

2025年【科學探究競賽—這樣教我就懂】

普高組 成果報告格式

題目名稱： 從足部結構到演化——蜥腳類及獸腳類恐龍的足部壓力分佈之探究

一、摘要

不同種類恐龍的足印深淺各有不同。本研究旨在結合蜥腳類與獸腳類恐龍的足部結構與足部壓力的分散效率，以及恐龍結構與演化的關係。研究發現，蜥腳類恐龍足部骨板排列密度普遍比獸腳類恐龍高。透過設計實驗，模擬不同骨板密度承重時的情況，透過陷入土壤的深度分析壓力分佈的差異。實驗發現，排列較密的骨板結構能幫助壓力分散。進一步分析得出，食草性蜥腳類恐龍較密的骨板排列有助於支撐大基數體重，而獸腳類恐龍較為疏鬆的骨板則能集中壓力，提高運動過程中的穩定性。研究的結果不僅對恐龍足印化石於物種研究提供一定參考，也為仿生工程和材料科學指出了應用與創新的新方向。

二、探究題目與動機

在參觀國立自然科學博物館的過程中，我們看到了不同種類恐龍的模型，體型與結構各不相同。在課堂上學習了關於骨骼形狀與承重的相關知識後，不禁好奇：不同種類的恐龍體型不同，骨骼的結構也會因而不同嗎？帶著疑惑我們展開了相關資料的搜尋。在了解過程中，我們發現，蜥腳類恐龍與獸腳類恐龍的骨板確實存在密度的不同，不同種類恐龍的足印不僅形狀不同，深淺也常不同。恐龍種類的不同對足部的結構有何影響，兩者又會如何影響足印的深淺——也就是對地面的壓力呢？有沒有什麼容易操作又直觀的方法能夠幫助我們更了解並回答這些困惑呢？於是我們決定設計一個能讓青少年兒童在博物館或家中進行探究的實驗，也藉此研究多個課題之間的關聯。我們使用紙張來模擬蜥腳類和獸腳類恐龍骨骼內部的疏密結構，再透過承重時陷入土壤的深度來分析其與壓力分佈的關係。再結合蜥腳類和獸腳類恐龍的生活習性等差異，分析這些差異對演化過程中恐龍身體結構塑造的影響。得出結果後結合再現世科學問問題，探討關於恐龍體型結構特徵的研究能跨領域帶來的啟發與為實際生活貢獻的意義。

三、探究目的與假設

目的

- (一) 測試並比較蜥腳類與獸腳類恐龍在相同負重下的足印深度，分析其壓力分佈差異
- (二) 分析足部骨板排列疏密程度對其重量分佈與承重效果之影響
- (三) 根據足印深度與骨板排列差異，推論恐龍足部與演化分類之關聯

假設

- (一) 恐龍足部骨板排列越密，壓力分佈越均勻，故足印較淺；骨板排列越疏，壓力分佈越集中，故足印較深
- (二) 恐龍足部骨板的排列疏密程度與其體重及足部演化存在關聯

名詞定義

蜥腳類恐龍及獸腳類恐龍同屬蜥臀目(*Saurischia*)，但分別隸屬於蜥腳性亞目

(*Sauropodomorpha*)及獸腳亞目(*Theropods*)。在報告中，蜥腳類恐龍及獸腳類恐龍將作為研究對象。

四、探究方法與驗證步驟

一、實驗材料與設備準備



圖1: 蜥腳類恐龍模型



圖2: 獸腳類恐龍模型

- 模型的製作

- 根據蜥腳類與獸腳類的恐龍足部結構，運用紙張與毛線製作兩類恐龍的足部模型。

- **實驗場地**

- 在未經特殊處理的相同區域的自然土壤進行實驗，確保實驗條件的一致性，模擬自然環境中恐龍對土壤產生壓力導致形變的特徵。

- **其他設備**

- 將裝有充滿鹽水的瓶子的盒子放在模型上，以模擬恐龍身體對足部的壓力。

二、實驗流程

1. 將已準備好的足部模型先後放在土壤上。
2. 將裝有**4瓶500ml**的鹽水的盒子（共**1.65kg**）放在模型上。在模型平衡後，測量模型陷入土壤的深度。
3. 記錄數據並列成表。

	陷入深度	
	蜥腳類恐龍	獸腳類恐龍
第一次（ cm ）	0.6	1.8
第二次（ cm ）	1.0	1.9
第三次（ cm ）	0.7	1.6
平均值（ cm ）	0.767	1.767

表一、兩種足部模型在土壤的陷入深度

三、數據分析

- 兩種恐龍的足部模型中，橫切面的面積都相同，但**骨板密度**不一樣。
- 實驗數據表明，蜥腳類恐龍模型的骨板較密，陷入土壤的深度較小，獸腳類恐龍模型的骨板較疏，陷入土壤深度較大。透過分析數據可以推測出，重量相同的恐龍

中，骨板排列越密集的一方留下的足印越淺。

- 在骨板排列越密的足部中，壓力能更有效分散。分散的壓力會對地面造成較小的壓力，使其陷入土壤的深度較小。
- **蜥腳類是草食性的。**在草食動物中，因食物可以輕易獲取，大多有有**著笨重且體積大的身體**。為了支持這種體型，蜥腳類的足部演變成較密的形態，有助於**分散壓力**並以較小的負擔支撐。
- **獸腳類是肉食性的。**為了捕獵，它們需要快速地移動。排列疏鬆的骨板能使恐龍身體更輕盈，從而提高其靈活性。并且，骨板松能導致**壓力的集中**，導致恐龍陷入土地得更深，在高速移動時能增加摩擦力、避免打滑。

