度隨著土壤深度與時間的變化($^{\circ}C$)， 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 為表上層的平均溫度，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(3)式及(4)式中最主要與土壤和螺類有關的參數為 d_1 與 d_2 ，因為 $d = (2D/\omega)^{1/2} = (2k/c_v\omega)^{1/2}$ ，即受 k 與 C_v 兩個因子影響，其中 C_v 為物體的體積熱容量。

利用所測溫度畫出溫度變化的 \sin 曲線圖，並由此時間與溫度的關係圖，可得出 a_1 (螺殼溫度變化 \sin 曲線的振幅)、 a_2 (表土溫度變化 \sin 曲線的振幅)、 ω (弧度頻率)、 \bar{T} (平均溫度)、 $T_{snail}(z,t)$ 及 $T_{soil}(z,t)$ ，其中 z 、 t 為已知，即可由(3)式與(4)式求出 d_1 及 d_2 的值。再由 $d = (2D/\omega)^{1/2} = (2k/c_v\omega)^{1/2}$ 求得螺殼與土壤的熱傳導係數的值。在研究中，分別在 3 次實驗裡，同時監測 3 個不同垂直剖面的深度溫度，並以(3)式與(4)式，推求出螺殼的熱傳導係數 k_1 與土壤的熱傳導係數 k_2 。

三、實驗設計

網目海蝨(*Cerithidea rhizophorarum*)產於西海岸泥灘地之高潮線附近，喜歡紅樹林沼澤的環境及內灣泥灘，並常會爬至木麻黃、海茄苳枝幹棲息，十分常見。分佈範圍於台灣西海岸、澎湖群島、屏東縣墾丁、彰化福寶溼地與八里挖仔尾自然生態保留區等。漲潮時網目海蝨會停止活動；退潮時，會爬至砂灘地伸出頭部來刮食腐植

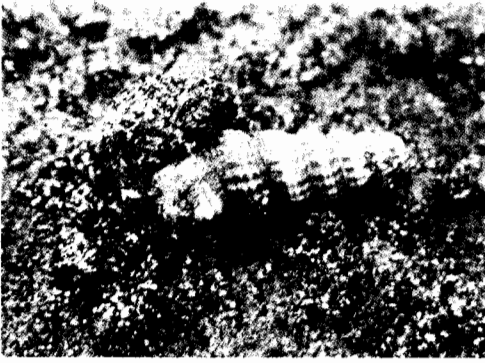


圖 1 網目海蜷

質及豐富的有機質。其鑑別特徵為外殼堅硬，頭寬尾細呈長圓錐形，殼的上層常有斷缺現象，殼口呈圓形，後水管不明顯。殼長約 3 公分，貝殼淡褐色，螺層圓凸而且肥胖，螺肋及縱肋交錯成規則網狀排列，縱肋較為突出，因而命名為網目海蜷。

(一) 螺基本性質實驗

螺殼的長度及寬度均以電子游標尺 (Electronic Digital Caliper) 量測到 0.05 公釐的精確度。活螺重量為做完實驗後，當天帶回實驗室以電子秤量測到 0.01 克的精度；空殼的重量，則是帶回實驗中煮熟後，將螺肉取出後所稱得的重量。螺口半徑為以電子游標尺量測螺口直徑，進而求得螺口半徑。

螺殼身上取 10 點，以電子游標尺量測每點的螺殼寬度代表螺殼的直徑，進而求得螺殼半徑。同樣的在螺殼身上由螺口處至螺尾取 10 點，讓螺口緊貼地面，然後量測以螺口為中心到螺殼尾的距離，為其最大偏心距。取 10 隻網目海蜷，計算螺殼身上的縱肋數與開口以下至螺尾的排數。將螺殼以錫箔紙包裹，使用錫箔紙面積與重量的線性回歸關係式可以得到螺殼的表面積。

