

Lecture 2: Origin of Life

Honor Biology學生 陳俊鴻

1. 本週課程中學到了什麼？

(1) 生命起源的有機化合物是從何而來？

幾億年前，地球的原始大氣存在大量的甲烷、氨、氫氣及水蒸氣，而火山所噴發的主要氣體則含有不少的二氧化碳、甲烷、二氧化硫及水蒸氣等，米勒及尤里便據此做了個大膽的猜測，如果模擬出這些情境並且佐以電擊（模擬閃電）與加熱，也許能產出生命體中部分的有機質。實驗結果確實如此，他們得到了氨基酸、糖類、及脂質等。之後，米勒更改良實驗，模擬火山噴發時的情形，結果更是比原先的更加豐碩，不僅濃度更高，種類也更多。這一系列的實驗證明了「無機物是可能不經由生命和成為有機物」，而我們便能大膽推測生命起源的有機化合物非常可能是環境中所自發產生。

(2) 生命起源的生成要素有哪些？

從黑煙囪的案例，我們可以得知生命的起源並不可能在一個完全開放的空間，因為一旦如此，生命所製造的複雜有機物便會逸散在環境中。除此之外，材料的合成與濃縮以及能量的持續供給也是非常重要的因素。而the lost city則符合以上三點，原因在於它的橄欖石與水結合時會產生氫氣，可作為材料合成的原料，而其溫度長久以來介於攝氏40~90度之間，有持續且穩定的能量供給，並且其岩石中的孔洞足夠地小，孔洞間又存在著固定的液體流動作為與外界的天然屏障，這些提供孔洞內的空間一個只進不出的理想空間，不僅濃縮了特定物質造成濃度梯度，也作為一個半封閉的空間。

2. 在上課內容與指定閱讀中碰到或延伸出來的問題？

「濃度梯度的形成」是「生命維持」的必要條件嗎？

3. 自我探索答案的過程與結果

這個問題的解答最終是我以高中的基本常識經過長時間思考而來，之後也有查詢資料確認，因此會分為思考流程及驗證兩個部分。

(1) 思考流程：

這個答案的起點是源自化學的基礎，首先假設有一反應式的通式(1)

$$mA + nB \rightleftharpoons pC + qD, \Delta H = Ea - Ea' \quad (1)$$

其中A, B, C, D分別是反應物與產物，m, n, p, q則是他們各自的係數，Ea是正反應活化能，Ea'則是逆反應活化能，由此我們可以考慮此化學式的正、逆反應速率，如式(2), (3)。

$$R_f = k_f[A]^m[B]^n \quad (2)$$

$$R_b = k_b[C]^p[D]^q \quad (3)$$

其中，R_f為正反應速率，R_b為逆反應速率，k_f為正反應速率常數，k_b則為逆反應速率常數。又根據阿瑞尼士方程式，可將k_f, k_b表達為是(4), (5)。

$$k_f = A_f \cdot e^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (4)$$

$$k_b = A_b \cdot e^{-\frac{Ea'}{RT}} \quad (5)$$

而當一個達平衡的反應存在，其正、逆反應速率必相等，因此可以表達為式(6)。

$$\begin{aligned} R_f &= R_b \\ k_f[A]^m[B]^n &= k_b[C]^p[D]^q \end{aligned} \quad (6)$$

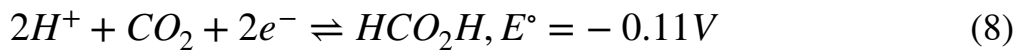
將式(4), (5)代入式(6)並整理，可得式(7)。

$$\begin{aligned} \frac{A_f}{A_b} \cdot e^{-\frac{\Delta H}{RT}} &= \frac{[C]^p[D]^q}{[A]^m[B]^n} \\ \Delta H &= RT \cdot \ln\left(\frac{[A]^m[B]^n}{[C]^p[D]^q} \cdot \frac{A_f}{A_b}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

