

三種高山蛞蝓形態特徵與分子親緣研究

Morphology and Molecular Phylogeny of Three *Anadeninus* Slugs (Gastropoda: Pulmonata: Anadenidae)

蔡奇立

Chi-Li Tsai

行政院農業委員會特有生物研究保育中心 55244 南投縣集集镇民生東路 1 號

Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

通訊作者：tcl@tesri.gov.tw

Corresponding author: tcl@tesri.gov.tw

摘 要

比較 3 種高山蛞蝓生殖腺形式，*Anadeninus parvipenis*的陰莖最短、陰莖鞘較厚與儲精囊柄膨大呈球形；*A. yangtzeensis*的陰莖最肥厚且長，陰莖鞘細長；*A. sechuenensis*的陰莖鞘細長，長度與輸精管約等長。在COII親緣樹顯示，3 種高山蛞蝓聚合呈一單系群，此分群結果與生殖腺形式一致；然歐洲蛞蝓科並無與高山蛞蝓科聚合呈一單系群，反而與黏液蛞蝓科呈一單系群，從親緣分群的結果是支持Wiktor *et al.* (2000)將原屬於歐洲蛞蝓科中的高山蛞蝓亞科，提升至「科」的層級。

Abstract

In comparison of genitalia among the three *Anadeninus* slugs, *A. parvipenis* has a shortest penis with a thick epiphallus and a broadened and nearly spherical spermtheca duct, while *A. yangtzeensis* has a broadened and long penis with a thin epiphallus, and *A. sechuenensis* has equally long and thin epiphallus and vas deferens. Based on the COII phylogenetic tree, Arionidae dose not clustered with Anadenidae but with Philomycidae to constitute a monophyletic group, supporting the proposal of Wiktor *et al.* (2000) to raise the subfamily Anadeninae to rank of the family Anadenidae.

關鍵詞：高山蛞蝓科、歐洲蛞蝓科、生殖腺、細胞色素 C 氧化酶次單元 II 基因、親緣關係

Key words : Anadenidae, Arionidae, genitalia, cytochrome c oxidase subunit II gene, phylogeny

收件日期：2012 年 07 月 02 日

接受日期：2012 年 10 月 08 日

Received: July 02, 2012

Accepted: October 08, 2012

緒 言

高山蛞蝓科(Anadenidae)為一群歸屬於歐洲蛞蝓超科(superfamily Arionidea)的蛞蝓，外套膜僅覆蓋身體背部約1/3，外套膜內部有一橢圓形扁平退化的殼；身體尾端凸脊(keel)。Wiktor *et al.* (2000) 將原屬於歐洲蛞蝓科(Arionidae)中的高山蛞蝓亞科(Anadeninae)提升至「科」的層級，並發表7種中國產高山蛞蝓屬(*Anademu*)之蛞蝓。然 Kuzminykh 及 Schileyko(2005)將7種原歸屬於*Anadenus*屬之中國產高山蛞蝓改歸為*Anadeninus*屬。目前高山蛞蝓科包含2屬(*Anadenus*和*Anadeninus*)和20種已被命名的種類(nominal species)，高山蛞蝓種類分布從北印度、喀什米爾、巴基斯坦、尼泊爾和南中國等地(Gupta and Oli 1998; Kuzminykh and Schileyko 2005)。

在2010年，進行臺灣地區自然保護留區野生動物資源調查時，在桃園縣拉拉山自然保護留區(121°26'15.78" E, 24°42'37.68" N)採集到一種*Anadeninus*屬的高山蛞蝓。根據先前臺灣各類野生動物調查報告(Adams 1868; Pilsbry and Hirase 1905; Kuroda 1941; 賴1990)及台灣貝類資料庫(<http://shell.sinica.edu.tw/>)顯示，並無此種被記錄。經比對外部形態、生殖腺、頷和齒舌等特徵，此種被鑑定為等陽高山

蛞蝓(*Anadeninus parvipenis*)，為臺灣新紀錄科與新紀錄種之蛞蝓(Tsai *et al.* 2012)，等陽高山蛞蝓在中國也被列為紅皮書中瀕危物種(汪及解2005)。此外，在2009年，林文信先生至中國四川與貴州採集到2種未知種的高山蛞蝓，並由臺北教育大學吳書平助理教授轉交本研究。

本研究比對這3種高山蛞蝓的外部形態、生殖腺、頷和齒舌等特徵，並結合粒線體核酸序列來分析物種間親緣關係。本研究目的為(1)利用外部形態鑑定3種高山蛞蝓的分類屬性；(2)檢測3種高山蛞蝓與其他類蛞蝓親緣關係；(3)由於Wiktor *et al.* (2000)並未說明為何將原屬於歐洲蛞蝓科中的高山蛞蝓亞科提升為科的層級，本研究以分子親緣觀點檢測是否支持 Wiktor *et al.* (2000) 將原屬於歐洲蛞蝓科中的高山蛞蝓亞科提升為科的論點。

材料與方法

一、標本來源與保存

在拉拉山自然保護留區採集到17隻高山蛞蝓標本(表1)，採集的蛞蝓標本會先浸入水中整夜鬆弛後，以70%酒精固定，並更換2次酒精，最後保存於70%酒精。標本經外觀形態鑑定判別後，測量外部形態形質，並以Canon