(二) 飽和含水量實驗

砂的比熱會隨含水量而變，因此利用實驗求出砂的飽和含水量。實驗方法如下：首先將取回的土壤平鋪於盤上，風乾 4 至 7 天。並使用鐵鎚

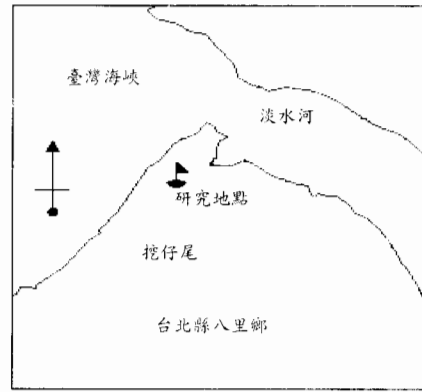


圖 2 八里挖仔尾自然生態保留區田間實驗位置圖

將所有土壤打碎，以篩子(2mm)過篩，留下小於 2mm 的部分為砂質土壤。取一塑膠試管，稱其重量得到 W_1 。將土壤用攪拌棒一層一層的慢慢夯實至 50ml 標線處，稱其重量得到 W_2 ，即可得知砂土的飽和含水量。其中水的密度為 1g/cm^3 、土壤密度為 2.65g/cm^3 ，螺體本身的比熱利用殼與螺內的體積百分比來計算，分螺殼與螺肉兩部分計算；土壤部分，則由所測得的砂粒飽和含水量，與土壤的體積百分比計算。

(三) 土壤粒徑分析實驗

使用的方法為比重計法，實驗得知其所含粒徑比例，工程砂(砂粒 85%、坩粒 9%、黏粒 6%)，潮水線由濕到乾的實驗點分別為 A(砂粒 82%、坩粒 17%、黏粒 1%)，B(砂粒 87%、坩粒 10%、黏粒 3%)，C(砂粒 87%、坩粒 10%、黏粒 3%)。

(四) 田間實驗

田間實驗為八里挖仔尾自然生態保留區，分別在不同時間進行兩次相同設計裝置的實驗。

1. 八里挖仔尾自然生態保留區田間實驗

實驗地點為台北縣八里鄉頂罌村挖仔尾，其位置東經 $121^\circ 25.072'$ 、北緯 $25^\circ 10.083'$ 。挖仔尾位屬於台北縣八里鄉淡水河南岸，是一處向內陸彎進的潟湖地形，由淡水河河流所帶來的泥沙堆積而形成的。此處也是有名的紅樹林自然保護區，擁有純林的水筆仔(*Kandelia candel*)，且為全球最北界的水筆仔純林區域。

2. 實驗儀器

包括微氣象儀(E&E GROUP)可監測風速、風向、氣溫、地溫及太陽輻射量，資料處理器(HL20 DATALOGER)一台，已安裝操作資料處理器軟體(EETERM8)的個人電腦(以筆記型電腦為佳)，土壤溫度計 5 支、電子游標尺、鐵環(尺寸為半徑 20cm、高 20cm)、紅外線感溫器，土壤水分測量器(MODEL 200 Soil Moisture Meter)及 9 隻網目海蝨。

3. 溫度的測量與記錄

此次實驗主要以下列三種儀器，來測量並且記錄空氣氣溫、螺身體溫、地表溫度以及土壤深層溫度等項目，來探討螺與土壤間及本身的熱傳導性變化。首先使用的是(一)微氣象儀，需要有電腦與電子自動記錄器的配合，連接微氣象儀、電子自動記錄器及已安裝操作資料處理器軟體的個人電腦；(二)紅外線感溫器，主要是量測螺殼的溫度及螺底表上的溫度；(三)土壤溫度器，在螺周圍附近，插入約 5cm 深量測土壤溫度的變化。