四、誤差分析

- 在實驗中，蜥腳類的標準差為**0.169cm**，獸腳類的標準差為**0.125cm**，是**相對大的誤差**。
- 若重物放置**有傾斜**，可能導致壓力偏移，並影響足印的形態。
- 使用自然土壤模擬地表環境仍存在潛在誤差，例如，現代土壤的有機質含量（約**2%–5%**）顯著高於中生代沉積層（通常低於**1%**），且長期風化作用導致顆粒圓度與黏土礦物組成有顯著差異，這些都可能影響土壤受到壓力時的深度改變。
- 簡化的實驗模型忽略了一些潛在影響因素，例如恐龍的軟組織對壓力分佈的緩衝作用。
- **控制誤差的措施**
 - 實驗前標準化實驗場地的材料（統一濕度、壓實度），並在每次測試後重新平整表面。
 - 使用固定支架確保負重垂直施加，減少人為操作偏差。
 - 透過重複實驗並以軟件分析誤差，提高實驗結果的準確性。
 - 進行更進一步研究時，可以結合古土壤學資料以及古生物學相關研究，模擬更精準的地質環境和生物結構。

五、結論與生活應用

一、結論

- 實驗結果皆符合假設。透過對比及分析蜥腳類與獸腳類恐龍足印深度的實驗數據，本研究驗證了骨板排列疏密程度與壓力分佈的關聯：蜥腳類恐龍因其足部骨板排列更為緊密，實驗結果顯示其平均足印深度僅為**0.767**厘米，顯著低於獸腳類恐龍的**1.767**厘米，顯示密集的骨板結構能夠有效分散壓力，減少單位面積壓強，形成較淺的足印；而獸腳類恐龍骨板排列相對疏鬆，導致壓力集中於局部區域，形成較深的足印。
- 此外，此實驗結果也驗證恐龍足部骨板的排列疏密程度與其體重及足部演化存在關聯：結合兩類恐龍的生態特徵—蜥腳類恐龍作為巨型植食性動物，需承受較大體重，故骨板排列程度緊密。而獸腳類作為敏捷掠食者，需具備較強的抓地力以及輕盈的身體以利於在捕獵時快速移動，故骨板排列程度較疏鬆，以維持移動時的穩定性及靈活性。**其骨板密度的差異與其生存需求高度為高的差異。（有點怪）**儘管演化關聯性仍需更多化石證據支持，但實驗結果已初步揭示了生物結構與功能適應之間的深層邏輯。

二、生活應用

- 建築物設計：透過參考蜥腳類恐龍的密骨板結構，設計建築地基、橋樑支架等承重部件，形成較平均的壓力分佈，以提升其耐久性。
- 運動裝備最佳化：透過模仿獸腳類恐龍，以排列疏鬆的骨板，形成較大的局部壓力，其特性可用於鞋底設計，確保運動員的平衡穩定性與靈活性。
- 仿生材料：透過此研究，可將恐龍足部結構以及表面紋理密度與其承受能力之間的關係，應用於研發仿生材料，如防震墊、醫療護具等。

三、未來展望

- 要使實驗數據更精準，實際上需高精度技術還原古生物真實形態，例如透過CT掃描恐龍足部化石及其軟組織的三維結構，並用相近材料（如矽膠、泡沫等）模擬其肌肉等軟組織，以彌補當前模型簡化帶來的誤差。

參考資料

1. <https://cloud.kepuchina.cn/newSearch/imgText?id=7086733919344984064>
2. <https://www.163.com/dy/article/I15QK9240537SZTP.html>
3. <https://www.elsevier.com/resources/anatomy/skeletal-system/bone/interstitial-lamella-and-osteon-concentric-lamella/15196>
4. <http://xz.people.com.cn/n2/2025/0202/c138901-41125141.html>
5. 山東海陽發現早白堊紀小型獸腳類恐龍足跡，李日輝，青島海洋地質研究所，山東 青島，孟元庫，山東科技大學地球科學與工程學院，山東 青島，陳曉輝，青島海洋地質研究所，山東 青島，2023年
6. Enigmatic tracks of solitary sauropods roaming an extensive lacustrine megatracksite in Iberia, Fidel Torcida Fernández-Baldor, I. Díaz-Martínez, P. Huerta, D. Montero Huerta & D. Castanera, 2021
7. 萊陽盆地萊陽群恐龍足跡化石的新發現，李日輝，張光威，中國地質調查局海洋地質研究所，青島，2000年
8. 河北張家口早白堊紀張家口組中發現恐龍化石，朱本鴻，李金和，李傑，白春東，楊濟遠，連青，李典，河北省區域地質調查院，河北廊坊，2021年
9. Articulated bone sets of manus and pedes of Camarasaurus, Emanuel Tschopp, Oliver Wings, Thomas Frauenfelder, and Winand Brinkmann, 2015

註：

1. 報告總頁數以6頁為上限。
2. 除摘要外，其餘各項皆可以用文字、手繪圖形或心智圖呈現。
3. 未使用本競賽官網提供「成果報告表單」格式投稿，**將不予審查**。
4. 建議格式如下：

- 中文字型：微軟正黑體；英文、阿拉伯數字字型：Times New Roman

- 字體：12pt為原則，若有需要，圖、表及附錄內的文字、數字得略小於12pt，不得低於10pt
- 字體行距，以固定行高20點為原則
- 表標題的排列方式為向表上方置中、對齊該表。圖標題的排列方式為向圖下方置中、對齊該圖