20D數位像機照相記錄標本的背面、腹面與右側面，而成熟的標本用Leica Wild MZ12.5 (Leica Microscopy and Scientific Instruments Group, Heerburg, Switzerland)解剖顯微鏡進行生殖系統解剖觀察與繪圖，並取出齒舌與頷，經清洗與脫水，用Hitachi掃描式電子顯微鏡(model 3000N, Tokyo, Japan)拍照記錄。此外，林文信先生至中國四川與貴州採集到2種未知種的高山蛞蝓與周文一博士2000年採自廣西興安縣貓兒山的等陽高山蛞蝓標本也一併用上述方法處理(表1)。

二、DNA抽取、聚合酶連鎖反應放大與定序

取5隻拉拉山產等陽高山蛞蝓與另3隻中國產高山蛞蝓的足部肌肉組織用Puregene DNA抽取純化試劑組(Gentra Systems, Minneapolis, MN, USA)依據使用說明進行DNA抽取，操作流程參考使用說明：將小塊肌肉組織自99%酒精中取出，置於1.5ml微量離心管中，以65°C烘乾15~20min，加入300µl cell lysis，置於65°C乾浴槽15min；用剪刀將組織均質化，加入2µl proteinase K，搖動使之混合均勻，置於55°C中3hr或隔夜。加入100µl protein precipitation solution，強力震盪20sec，置於冰上5min，以13000~16000rpm離心3min，使蛋白質沉澱。取出上清液至1.5ml微量離心管中，加入300µl 100%酒精，13000~16000rpm離心2min。倒掉酒精，加入300µl 100% Isopropanol，翻轉離心管，使之均勻混合。以13000~16000rpm離心5min，倒掉Isopropanol，以65°C烘乾15~20min，加入50µl DNA hydration solution，置於55°C 1hr。保存於-20°C冰箱中。

增幅粒線體COII基因序列產物用：COIIF (5'-AAATAATGCTATTTTCATGAYCAYGC-3')和

COIIR (5'-GCTCCGCAAATCTCTGARCAYTG-3') (Hugall *et al.* 2002)。聚合酶連鎖反應(polymerase chain reaction, GeneAmp 9700 PCR system; Applied Biosystems, Foster City, CA, USA)在50µl反應溶液中，包含1µl的template DNA (50-100 ng extracted genomic DNA)、1µl的10 mM正反兩股的primers、2.5 µl的10×PCR buffer、1 µl的10 mM dNTPs、2.5 µl的25 mM MgCl₂和1 U的Taq polymerase，反應條件為：initial denaturation step 為94°C 5 min，爾後35 cycles 為94°C 30s、annealing at 45–55°C 30s 和 extension at 72°C 30s，最後在 final extension step 為72°C 7min。這 PCR 產物會用1% agarose gel 電泳與 ethidium bromide 染色檢測，使用 Micro-Elute DNA Clean/Extraction Kit (GeneMark, Taiwan)將 PCR 產物純化並溶於10 µl ddH₂O。純化 PCR 產物用 ABI Model 3100 DNA sequencer (Applied Biosystem, USA) with BigDye terminator cycle sequencing reagent (Applied Biosystem, USA)定序。

三、DNA序列分析

DNA序列用BioEdit 7.0.1 (Hall 1999)排列與編輯。6種黏液蛞蝓(*Meghimatium bilineatum*、*M. fruhstorferi*、*M. burchi*、*Philomycus carolinianus*、*Megapallifera ragsdalei*和*Pallifera dorsalis*)、2種歐洲蛞蝓(*Arion distinctus*和*A. rufus*)、2種野蛞蝓(*Deroceras reticulatum*和*D. laeve*)與1種背盾蛞蝓科(*Limax flavus*)當作外群(表1)。以Clustal X v. 1.83進行序列互相排序(Thompson *et al.* 1997)，並手動校正。用MEGA ver. 4進行核酸序列統計分析(Tamura *et al.* 2007)。

表 1. 採集標本之標本編號、採集資訊編號
Table 1. Localities and Genbank accession numbers of the samples used in the phylogenetic study

編號 Catalogue number	採集地點 Locality	緯度 Latitude	經度 Longitude	海拔 Elevation (m).	數量 number	採集日期 Collection date	標本編號 Museum catalogue number	Genbank 序列編號 COII
Anadenidae								
<i>Anadeninus parvipenis</i>								
API	桃園縣拉拉山自然保護留區	24°42'37.68"	121°26'15.78"	1653	3	2010/04/21	NMNS--6656-001 ESRI-MOL-10-0035-001,002	JX255495
1	AP2 Lalashan Forest Reserve, Taoyuan, Taiwan	24°42'45.07"	121°26'15.88"	1680	1	2010/04/21	ESRI-MOL-10-0039-001	JX255496
	AP3	24°42'48.72"	121°26'6.77"	1532	7	2010/04/27	ESRI-MOL-10-0045-001~007	JX255497
	Ap4	24°42'44.55"	121°26'11.63"	1599	6	2010/06/08	ESRI-MOL-10-0057-001~006	JX255498
2	CPI 中國廣西省貓兒山 Maoer Mountain, Guangxi, China				1	2000/4/11	ESRI-MOL-00-0002	JX255499
<i>Anadeninus yangtzensis</i>								
3	AY1 中國四川省四面山 Si Mian Mountain, Sichuan, China				1	2009/07/25	ESRI-MOL-09-0235	JX255501
<i>Anadeninus sechuensis</i>								
4	ASI 中國貴州省梵淨山 Fan Jing Mountain, Guizhou, China				1	2009/07/25	ESRI-MOL-09-0236	JX255500
Asian philomycids								
<i>Meghimatium bilineatum</i>								
5	TWB1 南投縣集集鎮 Jiji, Nantou, Taiwan	23°49'22.52"	120°46'3.11"	224	4	2002/12/24	ESRI-MOL-02-0002	JX255506
<i>Meghimatium fruhstorferi</i>								
6	TWF1 南投縣仁愛鄉小風口 Siaofongkou, Nantou, Taiwan	24°9'40.94"	121°17'11.74"	3037	3	2005/10/17	ESRI-MOL-05-0025	JX255507
<i>Meghimatium burchi</i>								

