

投稿類別：生物類

篇名：怪哉!怪哉!唯汝獨尊!
—硫磺怪方蟹之生存適應策略的探討

作者：

邱宜平。國立蘭陽女中。二年十三班
陳怡姣。國立蘭陽女中。二年十三班
蔡綠怡。國立蘭陽女中。二年十三班

指導老師：

陳美蓮

壹●前 言

一個近年來受到國際科學界矚目的新物種到底有多麼神奇呢？牠不僅號稱「煮不熟的螃蟹」，還是享受美味「海洋雪」的淺海溫泉霸主！究竟牠是何方神聖，有如此高強本領？原來那正是居住在宜蘭外海龜山島的特有種—硫磺怪方蟹。沒錯！硫磺怪方蟹之所以吸引我們的高度關注，是因為牠具有的本土性、特殊的覓食行為和解毒系統，能生活在那麼惡劣的環境的生物，實在令我們深感佩服！一方面也十分好奇，因為它能靠著特殊的攝食方式在硫磺濃度很高的海底火山附近生存，藉著長期演化與適應的結果，讓牠能在此區域保有優勢，牠許多的構造也因為環境因素而有了改變.....。

本文將從怪方蟹特殊的生長環境切入，了解其險峻的生態環境，以分析其如何克服處處充滿致命危險的因子，再從幾個面向來探討硫磺怪方蟹如何適應環境的策略。例如：牠如何在生物多樣性低的淺海溫泉環境中尋找食物來源？如何適應高毒性的環境？牠在惡劣環境中所演化出的特殊機制…等等。在蒐集資料的過程中，我們也很榮幸有機會訪談到曾多次潛水搜尋怪方蟹的幕後英雄--朱永盛教練，透過他與我們分享的影片，以及詳細的解說；雖然我們沒有親自下海觀察硫磺怪方蟹，卻也能深入其境，對怪方蟹有更多的認識和了解。

貳●正 文

一、怪方蟹的安樂窩--龜山島的生態環境簡介

〈一〉龜山島的地理景觀與生態特色

龜山島，又稱龜山嶼，是位於台灣宜蘭縣外海的火山島，因其外型似浮龜而得名。東西長 3.1 公里，南北寬 1.6 公里，面積 2.841 平方公里，海岸線長 9 公里。島上有兩個湖泊，分別為較小的龜首湖（潭）和較大的龜尾湖（潭），有溫泉、冷泉、海蝕洞、硫氣孔等景觀，另外特殊的動植物生態及海洋資源也相當豐富。



(圖一)龜山島外觀

龜山島是台灣境內唯一露出水面的活火山，但現在是處於休火山狀態，大約在七千年前左右，曾有過一系列的噴發，造成今天島上岩層有非常明顯的節理，其岩層主要是由安山岩質的熔岩流和火山碎屑岩所分別構成。現在龜首的海域，也就是屬於沖繩島弧一部分的海域，還能見到二、三十處的熱泉噴口，是世界上獨特的「淺海熱泉噴口生態系」。近 20 多年來，生物學家一直認為深海熱泉噴口的生態系，是由硫化菌用化學合成的方式，將高濃度的硫化氫氧化取得能量以合成有機物，這些硫化菌便成為初級消費者（例如貽貝、管蟲等）的食物，蝦蟹再以牠們為食，因而構成物種豐富的食物網。

部分學者認為，龜山島仍算是非常年輕的火山島嶼，且在其附近的海域，一千多公尺身海底大約有六十多座相同的海底火山隆起。由於龜山島是海底板塊運動最激烈的區域，因此全島大部分區域是峭壁斷崖地形，地勢十分險峻，每逢地震常可見到山崩落石。

〈二〉淺海熱泉的特殊生態環境

龜山島是一座火山島嶼，島嶼旁圍繞著白色浪花，都帶有懸浮顆粒，來自於海面下火山熱泉噴口持續噴發出的硫磺泉與海水沖積所形成的硫磺顆粒。潛入龜山島的海底，宛如進入一個煙霧瀰漫的危險國度，四處散佈著熱泉噴口，其中至少發現了 9 個大型噴口煙囪，高約 2~6 公尺，隨時都會不斷的噴出熱泉。海水被地底的岩漿高溫加熱後，再從海底的裂縫處噴發出來，噴泉溫度介於 65~116°C，最高溫可高達 140°C。而噴出物質包括大量硫磺、礦物及氣體，氣體主要為二氧化碳、氮氣、氧氣、二氧化硫和硫化氫，這些噴發出來的物質及酸，pH 值約 1.75~4.60。因熱泉中的硫磺和礦物，在熱泉噴口附近就慢慢堆積成煙囪狀的岩塊。年齡介於 200~500 年間。因為熱泉噴口的排放物還有純度高達 99.5% 的元素硫，以及有毒的火山氣體，附近海域的海床幾乎布滿黃色的硫磺礦，如此惡劣的生活環境，使得這片棲地的生物物種非常貧乏(註五)。

