

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

大專/社會組 科學文章

文章題目：透翅天蛾不透翅？

摘要：常被誤會為蜂鳥的大透翅天蛾，與一般蛾類不同，有著透明如窗的輕薄翅膀。這讓人不禁思考為甚麼牠們的翅膀如此獨特？翅膀是天生就透明的嗎？透明的翅膀又為牠們帶來甚麼好處呢？本文將與大家一同踏上探索這些問題答案的旅程。

文章內容：(限 500 字~1,500 字)

「哇，是蜂鳥！」

「蛤？台灣哪有蜂鳥？」

大家如果在戶外看到一隻快速穿梭在花叢之間的小型飛行生物，請不要誤會，由於台灣不是蜂鳥的棲息地，因此我們看到的比較有可能是「長喙天蛾」或「透翅天蛾」等天蛾科昆蟲¹。這些喜歡日間訪花，外形奇異的天蛾當中，筆者認為又以大透翅天蛾(*Cephonodes hylas* (Linnaeus, 1771))(圖一)最為特別。

大透翅天蛾，亦被稱為咖啡透翅天蛾，屬於鱗翅目(Lepidoptera)，天蛾科(Sphingidae)，透翅天蛾屬(*Cephonodes*)。蛾如其名，大透翅天蛾有著透亮輕盈的翅膀，胸部發達，腹部呈尖錐形。與蝴蝶搖擺的飛行方式不一樣，牠可以快速振動翅膀停留在花前，透過控制尾部鱗毛²打開的程度(圖二)，穩定或調整飛行的狀態，然後以細長且可彎曲的口器伸入花朵內吸食花蜜，因此遠遠看起來很像一隻小型鳥類。



圖一 大透翅天蛾

2023.11.10 筆者攝於台中

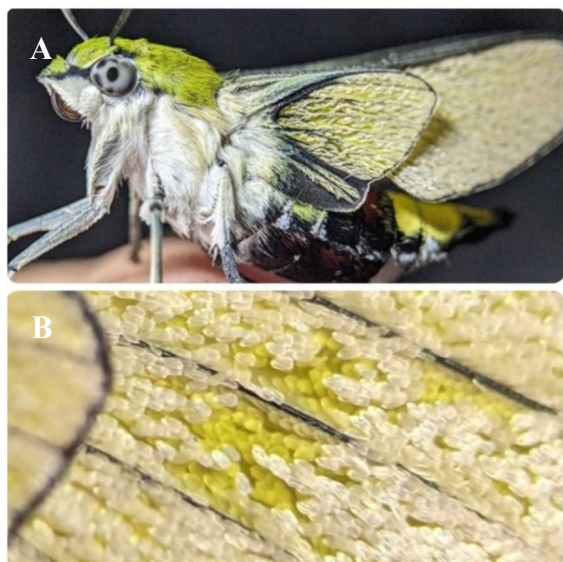


圖二 大透翅天蛾尾部鱗毛(A、B)

2023.11.03 筆者攝於台中

¹ 呂翊維等。認識蜂鳥科鳥類，2019，社團法人台北市野鳥學會冠羽月刊，第 298 期，封面裡。

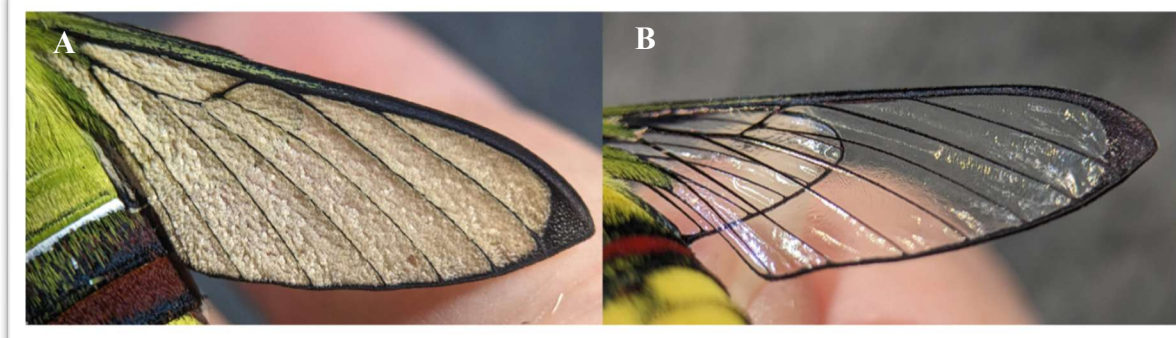
² 根據蔡志偉《天使的翅膀——昆蟲的翅》一文，昆蟲鱗毛與鱗片是由真皮細胞特化而來的扁平狀大毛。