7	TWSI	南投縣惠蓀林場 Hueisun, Nantou, Taiwan	24° 4'12.74"	121° 2'9.08"	1300	5	2005/04/16	ESRI-MOL-05-0029	JX255508
American philomycids									
8	PCI	Alachua Co., Florida, USA				2	1999/12/03	UF278509	JX255509
9	MRI	Carter Co., Tennessee, USA				1	2001/05/30	UF292497	JX255511
10	PD1	Ingham County, Michigan, USA				6	2006/06	ESRI-MOL-06-0299	JX255510
Arionidae									
11	ARI	荷蘭阿姆斯特丹 Amsterdam, Holland				1	2007/07/01	ESRI-MOL-07-0128	JX255504
12	ADI	臺中市武陵農場 Wuling farm, Taichung, Taiwan	24°21'10.13"	121°18'30.73"	1740	12	2006/10/12	ESRI-MOL-06-0300	JX255503
Agriolimnacidiae									
13	DRI	南投縣仁愛鄉小風口 Siaofongkou, Nantou, Taiwan	24° 9'40.94"	121°17'11.74"	3037	2	2003/01/03	ESRI-MOL-03-0005	JX255502
Limacidae									
14	LF1	中國浙江省舟山島 Xiu Shan, Zhejiang, China	29°54'58.02"	122°23'25.07"	3	1	2008/04/26	ESRI-MOL-08-0576	JX255505

※ 標本編號 ESRI 為保存在特有生物研究保育中心之標本；標本編號 NMNS 為國立自然科學博物館所提供之標本；標本編號 UF 為 Florida museum 所提供之標本

※ 編號 CPI 為周文一博士所採集；編號 AY1 與 ASI 為林文信所採集；編號 ARI 為何健銘博士所採集；編號 LFI 為黃重期博士所採集；編號 PCI - MRI 與 PD1 為美國博物館或學校提供；其餘編號標本皆為作者採集。

※ 本研究 DNA 序列資料皆為作者定序後上載至 Genbank 中。

表 2. 三種高山蛭蟪體型、頷、齒舌與生殖腺形態特徵之比較

Table 2. Comparisons of body size, jaw and genitalia features among the 3 *Anadeninus* species

物種(species)	等陽高山蛭蟪	揚子高山蛭蟪	四川高山蛭蟪
特徵(feature)	<i>A. parvipenis</i>	<i>A. yangtzeensis</i>	<i>A. sechuenensis</i>
體長(size)	29 mm	45 mm	38 mm
頷(jaw)	arcuate, 16 fused plates	arcuate, 20 fused plates	arcuate, 14 fused plates
齒舌(radula)	48:1:48	46:1:46	42:1:42
共殖腔(atrium)	small, 1 mm	small, 1 mm	Small, 1 mm
陰莖(penis)	small, conical, 3 mm	broaden thick, 9 mm	clavate, 5 mm
陰莖鞘(epiphallus)	10mm	15mm	7 mm
儲精囊(spermatheca)	strongly elongated, 4 mm	narrow, 4mm	spherical, 3 mm
儲精囊管(spermathecal duct)	nearly spherical, 2mm	thick, 5 mm	thick, 3 mm
輸卵管(oviduct)	long, 7 mm	thick, 4 mm	thick, 3 mm
陰道(vagina)	3 mm	short, 2 mm	short, 2 mm
輸精管(vas deferens)	thin, 16 mm	thin, 12 mm	thin, 7 mm

※齒舌數目：邊緣齒+側齒：中間齒：側齒+邊緣齒

四、親緣分析

使用PAUP * 4.0 beta (Swofford 2002) 程式的 3 種方法來建構親緣關係樹，包括鄰接法 (neighbor-joining, NJ)、最大簡約法(maximum parsimony, MP) 和最大似然率法(maximum likelihood, ML)。以 MrBayes 3.1.2 (Ronquist and Huelsenbeck 2003) 程式進行貝氏分析 (Bayesian inference (BI) analyses)。為求最佳化親緣樹，利用 Modeltest 3.7 (Posada and Crandall 1998) 程式得到最佳模式參數，作為親緣樹建構程式執行參考。經 Modeltest 分析 COII 序列資料後，由 hLRTs test 建議最佳模式為 TVM+G，freqA = 0.3417, freqC = 0.1346, freqG = 0.1344, freqT = 0.3892，proportion of invariable sites (I) = 0，gamma distribution shape parameter