其實，早些年前龜山島海域的硫磺及海底熱泉噴發的現象比現在更為壯觀，島上的硫磺煙及龜首附近海域因「出磺」而使海水顏色出現「陰陽海」的現象。出磺時不僅海水顏色混雜變化，海面上也有許多處從海底冒出的硫磺味煙霧，並且會發出水滾的聲音。因為龜首的硫磺礦藏量頗多，並由噴氣孔噴出大量的硫化氫和二氧化碳，形成「龜島磺煙」，是龜山八景之一。以前，龜山島海域一年大約有三至四次的出磺現象，不過在大地震之後，可能出口被堵塞，出磺的景觀已大不如前。



(圖二) 龜首附近海域「出磺」景象(圖片來源: 東北角海岸國家風景區)

在龜山島東部海域，可見到白色氣泡從海裡湧出，是一種後火山噴氣作用，龜山島海底噴泉的溫度約有攝氏一百一十度，其噴出時酸鹼度約為二以下，屬於強酸性，但經由海水中和後，到海面上時，酸鹼度約在六點八左右，比一般海水酸鹼度八（微鹼性）要略微酸一些。這裡亦是世界少有的海底煙囪，這也是龜山八景之一的「海底溫泉湧上流」

〈三〉夾縫中求生存—硫磺怪方蟹的棲息地

硫磺怪方蟹出現在龜山島周圍二十至兩百公尺深的海底火山熱泉出口附近，平均密度每平方公尺約 364 隻，熱泉溫度雖然超過攝氏一百度，可是周邊海水溫度較低(註六)，熱泉口周圍一、兩公尺處，水溫即與周圍等溫，約為 22°C 左右。

因為噴泉噴出物質包括許多氣泡，所以海底其實是非常的吵雜，且轟隆聲不斷，大小不一的氣泡隨著煙霧，從海底往上沖，震耳欲聾十分驚人。怪異的自然音效甚至超過人體所能忍受的音量，對於許多海洋生物而言，是一種生活壓力，但或許對硫磺怪方蟹而言卻是另一種生活保障，並因此減少食物上的競爭者，而成爲獨樹一方的優勢者。



(圖三)硫磺怪方蟹堆疊躲在石縫中(本照片由朱教練提供)

二、硫磺怪方蟹的發現與分類地位

〈一〉發現與命名

「怪方蟹」最早在一九七五年於日本小笠原群島新冒出的火山島海域發現，棲地在淺海噴發熱泉附近、水深十公尺至一百公尺處，背殼略呈方形，經生物學家分類為「短尾亞目、方蟹科、怪方蟹屬」，一九七七年正式發表為世界新種「*X. novaeinsularis*」。

一九九九年台灣和新加坡學者在龜山島海域發現類似日本小笠原群島的怪方蟹，並在 2000 年正式發表為世界新種，因發現地點在龜山島，遂命名為「烏龜怪方蟹 (*X. testudinatus*)」，又稱為硫磺怪方蟹。

〈二〉分類地位的再確認

由於生活在環境惡劣的淺海熱泉中，硫磺怪方蟹為了適應環境，在構造上也出現了些許差異，例如：胸骨、眼窩、觸角、第三對類足、生殖孔……等等的改變，正因為牠在形態上和 DNA 分析與其他蟹有很大的差異存在，科學家們便將怪方蟹的分類層級由怪方蟹屬(*Xenograpsus*)提升到另一個新科--怪方蟹科 (*Xenograpsidae*)的層級，這也再一次證明，硫磺怪方蟹身處在龜山島，與其他蟹的親緣關係的確變遷了，目前經過時空的交錯已經和其他蟹類漸行漸遠而獨樹一格了！(註一)



(圖四)大批硫磺怪方蟹群居及其生活環境(本照片由朱教練提供)

三、硫磺怪方蟹的生存適應策略之評析

了解龜山島淺海溫泉的特性及硫磺怪方蟹的生存環境後，不禁好奇牠究竟是如何在這樣惡劣的環境下存活下來呢？牠是如何透過改變構造、覓食行為、解毒機制、克服高溫及繁衍後代的方法來適應此環境呢？以下，我們將硫磺怪方蟹的生存適應策略分為五個部分並加以評析。

