



溫度生態學

從溫度適應到 預測氣候變遷對生物的影響

講者: 黃淑萍

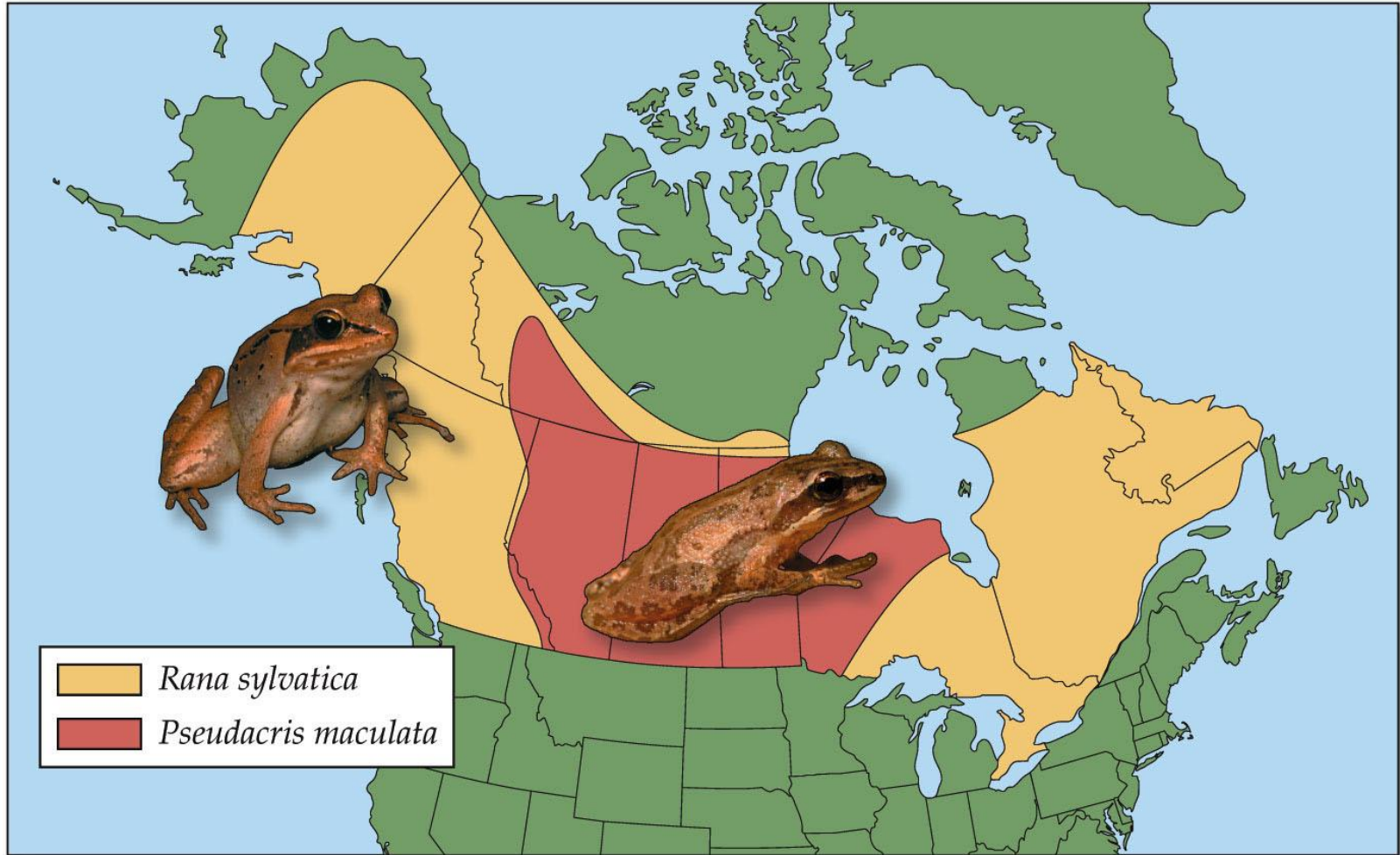
1/7/2017

- 冰凍蛙的例子
- 棲位(niche) 與地理分布
- 生物對逆境(stress)的反應
- 生物與外界的熱交換
- 氣候變遷對台灣高山蜥蜴的影響

主題一、冰凍蛙的例子

<https://youtu.be/pLPeehsXAr4>

兩種高緯度的青蛙



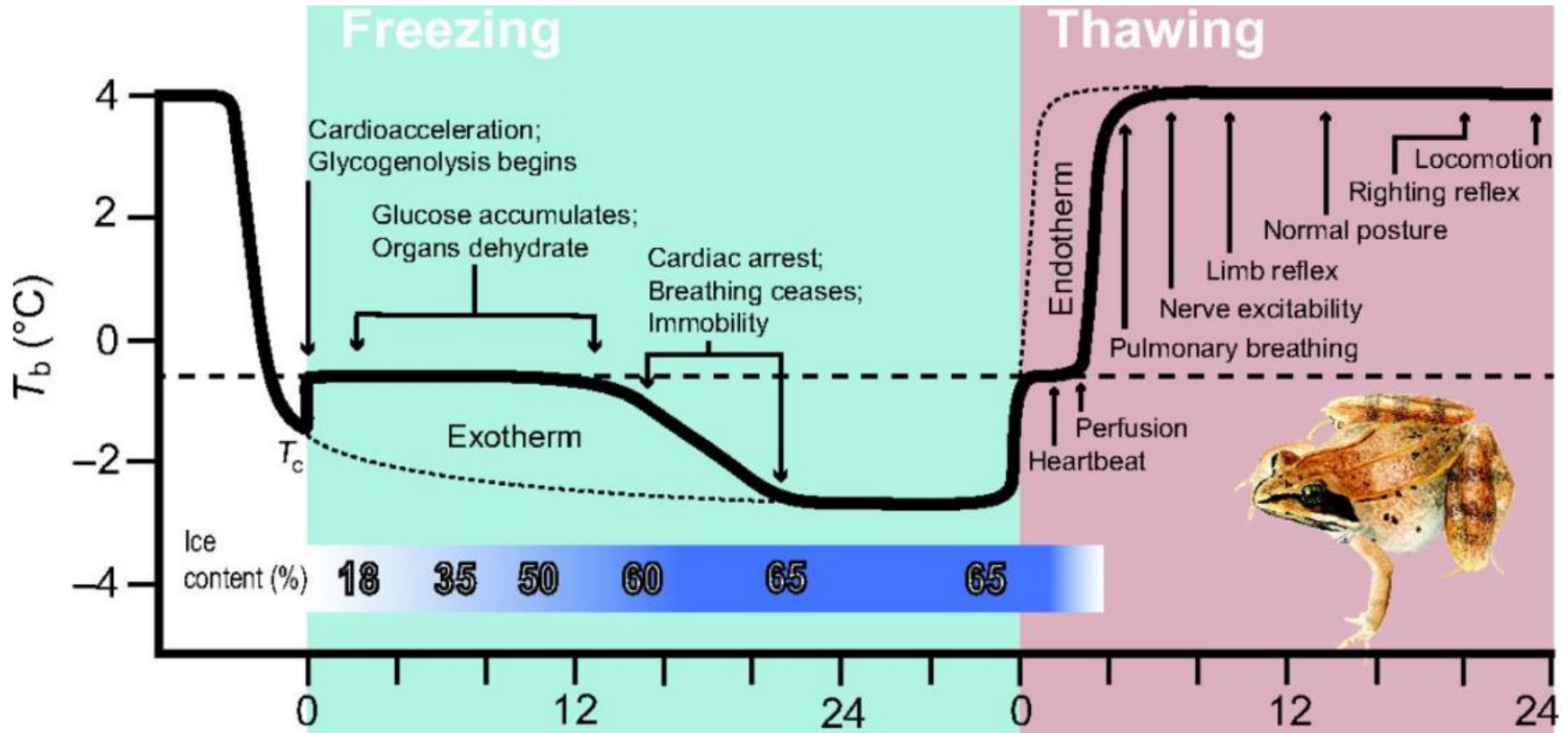
冰凍蛙

冬季半結冰狀態 (semi-frozen state)
無心跳、無血液循環、無呼吸



冰凍對多數生物的可能影響為何？

冰凍蛙



Jon P. Costanzo, Richard E. Lee, Jr, 2013

生物在環境變動時的兩種策略

1. 忍耐 (Tolerance)

2. 避免 (Avoidance)

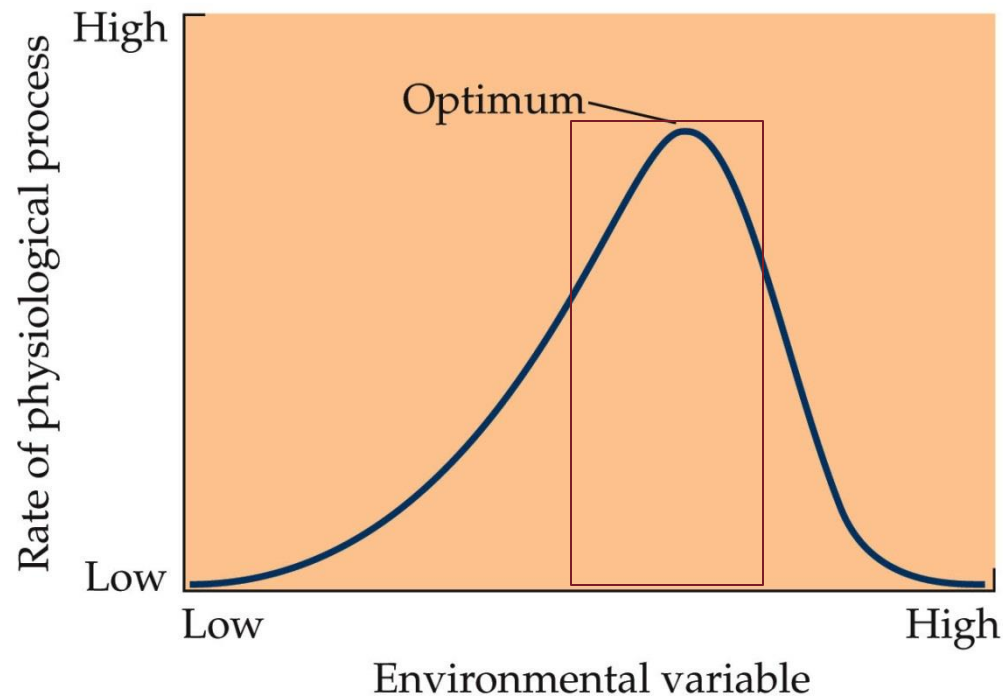


主題二、棲位(Niche) 與地理分布

- 基礎生態棲位
- 實際生態棲位
- 地理分佈範圍

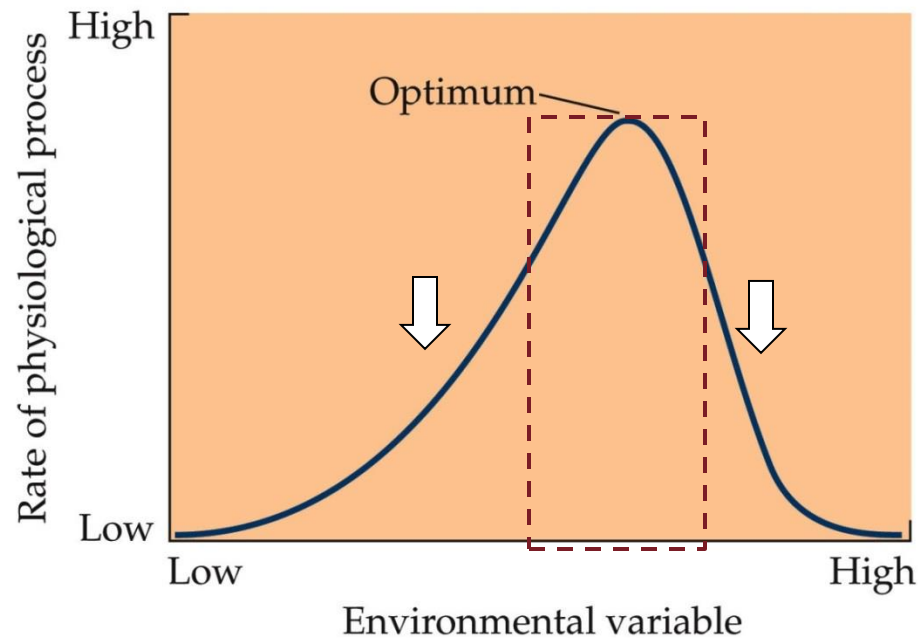
重要觀念

- 最適生理反應區間:
最適適合生理運作的環境條件 (溫度、濕度..)



物理環境變異的影響

- 影響表現能力：資源取得、成長、生殖
- 極端環境：影響存活率

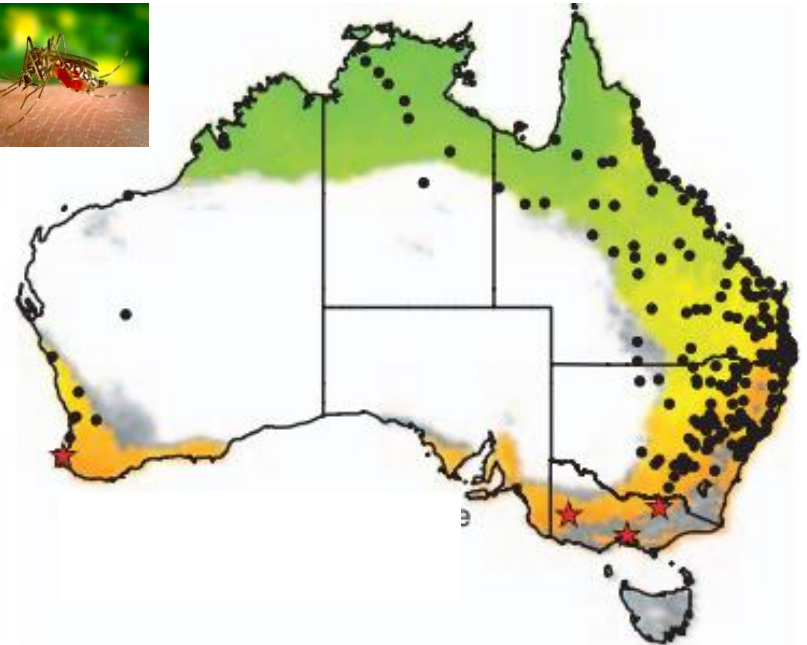
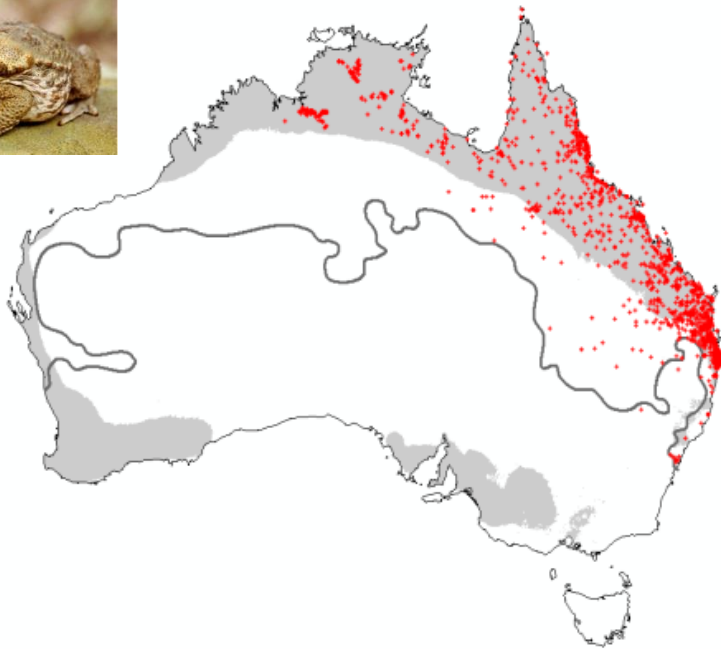