= 0.2347。在這些模式下，在最大簡約分析，依鹼基位元平均分配權重(equally weighted)，以樹枝切斷-連結法(tree bisection-reconnection, TBR)方式進行樹枝交換(branch-swapping)計算(10 random stepwise) (gaps were treated as missing data)；而 ML analysis 根據上述模式分析。這 3 組親緣樹的統計值(Statistical support)用 PAUP 軟體以引導取樣分析(bootstrap analysis) (Felsenstein 1985)，在 NJ 和 MP analyses 以 1000 次重覆計算引導取樣統計值 (bootstrap value)，而在 ML analysis 以 100 次重覆計算引導取樣統計值。在 BI analysis 以跑 2×10^6 generations，每 100 次取樣一次，前面 2000 個親緣樹去除，可得 18,000 棵親緣樹，節點支持率是顯示事後機率(posterior probabilities)。

結 果

一、三種高山蛞蝓形態分類描述：

Family Anadenidae Pilsbry, 1948

Genus *Anadeninus* Simroth, 1912

(一) *Anadeninus parvipenis* Wiktor, Chen et Wu, 2000 等陽高山蛞蝓

外觀：酒精固定成體標本平均體長 29 mm，外套膜長 14 mm，外套膜寬 13 mm；體表呈乳白色或黃棕色；外套膜顏色稍暗；身體兩側有不明顯的斑點；身體兩側較背部暗；背面具有兩條縱黑色條紋；臍部乳白色(圖 1 A.)。

生殖系統：兩性腺長約 6 mm，寬約 3 mm；兩性管細長旋繞，約 15 mm；精卵管長，約 10 mm；輸卵管長，約 7 mm；儲精囊呈長條形，約 5 mm；儲精囊管膨大呈球形，約 2 mm；陰道長約 3 mm；輸精管細，約 16 mm；陰莖鞘長旋繞，約 10 mm；陰莖圓錐狀，約 3 mm；共殖腔小，約 1 mm(圖 1 D.)。

齒舌和頷：齒舌由中間齒與兩側各約 48 排側齒與邊緣齒構成；中間齒有 1 個角錐狀的尖齒與兩側底旁有微突尖狀，側齒為較瘦長的角錐尖齒，微突尖狀在尖齒的外側邊(圖 2 A.)；頷呈拱形，由 16 片細長薄板所連接而成(圖 2 D.)。

棲息地：本種常主要喜棲息於森林底層潮濕落葉或苔蘚地上。

採集地：本種目前僅分布在臺灣桃園縣拉拉山自然保護留區(表 1)。

模式地：本種模式地為中國四川省瀘定縣(Wiktor *et al.* 2000)。

附註：等陽高山蛞蝓為中國紅皮書瀕危物種，先前的台灣拉拉山自然保留區野生動物資源調查報告並無此種被紀錄，然經與林務局新竹林區管理處人員討論其原因，拉拉山及鄰近山區為臺灣水蜜桃與其他類水果的農業產區，當地農民須從國外低溫引進苗木扦插，推測此為此種被引入至拉拉山自然保護留區可能途徑之一。

(二) *Anadeninus yangtzeensis* Wiktor, Chen et Wu, 2000 揚子高山蛞蝓

外觀：酒精固定成體標本體長 45 mm，外套膜長 17 mm，外套膜寬 16 mm；體表呈棕色或紅棕色；外套膜與身體背部及兩側有一些不明顯的斑點；背面具有兩條縱黑色條紋；臍部淡棕色(圖 1 B.)。

生殖系統：兩性腺長約 8 mm，寬約 7 mm；兩性管細長旋繞，約 15 mm；精卵管長，約 16 mm；輸卵管厚長約 4 mm；儲精囊呈長條形，約 5 mm；儲精囊管厚，約 5 mm；陰道短約 2 mm；輸精管細，約 12 mm；陰莖鞘細長旋繞，約 15 mm；陰莖肥厚，約 9 mm；共殖腔小，約 1 mm(圖 1 E.)。

齒舌和頷：齒舌由中間齒與兩側各約 46 排側齒與邊緣齒構成；中間

齒有 1 個角錐狀的尖齒與兩側底旁有微突尖狀，側齒為較瘦長的角錐尖齒，微突尖狀在尖齒的外側邊(圖 2 B.)；頷呈拱形，由 20 片細長薄板所連接而成(圖 2 E.)。

棲息地：本種常主要喜棲息於森林底層潮濕落葉或苔蘚地上。

採集地：中國四川省四面山大窩鋪林場(表 1)。

模式地：本種模式地為中國四川省雅江縣 (Wiktor *et al.* 2000)。

(三) *Anadeninus sechuensis* Collinge, 1899

四川高山蛞蝓

外觀：酒精固定成體標本體長 38 mm，外套膜長 15 mm，外套膜寬 13 mm；體表呈棕色；外套膜上有一些斑點；背面具有兩條縱黑色條紋；臍部淡棕色(圖 1 C.)。

生殖系統：兩性腺長約 6 mm，寬約 5 mm；兩性管細長旋繞，約 12 mm；精卵管長，約 16 mm；輸卵管厚長約 3 mm；儲精囊呈橢圓形，約 3 mm；儲精囊管厚，約 3 mm；陰道短約 2 mm；輸精管細，約 7 mm；陰莖鞘細長旋繞，約 7 mm；陰莖厚，長約 5 mm；共殖腔小，約 1 mm (圖 1 F.)。