〈一〉構造如何變化以適應環境？—我變！我變！我變變變！

硫磺怪方蟹的甲殼近乎正方形，表面上有許多微小的顆粒，幾乎完全缺乏絨毛，蟹頭胸甲背面隆起，長相類似烏龜，後外側有明顯的橫紋，眼窩下有腫瘤狀的突起、邊緣沒有裂縫，而前外側則較短而斜，只有單個腮下齒。

硫磺怪方蟹基本的觸角固定在眼窩邊緣，龍骨脊形的隔膜緊扣在牠正面邊緣的缺角處，第三顎足與內部的邊緣吻合，沒有留下菱形的缺口，因此能完全緊閉口腔。另外，牠的螯足健壯，在末端有如刷子般的剛毛，而牠的腕骨無突起、圓滑，步足則很平坦。

由於在這個淺海溫泉中，硫磺怪方蟹的食物「海洋雪」源源不絕的供應，造就了牠們溫馴的個性，因此牠們的螯不再是尖銳傷人，反而鈍鈍的，前端還有小塊的黃色。硫磺怪方蟹有很多與其他蟹類不同的構造，這些構造即有可能是牠為適應環境所演化出的，至於每個構造的功能和演化意義則還有待進一步的研究來釐清。

〈二〉硫磺怪方蟹如何在惡劣環境中尋找食物？—伺機而動，「海洋雪」吃到飽！

1、天上降下的食物—海洋雪

退潮之時，海流會轉向，熱泉噴口的煙柱便會直接向上噴發，殺死許多浮游生物，這些浮游生物會像「飄雪」般落到海床上，硫磺怪方蟹便會趁海中煙霧瀰漫、混濁不清時，大規模的橫行於海床上，用其鈍螯撿食散於海洋中的「海洋雪」；當海流一增強，噴口冒出的致命煙霧會跟著海流轉向，浮游生物也隨著海流漂逝，怪方蟹便會成群返回裂縫中，等待下一次的平潮再出來覓食。(註二)

硫磺怪方蟹和在 1975 年於日本的小笠原群島的海底火山噴口附近發現的「怪方蟹」(*X.novaeinsulris*)屬於同目，而於日本發現的怪方蟹，我們目前只知道牠會用有剛毛的螯指尖端在海床上覓食，至於其日常食性則不太清

楚。

2、機會主義的覓食行爲

由於台灣潮汐屬於半日潮，硫磺怪方蟹每天應該有可能會進行兩次的覓食活動，但由於夜間不易潛水觀察，因此其是否會在夜間出來覓食還有待研究。硫磺怪方蟹這種高效率、機會主義的覓食行爲，在當今其他海底熱泉生物的研究中均不曾發現，是十分特別的適應策略。

比起其他的海洋生物，硫磺怪方蟹可說是非常幸運，牠們不需要擔心食物的問題，每天只要悠閒地等待美食從天而降，也因為浮游生物供應源源不絕，怪方蟹不互相競爭，不互相打鬥，個性非常「溫馴」，也沒有其他生物會來跟牠們爭奪這塊環境惡劣的領域，這也是硫磺怪方蟹為何能在火山口旁生存得這麼好的原因之一。



(圖五)硫磺怪方蟹群體覓食的情形(本照片由朱教練提供)

〈三〉硫磺怪方蟹如何在高毒性的環境下存活？—耐毒、解毒有一套！

1、不同於一般生物的解毒機制

龜山島海底火山的熱氣騰騰、硫磺瀰漫，硫磺怪方蟹如何在高毒性環境中生存呢？如同前文所述，生物學家一直認為熱泉噴口的生態系，是由硫化菌用化學合成的方式，將高濃度的硫化氫氧化取得能量以合成有機物，這些硫化菌便成為初級消費者的食物，蝦蟹再以牠們為食，因而構成物種豐富的食物網，但在硫磺怪方蟹生活的環境中並無此現象，在其活動的海床上散佈許多的硫磺塊，在加上硫磺的毒也會附著在浮游生物上，隨著硫磺怪方蟹的覓食而進入體內，硫磺怪方蟹因此演化出一套具有解毒性的消化系統，這正是其奇妙之處。(註四)

2、高毒性的物質—硫化氫

硫化氫對水中生物來說是一種劇毒，它能滲入生物體內，阻抑電子傳遞鏈中細胞色素-c的正常功能，造成細胞死亡。在台灣大學海洋研究所的一篇論文中提到，『分析暴露後的硫磺怪方蟹體內，發現大量的硫代硫酸根($S_2O_3^{2-}$)累積在各部位的組織之中』(張誠茂，2006)，而牠會藉由氧化作用，將硫化氫轉化為不具毒性的硫代硫酸根，再慢慢排出體外，藉此來克服硫化氫的毒性。因此硫磺怪方蟹憑著對硫化氫毒性的適應，得以成為龜山島淺海溫泉的霸主。