重要觀念

物種對環境的忍受度決定潛在地理分布範圍

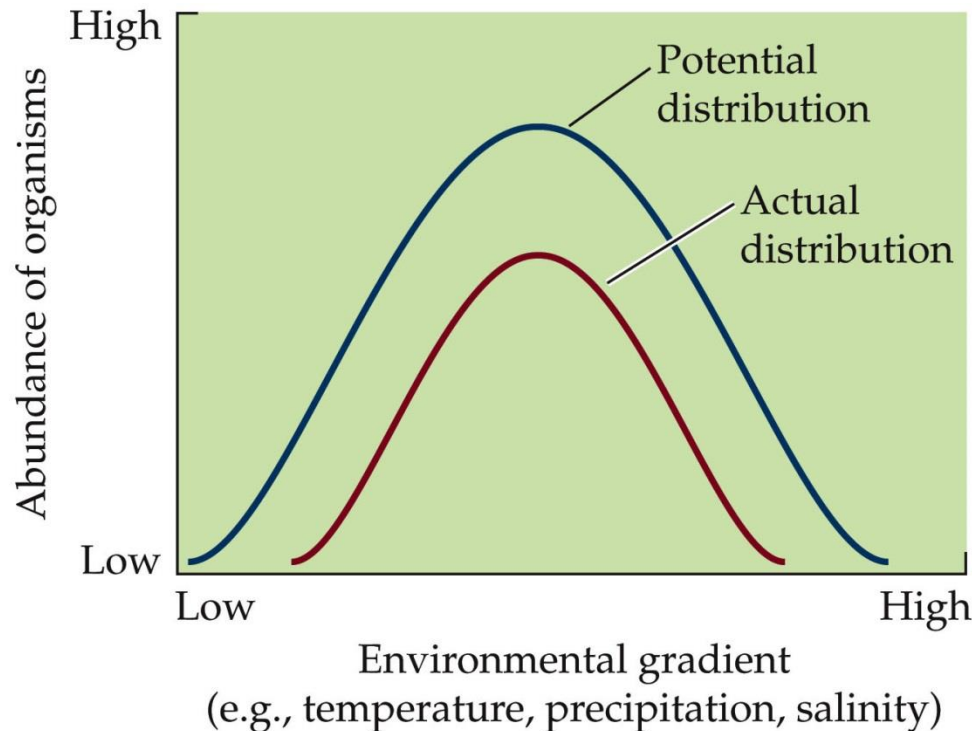
基礎生態棲位(Fundamental niche)

(物種的分布範圍受環境條件所限制)



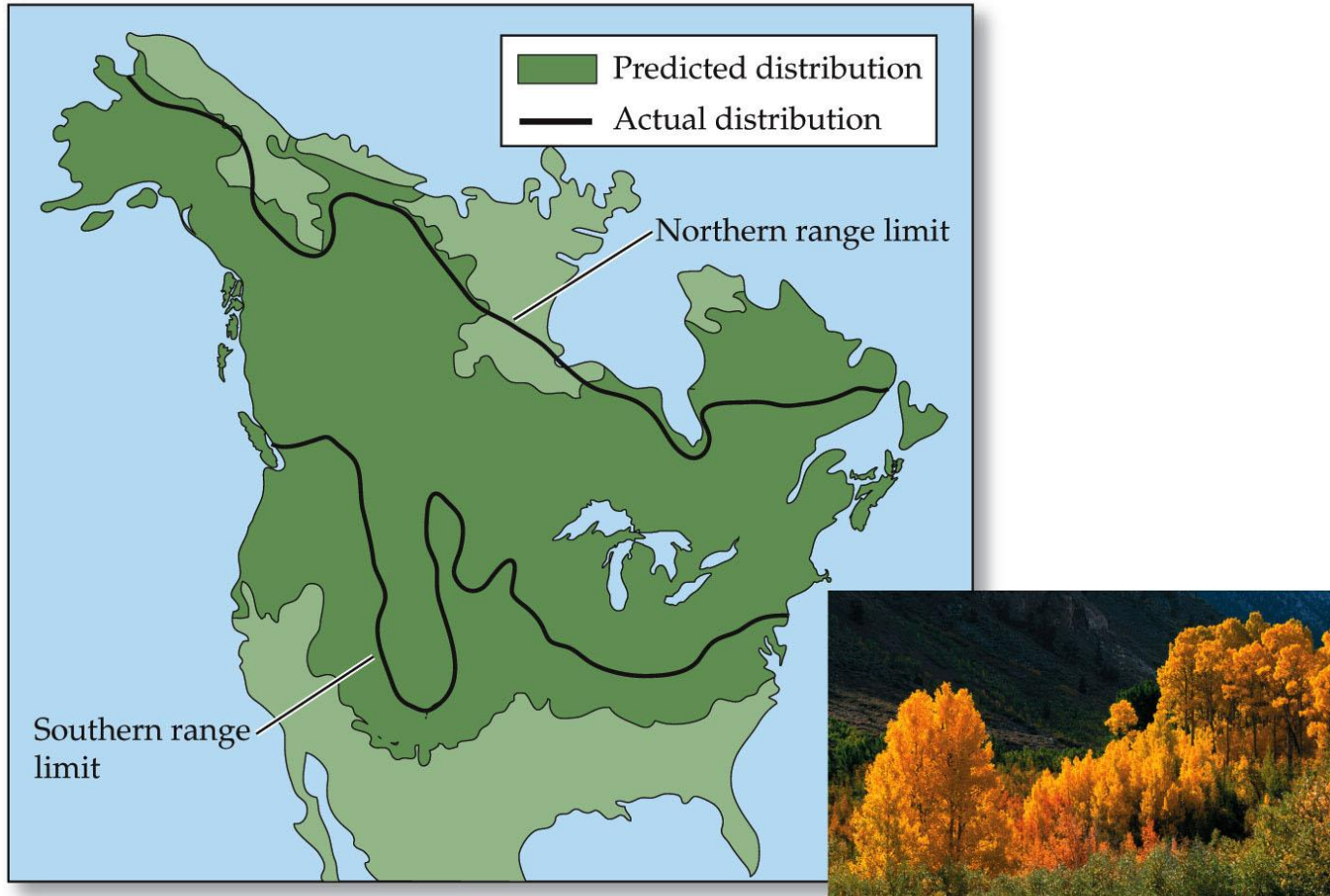
物種的實際地理分布範圍受環境因子及其他生物因子（如食物、競爭）的共同影響

實際生態棲位(realize niche)

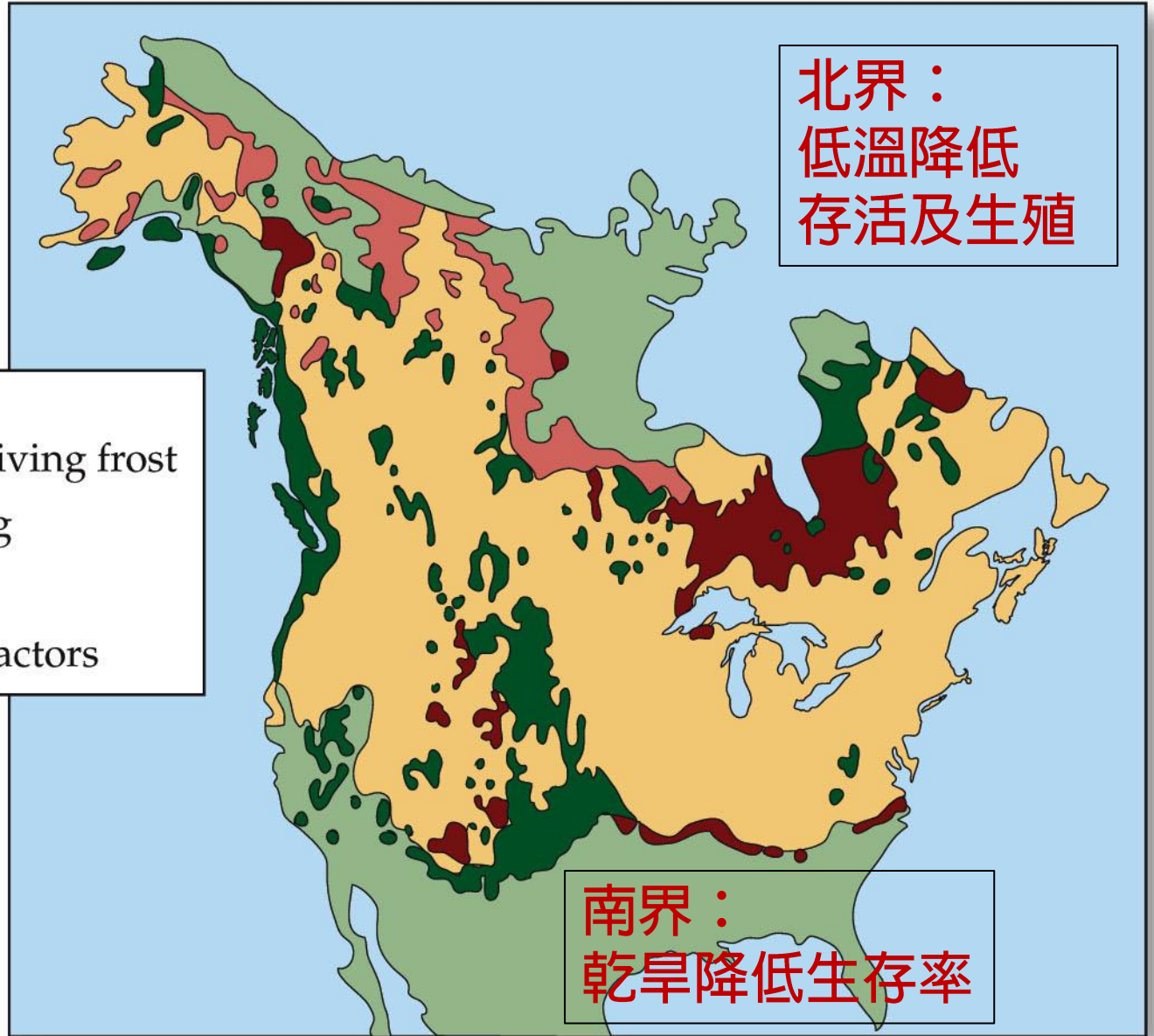
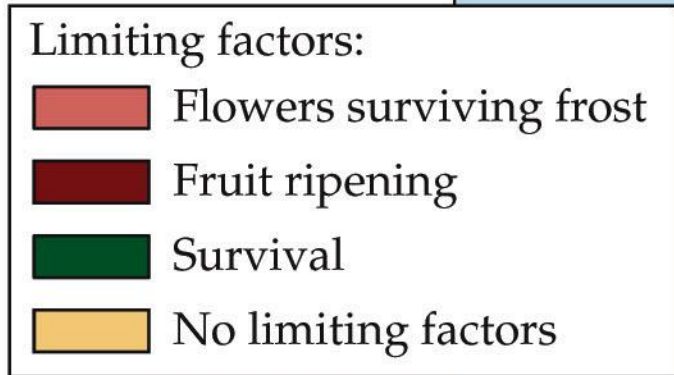


白楊樹分布範圍：預測值與實際觀測

(A)



(B)



北界：
低溫降低
存活及生殖

南界：
乾旱降低生存率

以白楊樹為例，說明為何植物是反應環境因子的良好指標？

生物氣候包絡 (*A species climate envelope*)

根據物種目前分布情形與氣候因子之間的關係，預測氣候變遷對其分佈範圍

主題三、生物對逆境(stress) 的反應

- 馴化
- 適應
- 生態型

逆境 (Stress) —
對生物存活及重要生理反應不利的環境條件



存活率、生長率、生殖力降低

- 高山低氧(逆境) —
高山症反應：
(輕微) 噁心、食欲降低、嗜睡
(嚴重) 肺水腫、腦水腫、致命

- 馴化 (acclimatization)

生物體因應環境變化（如溫度、濕度、光照或酸鹼值等）逐漸調整生理以適應的過程，具回復性

動動腦: 人類對高海拔低氧的馴化反應?



高山人種對低氧的特殊適應



西藏高原
4,000 m
60% O₂

生理層次: 呼吸量加大、頻率較快、肺容積大

基因層次: *EPA-S1* 、 *PHD-2*...

(endothelial Per- Arnt-Sim domain protein 1)

<https://read01.com/Mm7DR.html>

Lorenzo, F.R. et al. (2014). doi: 10.1038/ng.3067

- 適應 (adaptation)

選汰過程篩選出有較佳對抗逆境的個體及基因型，可能經過世代後造成基因型的演化(基因型比例改變)

重要觀念

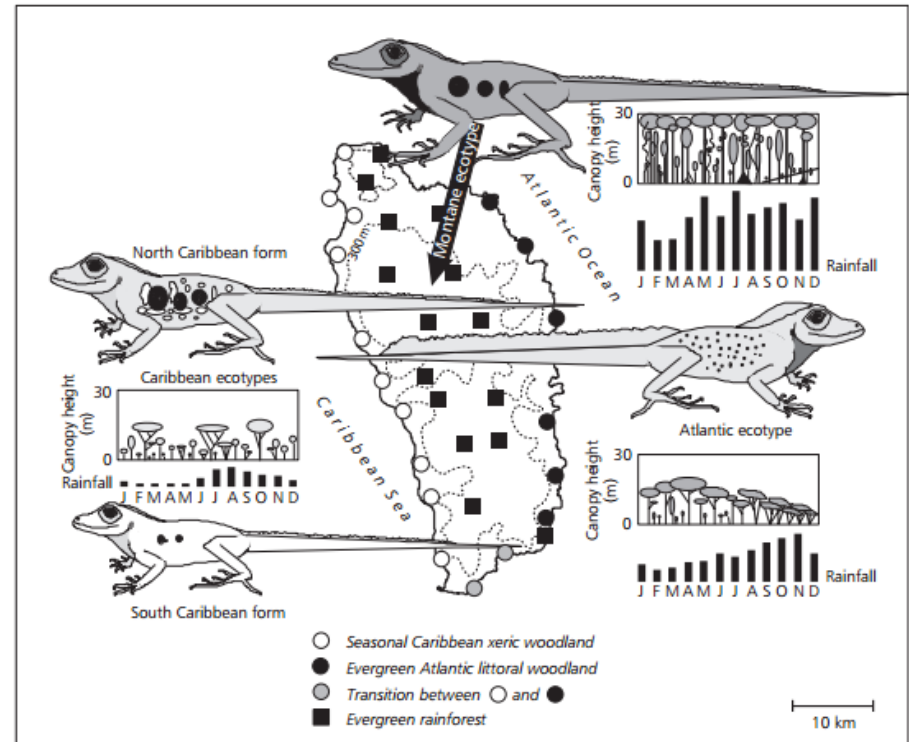
• 生態型 (Ecotypes)

生物適應生長地區環境, 具有特殊的形態或基因型

Anolis oculatus

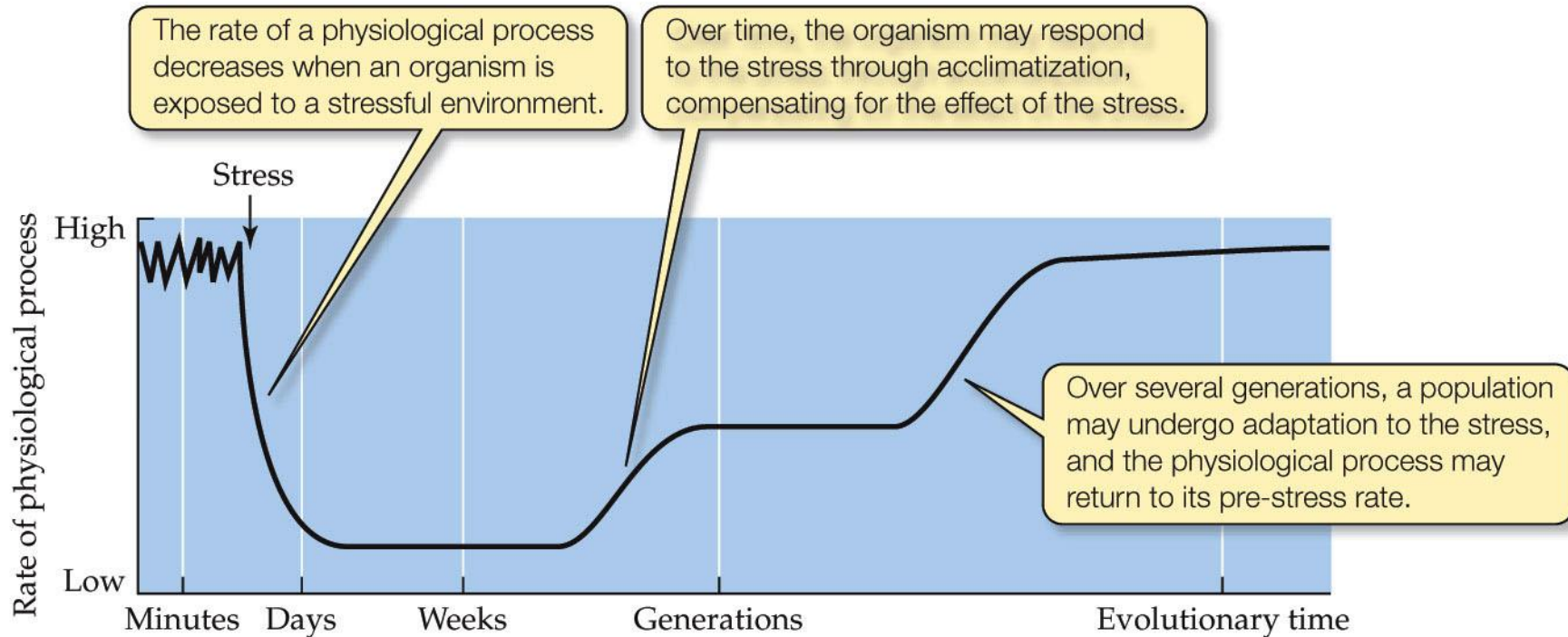


Photograph by Robert Powell.