齒舌和頷：齒舌由中間齒與兩側各約 42 排側齒與邊緣齒構成；中間齒有 1 個角錐狀的尖齒與兩側底旁有微突尖狀，側齒為較瘦長的角錐尖齒，微突尖狀在尖齒

的外側邊(圖 2 C.)；頷呈拱形，由 14 片細長薄板所連接而成(圖 2 F.)。

棲息地：本種常主要喜棲息於森林底層潮濕落葉或苔蘚地上。

採集地：中國貴州省梵淨山(表 1)。

模式地：本種模式地為中國四川省松潘縣 (Collinge 1899)。

二、序列分析

3 種 *Anadeninus* 種類 COII 核酸序列藉由 COIIF 與 COIIR 兩引子增幅而得長度 524 個鹼基對 (base pairs, bp)，包括 47 個變異位點 (variable sites)，但卻無具有最簡約訊息的位點 (parsimoniously informative sites)，替換及顛換的比例 (transition/transversion) 是 1.373，種間遺傳距離比對 (pairwise genetic distances, *p*-distance) 為 0.046-0.076，鹼基頻率 (base frequencies) G+C 比例為 29.7%。

三、親緣分析

圖 3 為用 Bayesian method 所構築的 COII 親緣樹，各節點顯示的統計支持值為用 NJ、MP、BI 和 ML 分析方法所得，以 NJ/MP/BI/ML 方式表示。在這親緣樹顯示歐洲蛞蝓超科 (Arionidea) 的蛞蝓呈單系群，其節點有中等至高的統計值 (82/89/0.92/68)，其下 3 科，黏液蛞蝓科與歐洲蛞蝓科歸群呈單系群，而高山蛞蝓科呈另一單系群，兩節點皆有高的統計值 (99/97/1.00/98, 99/100/1.00/85)。

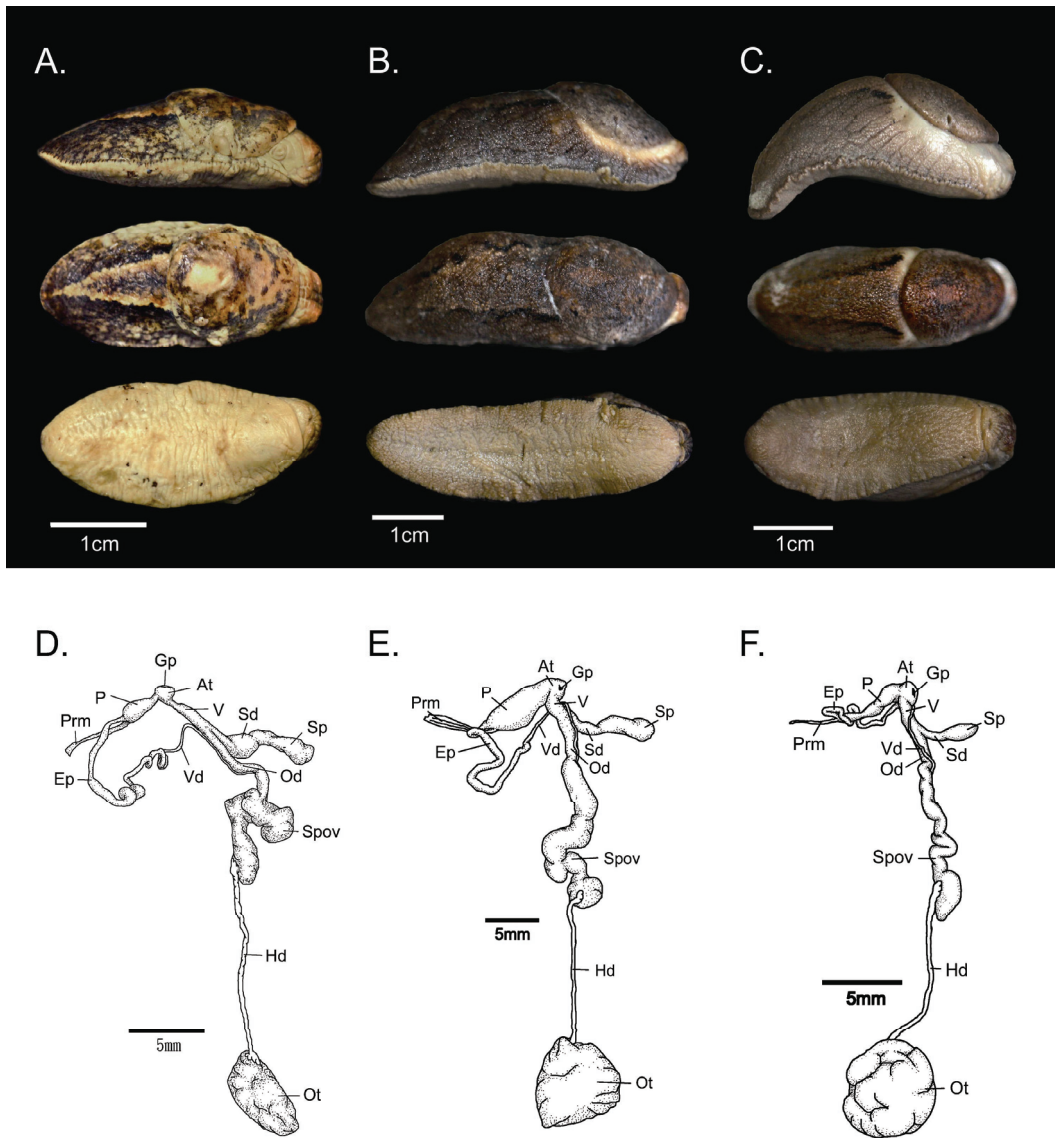


圖 1. 三種高山蛞蝓外觀形態與生殖腺形式。

(A、D：等陽高山蛞蝓；B、E：揚子高山蛞蝓；C、F：四川高山蛞蝓)