〈四〉如何克服高溫環境？—「煮不熟的螃蟹」之迷思！

硫磺怪方蟹生活在高溫的熱泉環境，曾被媒體誤報生活在高於 100°C 的環境中，有超強的耐高溫性，甚至是「煮不熟的螃蟹」，其實這是一項誤解，硫磺怪方蟹生活在高溫的火山出口旁，並非直接處於火山口，其生活環境之水溫大約為 20~30°C，僅比正常的溫度高了一些，亦即屬於一般「正常」的螃蟹，因此遇到沸水時仍然會被燙死。

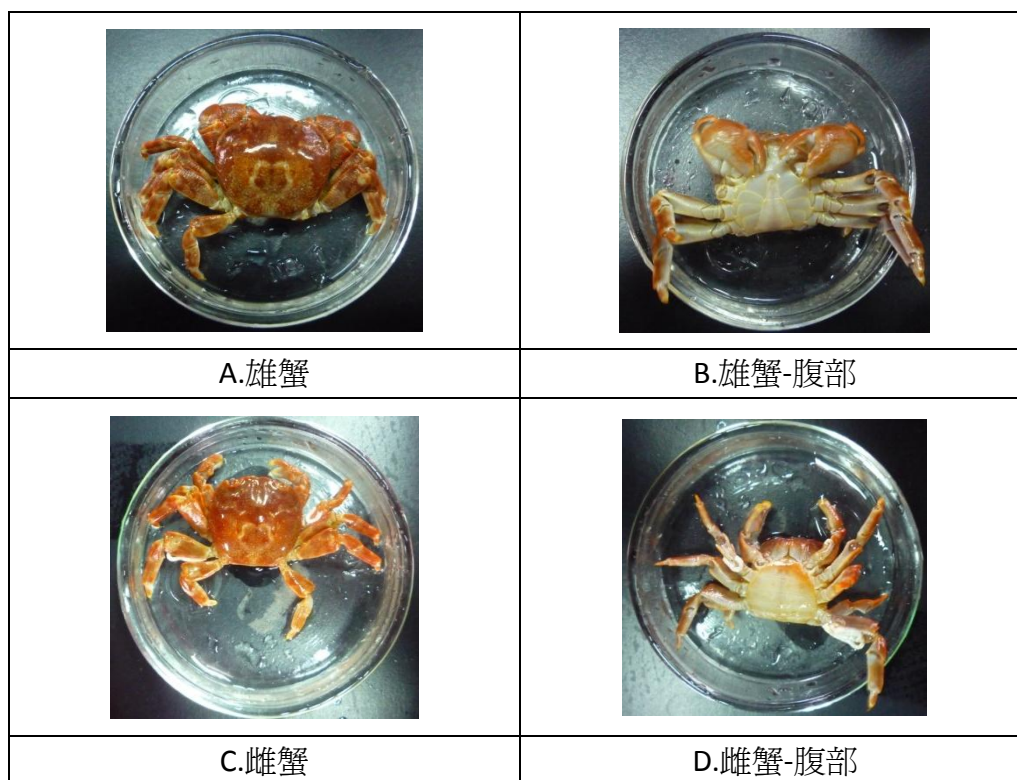
只是面對溫度如此變化多端的環境，其行為必然也須跟著調整和改變，經長期演化的結果其感應溫度變化，必然地也已找出了牠獨特的驅吉避凶的適應生存之道。

〈五〉硫磺怪方蟹的繁殖策略如何?--雌雄配比非尋常，團團謎底待解開！

怪方蟹的體寬最大可到三公分，出生後一年可長到約零點八公分，大約在此時即具有繁殖能力，但由於淺海熱泉棲地樣貌變化大，無法對同一族群的怪方蟹進行持續追蹤，怪方蟹完整的生活史至今仍然不明。

硫磺怪方蟹雌雄的差異在於腹部的形狀、大小，雄蟹的腹部呈三角形，且較細長，而雌蟹的腹部則呈橢圓至半圓形，稍寬大。

在訪談中，朱教練特別描述到，所捉回來的怪方蟹，雌雄配比有顯著的差別，在上次捕獲的怪方蟹，經計數結果發現，總數約 200 隻的怪方蟹當中，其雌雄比例差距約莫有 1 比 6 之別。出外覓食的大都是公蟹，母蟹和幼蟹都躲藏在石縫中，為何會有此現象呢？這樣的雌雄配比是否有什麼特殊的生存適應意涵呢？其原由則還有待做進一步的觀察及研究。



