



# 生物發光 (Bioluminescence)

現象、物種、功能、機制、和應用

王玉麒

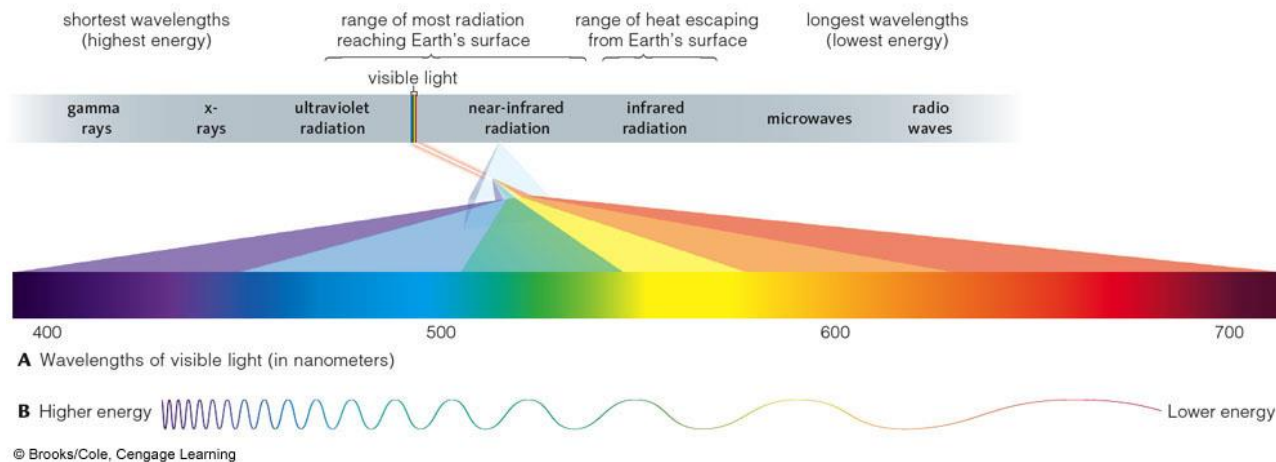
[biowyc@ntnu.edu.tw](mailto:biowyc@ntnu.edu.tw)

生命科學系

國立臺灣師範大學

# 「生物發光」

- 指生物進行特定化學反應並放射出可見光 (visible light; 380-740 nm) 的現象。



屬於冷光(luminescence)的一種，不同於太陽或鎢絲燈的白熱光(incandescence)



# 生物發光是自然界的有趣現象

- 在我們的生活經驗中，或許曾：
  - 喜歡鄉間夏夜的**螢光點點**、
  - 好奇夜釣透抽的**通體燦爛**、
  - 驚豔黑夜森林中的**碧綠蘑菇**、或
  - 迷惘於暗月下**通遍發亮的藍光海面**



和歌山森林中的發光蘑菇

[w.myblog.yahoo.com/jw!.BSjyMqBQUULyqaT26VrJ.w/article?mid=9684](http://w.myblog.yahoo.com/jw!.BSjyMqBQUULyqaT26VrJ.w/article?mid=9684)



鄉間夏夜的螢光點點

<http://49.idv.tw/read.php?tid=74171>



馬祖的藍砂海面

這些都是自然界的**生物發光**現象。

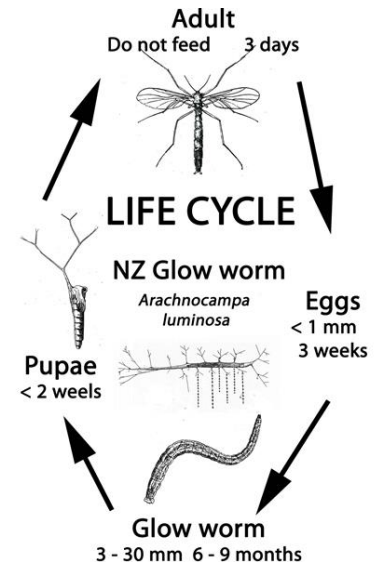
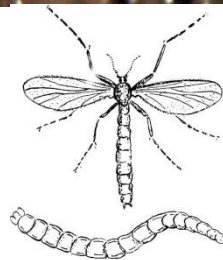
如果出國旅遊，或許也可以考慮  
下列的神奇夢幻景點：

「懷托摩」的「地下星空」  
「維克斯島」的「夢幻海灣」  
「富山灣」的「藍眼淚」

這些讓人讚嘆不已的景致，也都是由於  
**生物發光**所造成的。

# 世界七大奇景之一的「懷托摩」發光蟲洞

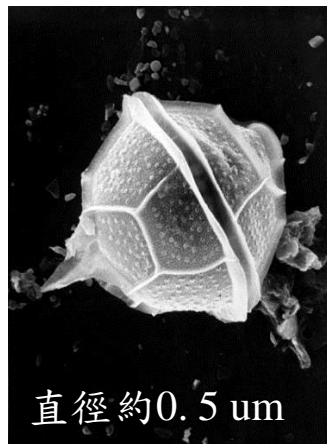
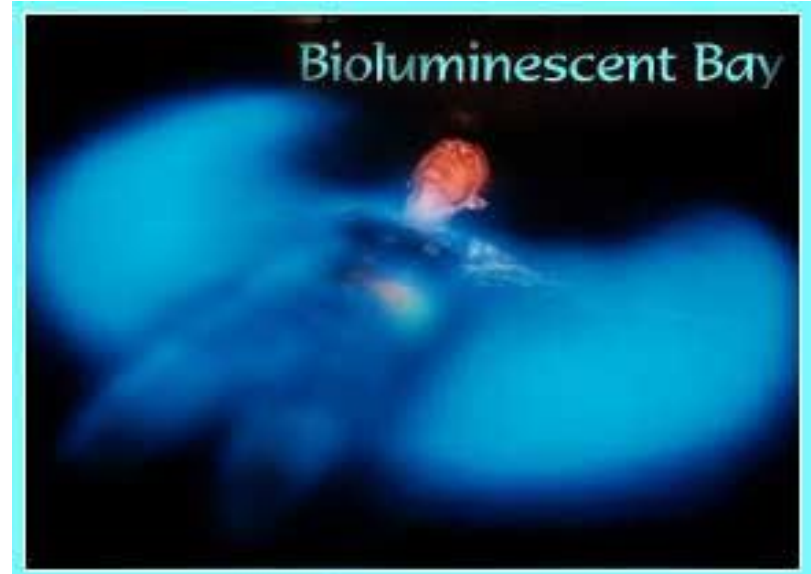
- Waitomo位於紐西蘭北島中部，城郊有三個深入地下150公尺的石灰岩洞
  - 由地下河乘渡筏進入洞內，可觀賞鐘乳石和星光奇景
- 「地下星空」其實來自葷蚋幼蟲 (*Arachnocampa luminosa*；雙翅目、黽蠅科) 的發光
  - 其幼蟲稱為glow worm，會吐出具黏性的透明珠線，尾部發光器則持續發出淡藍色亮光，以吸引食蟲前來



# 加勒比海的夢幻海灣



- 波多黎各Vieques島(維克斯島)的Mosquito海灣被譽為全球最亮的發光海灣 (bioluminescent bay)
- 每公升海水有近20萬個雙鞭毛藻(蟲)門(Dinoflagellate)的一種甲藻(*Pyrodinium bahamense*)，受機械攪動的刺激後會發出藍綠光