Jonathan B. Losos and Roger S. Thorpe, 2004

生物對逆境的反應



主題四、生物與外界的熱交換

- 植物
- 外溫動物
- 內溫動物

生物的體溫是與外界環境的能量交換
(energy exchanges) 所決定

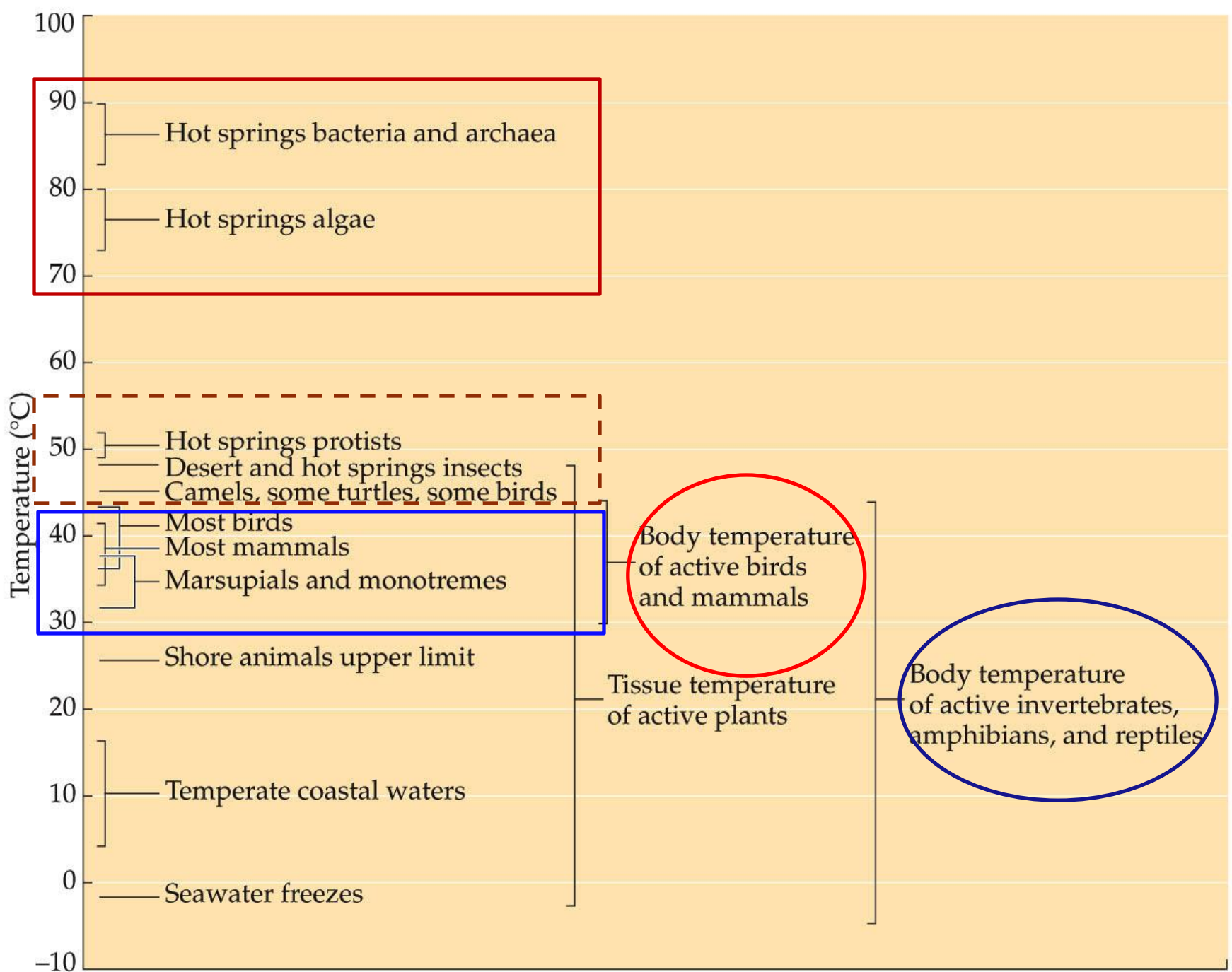
- 外界溫度的變化因地因時而異



Urosaurus ornatus



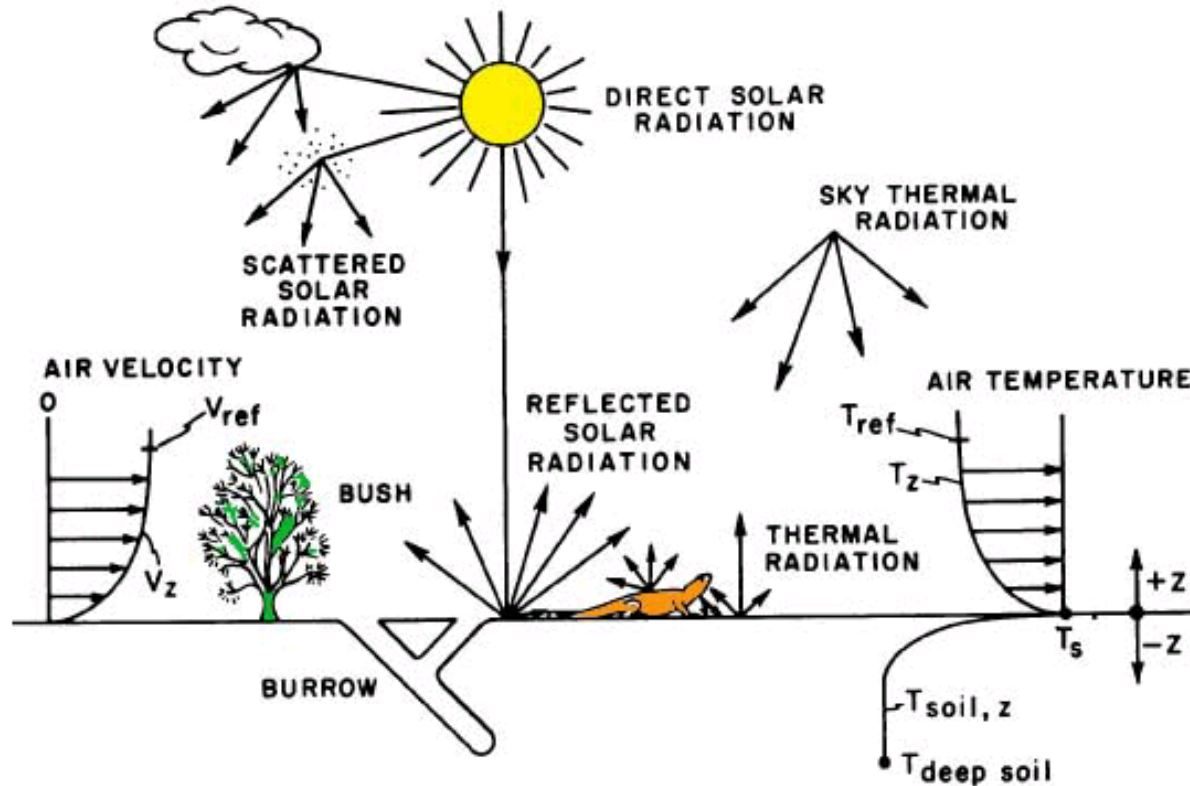
黃石國家公園



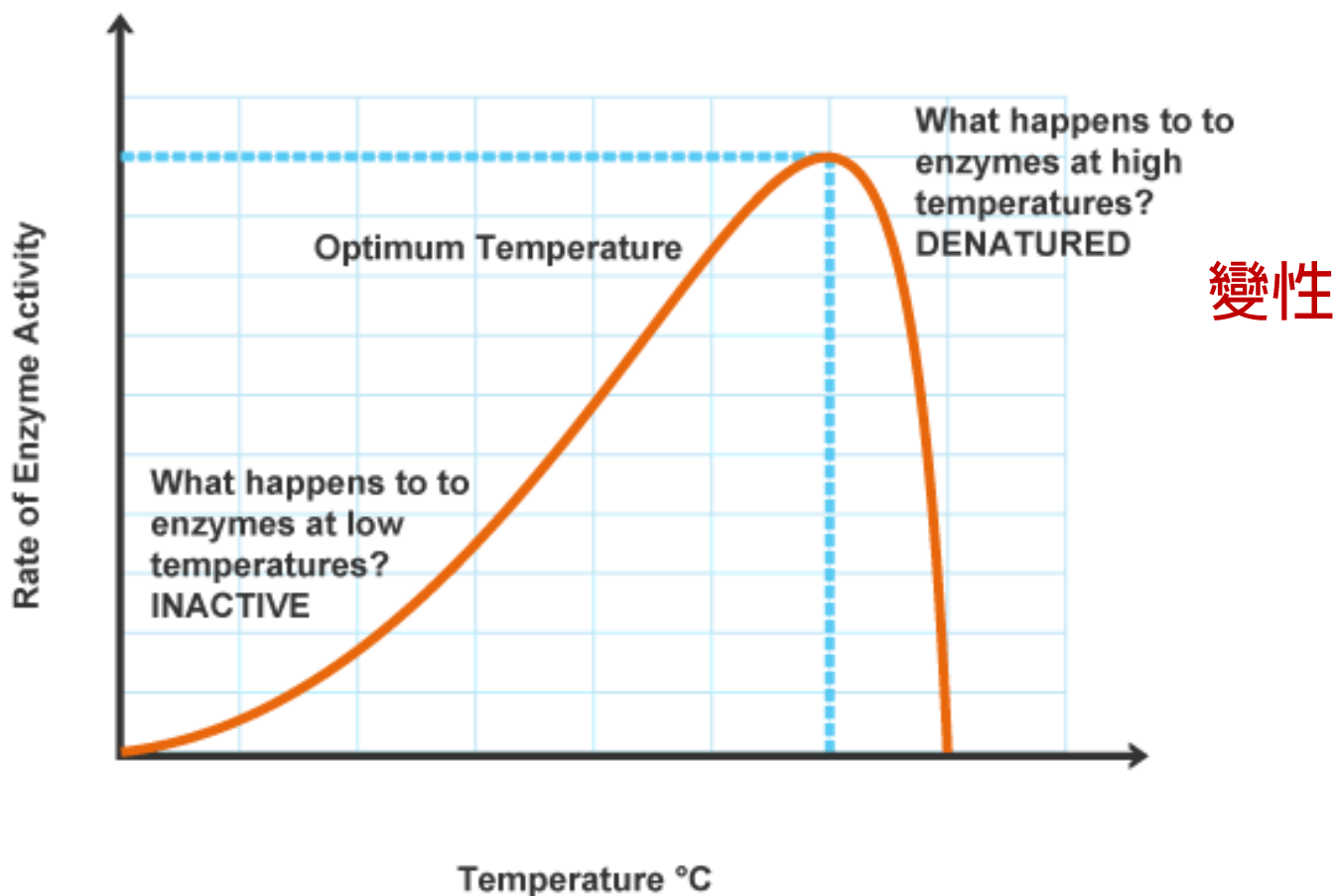
ECOLOGY, Figure 4.7

能量及熱的交換

- 逐時太陽輻射量、氣溫、風速
- 逐時土溫、地表溫



為何代謝速率與溫度有關？ 酵素(*enzymes*) 對溫度的敏感度

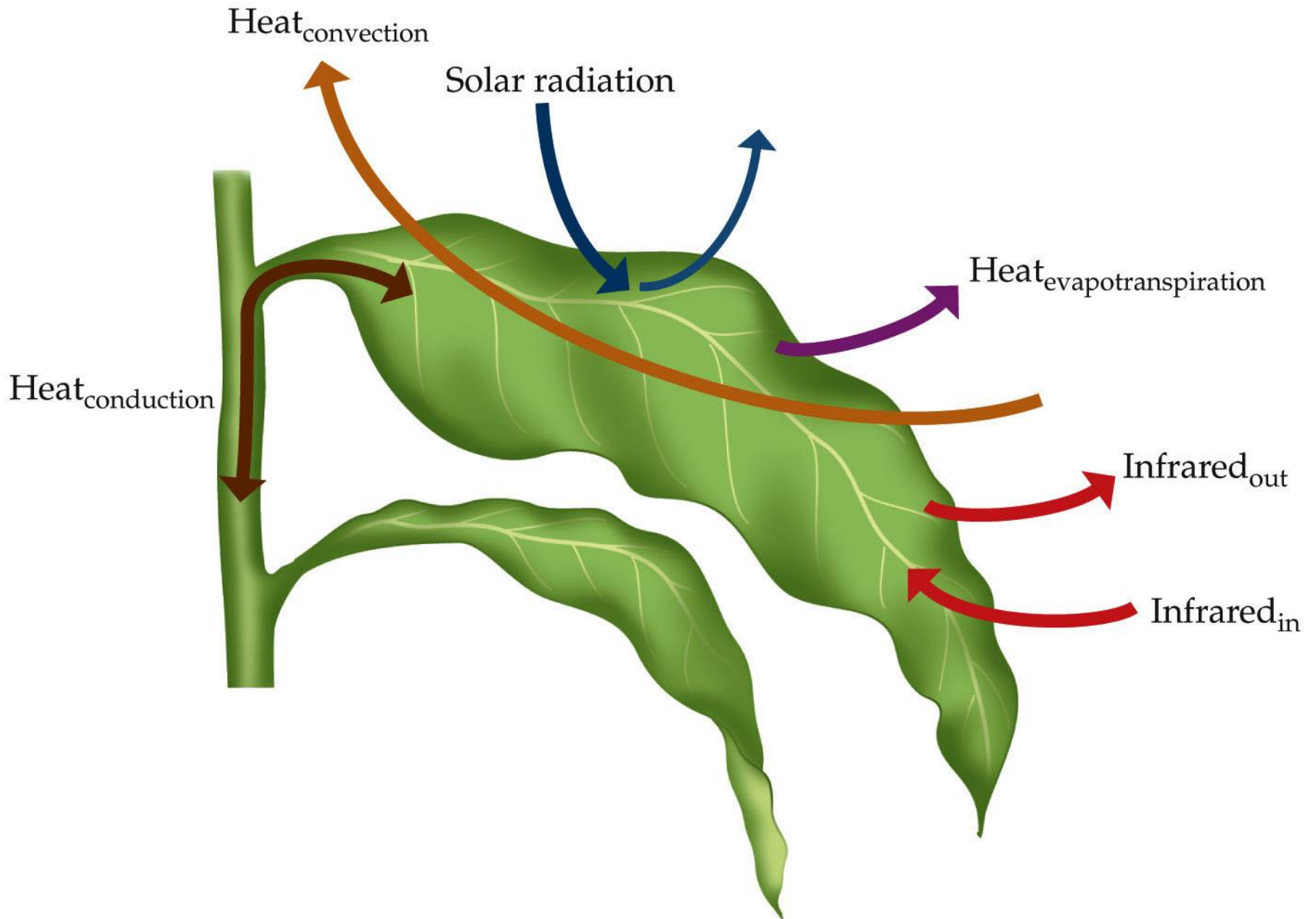


生物與外界的能量交換

輻射 (*Radiation*) —

傳導 (*Conduction*)—

對流 (*Convection*) —



ECOLOGY, Figure 4.8

植物熱交換方程式:

$$\Delta H_{\text{plant}} = SR + IR_{\text{in}} - IR_{\text{out}} \pm H_{\text{conv}} \pm H_{\text{cond}} - H_{\text{et}}$$