選擇灘地上一處不同潮差區，來設置觀察點，利用距離退潮時不同水面，土壤有不同含水量，設置三個實驗點。在研究地點的周圍附近架設小型氣象儀，並將風向風速儀由架上取下，放置在接近地面靠近螺的地方，主要目的是為了減少邊界層的影響。在螺的周圍處各插上一支土壤水分測量器。並在放置螺的附近，各插入一支土壤溫度計至 5cm 深。其每個地點放置 3 隻活螺及 3 隻空殼的網目海蝨，分開並圍成圓形，且在外圍處架上鐵環，防止網目海蝨移出實驗區。將架設好的氣象儀及各待測項目之線路，連接在已安裝操作資料處理器軟體的個人電腦，並開始監測記錄，其監測時間為每分鐘記錄一次，並以每 30 分鐘求該時間範圍內平均值。以紅外線感溫計來監測各時間各點溫度的變化，每 30 分鐘記錄一次，並以每小時求該時間範圍內平均值，項目為各螺殼的溫度與螺底部的表土溫度。以土壤溫度計監測土壤下 5cm 的溫度，為每 30 分鐘記錄一次，並以每小時求該時間範圍內平均值。

八里挖仔尾自然生態保留區田間實驗分成

兩次。第一次實驗日期為西元 2003 年 3 月 30 日 08:15 開始監測至 3 月 31 日 14:30 結束監測，平均氣溫為 22.48°C，平均風速為 0.69m/sec，最大風速為 3.44m/sec，平均溼度為 81.28%。第二次實驗日期為西元 2003 年 4 月 26 日 10:30 開始監測至 4 月 27 日 11:30 結束監測，平均氣溫為 25.1°C，平均風速為 3.01m/sec，最大風速為 5.95m/sec，平均溼度為 70%，平均輻射量 268.24W/m²，最大輻射量 1008 W/m²。

四、結果與討論

(一) 螺殼外形的量化

網目海蝨的長度與活螺的重量有關，如圖 3 所示。螺長度介於 1.60~3.36cm，活螺重量介於 0.50~1.70g 之間，空殼重量介於 0.30~1.30g 之間(深色為活螺重與長度關係，淺色為空螺重與長度關係)。

由圖 3，顯示螺長與螺重具有正相關的關係，螺殼愈長重量也愈大。

網目海蝨的寬度與活螺的重量有關，如圖 4，顯示螺寬與螺重具有正相關的關係，螺殼愈寬重量也愈大。螺寬度介於 0.74~1.08 cm，活螺重量介於 0.50~1.70g 之間，空殼重量介於 0.30~1.30g 之間(深色為活螺重與寬度關係，淺色為空螺重與寬度關係)。

此次實驗中，最大偏心距的測量是量測空殼的螺口中心點到螺尾的距離，如圖 5，顯示網目海蝨的重量與最大偏心距有關，螺重量愈大其最大偏心距也愈大，螺最大偏心距介於 1.27~2.56cm，重量介於 0.50~1.30g。縱軸的重量為空殼體重。

此次實驗中，螺口半徑的測量是量測空殼的螺口直徑，進而求得螺口半徑，如圖 6，顯示網目海蝨的重量與螺口半徑有關，螺重量愈大其螺口半徑也愈大，螺口半徑介於 0.25~0.46cm，重量介於 0.50~1.30g。縱軸的重量為空殼體重。

在螺殼身上取 10 點，並從第一點至第 10 點量測其螺寬為其螺殼直徑，進而求得螺殼半徑，取其 10 點平均為螺殼平均半徑，圖 7 顯示，螺重量愈大其螺殼平均半徑也愈大。螺殼平均半