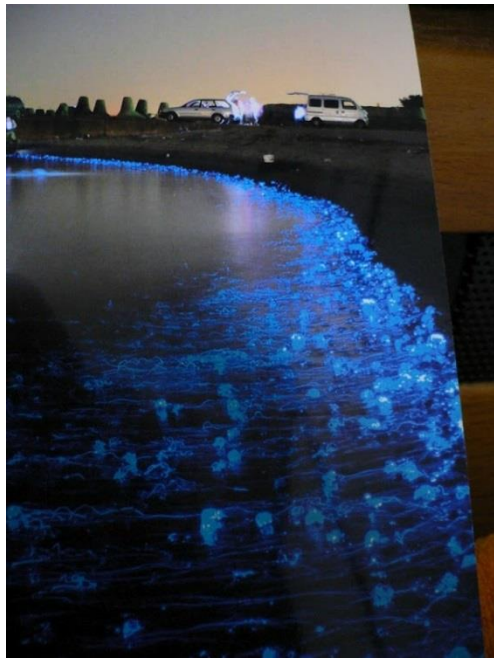


直徑約0.5 um



(c) Frank LLosa / frankly.com

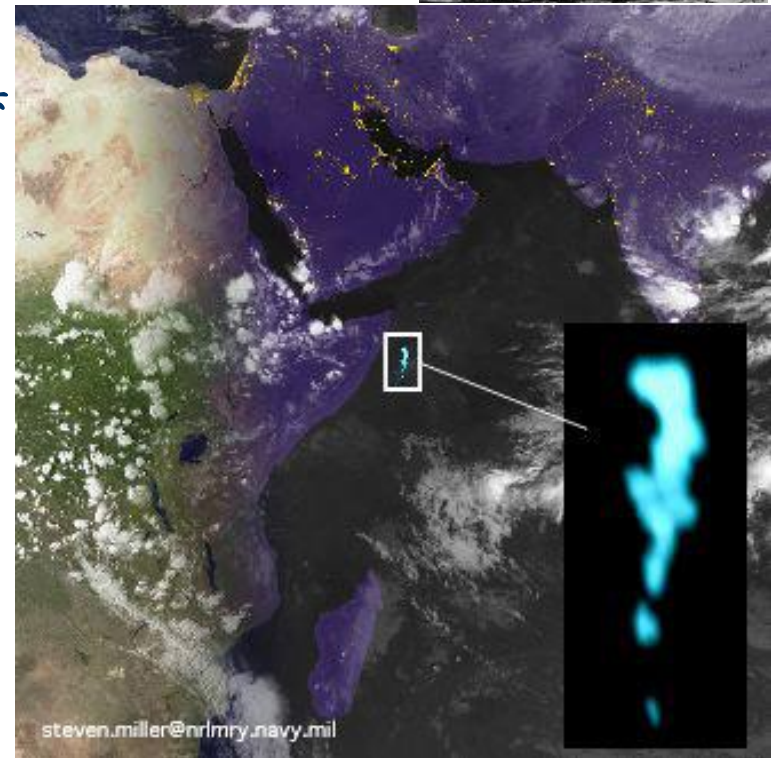
# 日本富山灣 (Toyama bay) 的 「螢烏賊 (Firefly Squid)」



生活在西太平洋裡的「螢烏賊」，每年3到6月間都會浮上來產卵，讓海面磷光閃閃。有時螢烏賊卵會被海浪推上岸邊，也形成了藍眼淚海灘的效果。

# 乳白海 (Milky Sea)

- 指海事記錄中，整個廣闊海面連續發光的現象
  - 1915年以來已有超過235件記錄；
  - 十九世紀小說「海底二萬哩」中的「鸚鵡螺號」亦有乳白海的紀錄內容
  - 主要發生在印度洋西北海域及爪哇外海
- 2005年，美國海軍研究所 (Naval Research Laboratory) 將衛星拍攝自印度洋西北海域的乳白海影像(實際為藍光)公諸於世
  - 範圍ca. 15,400 km<sup>2</sup> (約2/5個臺灣面積)
  - 連續3個夜晚發光
  - 推測成因：
    - 哈維氏弧菌(*Vibrio harvey*)的發光所致 [與棕囊藻(*Phaeocystis*)共存後，聚集的細菌產生群數感應(quorum sensing)的效果]



PNAS (2005) 102:14181-14184



「生物發光」不僅讓科學家們著迷，  
也深受一般民眾的喜愛！

Oba et al. (2011) *Zoological Science* 28: 771-789

「螢火蟲」是日本民眾的旗艦昆蟲 (flagship insect)

# 詩詞、歌謠、繪畫、藝品

## 杜甫·螢火

幸因腐草出，敢近太陽飛；  
未足臨書卷，時能點客衣。  
隨西北雨  
風隔幔小，帶雨傍林微；  
十月清霜重，飄零何處歸。

## 杜牧·秋夕

銀燭秋光冷畫屏，  
輕羅小扇撲流螢；  
天階夜色涼如水，  
坐看牛郎織女星。

## 台灣歌謠·西北雨

西北雨，直直落，  
鯽仔魚，要娶某，  
鮎獸兄，打鑼鼓，  
媒人婆，土虱嫂，  
日頭暗，找嚟路，  
趕緊來，火金姑，  
做好心，來照路，  
西北雨，直直落。



<http://blog.fxp.ks.edu.tw/blog/more.asp?name=ami&id=6926>



台灣手工業推廣中心  
<http://handicraft.org.tw>

詠螢 周繇 (唐)

隋宮 李商隱 (唐)

春詞 劉禹錫 (唐)

螢 劉筠 (宋)

無題 李商隱 (唐)

螢燈 謝宗可 (元)

古柏行 杜甫 (唐)

長相思 李白 (唐)

涼思 李商隱 (唐)

月夜 劉方平 (唐)

西北雨

螢火蟲 (湖南) 02

火金姑來食茶 03

螢火蟲 (浙江) 01

螢火蟲 (陝西) 01

詠螢 虞世南 (唐)

長恨歌 白居易 (唐)

感螢 司馬禮 (唐)

渭川田家 王維 (唐)

在獄詠蟬 駱賓王 (唐)

塞下曲 王昌齡 (唐)

蜀道難 李白 (唐)

長干行 李白 (唐)

錦瑟 李商隱 (唐)

玉臺體 權德輿 (唐)

螢火蟲

螢火蟲 (湖南) 03

火金姑 01

螢火蟲 (浙江) 02

螢火蟲 (陝西) 02

秋螢引 劉禹錫 (唐)

詠螢 羅鄴 (唐)

詠螢示情人 李白藥 (唐)

月中飛螢 陳陽縉 (梁)

詠螢 僧德祥 (明)

子夜四時歌(春歌) 李白 (唐)

石鼓歌 韓愈 (唐)

輞川閑居贈裴秀才迪 王維 (唐)

秦中感秋寄遠上人 孟浩然 (唐)

客舍與故人偶集 戴叔倫 (唐)

火金姑下落土

火金姑來食茶 01

火金姑 02

螢火蟲 (江蘇) 01

無題 (湖南)

秋夕 杜牧 (唐)

詠螢 彥謙 (唐)

螢火 前人 (唐)

螢火 趙蕃 (宋)

螢 葉太叔 (明)

螢火 陳格 (宋)

早秋 許渾 (唐)

蟬 李商隱 (唐)

山石 韓愈 (唐)

螢火 杜甫 (唐)

螢火蟲 (湖南) 01

火金姑來食茶 02

火金姑 03

螢火蟲 (江蘇) 02

火火蟲 (雲南)

資料來源數位典藏國家型科技計畫 / 昆蟲數位化博物館 - 蟲蟲總動員

<http://insect.cc.ntu.edu.tw/>

# 生態教學 + 旅遊



台灣鄉土文學課程教學計劃表 4.