(At：共殖腔；Ag：蛋白腺；Ep：陰莖鞘；Hd：兩性管；Od：輸卵管；Ot：兩性腺；P：陰莖；Prm：陰莖收縮肌；Sd：儲精囊管；Sp：儲精囊；Spov：精卵管；Va：陰道；Vd：輸精管)

Fig. 1. External structures and genitalia of 3 *Anadeninus* species:

A. parvipenis (A and D), *A. yangtzeensis* (B and E), and *A. sechuenensis* (C and F) (At, atrium; Ag, albumen gland; Ep, epiphallus; Hd, hermaphroditic duct; Od, oviduct; Ot, ovotestis; P, penis; Prm, penial retractor muscle; Sd, spermathecal duct; Sp, spermatheca; Spov, spermoviduct; Va, vagina; Vd, vas deferens).

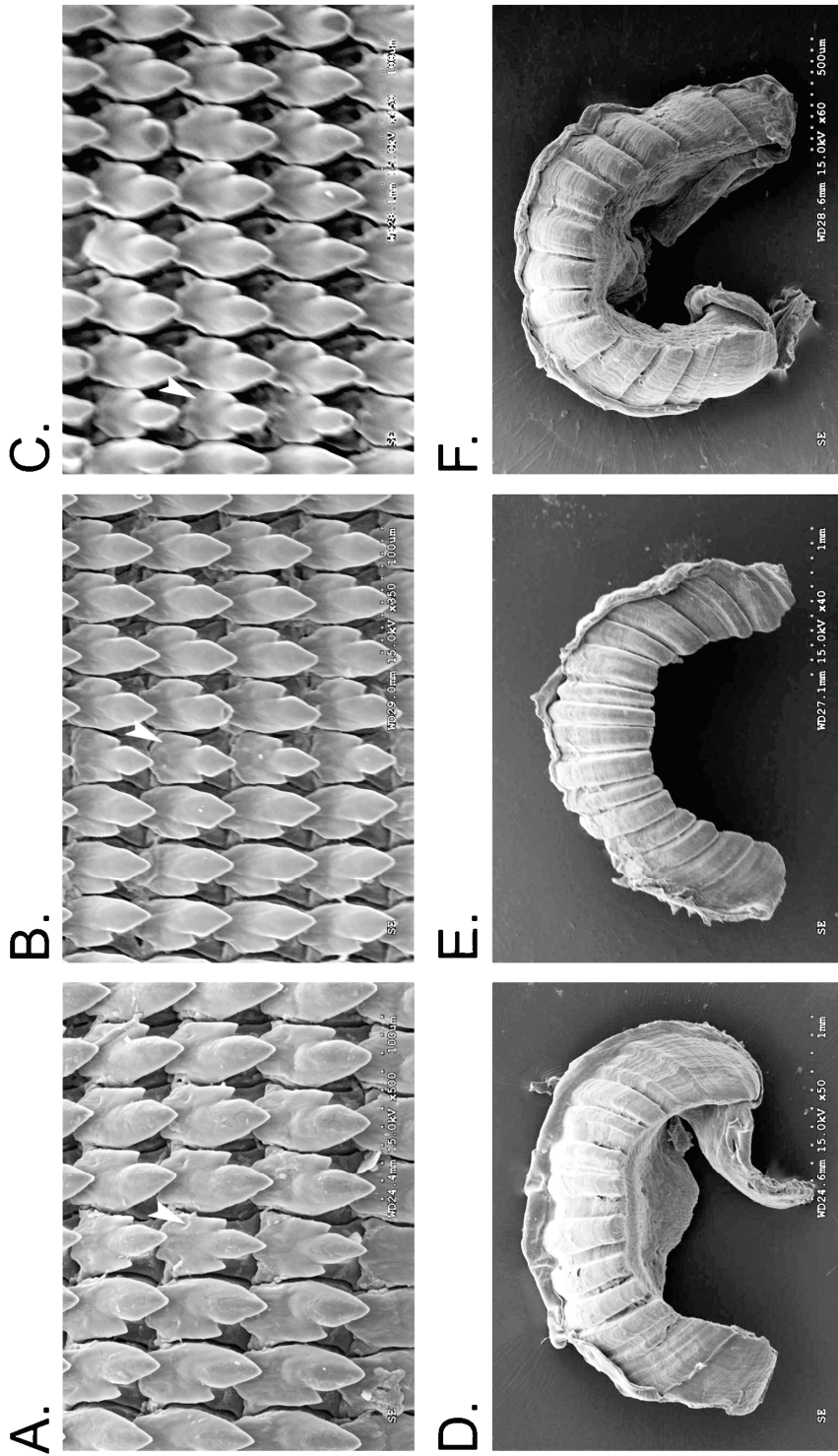


圖 2. 三種高山蛭蝨的齒舌及顎。

(A、D：等陽高山蛭蝨；B、E：揚子高山蛭蝨；C、F：四川高山蛭蝨) (白色箭頭指中間齒位置)
 Fig. 2. Radulae and jaws of *Anadenimus parvipenis* (A and D), *A. yangtzensis* (B and E), and *A. sechuensis* (C and F) (white arrow indicates central tooth).