SR = 輻射熱

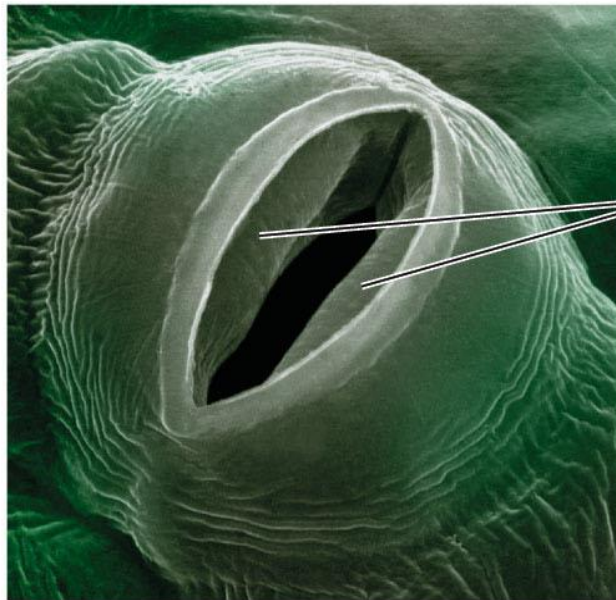
IR = 紅外線輻射

H_{conv} = 對流

H_{cond} = 傳導

H_{et} = 蒸散作用

(A)

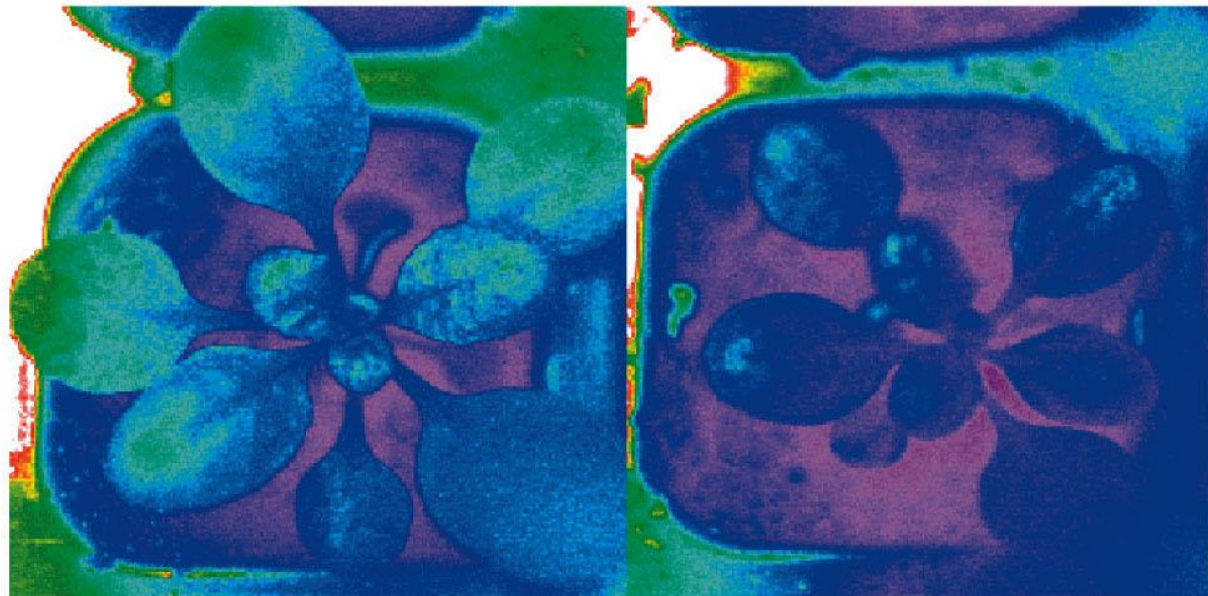
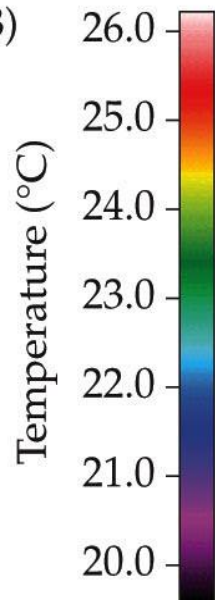


Guard cells

氣孔關閉

氣孔張開

(B)

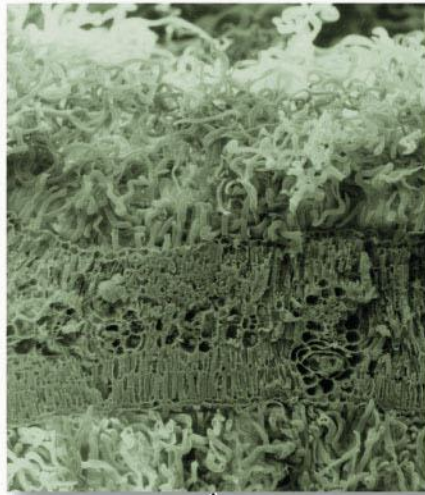


[動動腦]

土壤缺水對植物溫度調節的影響為何?

(B)

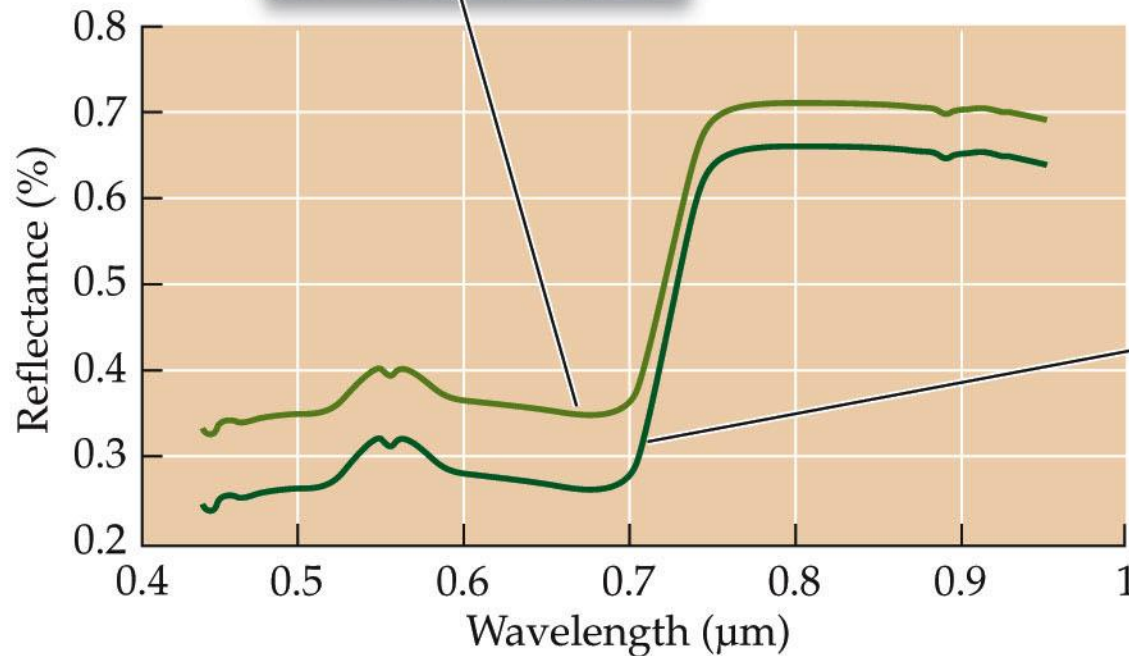
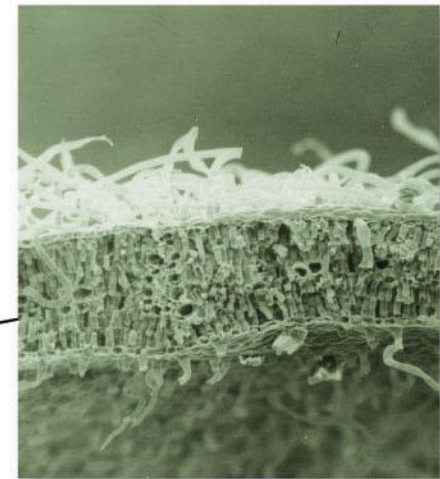
Summer leaf



增加輻射反射率

減少輻射反射率

Winter leaf



Solar radiation

Infrared radiation



ECOLOGY, Figure 4.12

動物熱交換方程式:

$$\Delta H_{\text{animal}} = SR + IR_{\text{in}} - IR_{\text{out}} \pm H_{\text{conv}} \pm H_{\text{cond}} - H_{\text{evap}} + H_{\text{met}}$$

SR = 太陽輻射

IR = 紅外線輻射

H_{evap} = 蒸發散熱

H_{met} = 代謝熱

外溫動物 (Ectotherms):

主要透過與外界能量交換調節體溫

內溫動物 (Endotherms):

主要透過自身產熱調節體溫

有例外嗎？蜜蜂、鮭魚、一些植物

臭菘（kunk cabbage）



<http://www.floristaxonomy.com/category/worst-smelling-flowers/page/8>

(A) 胡蜂 (*Vespa mandarina*)

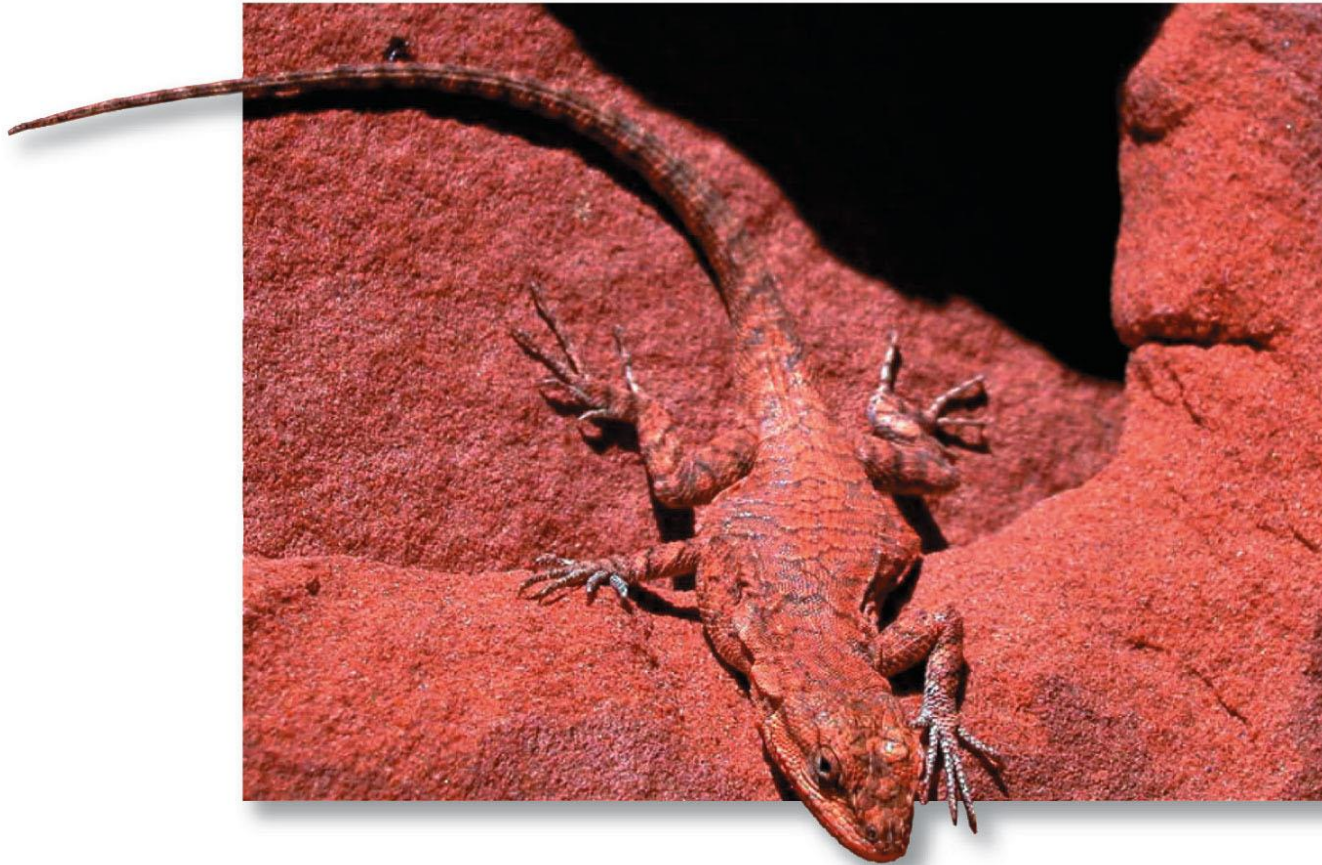


(B) 蜜蜂 (*Apis cerana*)