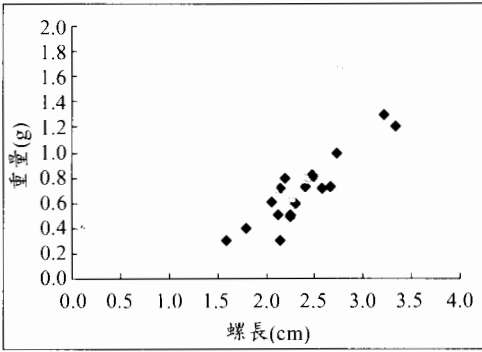


圖 3 網目海蝨螺長與重量之關係圖

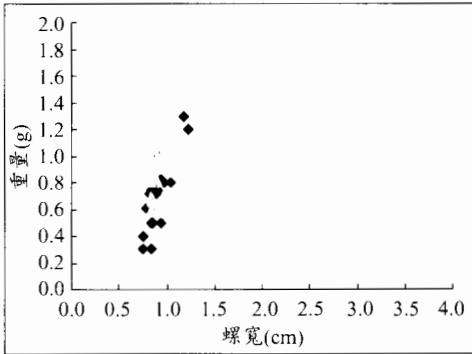


圖 4 網目海蝨螺寬與重量之關係圖

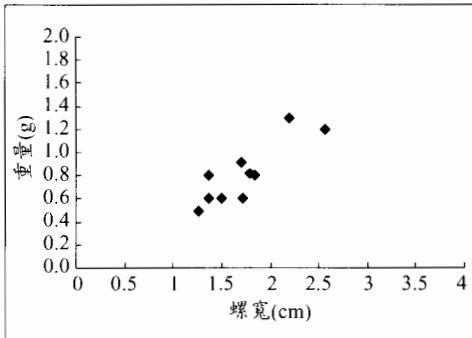


圖 5 網目海蝨的重量與最大偏心距的關係圖

徑介於 0.27~0.45cm，重量介於 0.50~1.30g 之間。縱軸的重量為空殼體重。

(二) 時間與溫度的變化趨勢

由圖 8 與圖 9 中螺殼溫度及表土溫度跟時間的關係圖，可發現與研究理論中假設一日的溫度變化為 sin 曲線相符合，因此由各田間實驗中的溫度關係求出理論中的參數值如表 1 及表 2。