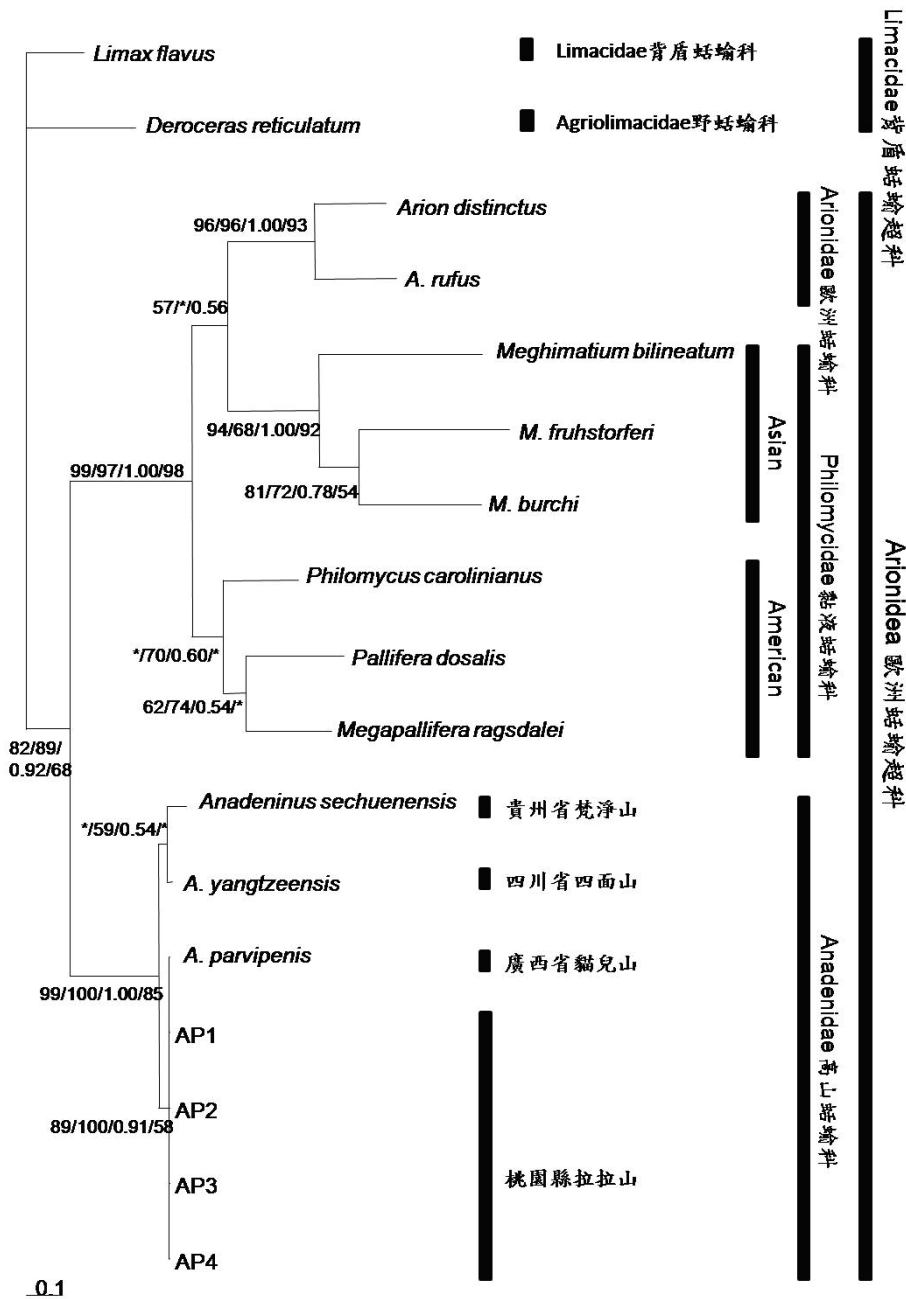


圖 3. 以粒線體COII基因序列建構高山蛞蝓科與其他類蛞蝓間的貝氏(Bayesian) 親緣關係樹。每一個分歧點(node)旁數字為引導取樣統計值的支持百分比, 分別為NJ/MP/BI/ML。星號(*)為低於50% 機率值。

Fig. 3. Bayesian tree of the *Anadeninus* specimens reconstructed with COII gene. (statistical supports for each node arranged in order of NJ/MP/BI/ML; asterisks (*) indicates a node value < 50).