~47°C

溫度調節行為



溫帶地區的外溫動物困境：寒冷冬季

1. 抗凍生理: 避免或忍受結冰

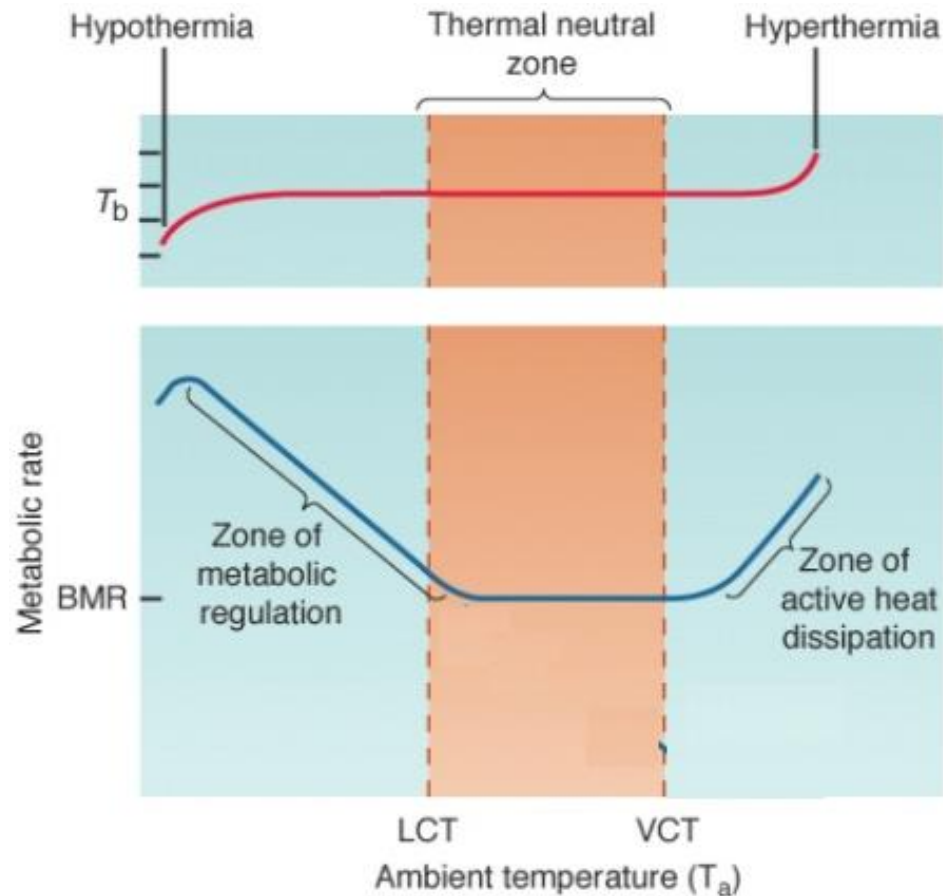
2. 逃避行為：季節性遷徙、冬眠微棲地

美洲帶蛇(garter snake)



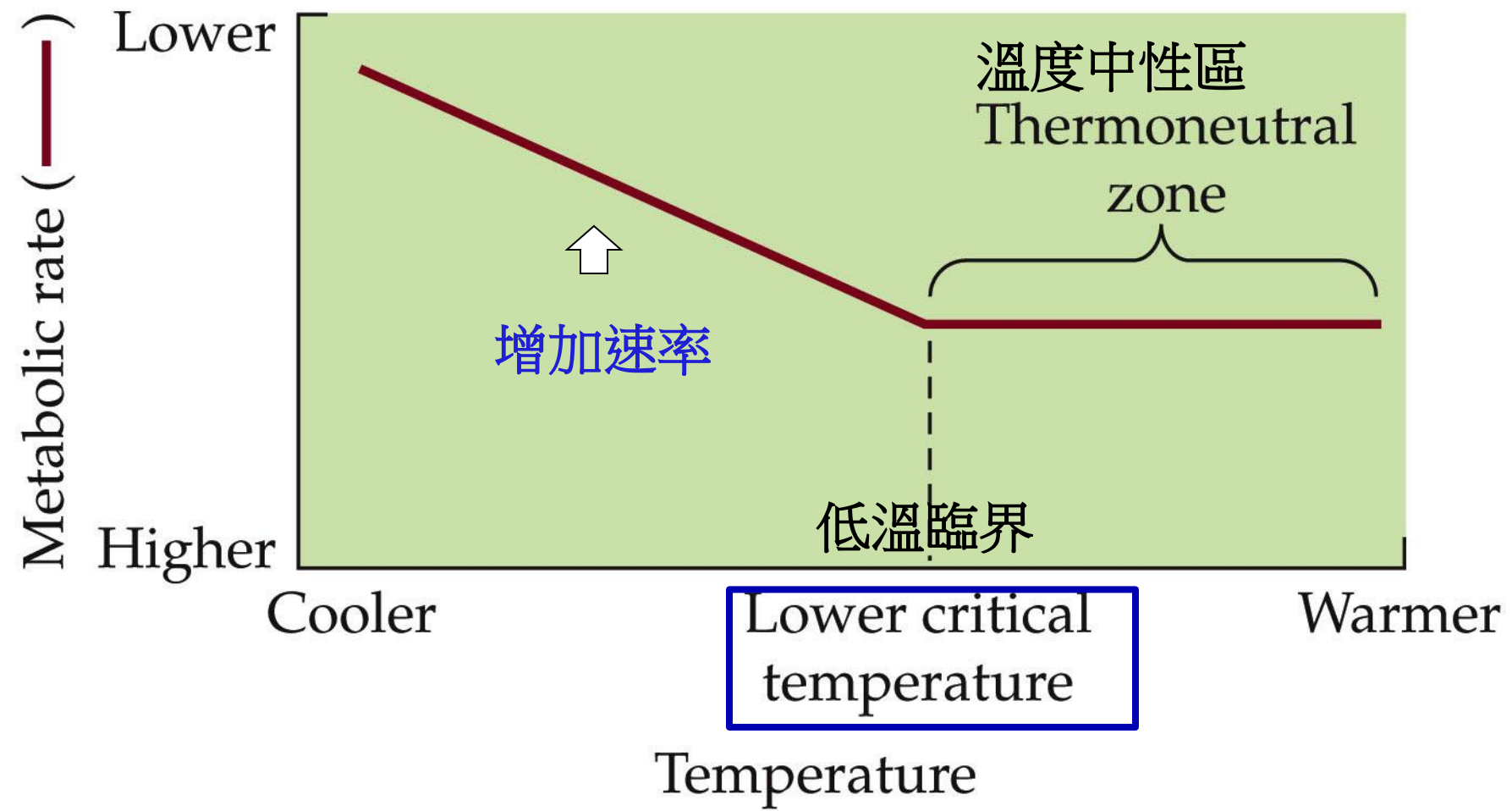
Variation in Temperature

內溫動物冬季困境(?)：
維持恆溫需要提高代謝(吃更多)



為什麼?

(A)

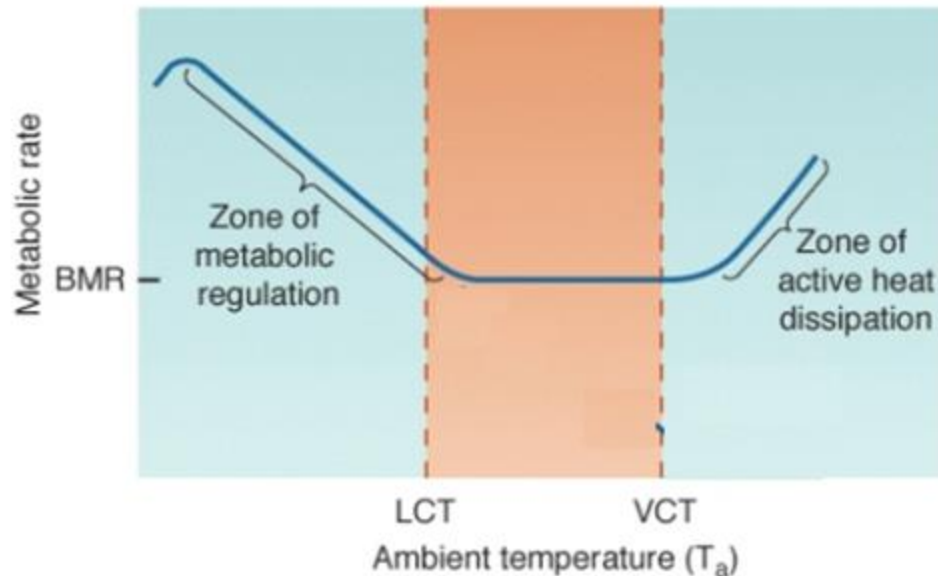


溫度中性區 (Thermoneutral zone) —
在一定環境溫度範圍內，休息代謝率維持一定

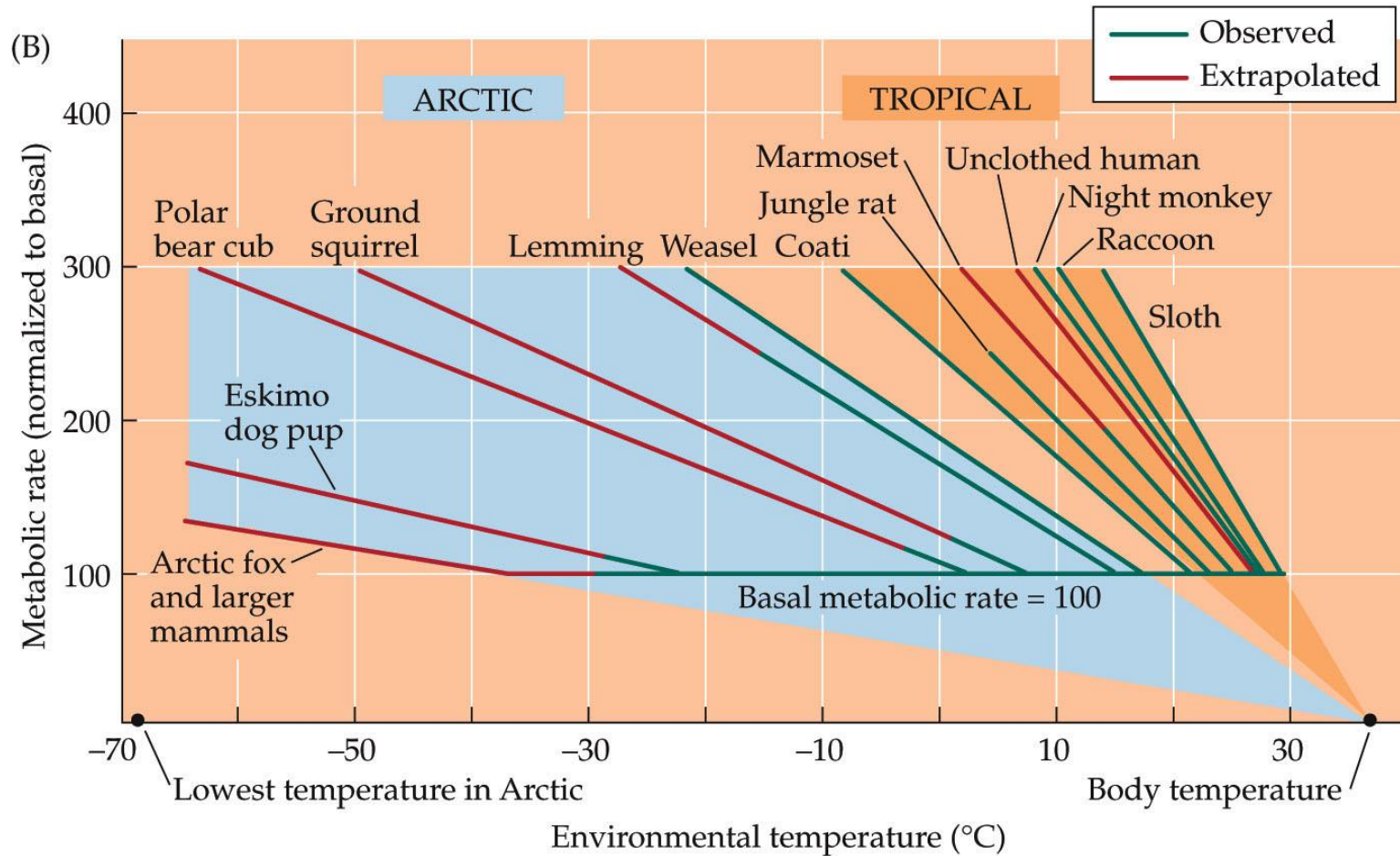
低溫臨界 (Lower critical temperature)—
低於某特定溫度以下，休息代謝率開始上升

[動動腦] 如何判斷動物之溫度敏感度？

1. 溫度的忍受度的指標？
2. 熱忍受度？冷耐受度？



看圖說故事: 極區及赤道的動物之比較

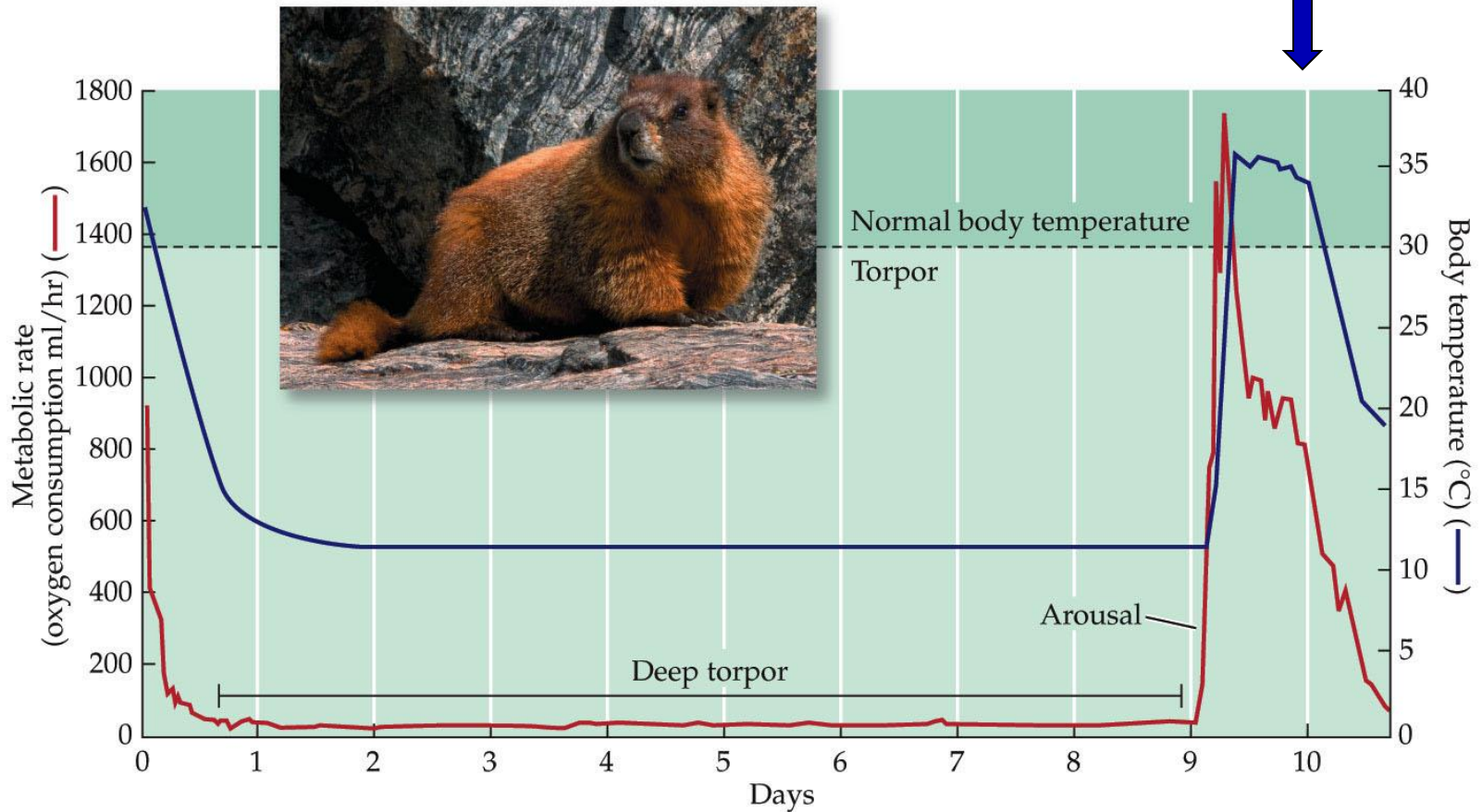


內溫的演化：毛皮毛髮及脂質絕緣

代價：傳導散熱及對流散熱效率變差

體溫下降: 20°C
代謝下降: 50-90%

耗能



台灣的小型哺乳類例子

碩士論文

指導教授：林良恭 博士

Dr. Liang-Kong Lin

台灣中部不同海拔分佈野鼠的溫度調節比較

Comparative thermoregulation of field rodents at different
elevations in central Taiwan