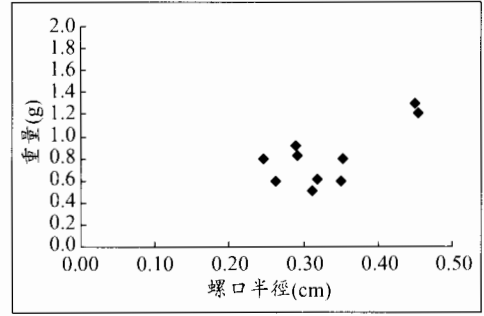


圖 6 網目海蝨的重量與螺口半徑的關係圖

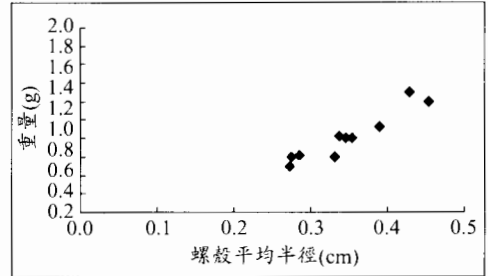


圖 7 網目海蝨的重量與平均半徑的關係圖

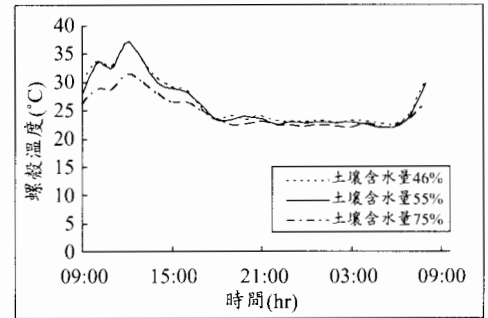


圖 8 挖仔尾第一次田間實驗螺殼溫度與時間的關係圖

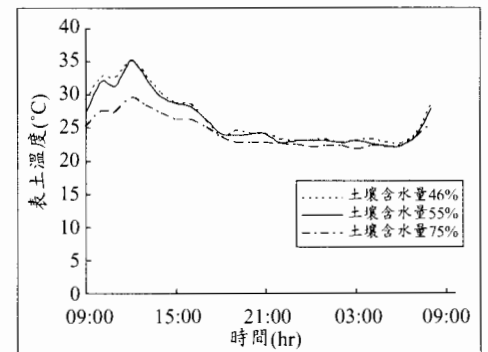


圖 9 挖仔尾第二次田間實驗表土溫度與時間的關係圖

表 1 第一次八里挖仔尾自然生態保留區田間實驗參數

土壤平均含水量	平均溫度(°C)		最高溫度(°C)		最低溫度(°C)		振幅(°C)		熱傳導係數(mcal/cmsec°C)	
	螺殼	表土	螺殼	表土	螺殼	表土	螺殼	表土	螺殼	表土
75%	24.72*	24.44*	31.17*	29.87*	21.93 N.S.	21.87 N.S.	4.62*	4.00*	0.25**	13.57**
55%	26.05 N.S.	25.91 N.S.	36.00*	34.75*	21.90*	22.20*	7.05*	6.28*	0.12**	4.72**
46%	26.46 N.S.	26.37 N.S.	36.65**	35.08**	22.5 N.S.	22.5 N.S.	7.08**	6.29**	0.15**	5.34**

備註：*代表顯著性，顯著水準<0.05，**代表極顯著，顯著水準<0.01，N.S. 代表差異不顯著。

表 2 第二次八里挖仔尾自然生態保留區田間實驗參數

土壤含水量	平均溫度(°C)		最高溫度(°C)		最低溫度(°C)		振幅(°C)		熱傳導係數(mcal/cmsec°C)	
	螺殼	表土	螺殼	表土	螺殼	表土	螺殼	表土	螺殼	表土
95%	28.32**	29.63**	36.85 N.S.	37.63 N.S.	23.77 N.S.	23.90 N.S.	6.55 N.S.	6.87 N.S.	0.100**	10.82**
85%	29.45**	29.60**	41.05 N.S.	40.95 N.S.	23.93*	24.07*	8.56 N.S.	8.45 N.S.	0.086**	6.21**
42%	30.31*	30.77*	44.43 N.S.	44.38 N.S.	23.23 N.S.	23.23 N.S.	10.6 N.S.	10.58 N.S.	0.061**	3.18**

備註：*代表顯著性，顯著水準<0.05，**代表極顯著，顯著水準<0.01，N.S. 代表差異不顯著。

由表 1 結果呈現在第一次挖仔尾自然生態保留區的田間實驗結果，其螺類的熱傳導係數顯著低於表土，其相差倍數為 35.16~54.28 倍之間。螺類的熱傳導係數隨著土壤含水量降低而降低，且低於純水的熱傳導係數 1.37mcal/cmsec °C 與有機質的熱傳導係數 0.6 mcal/cm sec °C。可見螺類的避熱機制，仍然取決於螺殼內的孔隙。表土的熱傳導係數也隨著土壤含水量的降低而降低，主要是由於水與空氣的熱傳導係數低於礦物質的熱傳導係數。

實驗結果顯示螺類的日最高溫度皆顯著大於表土的日最高溫度。在平均土壤含水量 75%、55%與 46%下，螺類與表土日最高溫度的差距分別為 1.30°C、1.25°C與 1.57°C，可見螺類是藉著螺殼與本身所含的含水量，產生避熱機制。

在振幅方面，螺類的溫度振幅皆顯著的大於表土的溫度振幅。在平均土壤含水量為 75%~55%與 46%之下，其溫差為 0.62°C、0.77°C與 0.79°C。可見土壤含水量降低，口振幅的溫差會愈大，幸而螺類的熱傳導係數會隨著土壤含水量的降低

而降低與增加其避熱機制。

在日平均溫度與最低溫度，螺類與表土較無顯著差異，只有平均土壤含水量 75%時，螺類之日平均溫度較表土之日平均溫度高 0.28°C，平均土壤含水量 55%時，螺類最低溫度低於表土最低溫度 0.3°C，證明在低溫情況下或是在夜晚，螺類的避熱機制較不顯著。

在第二次挖仔尾自然生態保留區的結果顯示如表 2，呈現螺類的熱傳導係數皆極顯著低於表土的熱傳導係數，而其值也接近於空氣的熱傳導係數，可見螺殼的結構相當於一個包裹的空氣層，圍繞在螺肉的上方。雖然螺類在灘地上承受高熱，但是有良好的避熱果效，不同於第一次在挖仔尾自然生態保留區的實驗，結果顯示螺類與表土的日最高溫度與振幅在不同土壤含水量下無顯著差異，主要原因是因為在第二次田間實驗風速(3.01m/sec)遠大於第一次田間實驗的風速(0.69m/sec)，因此螺類在承受溫度時，熱對流成一顯著因子。