(圖六)硫磺怪方蟹雌雄外觀構造的比較(由本實驗室飼養之怪方蟹拍攝)

參●結 論

綜合上述分析，可知怪方蟹在變化多端的環境下，經長期演化已找出牠的一套適應生存之道，有關本文之結論綜合如下：

〈一〉適應環境，構造改變--

硫磺怪方蟹有很多與其他蟹類不同的構造，如文中所述，這些構造即是牠們為適應環境所演化出的。

〈二〉掌握時機，食物源源不絕--

硫磺怪方蟹靠著海洋雪維生，而海洋雪源源不絕的補充，牠的食物來源無須操心，只需等待食物來臨，真是名副其實的「機會主義」者！由於食物量多，牠們彼此間不會有搶食的情況發生，因此用來撿食的螯不再尖銳，且大家都是溫馴的，即使一隻疊著一隻，也不會互相攻擊。

〈三〉特殊解毒系統，百毒不侵--

硫磺怪方蟹的生活環境中充滿了有毒的火山氣體以及大量的硫磺，牠之

所以能在這麼惡劣的環境下生存，並不是因為靠著硫化菌用化學合成的方式，將高濃度的硫化氫氧化取得能量以合成有機物，而是自有一套特殊的解毒機制。在觀察硫磺怪方蟹平常的活動時，我們發現牠活動量不大，反應也有些遲緩，此現象是否和毒素有關，還有待研究。

〈四〉隨遇而安，高溫奈我何--

硫磺怪方蟹藏身在岩石的狹縫中，溫度只比一般水溫高兩、三度，並不如報章雜誌所報導的「煮不死的螃蟹」，若其遇到沸水時仍然會被燙死。

〈五〉雌雄配比大不同，另有策略我獨優--

目前科學家依然無法完整的得知硫磺怪方蟹的野外生活史，牠究竟是如何繁殖、有多長的壽命、族群中的雌雄配比……等等問題，都還有待觀察探討。

致 謝：

完成這篇小論文，特別感謝在探索硫磺怪方蟹上一一直都扮演著幕後英雄的資深潛水教練—朱永盛先生，由於他的慷慨支援與協助，讓許許多多有關於怪方蟹的神秘面紗得以一一揭開。在龜山島這片海域他瞭若指掌，提供了我們許多有關怪方蟹的影片及線索；一些新的發現和未解的謎，他毫不吝嗇的傾囊訴說，使我們獲益良多，同時也讓我們對怪方蟹有了更深的接觸和了解。對於朱教練的幫助，在此僅表達我們的謝意，謝謝他的用心與熱忱。他的幫助我們銘記在心！



(圖七)與朱教練之合影

肆●引註資料

一、期刊、論文

- 〈註一〉 N. K. Ng, Peter J. F. Davie, Christoph D. Schubart, & Peter K. L. Ng. (2007). Xenograpsidae, a new family of grapsoid crabs (crustacea : Brachyura) associate with shallow water hydrothermal vents, *The Raffles Bulletin of Zoology*. 16. 233-256.
- 〈註二〉 M.-S. Jeng, N.K Ng, & P.K.L.Ng. (2004) . Hydrothermal vent crabs feast on sea 'snow' . *Nature*. 969.
- 〈註三〉 鄭靜琪(2005)。專吃海洋「飄雪」的怪方蟹。科學人。
- 〈註四〉 張誠茂(2007)。硫磺怪方蟹對硫化氫的耐受度與解毒機制。台灣大學海洋研究所：碩士論文。

二、網路資料

- 〈註五〉 高瞻計畫資源平台，台灣龜山島的熱泉生態系
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=588>
- 〈註六〉 行政院國家科學委員會
<http://web1.nsc.gov.tw/ctpd.a.aspx?xItem=10467&ctNode=76&mp=8>
- 〈註七〉 硫磺怪方蟹可以生活在 140 度且強酸高溫的熱水中
<http://www.allnice.com/modules.php?name=News&file=print&sid=483>
- 〈註八〉 龜山島熱泉噴口硫磺怪方蟹的生存之道
http://www.zlsh.tp.edu.tw/onweb.jsp?webno=3333333135&webitem_no=285
- 〈註九〉 煮不熟的螃蟹？
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2006/10/2006103117094544.pdf>
- 〈註十〉 海底火山-維基百科
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B5%B7%E5%BA%95%E7%81%AB%E5>