討 論

等陽高山蛞蝓(*Anadeninus parvipenis*)為中國紅皮書所列瀕危的蛞蝓之一(汪及解 2005)，本種適合成長環境為均溫 20°C 以下的高中海拔山區，一般溫度較高環境 (>25°C) 不易存活，然本種卻在台灣桃園縣拉拉山自然保護留區首次被採集記錄到。拉拉山為台灣水蜜桃重要產區之一，且常年均溫也在 20°C 以下，而農民需從國外以低溫狀態引進苗木扦插或種子栽種，推測此為此種被從中國引入的可能原因之一。

本研究在 2000 年採自廣西興安縣貓兒山的等陽高山蛞蝓標本，經生殖腺與核酸序列比對，與拉拉山產等陽高山蛞蝓完全一致，且比對拉拉山自然保護留區內 4 個採樣點所採等陽高山蛞蝓標本的COII核酸序列也皆無差異(表 1)，此結果顯示等陽高山蛞蝓在拉拉山應為短期族群擴張的結果，排除此種為台灣原生種或新種的可能。

比較 3 種高山蛞蝓的生殖腺(圖 1 D、E、F，表 2)，*Anadeninus parvipenis* 的陰莖最短，而 *A. yangtzensis* 的陰莖最肥厚且長；*A. parvipenis* 的儲精囊柄膨大呈球形；*A. sechuenensis* 的陰莖鞘與輸精管約等長；*A. parvipenis* 的陰莖鞘較厚，而 *A. yangtzensis* 和 *A. sechuenensis* 的陰莖鞘較細長。

從COII親緣樹形圖來看(圖 3)，歐洲蛞蝓科並無與高山蛞蝓科聚合呈一單系群，反而與黏液蛞蝓科呈一單系群，其節點具很高統計支持值(99/97/1.00/98)，故從親緣分群的結果來看，是支持Wiktors *et al.* (2000)將原屬於歐洲蛞蝓科中的高山蛞蝓亞科(*Anadeninae*)，提升至「科」的層級。

謝 誌

本研究之完成要感謝林文信先生、周文一博士與吳書平博士提供自中國採集的 3 種高山蛞蝓標本，黃重期博士提供 *Limax flavus* 標本，何健鎔博士提供 *Arion rufus* 標本，以及特有生物研究保育中心動物組同仁方懷聖博士、楊育昌助理研究員、陳頤靜小姐與莊育達先生協助拉拉山自然保護留區採集工作，使本研究得以順利完成，特此感謝。

引用文獻

- 汪松、解焱。2005。中國物種紅色名錄第三卷無脊椎動物。高等教育出版社。中國。
- 賴景陽。1990。蝸牛的世界。台灣省立博物館。台灣。
- Adams, A. 1868. On the species of Helicidae found in Japan. Magazine Natural History 1(4): 459-472.
- Collinge, W. E. 1899. On the anatomy and systematic position of some recent additions to the British Museum collection of slugs. The Journal of Malacology 8:118-121.
- Felsenstein, J. 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. Evolution 39: 783-791.
- Gupta, P. K. and B. P. Oli. 1998. The life cycle and growth of the slug, *Anadenus altivagus* (Theobald) from Kumaon Himalayan forests, India. The Journal of Molluscan Studies 64: 250-253.
- Hall, T. A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis

- program for Windows 95/98/NT. Nucleic Acids Symposium Series 41: 95-98.
- Hugall, A., C. Moritz, A. Moussalli and J. Stanisc. 2002. Reconciling paleodistribution models and comparative phylogeography in the Wet Tropics rainforest land snail *Gnarosophia bellendenkerensis* (Brazier 1875). Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 99: 6112-6117.
- Kuroda, T. 1941. A catalogue of molluscan shells from Taiwan (Formosa), with descriptions of new species. Memoirs of Faculty of Science and Agriculture Taihoku Imperial University 22(4): 65-216.
- Kuzminykh, A. A. and A. A. Schileyko. 2005. Slugs of the family Anadenidae Pilsbry, 1948 (Gastropoda, Pulmonata) with descriptions of two new subgenera and three new species. Ruthenica 15(2): 109-118.
- Pilsbry, H. A. and Y. Hirase. 1905. Catalogue of the land and fresh-water Mollusca of Taiwan (Formosa), with descriptions of new species. Proceedings of Academy of Natural Sciences of Philadelphia 57: 720-752.
- Posada, D. and K. A. Crandall. 1998. Modeltest: testing the model of DNA substitution. Bioinformatics 14 (9): 817-818.
- Ronquist, F. and J. P. Huelsenbeck. 2003. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. Bioinformatics 19: 1572-1574.
- Swofford, D. L. 2002. PAUP*: Phylogenetic Analysis Using Parsimony(*and other methods), version 4.0 b10. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Tamura, K., J. Dudley, M. Nei and S. Kumar. 2007. MEGA4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0. Molecular Biology and Evolution 24: 1596-1599.
- Thompson, J. D., T. J. Gibson, F. Plewniak, F. Jeanmougin and D. G. Higgins. 1997. The CLUSTALX window interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. Nucleic Acids Research 25: 4876-4882.
- Tsai, C. L., H. C. Cheng and H. W. Kao. 2012. *Anadeninus parvipenis* (Pulmonata: Anadenidae), a Newly Recorded Species from Taiwan. Taiwaniana 57(1): 85-88.
- Wiktor, A., D. N. Chen and M. Wu. 2000. Stylommatophoran slugs of China (Gastropoda : Pulmonata)-Prodromus. Folia Malacologica 8(1): 3-35.