這也可由平均溫度看出，螺類的日平均溫度

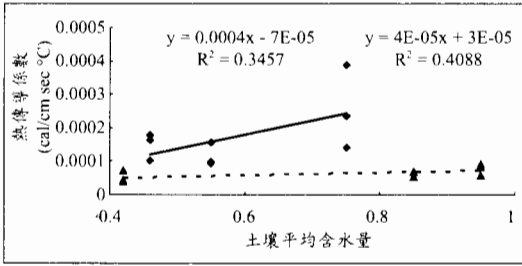


圖 10 第一次田間實驗與第二次田間實驗螺類的熱傳導係數比較圖。(實線為第一次，虛線為第二次： $y = 0.0004x - 7E-05$ 為第一次回歸式， $y = 4E-05x + 3E-05$ 為第二次回歸式)

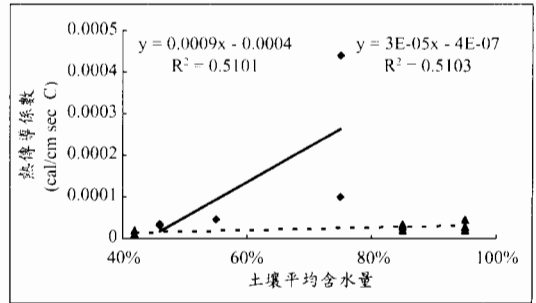


圖 11 第一次田間實驗與第二次田間實驗空殼的熱傳導係數比較圖。(實線為第一次，虛線為第二次： $y = 0.0009x - 0.0004$ 為第一次回歸式， $y = 3E-05x - 4E-07$ 為第二次回歸式)

皆顯著的低於表土日平均溫度，在平均土壤含水量為 95%、85%與 42%時，其相異值 1.31°C 、 0.15°C 與 0.46°C 。再一次的證明當風速超過 3.01m/sec ，熱對流機制可能會比熱傳導機制為更顯著，同樣的現象也呈現在日最低溫上，螺殼表面的日最低溫相較於表土的日最低溫，除了在平均土壤含水量 85%之外，皆不顯著，而且均低於表土溫度。

(三) 含水量與熱傳導係數

在二次的田間實驗中，利用所求得的熱傳導係數與不同的土壤含水量繪製關係圖。比較八里挖仔尾自然生態保留區田間實驗中不同土壤含水量下熱傳導係數的變化率。

由圖 10 顯示出，兩次八里挖仔尾自然生態保留區田間實驗中，土壤平均含水量愈大螺類的熱傳導係數也愈大，其熱傳導係數變化率第一次 ($0.0004 \text{ cal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$) 大於第二次 ($0.00004 \text{ cal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$)

由圖 11 顯示出，兩次八里挖仔尾自然生態保留區田間實驗中，土壤平均含水量愈大空殼的熱傳導係數也愈大，其熱傳導係數變化率第一次 ($0.0009 \text{ cal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$) 大於第二次 ($0.00003 \text{ cal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$)。

由圖 12 顯示出，兩次八里挖仔尾自然生態保留區田間實驗中，土壤平均含水量愈大土壤的熱傳導係數也愈大，其熱傳導係數變化率第一次 ($31\text{mcal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$) 大於第二次 ($12\text{mcal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$)。

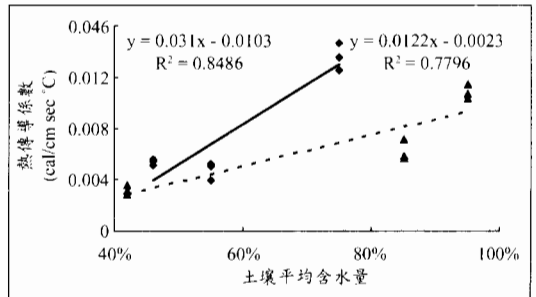


圖 12 第一次田間實驗與第二次田間實驗土壤的熱傳導係數比較圖。(實線為第一次，虛線為第二次： $y = 0.031x - 0.0103$ 為第一次回歸式， $y = 0.0122x - 0.0023$ 為第二次回歸式)