圖三 羽化初期的大透翅天蛾(A)及其脫落部分鱗片的翅膀(B)

2023.11.02 筆者攝於台中

那大透翅天蛾透明的翅膀是天生如此的嗎？筆者曾在梔子花³嫩芽上發現三顆大透翅天蛾的卵，在成功孵化飼養成蛾後，觀察到牠們的翅膀其實在羽化初期並非透明，而是像其他鱗翅目昆蟲一樣，翅膜正反面都覆蓋著層疊排列的鱗片(圖三)。在第一次較長時間的振翅後，牠們翅膜表面的淺棕色鱗片會被抖落，剩下翅膜以及翅面上管狀的骨化翅脈⁴，最終形成翅膀透明的樣子。有趣的是，當大透翅天蛾首次飛行後，可以觀察到牠們翅膜上的鱗片幾乎都脫落了，但在翅脈及翅膀邊緣上的鱗片卻基本被保留下來(圖四)，這樣對鱗片的選擇性保留又是怎樣辦到的呢？



圖四 大透翅天蛾翅膀首次飛行前(A)、後(B)對比

2023.11.02 筆者攝於台中

根據 Yoshida 等日本學者在 2021 年所發表的研究⁵，大透翅天蛾翅膀如圖五及圖六所示，大部分區域被淺棕色的分離型鱗片 (detached scales，簡稱 d 鱗片) 佔據，而邊緣和脈絡則被深棕色的附著型鱗片(attached scales，簡稱 a 鱗片) 所包圍。d 鱗片和 a 鱗片有若干明顯區別：首先，d 鱗片約比 a 鱗片大八倍，在振翅過程中受到的摩擦力和慣性力可能較大。

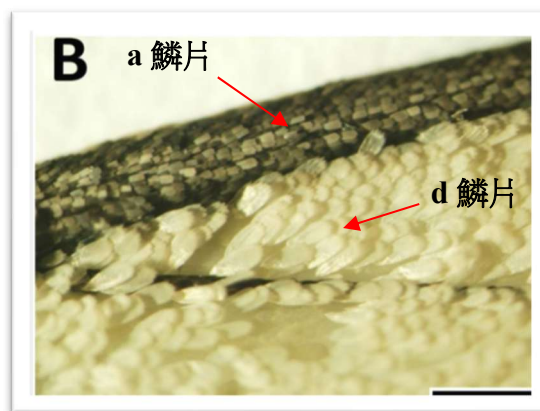
³ 又名黃梔，學名為 *Gardenia jasminoides* Ellis。

⁴ 根據蔡志偉《天使的翅膀——昆蟲的翅》一文，翅脈有支撐翅面的功能，而翅膜質、量輕、堅韌富彈性，能承受昆蟲在飛行中產生的升力。

⁵ Yoshida A, Kato Y, Takahashi H, Kodama R. 2021. Programmed scale detachment in the wing of the pellucid hawk moth, *Cephonodes hylas*: novel scale morphology, scale detachment mechanism, and wing transparency. *Zool Sci.* 38:427–435.