主題名稱	逐家來唱囡仔歌-火金姑。	實施時間	彈性節數	教學節數	一節。	
適用年級	一年級	教學群	一年級教學群。設計者：白秋琴、陳妙珠、張若蘭師			
相關聯領域及議題	活動一：螢火蟲詩歌賞析。 活動二：螢火蟲相關成語、諺語、傳說、詩詞。 活動三：了解螢火蟲的生態。					
學習領域	相對應能力指標	教學活動	教學時間(分鐘)	教學型態	教學評量	教材來源
一、透過語文學習、音樂欣賞、聽認中華文化，並認識臺灣閩南語文內涵。	2-3-17 能從閩南語(閩南語翻譯成中文)中，分辨臺灣文化與中國大陸文化之異同。	活動一：螢火蟲詩歌賞析。 1. 聆聽閩南語火金姑歌謠。 2. 聆聽伊能靜1992年為世民望基金會資助「螢火蟲活動」公益歌曲「螢火蟲」。 3. 結合所學過「夏夜」、「蟬與	25。	班級協同教學	聆聽、體驗、實作、省思。	阿母的奶香(閩南語童謠)。

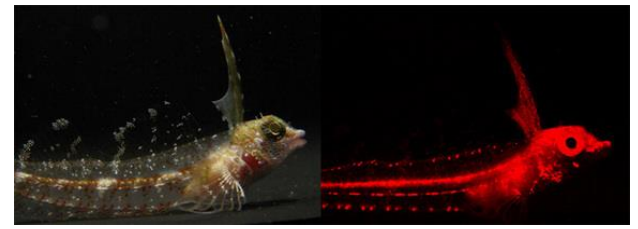


## 99a-一起揪團去旅行：生態樂活趴趴GO! - CourseWiki

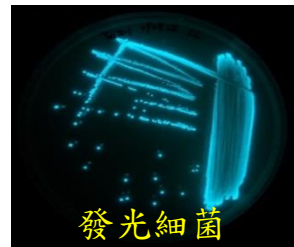
戶外踏查-獅潭螢火蟲之旅。探討螢火蟲與人類的互動、回味螢火蟲的詩歌、螢火蟲與現代人生活環境的關係。第四週 公共參與週(暫訂) 第五週 戶外踏查-十二寮古道生態之旅。十二寮古道的歷史背景、走訪古道上動植物生態、郊遊踏青活動筋骨。

[course.fcu.org.tw/index.php/99a-1651](http://course.fcu.org.tw/index.php/99a-1651) - 庫存頁面

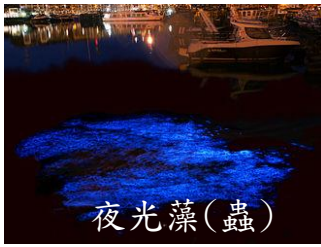
# 發光生物的種類



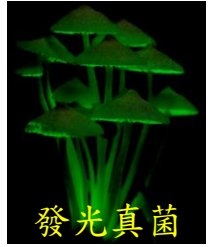
- 分布從極區到熱帶、從海水到淡水到陸地、從水表到海底、從平地到高山，都有發光生物的存在
- 廣泛分布在生物世界的十餘個門 (Phyla) 中的 >700 屬
  - 包括細菌、原生生物、真菌、刺絲胞動物、軟體動物、環節動物、節肢動物、魚類等 相對較低等生物



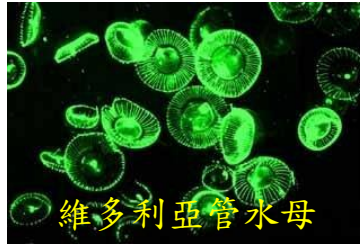
發光細菌



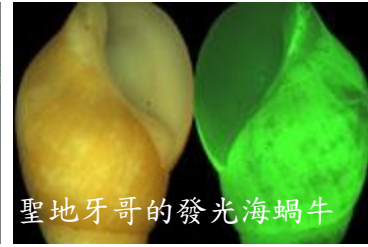
夜光藻(蟲)



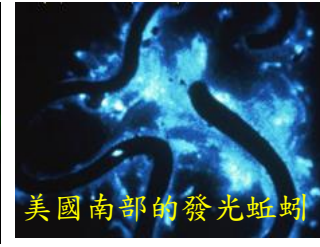
發光真菌



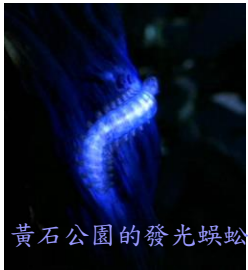
維多利亞管水母



聖地牙哥的發光海蝸牛



美國南部的發光蚯蚓



黃石公園的發光蜈蚣



加州的發光馬陸



德州南部的發光叩頭蟲



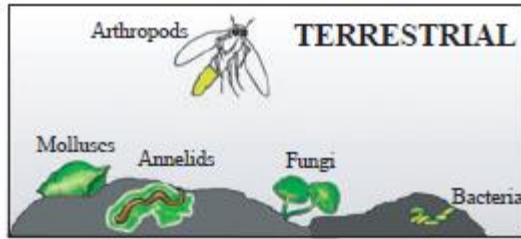
燈眼魚



鮫鰈魚

- 尚無發光記錄的生物類別有：兩生類、爬蟲類、鳥類、哺乳類等脊椎動物和陸生植物

# 發光生物的棲地

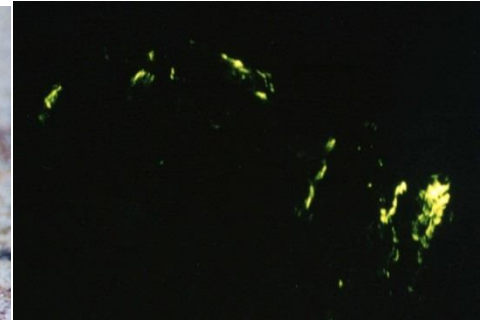


- 海洋物種佔>80%；其餘為陸生物種；淡水物種僅有1種 (不含某些昆蟲的幼體)

- 原因推測: Haddock et al. (2010) Annu Rev Mar Sci 2, 443-493

- 海洋的環境較陸地相對穩定，有利於演化事件的持續進行(不被中斷)。
- 海體的大部分屬於暗光或持續黑暗環境-有利發光演化產生效果；混濁的環境條件不利於發光演化：在光學上，海洋通常較淡水河川與湖泊更為清澈
- 海洋生物眾多，形成廣泛的種間交互作用(掠食者、被掠食者、寄生體、、、、)-促成發光演化的需求(生存或死亡的大事)

分泌發光黏液的紐西蘭淡水貝



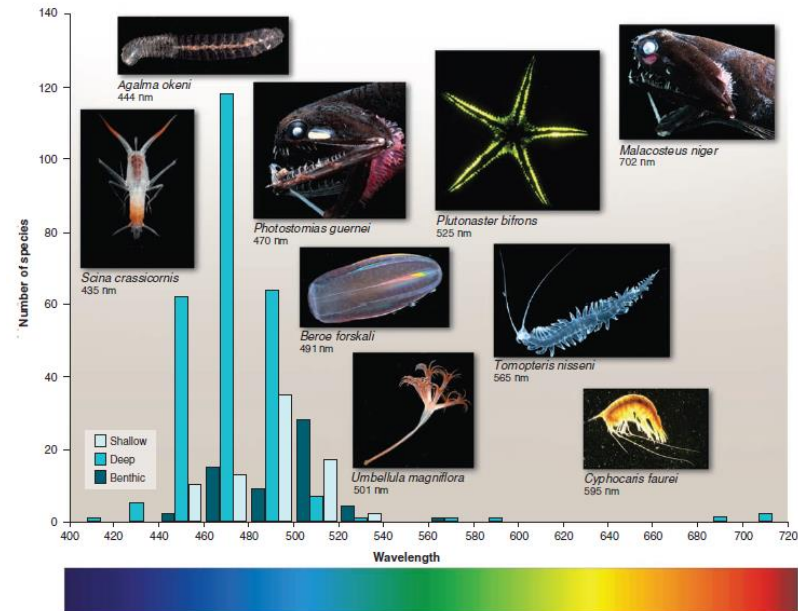
# 生物發光的光學特徵

- 波長範圍：橫跨整個可見光範圍(彩虹調色盤)
  - 藍光( $\lambda_{\max} \sim 475 \text{ nm}$ )最普遍，綠光其次，紫、黃、橘、紅光較少