由圖 10、圖 11 及圖 12，第一次田間實驗中土壤的熱傳導係數變化率 ($31\text{mcal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$) 大於空殼的熱傳導係數變化率 ($0.9\text{mcal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$) 大於活螺的熱傳導係數變化率 ($0.4 \text{ mcal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$)。第二次土壤的熱傳導係數變化率 ($12.2\text{mcal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$) 大於空殼的熱傳導係數變化率 ($0.03\text{mcal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$) \cong 活螺的熱傳導係數變化率 ($0.04\text{mcal/cmsec } ^{\circ}\text{C}$)。其中第二次田間實驗空殼與活螺的熱傳導係數變化率非常接近，主要原因為第二次實驗時的風速較大、空氣溫度高以及相對溼度小，造成部分熱通量以熱對流的方式散失。

五、結 論

本研究為二次田間實驗，研究區域為八里挖仔尾自然生態保留區，監測螺類溫度、土壤表面

溫度以及土壤下層 5cm 的溫度，並以氣象儀輔助量測風速、風向、氣溫、溼度及太陽輻射量等自然因子，探討螺類在土壤之熱傳導性，獲致以下結論：

1. 網目海蝨的形狀為圓錐形狀，且愈到尾部愈細，在強風下無形中成爲一個極佳的散熱結構。此時常表上下的溫度高於螺殼溫度時，螺類所承受的熱量不僅來自太陽輻射，部分也來自表土之傳導，螺類在上下皆受熱的情況，較低的熱傳導係數是極爲重要的耐熱機制，此能解釋我們在田間實驗所觀察的螺類行爲。當地面溫度愈高時，螺類會有鑽土現象，螺類藉由腹足的運動潛入土中，可以接觸在表土以下較低溫度的土壤與減少土壤對螺類的熱通量。螺類的腹足因爲是有機體，不似螺殼會有較高的孔隙，因此由實驗得知，螺殼的避熱機制遠優於腹足。

2. 由實驗結果顯示，網目海蝨因爲有較佳的避熱機制，包括螺殼有較多的孔隙，螺肉有較多的含水量，所以可分佈於溫度較高的地方。並且根據田間實驗觀察，網目海蝨會選擇土壤含水量較高處爲其棲地。在田間實驗也發現網目海蝨多棲息在低、中潮間帶，而非高潮間帶區，因爲高潮間帶承受潮水時間與土壤含水量較少，不適合網目海蝨的生存。

3. 實驗結果發現當風速爲 0.69m/sec 時，熱傳導係數較低，是網目海蝨重要的避熱機制。當風速超過 3.01m/sec 時，熱對流可能也會成爲網目海蝨的散熱機制，因此在空間寬闊通風良好的感潮溼地，對於網目海蝨的生存是有助益的。

4. 在田間實驗的觀察，網目海蝨大部分生存於粗質砂灘地，在泥質的部分較少發現網目海蝨在其上活動，本研究缺乏在泥灘上的研究，但是以兩次的田間實驗發現含砂量略低，表土的熱傳導係數果然也較低。且土壤含水量愈高其熱傳導係數值愈大，例如，第一次挖仔尾田間實驗，平均土壤含水量爲 75%、55%與 46%時，測得螺的熱傳導係數爲 0.254mcal/cmsec °C、0.116mcal/cmsec °C 與 0.147mcal/cmsec °C，在第二次挖仔尾田間實驗，平均土壤含水量爲 95%、85%與 42%時，測得螺的熱傳導係數爲 0.10mcal/cmsec °C、