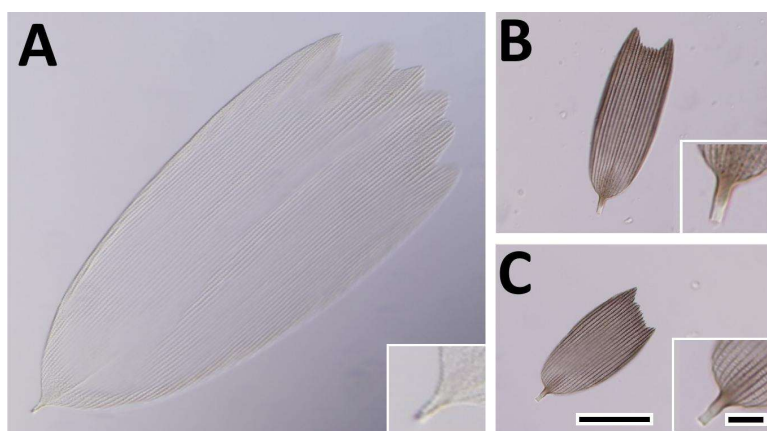
圖五 大透翅天蛾翅膀



圖六 大透翅天蛾翅膀局部放大圖

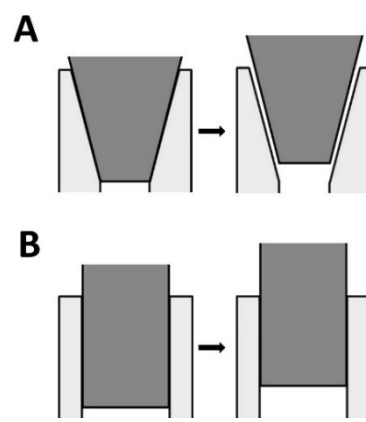
資料來源: Yoshida A, Kato Y, Takahashi H, Kodama R. 2021. Programmed scale detachment in the wing of the pellucid hawk moth, *Cephonodes hylas*: novel scale morphology, scale detachment mechanism, and wing transparency. Zool Sci. 38:427–435.

其次，兩類鱗片鱗柄(pedicle)的形狀不同。a 鱗片的鱗柄是柱狀(columnar)的，這也是鱗片鱗柄的常見形狀^{6 7}，而 d 鱗片的鱗柄則是錐形(tapered)(圖七)。如圖八所示，若將鱗片鱗柄比喻成黑色活塞，翅膀上的鱗片基座比喻成淺灰色瓶頸的話，一旦活塞開始在瓶頸內移位，由於錐形活塞與瓶頸之間的接觸面積比柱形活塞減少得更快，因此錐形活塞比柱形活塞更快被拉出瓶頸。同樣道理，一旦大透翅天蛾抖動翅膀，鱗片的鱗柄開始移位時，d 鱗片的脫落速度會比 a 鱗片快得多。



圖七 大透翅天蛾翅膀 d 鱗片(A)、a 鱗片(B、C)及其鱗柄放大圖

(Scale bar: 50 μ m)



圖八 d 型鱗片(A)及 a 型鱗片(B)

鱗柄脫落機制示意圖

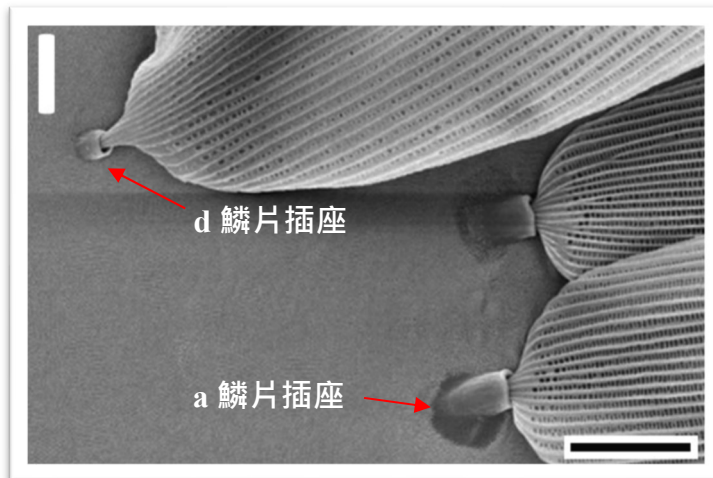
資料來源: Yoshida A, Kato Y, Takahashi H, Kodama R. 2021. Programmed scale detachment in the wing of the pellucid hawk moth, *Cephonodes hylas*: novel scale morphology, scale detachment mechanism, and wing transparency. Zool Sci. 38:427–435.