- 光照強度： $10^9 \times$ 的差異範圍
  - 單一發光細菌  $\Rightarrow 10^3 \text{ photons/sec}$
  - 磷蝦(krill)、魚  $\Rightarrow 10^{12} \text{ photons/sec}$

- 發光時間(supply of luciferin)

- 細菌  $\Rightarrow$  持續發光
- 燈籠魚(lantern fish)的發光器  $\Rightarrow$  閃光，43 ms/once



Widder (2010) Science  
328, 704-708

- 光照角度(angular distribution)及波段(waveband)

- 可藉由肌肉及發光器的附屬構造進行調節(開關、反射、折射、濾光)

# 生物發光的功能

- 發光生物的種類眾多，進行發光之目的也很多元，大抵可以歸納為四大類：

- 「發現或吸引獵物(finding or attracting prey)」

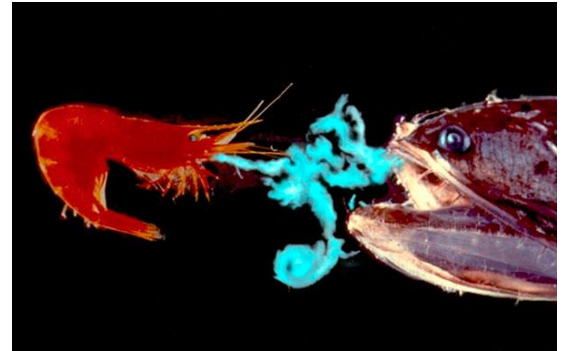
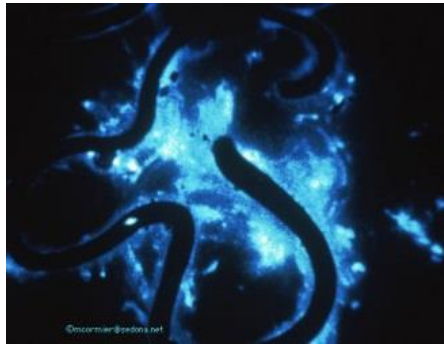
- 燈眼魚、鮫鰈魚、葦蚋、螢烏賊、、



- 「防禦掠食者(defense against predator)」
- 「傳遞訊息 (communication)和求偶(mating)」
- 「增殖(propagation)與散播 (dispersal)」

# 生物發光的功能

- 發光生物的種類眾多，進行發光之目的也很多元，大抵可以歸納為四大類：
  - 「發現或吸引獵物(finding or attracting prey)」
  - 「防禦掠食者(defense against predator) - 偽裝、驚嚇、欺敵」
    - 烏賊、蚯蚓、海蝦、水母、...

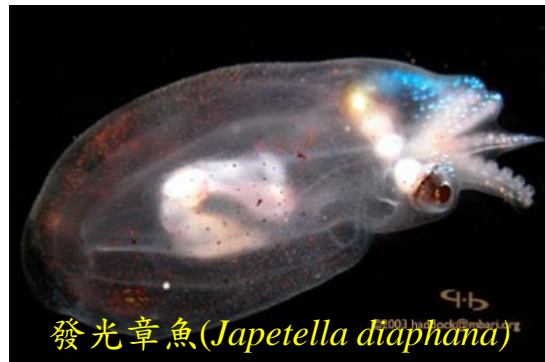


- 「傳遞訊息 (communication)和求偶(mating)」
- 「增殖(propagation)與散播 (dispersal)」



# 生物發光的功能

- 發光生物的種類眾多，進行發光之目的也很多元，大抵可以歸納為四大類：
  - 「發現或吸引獵物(finding or attracting prey)」
  - 「防禦掠食者(defense against predator)」
  - 「傳遞訊息 (communication) 和求偶(mating)」
    - 螢火蟲、章魚、海生剛毛蟲、、、



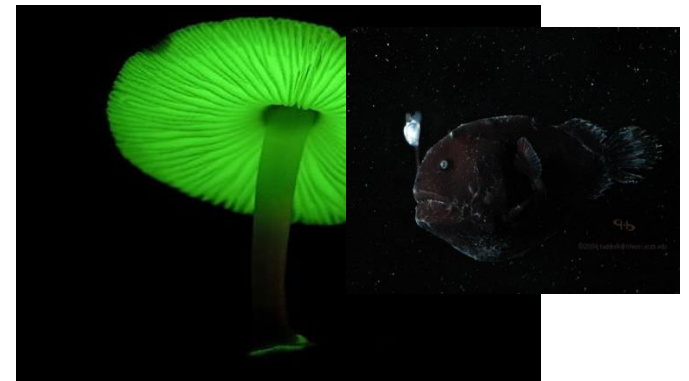
- 「增殖(propagation)與散播 (dispersal)」

# 生物發光的功能

- 發光生物的種類眾多，進行發光之目的也很多元，大抵可以歸納為四大類：
  - 「發現或吸引獵物(finding or attracting prey)」
  - 「防禦掠食者(defense against predator)」
  - 「傳遞訊息 (communication) 和求偶(mating)」
  - 「增殖(propagation)與散播 (dispersal)」
    - 共生發光菌、發光真菌、、、、