研究生：陳佑哲

Yu-Che Chen



赤背條鼠：低海拔物種

TAICHUNG METROPOLITAN PARK

動物介紹



赤背條鼠



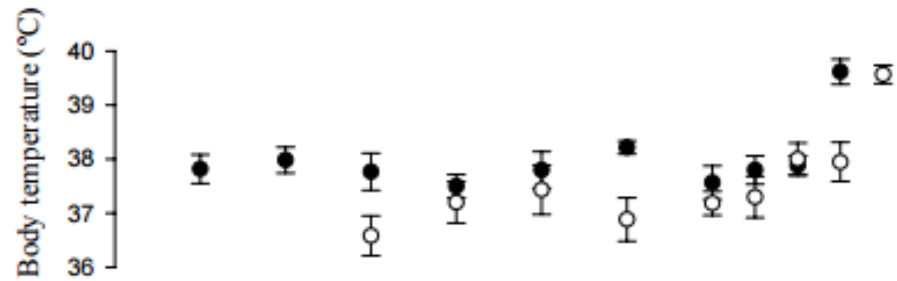
攝影 林宗義

<http://taichungmp.cpami.gov.tw/w-08.htm>

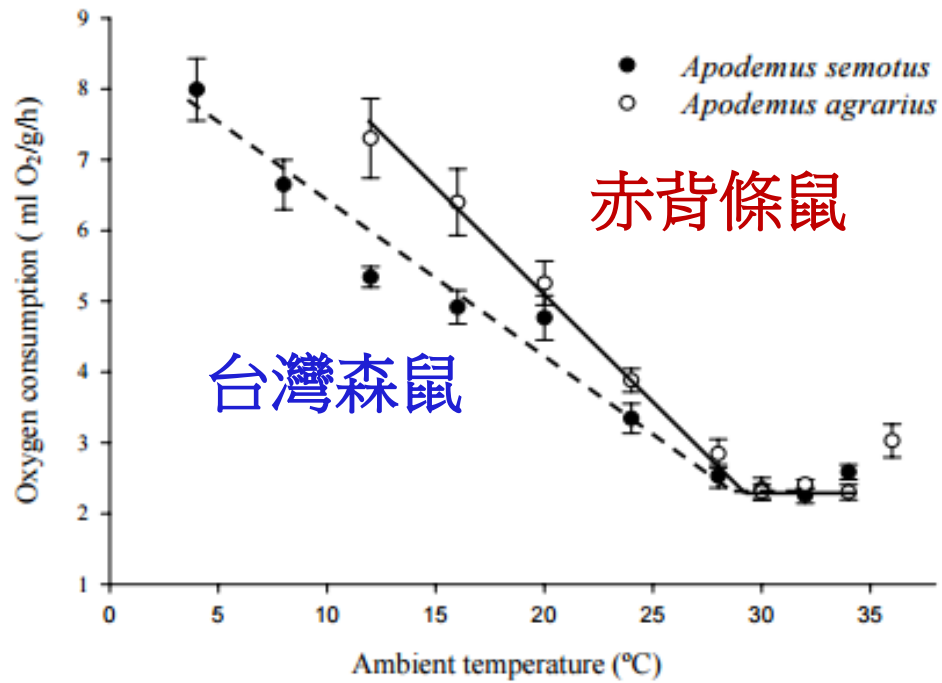
台灣森鼠：高海拔物種



(a) Body temperature



(b) Oxygen consumption



主題五、預測氣候變遷對台灣高海拔 蜥蜴的影響

- 從溫度生態學角度出發

氣候暖化生物學

用模式預測氣候變遷、林相改變對生物的影響

- 高海拔特有種爬蟲類：菊池式龜殼花、台灣蜓蜥、雪山草蜥



機制性模式

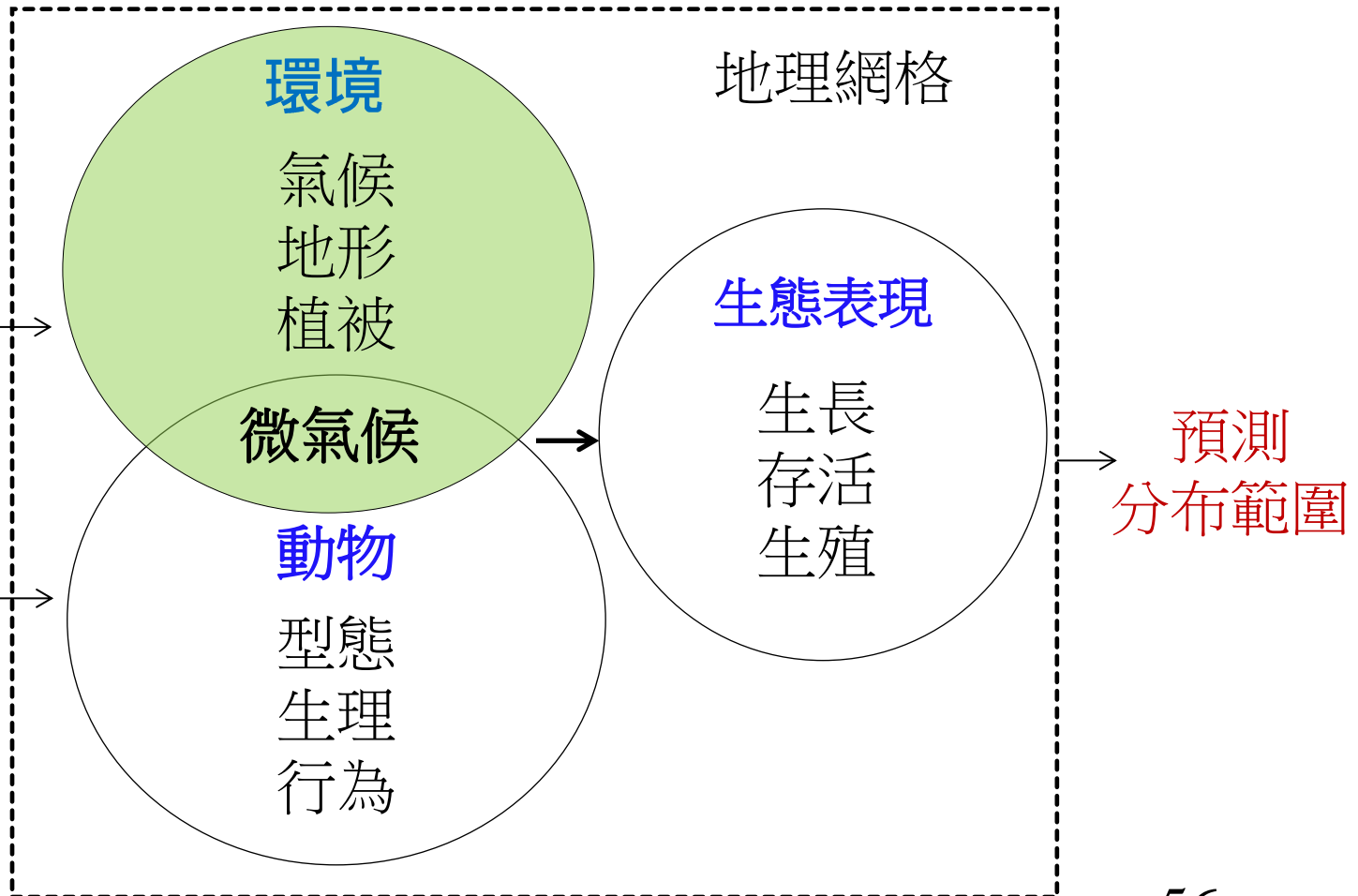
利用環境及動物特徵預測動物分布及野外表現

Prof. Warren Porter



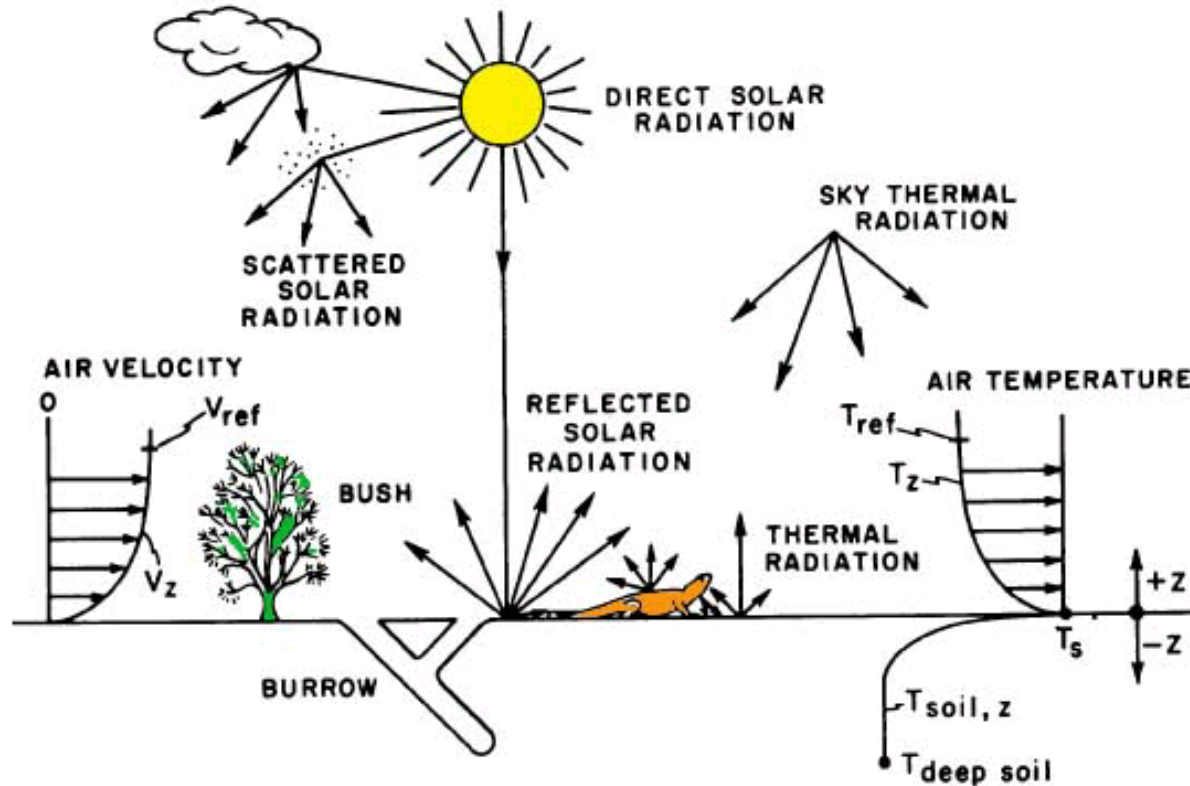
GIS 資料庫 →

功能性特徵
資料庫 →



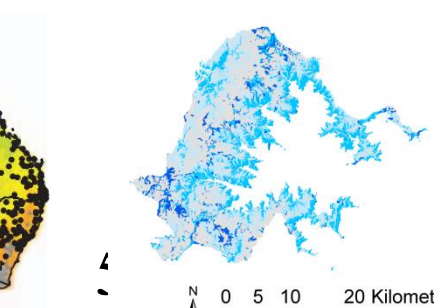
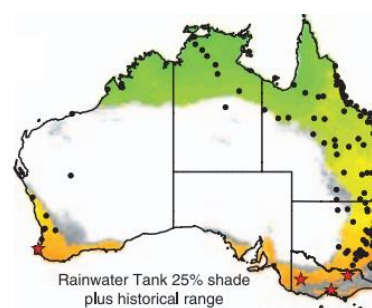
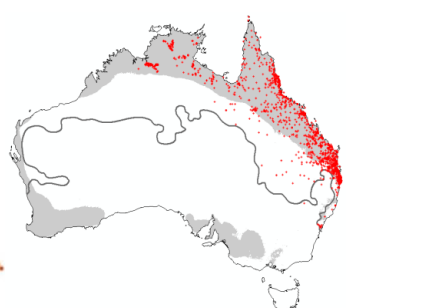
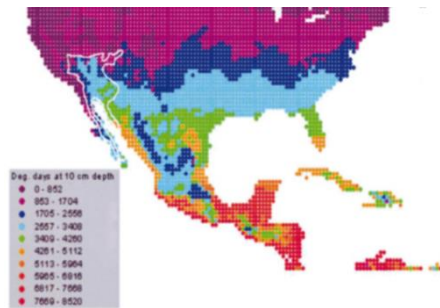
熱與能量交換

- 逐時太陽輻射、氣溫、風速等
- 逐時代謝率、活動、水分散失等



應用

- 限制因子 (Porter et al, 2002)
- 外來種的分布 (Kearney et al. 2008)
- 氣候變遷對埃及斑蚊的影響 (Kearney et al. 2009)
- 預測最適棲地 (Huang et al. 2013, 2014)



預測氣候變遷對高海拔爬蟲類的影響

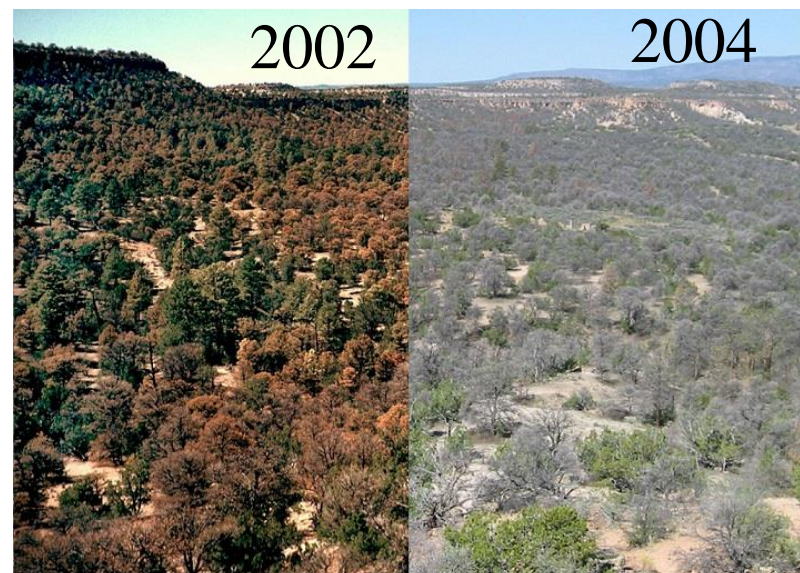
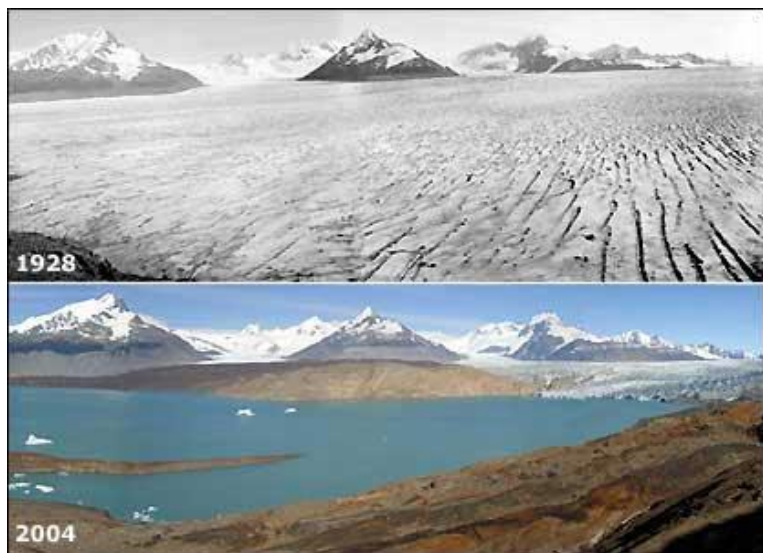
Takydromus hsuehshanensis
雪山草蜥