最後，d 鱗片在翅膀表面上插入鱗柄的插座(socket)比 a 鱗片的小(圖九)。d 鱗片鱗柄只有一小部分(長約 3 μ m)插入極小的插座中；a 鱗片鱗柄幾乎整個(長約 10 μ m)都插入插座中，因此 d 鱗片脫落所需的力可能較 a 鱗片小得多。

⁶ Downey JC, Allyn AC. 1975. Wing scale morphology and nomenclature. Bull Allyn Mus 31: 1–32.

⁷ Dinwiddie A, Ryan N, Maria P, Lisa C, Alexis LK, Hwei ET, et al. 2014. Dynamics of F-actin prefigure the structure of butterfly wing scales. Dev Biol 392: 404–418.

該研究認為，d 鱗片上述與眾不同的形態可能有助於大透翅天蛾透過振翅促使 d 鱗片脫落，進而增加其翅膀的透明度。去年筆者有機會再次飼養大透翅天蛾時，發現牠們羽化後抖落的鱗片亦呈現 d 鱗片鱗柄為錐形且較短，a 鱗片鱗柄為柱狀且較長的特徵(圖十)。



圖九 大透翅天蛾翅膀 d 鱗片、a 鱗片鱗柄及其插座放大圖

資料來源: Yoshida A, Kato Y, Takahashi H, Kodama R. 2021.

Programmed scale detachment in the wing of the pellucid hawk moth, *Cephonodes hylas*: novel scale morphology, scale detachment mechanism, and wing transparency. Zool Sci. 38:427–435.



圖十 大透翅天蛾翅膀鱗片放大圖

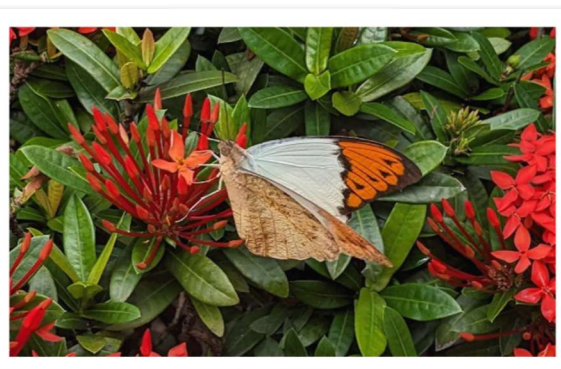
2024.10.27 筆者攝於台中

那麼大透翅天蛾如此大費周章「製造」出透明的翅膀又有甚麼好處呢？自然界中大多數生物都面臨被捕食的威脅，透明性使其在各種背景下被探測性降到最低，避免被捕食者發現。從下面兩圖可以看出，同樣是停靠在仙丹花⁸上，與橙端粉蝶⁹相比，擁有透明翅膀的大透翅天蛾，再加上與植物近似的體色，隱匿性較佳。