夏威夷短尾烏賊有「日排出」的行為—會於清晨將將約90%發光器官內的共生細菌排出體外。

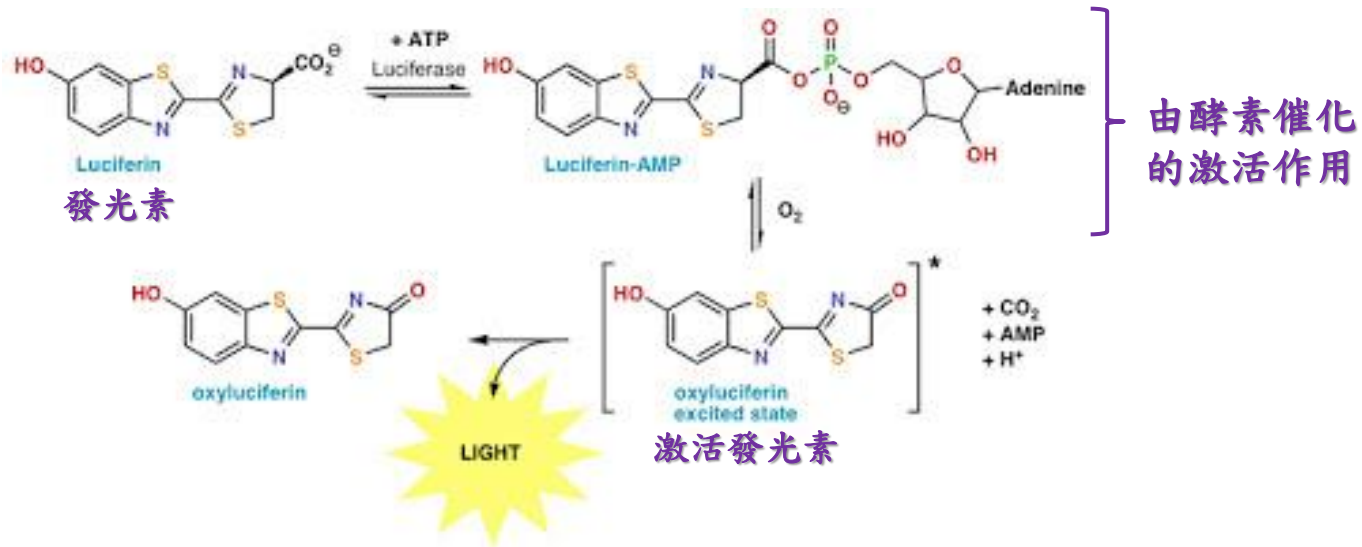


發光蘑菇可能吸引動物的好奇碰觸，有利於孢子的散播。

# 生物發光的機制

發光生物的「發光素(luciferin)」，  
受到激活作用，而放射出可見光。

e.g., 螢火蟲的發光反應



# 生物發光的類別-I

- 按照激活發光素的不同方式，可將生物發光分為：

## – 化學發光 (chemiluminescence)

- 藉「**發光酶 (luciferase)**」催化「**發光素**」的氧化反應 (激活反應)，被激活的發光素放出可見光



## – 光致發光 (photoluminescence)

- 以較高能量的光子照射激活「**發光素**」，被激活的發光素放射出較低能量的光子



# 生物的「化學發光」與「光致發光」

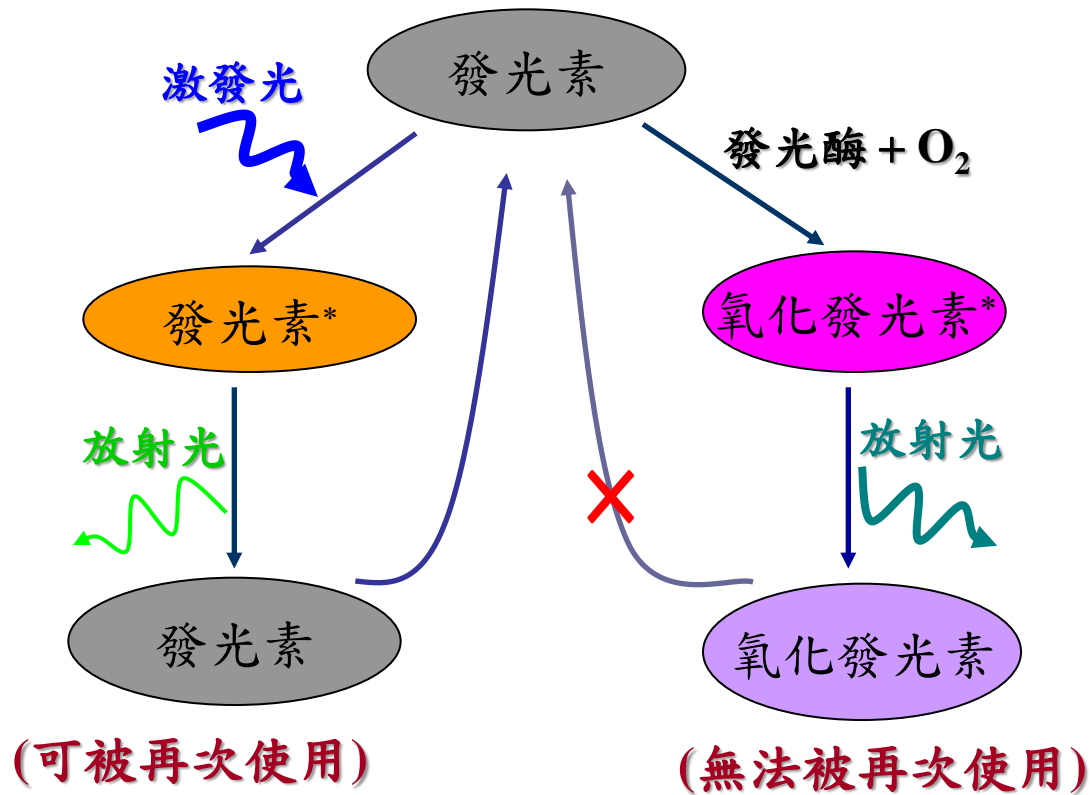
- 化學發光：

- 指生物進行由酵素催化的特定氧化反應，而放射出可見光的現象
- 反應物(發光素)變成產物(氧化發光素)後，無法被再次使用，需重新合成或從食物中補充

- 光致發光：

- 發光素的分子因吸收光能，而從基態被提升為激發態，隨後放射可見光以釋放能量，並回復為基態型式
- 發光素回復到基態型式後，可再次吸光轉變為激發態
- 依放射二次光的時間快慢，可分為
  - 螢光(picoseconds ~ microseconds)或磷光(seconds ~ minutes)

# 「光致發光」 vs. 「化學發光」



# 兩種不同激活機制的發光細菌

A. 化學發光：*Photobacterium kishitanii*

B. 光致發光：*Pseudomonas fluorescens*



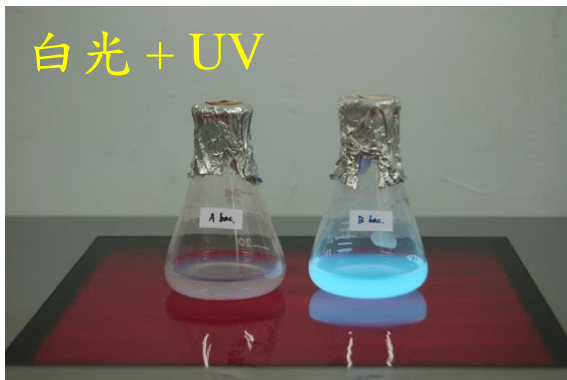
*Photobacterium*  
*Kishitanii*

*Pseudomonas*  
*fluorescens*



*Photobacterium*  
*Kishitanii*

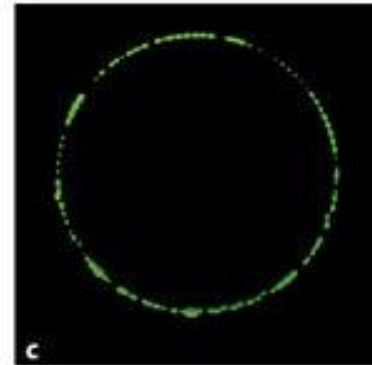
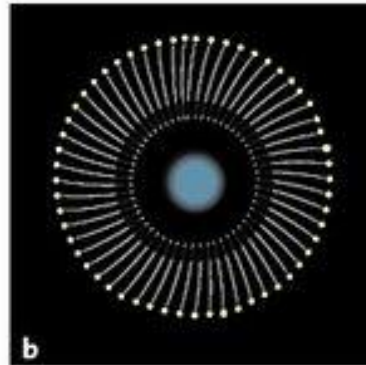
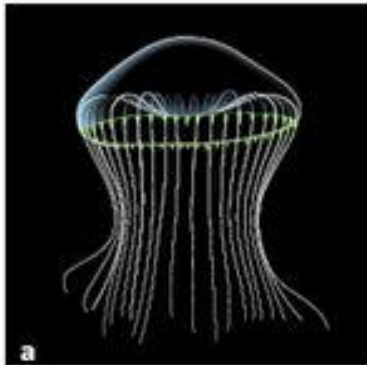
*Pseudomonas*  
*fluorescens*



# 同時擁有兩種發光機制的維多利亞管水母 (*Aequorea victoria*)



- 棲息在北美太平洋東岸海域的深海生物。
- 這種水母的外型與一般水母相似，但其傘狀的頂部邊緣卻會發出綠色的螢光。



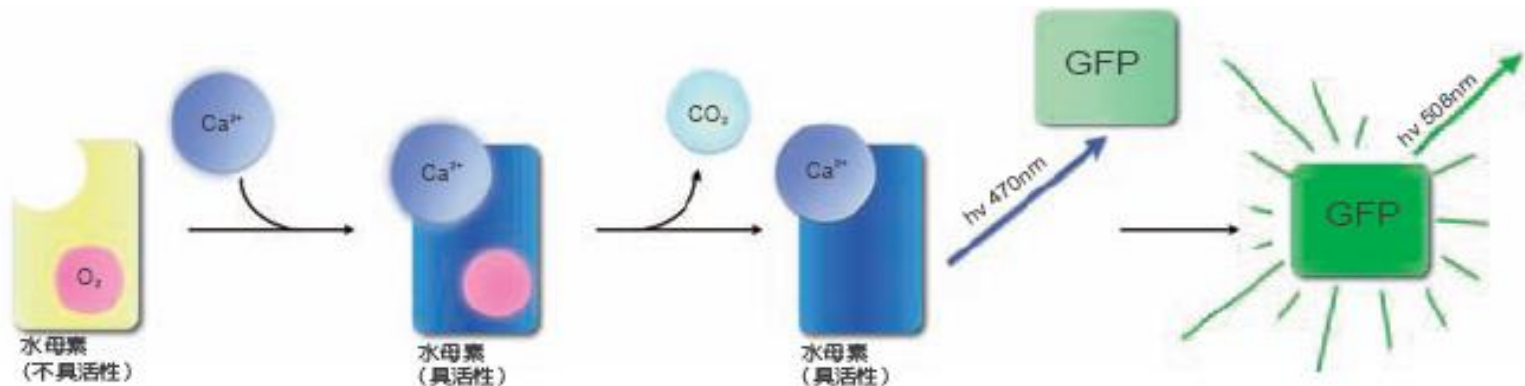
[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2008/info.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2008/info.pdf)