0.086mcal/cmsec °C 與 0.061mcal/cmsec °C，熱傳導係數愈大熱愈易散走，其避熱機制也佳。因此在砂灘質地愈粗與土壤含水量愈高時，網目海蝨的避熱機制愈佳。這對於在溫度較高的感潮區間溼地管理，需要提供了三個重要的指標適合於網目海蝨的棲息，需要較粗質地的灘地、較高土壤含水量與較具通風性。

5. 如果感潮溼地呈現陸域化，以致土壤含水量降低或過度的淤積，使泥灘地質地變細，或是因爲人爲堤防的建造，減少了溼地的通風性，皆不利於網目海蝨的棲息。本研究所進行的挖仔尾，雖已列爲國家自然生態保留區，但網目海蝨的數量卻在減少，因此在溼地整治中，與維護土壤含水量、土壤質地與通風性是重要的指標。

誌 謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會「潮間帶螺類對熱逆境的防避機制(1/2)」(NSC91-2523-S-002-0025)計畫經費補助，使得研究得以順利完成，在此致上感謝。

參考文獻

1. 任淑仙，1995。無脊椎動物學。淑馨出版社，台北。
2. Alvenas, G. and P. Jansson, 1997. Model for evaporation, moisture and temperature of bare soil: calibration and sensitivity analysis. *Agriculture and Forest Meteorology* 88:47-56.
3. Berwaerts, K., H. Van Dyck, E. Vints, and E. Matthyssen. 2001. Effect of manipulated wing characteristics and basking posture on thermal properties of the butterfly *Pararge aegeria* (L.). *Journal of Zoology* 255: 261-267.
4. Daniel, L. D. 1990. *Soil Biology Guide*. Wiley Press. New York. USA.
5. Forsman, A., K. Ringblom, E. Civantos, and J. Ahnesjö. 2002. Coevolution of color pattern and thermoregulatory behavior in polymorphic pygmy grasshoppers *Tetrix undulata*. *Evolution* 56: 349-360.

6. Hazel, W. N. 2002. The environmental and genetic control of seasonal polyphenism in larval color and its adaptive significance in a swallowtail butterfly. *Evolution* 56: 342-348.
7. Helmuth, B. S. T. 1998. Intertidal mussel microclimate: predicting the body temperature of a sessile invertebrate. *Ecological Monographs* 68: 51-74.
8. Hillel, D. 1998. *Environment Soil Physics*. Academic Press. New York. USA.
9. Hofmann, G. E. and G. N. Somero. 1996. Interspecific variation in thermal denaturation of proteins in the congeneric mussels in *Mytilus trossulus* and *Mytilus galloprovincialis*: evidence from the heat-shock response and protein ubiquitination. *Marine Biology* 126: 65-75.
10. Jones, K. M. M. and E. G. Boulding. 1999. State-dependent habitat selection by an intertidal snail: the costs of selecting a physically stressful microhabitat. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 242: 149-177.
11. Lewis, J. R. 1964. *The Ecology of Rocky Shores*. English Univ. Press, UK.
12. Manuel C. M. 2002. *Ecology-Concepts and Applications*. USA.
13. Nybakken, J. W. 1993. *Marine Biology. An Ecological Approach*. Third Edition. Harper-Collins College Publishers. New York. USA.
14. Seed, R. and T. H. Suchanek. 1992. Population and community ecology of *Mytilus*. Pages 87-169 in E.M. Gosling, editor. *The mussel Mytilus: ecology, physiology, genetics and culture*. Elsevier Science. Amsterdam. The Netherlands.
15. Wetthey, D. S. 1984. Sun and shade mediate competition in the barnacles *Chthamalus* and *Semibalanus*: a field experiment. *Biological Bulletin* 167: 176-185.
16. Williams, G. A. and S. Morritt. 1995. Habitat partitioning and thermal tolerance in a tropical limpet, *Cellana grata*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 124: 89-103.
17. Willmer, P., G. Stone and I. Johnston 2000. *Environmental Physiology of Animals*. Blackwell Science, Malden, UK.

收稿日期：民國 92 年 7 月 14 日
 修正日期：民國 92 年 8 月 18 日
 接受日期：民國 92 年 8 月 25 日