Trimeresurus gracilis
菊池氏龜殼花



氣候變遷



Photos: <http://myweb.rollins.edu/jsiry/GLOWADO>; Craig D. Allen

- 氣溫上升速率: $0.6^{\circ}\text{C}/100$ 年
- 高山地區: 2-3 倍

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

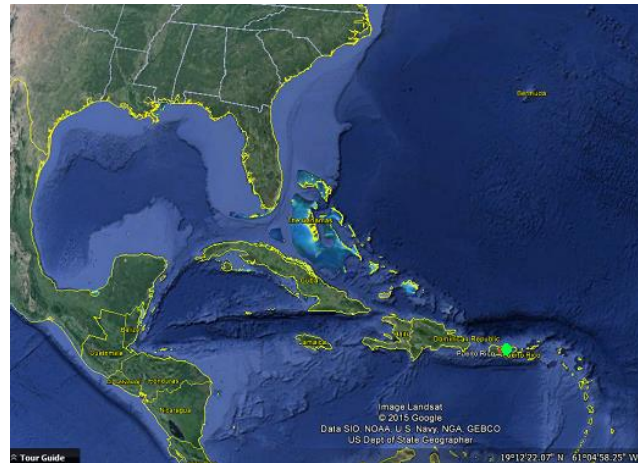
氣候變遷對蜥蜴的影響

野外觀察

赤道蜥蜴無法忍受熱



山區蜥蜴增加生殖率



Huey et al. 2009.; Siveno et al. 2006.
Photo: Laurie Vitt, www.herp.it

如何預測氣候變遷的影響？

- **溫度棲位(Thermal Niche)**
適合動物生長存活的溫度環境

地景上的的植被



溫度生理學



目標

預測 (氣溫再增加 3°C) 狀態下對雪山草蜥的影響

T. hsuehshanensis



(Photo 林思民)

T. gracilis



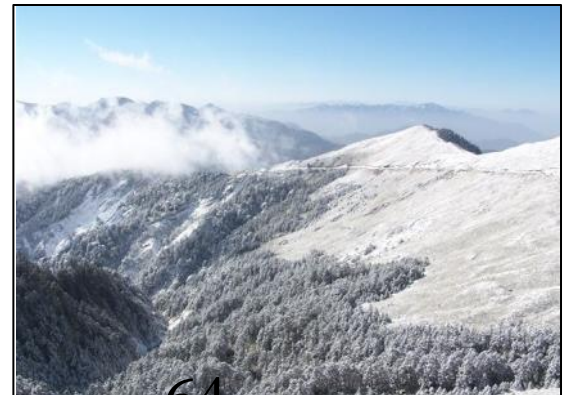
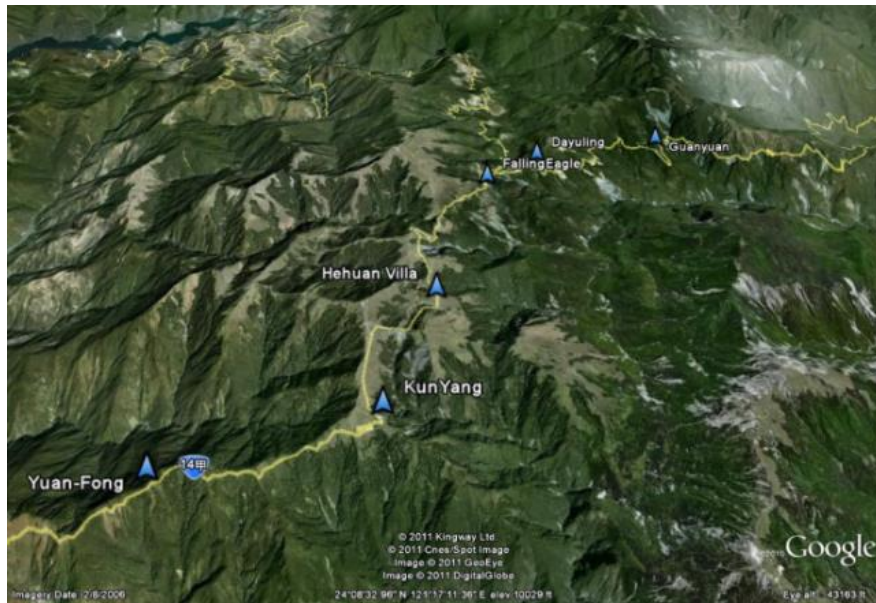
(Photo 杜銘章)

Habitat



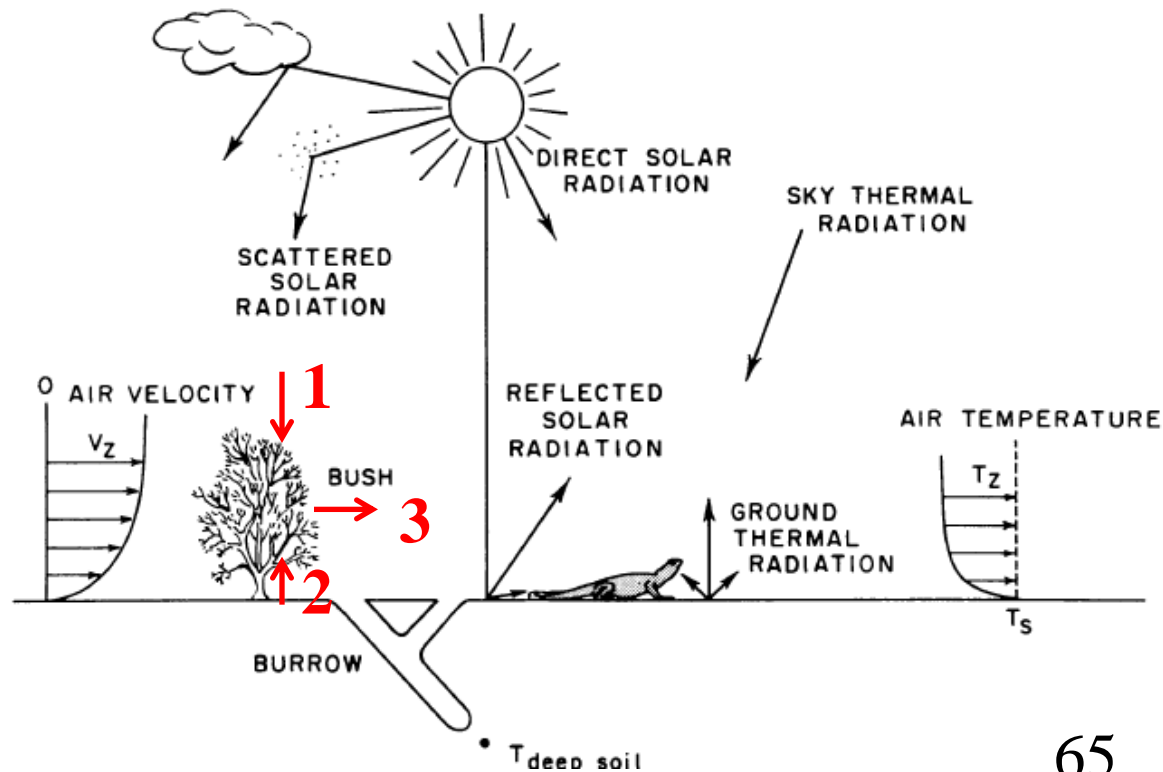
太魯閣國家公園 (1,800-3,748 m 區域)

- 高山草原 (箭竹林)
- 年均溫7°C (3000 m)

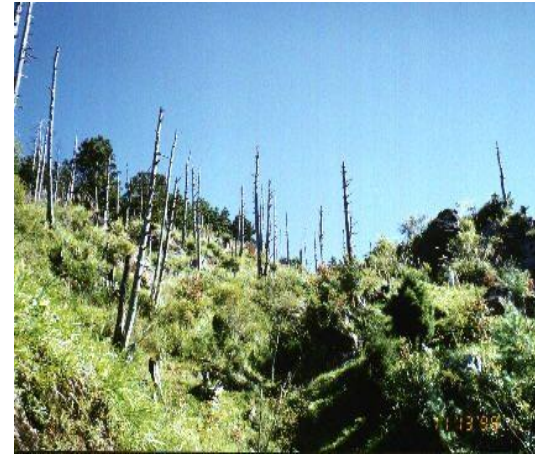


如何預測微氣候?

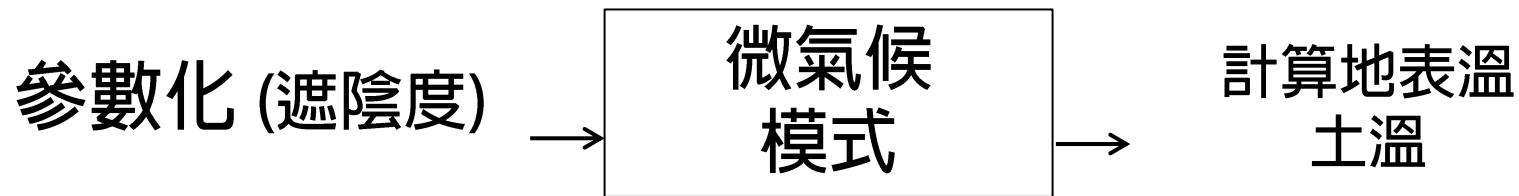
輻射、對流、傳導



森林的影響



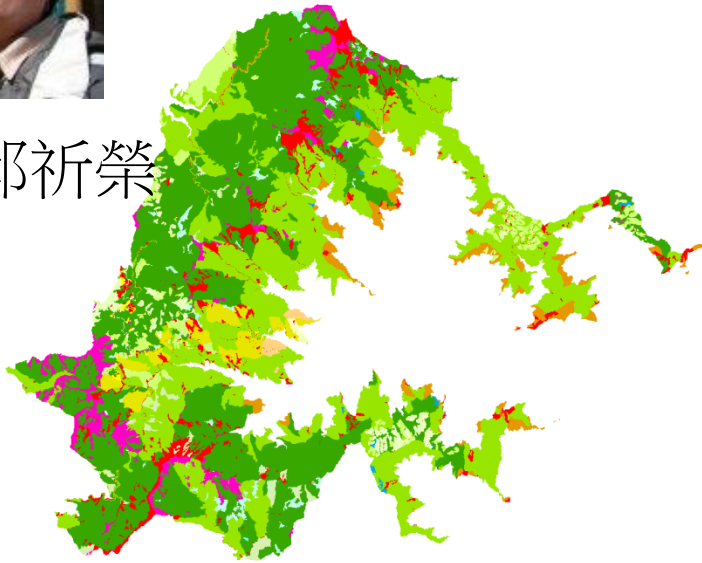
推算森林遮蔽的陽光量



地景植被狀態



Prof. 邱祈榮



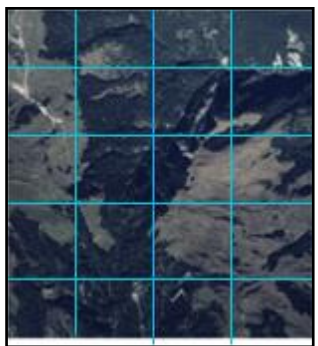
Vegetation/land type

- Natural pure coniferous forest (type A)
- Natural mixed coniferous forest (type A)
- Natural mixed coniferous-broadleaf forest (type B)
- Natural broadleaf pure forest (type B)
- Natural mixed broadleaf forest (type B)
- Pure coniferous plantation (type A)
- Mixed coniferous plantation (type A)
- Mixed coniferous-broadleaf plantation (type B)
- Pure broadleaf plantation (type B)
- Mixed broadleaf plantation (type B)
- Sparse coniferous area
- Sparse broadleaf area
- Sparse coniferous & broadleaf area
- Seedlings
- Grasslands
- Cultivated land
- Fruit farm, steep, rocky, avalanche area

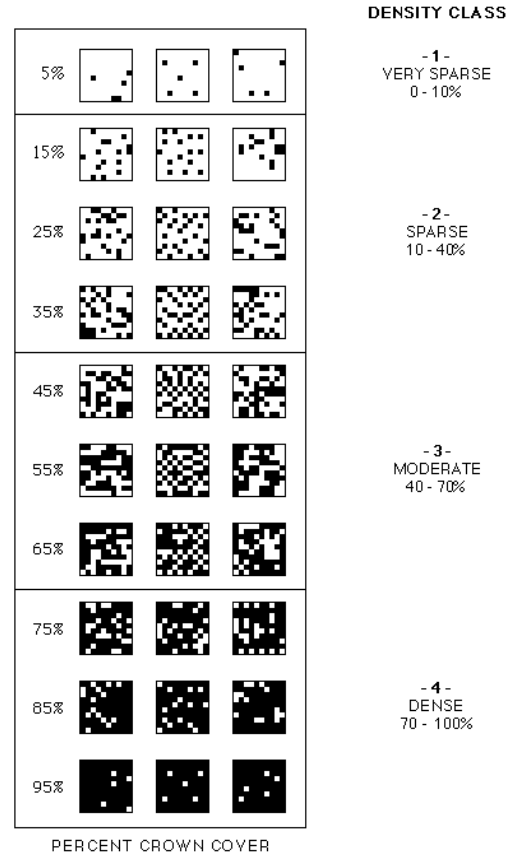
85.3% 區域:
針葉林、針闊葉混合林

空間資料庫: 樹冠密度

空照圖



密度分級 3, 4:
92.1% 針葉林
98.7% 針闊葉混合林
96.3% 闊葉林



Analyzed from raw data provided from Taiwan Forestry Bureau

樹冠密度



Gap Light Analyzer
(Frazer et al. 1999)

21 森林 (May-Jul 2012)

最低: 76 %

針葉林: 75.9–85.1% (n = 9)

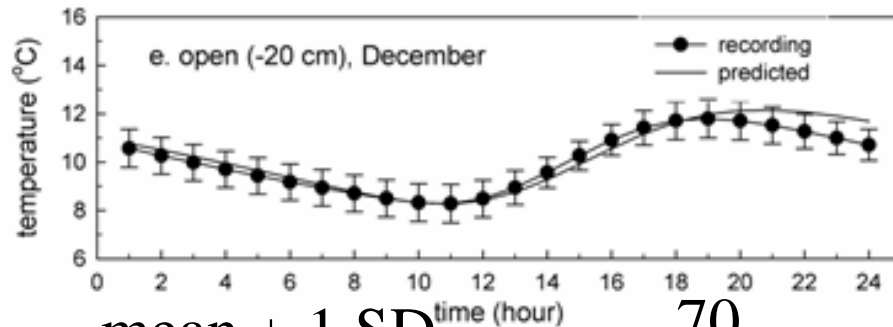
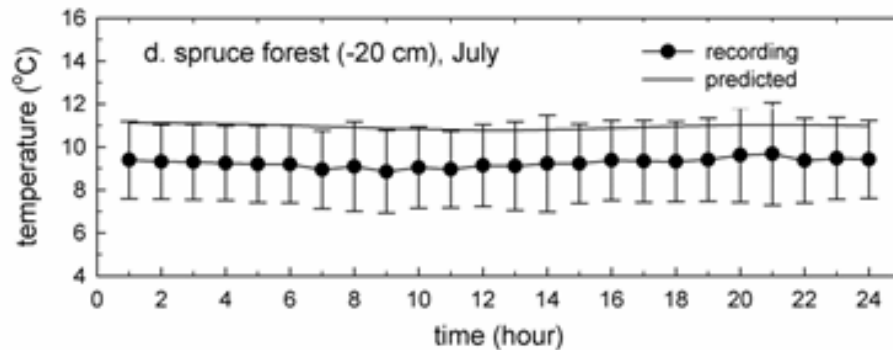
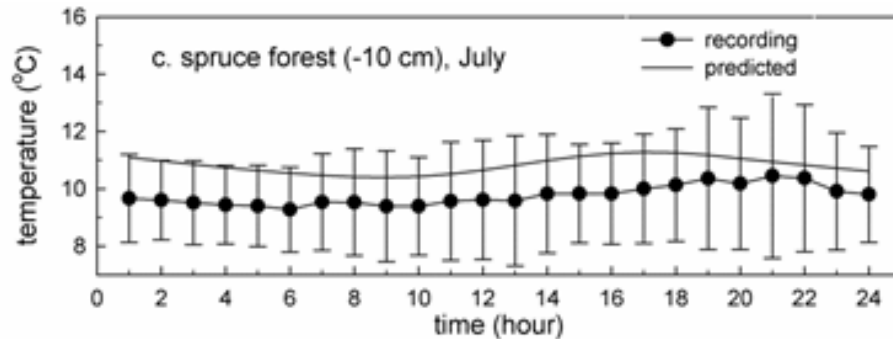
針闊葉林: 76.1–88.2 (n = 6)