<http://tw.myblog.yahoo.com/clarinase-1/article?mid=3997&prev=4722&next=3972&l=f&fid=9&sc=1>

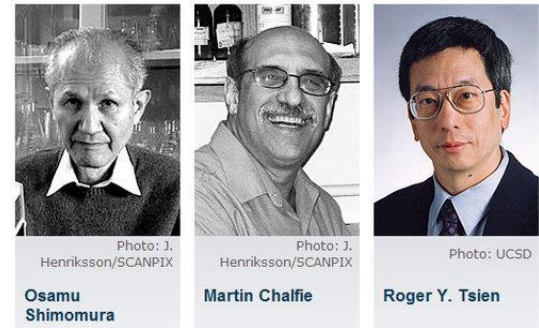


# 維多利亞管水母的雙重發光機制

- 主要是由「水母素 (aequorin；為發光素和發光酶的複合體)」和「綠螢光蛋白 (green fluorescent protein；GFP)」兩者共同參與造成的
  - 首先，「水母素」與鈣離子結合，產生激活效應，隨即腔腸素 (coelenterazine，水母類的發光素)被氧化，釋放出470 nm的藍光，再經能量共振轉移的過程，激發綠螢光蛋白，使其釋放508 nm的綠色螢光。



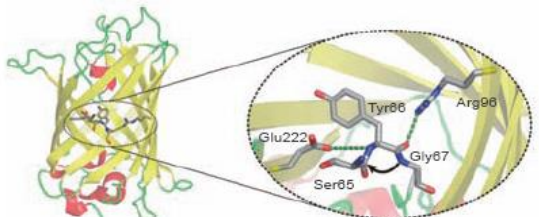
# 2008 年，諾貝爾化學獎



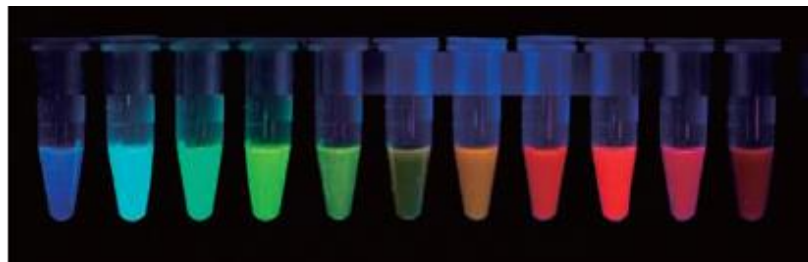
- 日裔化學家下村脩 (Osamu Shimomura; Princeton Univ.)
  - 首先分離出水母素，也是最早純化出綠螢光蛋白的科學家
- 美國科學家馬丁·查爾菲 (Martin Chalfie; Columbia Univ.)
  - 最早將綠螢光蛋白當作標記分子，用來觀察各種基因在細胞內或生物體內表現的情形



- 美籍華裔科學家錢永健 (Roger Y. Tsien; UC San Diego)
  - 探討綠螢光蛋白得的發光機制
  - 他更以基因工程的方法改造綠螢光蛋白，使其轉變為發光更久、更強烈，且顏色更多元的可應用成份



左圖是綠色螢光蛋白的立體結構，它具有啤酒罐形狀。右圖是綠色螢光蛋白發光團的結構，由第 65、66 及 67 號 3 個氨基酸組成，可吸收紫外線和藍光放出綠色螢光。



# 生物發光的類別-II

- 按發光生物自身能否產生發光素以進行發光反應，區分為：

- 「**自生性 (autogenic)**」發光

- 發光生物自身能產生發光素，並且進行發光反應
- 如螢火蟲、蕈蚋、水母等



- 「**菌生性 (bacteriogenic)**」發光

- 發光生物自身無法產生發光素，而是靠共生細菌產生發光素來進行發光反應
- 如發光烏賊、燈眼魚等



# 自生與菌生兼具的雌鮫鰐魚

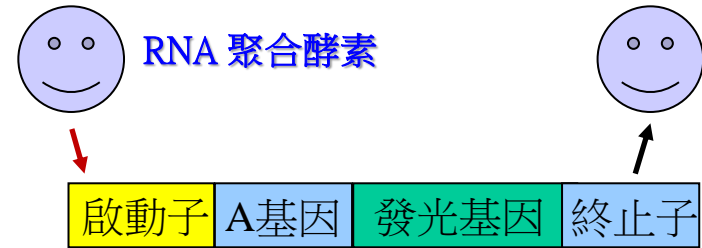
- 誘餌(lure)內含有共生發光菌-覓食
- 腹部可自生性發光，吸引雄魚附著寄生-生殖
  - 雄魚體型遠小於雌魚(1/10 大小)
  - 雄魚成熟後，消化系統逐漸退化，需寄生於雌魚，其肌肉、血管逐漸與雌魚腹部融合



# 生物發光的應用——報導基因

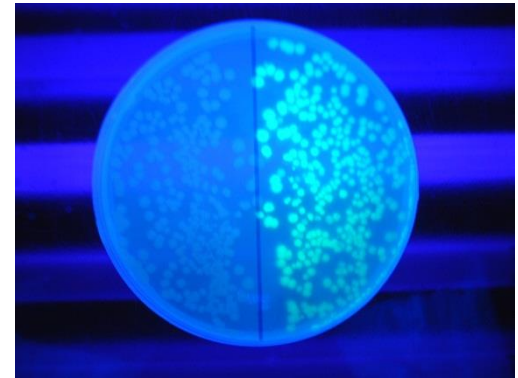
- DNA轉錄作用的基因表現卡匣

- 啟動子：控制基因轉錄的開始
- 目標基因：A基因 + 發光基因
- 終止子：控制基因轉錄的結束



- 應用：

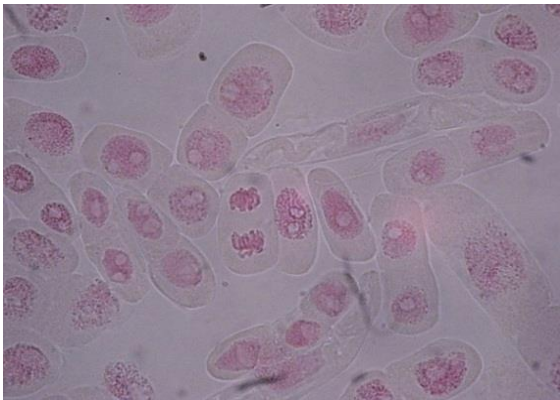
- 基轉實驗或細胞融合實驗是否成功？(yes, 有發光訊號；no, 則否)
- 啟動子的活性分析
- 目標基因的表現分析
- 癌細胞的轉移變化
- 藥物篩檢
- 、 、 、