圖十一 停靠在仙丹花上的大透翅天蛾

2023.11.10 筆者攝於台中



圖十二 停靠在仙丹花上的橙端粉蝶

2023.08.18 筆者攝於台中

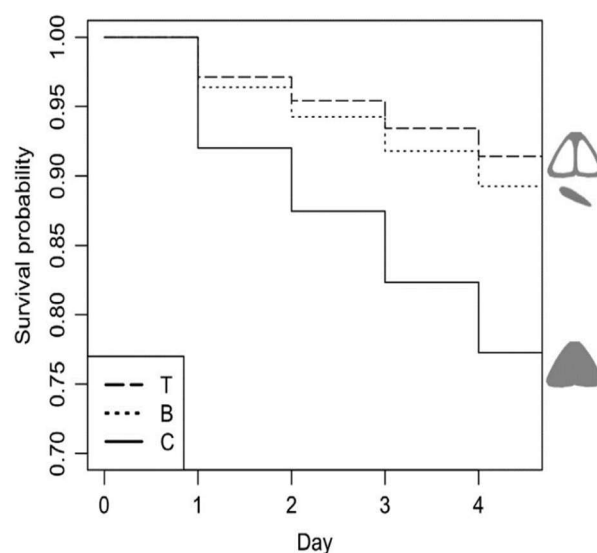
⁸ 學名為 *Ixora chinensis*。

⁹ 學名為 *Hebomoia glaucippe formosana*。

法國學者 Mónica Arias 等人也曾在 2018 年利用人造蛾進行實驗¹⁰，將完全彩色的 C 型蛾、透明翅膀的 T 型蛾和無翅的 B 型蛾三類人造蛾¹¹(圖十三)放置在樹幹上，並在 4 天內每天監測它們被鳥類攻擊後的「生存」情況。統計分析後發現透明翅膀的 T 型蛾的存活率與無翅的 B 型蛾存活率相似，且高於完全彩色的 C 型蛾存活率(圖十四)。



圖十三 Mónica Arias 等學者實驗中的三種人造蛾: 完全彩色蛾(A)、透明翅膀蛾(B)及無翅蛾(C)
資料來源:Arias M, Elias M, Andraud C, Berthier S, Gomez D. 2020. Transparency improves concealment in cryptically coloured moths. J. Evol. Biol. 33, 247-252.



圖十四 Mónica Arias 等學者實驗中三種人造蛾存活率比較

資料來源:Arias M, Elias M, Andraud C, Berthier S, Gomez D. 2020. Transparency improves concealment in cryptically coloured moths. J. Evol. Biol. 33, 247-252.

綜上所述，大透翅天蛾透明如窗的翅膀像是被大自然雕刻過的精緻藝術品，當中隱藏的巧妙設計為其保護自身帶來了明顯的優勢，讓牠們可以在燦爛的陽光下自由飛舞，也讓我們有幸欣賞大透翅天蛾飛行時的迷人姿態。

¹⁰ Arias M, Elias M, Andraud C, Berthier S, Gomez D. 2020. Transparency improves concealment in cryptically coloured moths. J. Evol. Biol. 33, 247-252.

¹¹ 該實驗製作了 497 隻人工蛾(原文筆誤記為 492 隻)，其中包括 165 隻完全彩色(fully coloured)的 C 型蛾、163 隻透明翅膀(with transparent windows)的 T 型蛾和 169 隻無翅(wingless bodies)的 B 型蛾。

參考資料

1. Arias M, Elias M, Andraud C, Berthier S, Gomez D. 2020. Transparency improves concealment in cryptically coloured moths. J. Evol. Biol. 33, 247-252.
2. Dinwiddie A, Ryan N, Maria P, Lisa C, Alexis LK, Hwei ET, et al. .2014. Dynamics of F-actin prefigure the structure of butterfly wing scales. Dev Biol 392: 404–418.
3. Downey JC, Allyn AC.1975. Wing scale morphology and nomenclature. Bull Allyn Mus 31: 1–32.
4. Yoshida A, Kato Y, Takahashi H, Kodama R. 2021. Programmed scale detachment in the wing of the pellucid hawk moth, *Cephonodes hylas*: novel scale morphology, scale detachment mechanism, and wing transparency. Zool Sci. 38:427–435.
5. 蔡志偉(國立臺灣大學昆蟲學系)。天使的翅膀——昆蟲的翅，The Wings of Angels: Insect Wings，2018 臺灣博物季刊 137 37 卷，第 1 期，30-31 頁。
6. 呂翊維等。認識蜂鳥科鳥類，2019，社團法人台北市野鳥學會冠羽月刊，第 298 期，封面裡。
7. 大透翅天蛾介紹，臺灣生命大百科網站，取自: <https://taicol.tw/pages/104696>。
8. 郭定中。攝影作品：我是憤怒鳥-晾翅中的大透翅天蛾，國立自然科學博物館網站，取自: <https://www.nmns.edu.tw/ch/learn/museum-education/naturalist/scienceimages/detail/SciencePhotography-08005/>。

註：

1. 未使用本競賽官網提供「科學文章表單」格式投稿，**將不予審查**。
2. 字數沒按照本競賽官網規定之限 500 字~1,500 字，**將不予審查**。
PS.摘要、參考資料與圖表說明文字不計入。
3. 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