闊葉林: 76.0–85.4 (n = 6)

成功預測土溫

- 針葉林
小風口 (3,005 m)
遮陰度: 70 %
(year 2006-2009)

- 空地
關原 (2,374 m)
遮陰度: 0%



mean \pm 1 SD 70

動物特徵

- 型態: 體型大小、陽光反射度、形狀等
- 行為: 陸棲、樹棲或穴居等
- 生理: 代謝、最適溫度等

雪山草蜥

體表陽光反射度: 8%

最適溫度: $32.1 \pm 1.6^{\circ} \text{C}$,
範圍 $23.0 - 38.6^{\circ} \text{C}$ ($n = 12$)



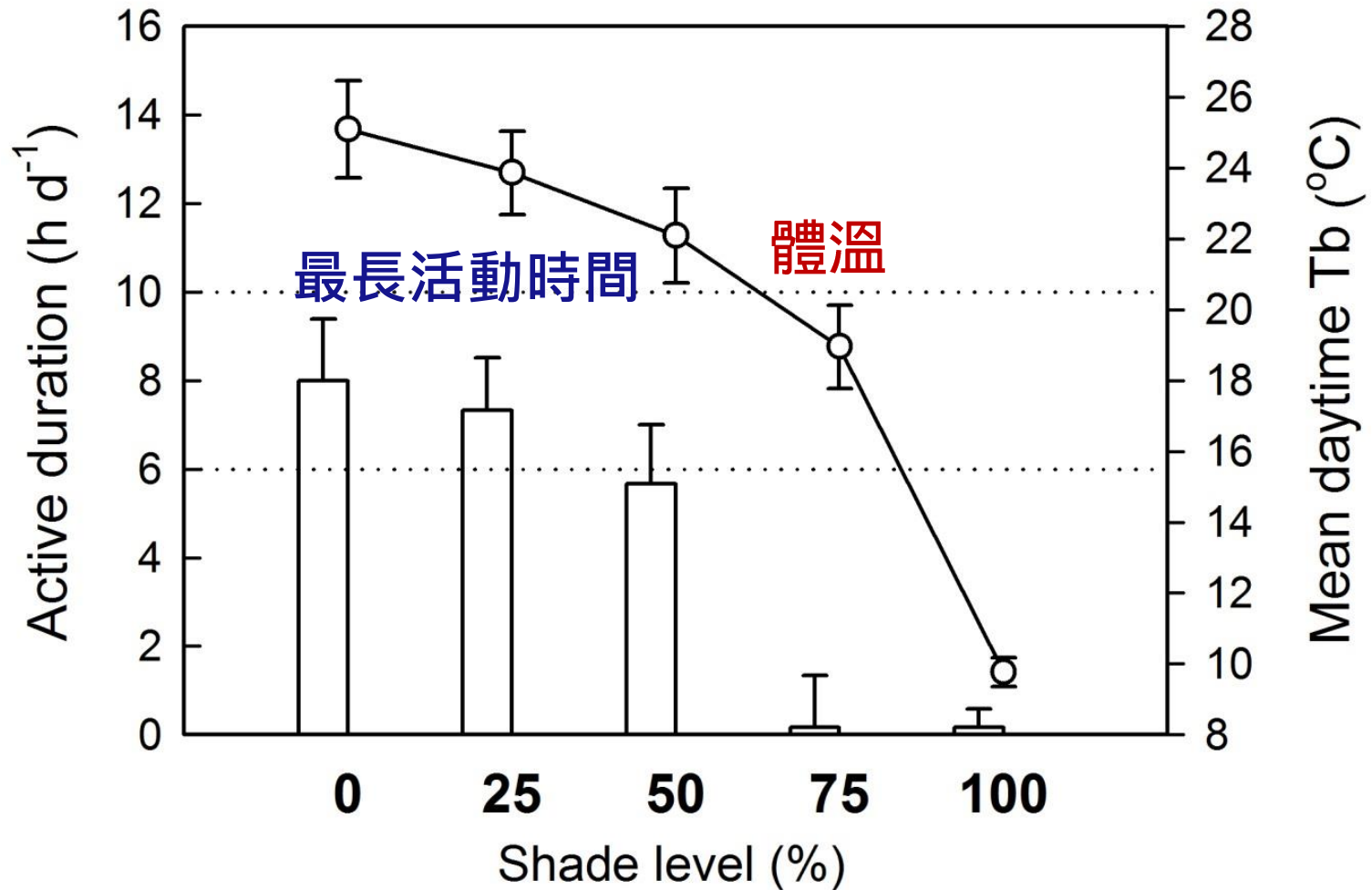
模擬結果

雪山草蜥 (*Takydromus hsuehshanensis*)



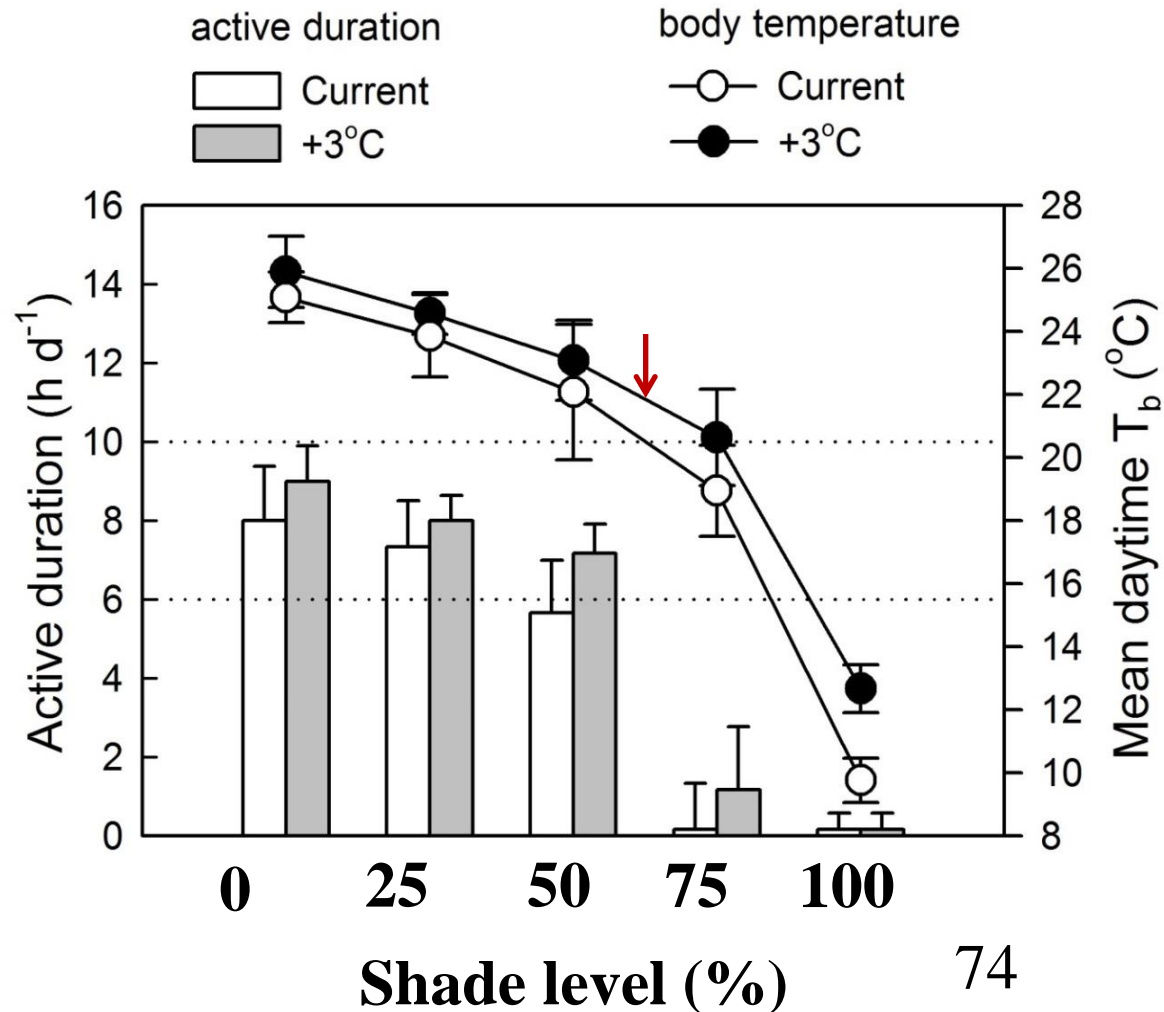
體溫 & 最長活動時間預測值(五種遮閉度下)

海拔 3000 m, 七月



氣候暖化下 (+3°C)

3000 m elevation, July

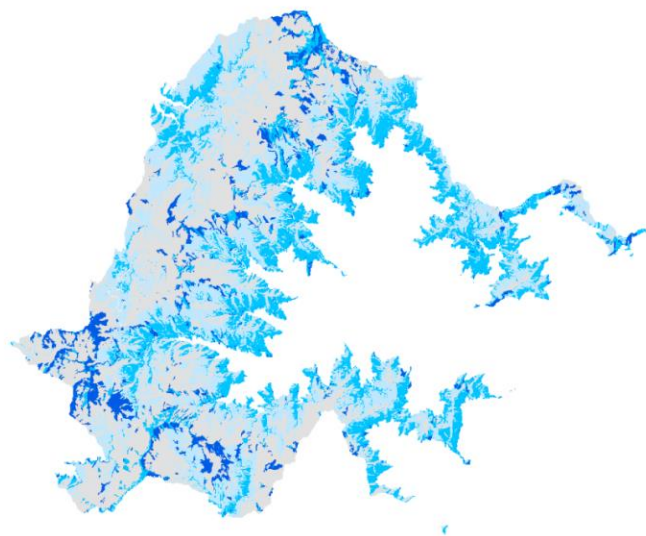


最長活動時間預測值

模擬狀況: 現今植被

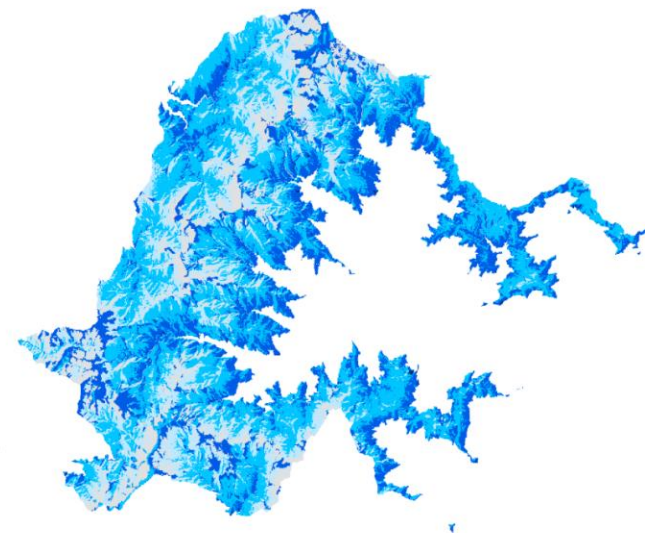
a. 2015年氣溫

70.1% 地區 < 3 hr/d

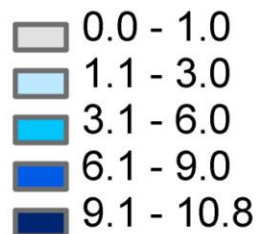


b. + 3°C

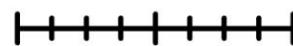
31.8% 地區 < 3hr/d



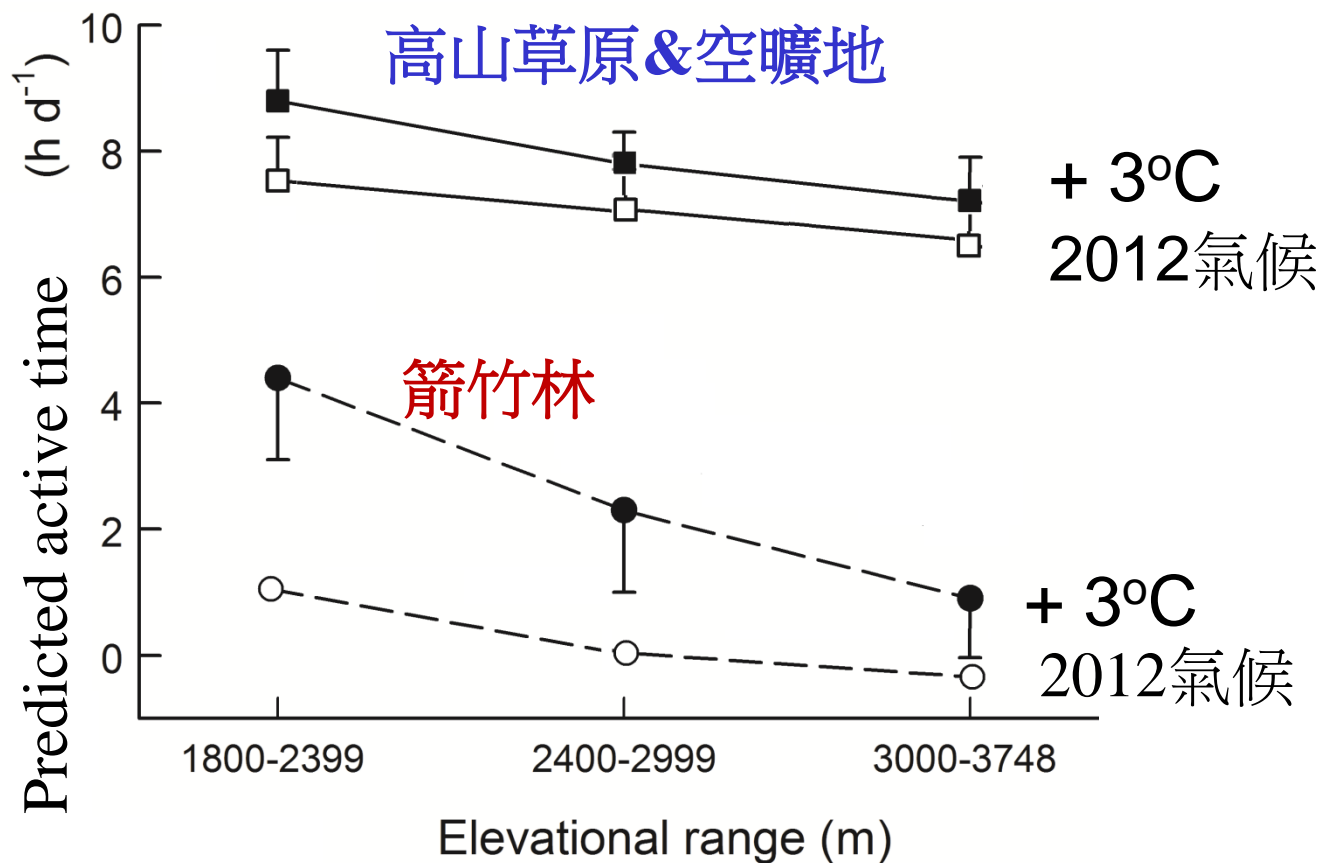
Maximum
active
time (h d⁻¹)



0 5 10 20 Kilometers



最長活動時間預測值



回顧

- 冰凍蛙的例子
- 棲位(niche) 與地理分布
- 生物對逆境(stress)的反應
- 生物與外界的熱交換
- 氣候變遷對台灣高山蜥蜴的影響