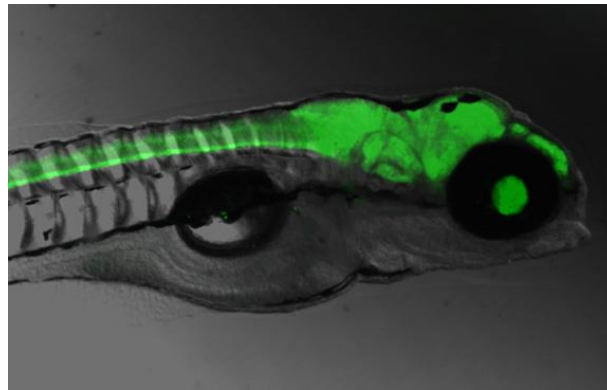
# 生物發光的應用

## 「死」的生物學 → 「活」的生物學

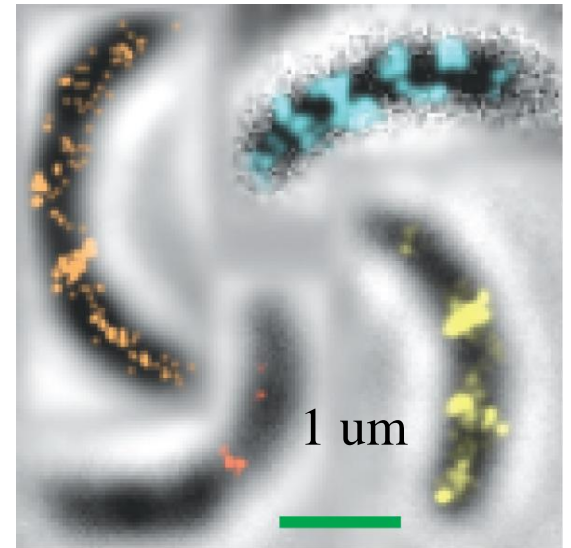
提供一更敏感、即時、多元的活體(細胞)偵測系統



洋蔥根尖的細胞分裂觀察：  
固定→脫水→包埋→切片→  
顯微觀察→推測發生順序



藉著與螢光蛋白基因的融合，  
了解特定斑馬魚基因在胚胎  
發育過程的連續變化情形



螢光蛋白基因與不同的細菌  
基因融合後，藉螢光觀察，  
了解各融合蛋白在活細胞中  
的表現情形

Nature Methods (2008)

# 發光蕃茄薯的檢測



蕃茄



馬鈴薯

基因轉型

水母  
綠螢光基因

珊瑚  
紅螢光基因

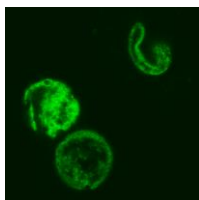
蕃茄細胞(綠光)

馬鈴薯細胞(紅光)

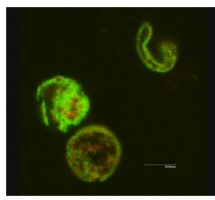
原生質體分離

原生質體融合

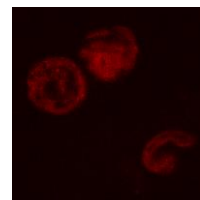
發光蕃茄薯細胞



綠螢光觀察



綠、紅螢光重疊



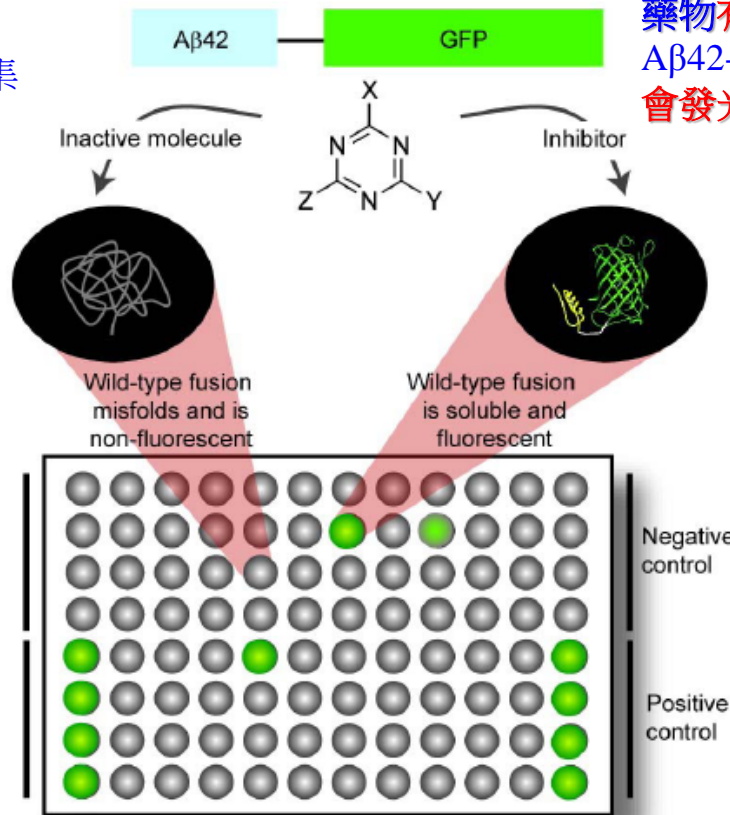
紅螢光觀察

# 生物發光的藥物篩選應用

## A High-Throughput Screen for Compounds That Inhibit Aggregation of the Alzheimer's Peptide

Kim Woojin, Kim Yunkyung, Min Jaeki, Kim Dong Jin, Chang Young-Tae\* and Michael H. Hecht (2006) *ACS Chem. Biol.* 1: 461–469

藥物無效  
Aβ42-GFP凝集  
不發光



藥物有效  
Aβ42-GFP不凝集  
會發光

Figure 1. Fluorescence-based screen using the Aβ42-GFP fusion. In the absence of inhibition, the Aβ42 portion of the fusion aggregates rapidly and causes the entire Aβ42-GFP fusion to misfold and aggregate (left). Therefore, no fluorescence is observed. However, inhibition of Aβ42 aggregation enables GFP to form its native green fluorescent structure (right). (The green part of the ribbon diagram shows the structure of GFP; the yellow part is merely a schematic representation of a nonaggregated form of Aβ42.) The triazine scaffold is shown at the center of the figure. Combinatorial diversity was introduced at sites marked X, Y, and Z. A 96-well plate is shown at the bottom of the figure. Compounds were added to each well, followed by *E. coli* cells expressing the Aβ42-GFP fusion.

阿滋海默症是一種神經退化疾病，成因是Aβ42蛋白質在腦部凝集形成塊狀沈澱 (plaque)



# 生物發光的醫學影像應用 (Bioluminescence imaging)

- 活體內的癌細胞生長追蹤

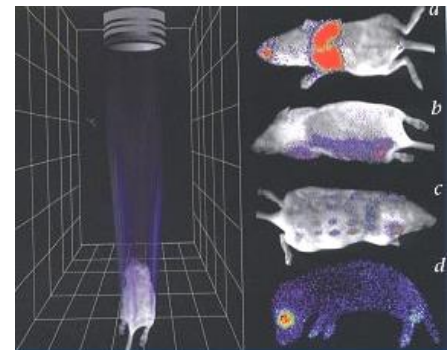
- 將轉殖螢火蟲發光酶基因的癌細胞注入老鼠體內，再以非侵入性的方式(CCD camera)，連續監測癌細胞的生長與移轉變化情形。

- 活體內的細菌感染追蹤<sup>1</sup>

- a 以轉殖發光酶基因的Salmonella感染小鼠，導致細菌性肺炎的發生(紅色表發光最強，藍色最弱)

- b-d 為無感染，但加入不等量發光素的對照組

- 活體內的神經退化<sup>2</sup>和心肌再生<sup>3</sup>追蹤



<sup>1</sup>Contag et al. (1998) Nature Medicine 4, 245-247

<sup>2</sup>Hochgräfe and Mandelkow (2013) Mol Neurobiol 47, 868-882

<sup>3</sup>Roura et al. (2013) J Cell Mol Med 17, 693-703

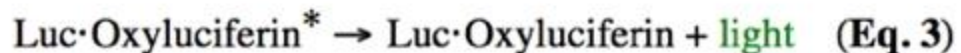
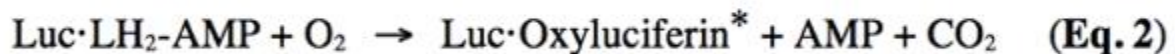
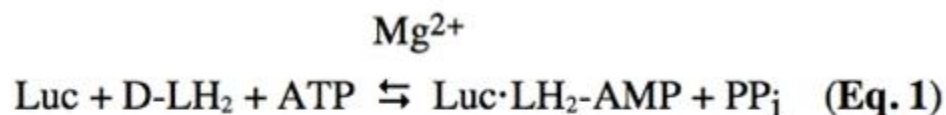
# 生物發光的汙染檢測應用

- 藉**發光蝌蚪**以偵測水體內的重金屬汙染(法國)
  - 以基因表現卡匣(金屬離子調控的啟動子-綠螢光蛋白基因-終止子)植入非洲爪蟾(*Xenopus laevis*)的蛙卵，並孵化成蝌蚪
  - 水中金屬離子濃度上升時，蝌蚪的綠螢光蛋白表現量亦隨之增加，發光強度也增強
- 提供一快速、便宜的水質重金屬檢測方式

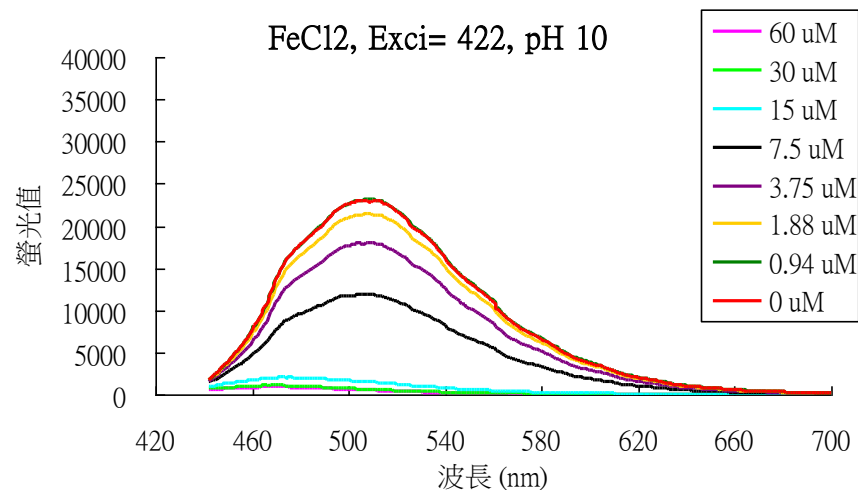


# 生物發光的食品汙染(細菌)檢測

- 應用螢火蟲的發光酶-發光素系統，檢測食品是否受到細菌汙染
  - 細菌提供發光反應所需的ATP來源，致使檢測試劑發光
  - 細菌量愈多，ATP供應愈多，發光強度愈強



# 螢光假單孢菌的螢光液與鐵離子螯合後會發生消光現象 鐵離子濃度越高，消光越嚴重



- 於螢光液中加入一系列已知濃度的鐵離子，測得螢光強度的減弱變化情形
- 繪製「鐵離子濃度vs. 螢光減弱」的標準曲線
- 將檢體加入螢光液中，測量螢光強度情形→與標準曲線比對→推估檢體中的鐵離子濃度

# 珍奇寵物

## ■ 邕港科技公司

### — 2001年

- 邕港一號 夜明珠
- 全身性綠螢光

### — 2002年

- 邕港二號
- 紅螢光仙子

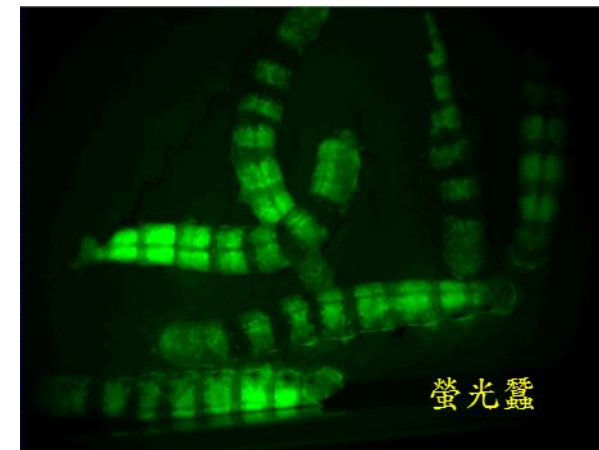
### — 2003年

- 邕港三號
- 雙基因螢光魚



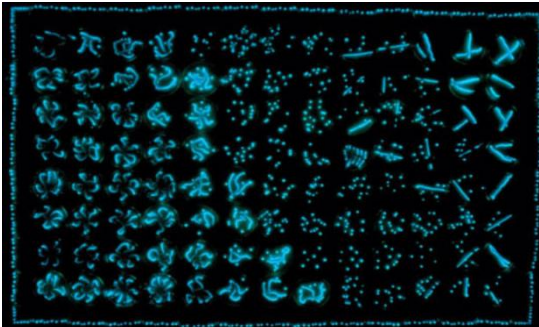
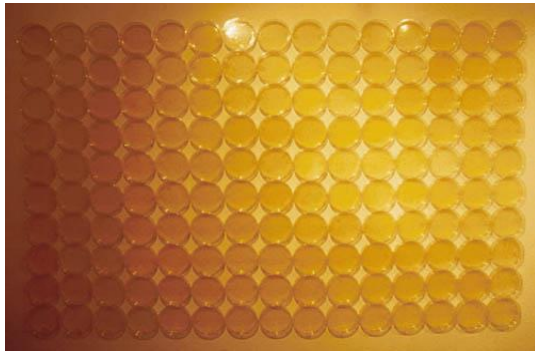
南韓慶尚大學

[http://www.wired.com/science/discoveries/news/2007/12/YE\\_10\\_organisms](http://www.wired.com/science/discoveries/news/2007/12/YE_10_organisms)



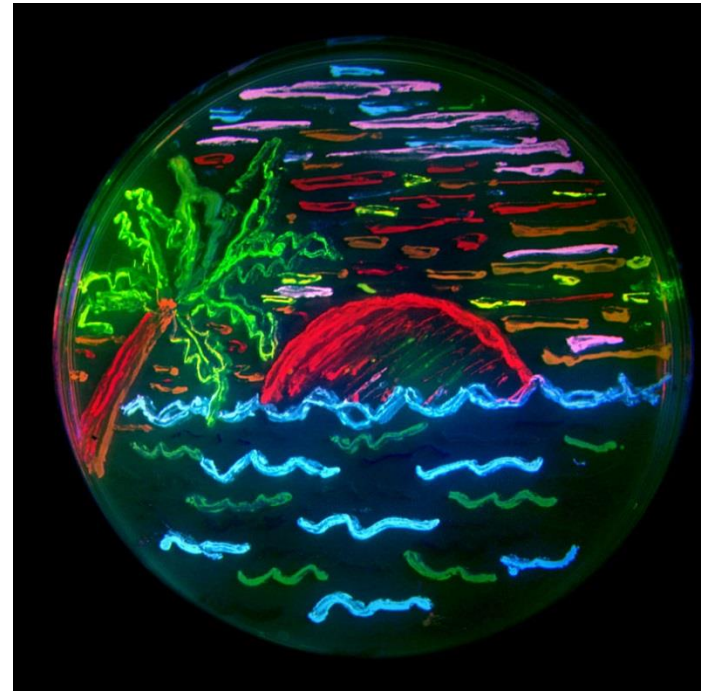
# 實驗教學的創意啟發

Light



Dark

Colorful painting



# 結論

- 「生物發光」是同時兼具「知識性」、「趣味性」及「應用性」的科學主題。
- 進行「生物發光」的探究，不僅可讓我們
  - 認識自然之美、
  - 滿足我們對自然界的好奇心，
  - 更具有基礎學術研究、醫藥、農業、食品安全、環保等領域的高度應用價值
- 台灣是一海島，有豐富的生物發光資源；「生物發光」仍有許多未解之謎，期待新血輪的加入探討

謝謝聆聽！