由式(7)可以得知所在環境的溶質濃度與環境溫度其實會影響到反應熱的高低，由此可知如果要達成生命體的形成，確實需要達到老師上課所說的濃縮材料及持續的能量供給。倘若沒有濃縮材料的話，反應將會難以進行；倘若沒有持續的能量供給，反應溫度將會不斷下降而改變反應趨勢，形成生物體體質的吸能反應也將會難以進行。至於另一個生命體形成的要素—空間隔絕，則要接續在我的推導中。在一個與外部環境有特殊物質交換的系統中，其交換的給予物與獲得物其實可視為化學反應的反應物與產物，因此[A], [B]其實可以以系統內給予外界物質的濃度代入，而[C], [D]則可以以系統內自外界獲得物質的濃度代入。故如果該系統有半通透性的膜可以進行選擇性的物質交換，不只能辦到利用溶質濃度梯度暫時儲存來自外部的能量，也能辦到消耗一些能量以濃縮所需的物質或排出不需的廢物。日常生活中便不乏有以上我所說的案例，植物

體內的葉綠體便是透過一些類囊膜上的天線色素及反應中心將來自外部環境的光能巧妙地轉為葉綠餅內與基質間的質子濃度梯度；其實不僅僅是葉綠體具有這樣的功能，幾乎所有活細胞都是藉由造成濃度梯度來轉化能量，最著名的莫過於化學滲透磷酸化，所有的真核生物的粒線體都利用這個途徑（其實前面說的葉綠體也是），至於原核生物則在其膜上具有電子傳遞鏈形成細胞內外的溶質濃度差。綜合上述，濃度梯度的形成確實是生命維持的必要條件，若沒有形成濃度梯度，生命體內的化學反應將會窒礙難行，更別說是維持生命的代謝系統了！

在此，我要順道推論老師上課說的一個現象，老師在講述the lost city時，有說到因為環境pH值的改變，造成特定反應（式(8)）的氧化還原電位改變，進而影響到反應的傾向，在這裡我確實可以用式(7)推導出來，見式(8), (9)。



$$\Delta H = e \cdot E^\circ = RT \cdot \ln\left(\frac{[H^+]^2[CO_2]}{[HCO_2H]} \cdot \frac{A_f}{A_b}\right)$$

$$E^\circ = \frac{RT}{e} \cdot \ln\left(\frac{[H^+]^2[CO_2]}{[HCO_2H]} \cdot \frac{A_f}{A_b}\right) \quad (9)$$

由式(9)可知，當 $[H^+]$ 增加， E° 將也會隨之增加，一旦 E° 大於0，反應即能自然發生。

(2) 驗證：

首先，多虧學長的指教，我才知道原來式(7)其實與Nernst equation的意義一致^[1]，因此從反應速率推導至式(7)顯然是正確無誤的。至於之後將此方程應用於膜內外的濃度梯度的推論，我後來在網路上查到了用以計算靜止膜電位的Goldman-Hodgkin-Katz voltage equation^[2]，雖與我的推論稍有差異，但基本上也是從Nernst equation推論而來，如式(10)。

$$E_m = \frac{RT}{F} \cdot \ln\left(\frac{\sum_i^n P_{M_i^+} \cdot [M_i^+]_{out} + \sum_j^m P_{A_j^-} \cdot [A_j^-]_{in}}{\sum_i^n P_{M_i^+} \cdot [M_i^+]_{in} + \sum_j^m P_{A_j^-} \cdot [A_j^-]_{out}}\right) \quad (10)$$

其中 E_m 是膜電位， P_{ion} 是離子通透常數， $[ion]_{out}$ 是細胞外離子濃度， $[ion]_{in}$ 是細胞內離子濃度。雖然我的推論至膜電位的計算與Nernst

equation的應用並沒有太顯著的錯誤，但在之後的解釋我查遍了網路，好像還沒有我這種論調，不過之後在還原電位的解釋並沒有任何問題。

4. 老師沒有說清楚或應補充的建議

- (1) 我覺得B-Z reaction可以說得更清楚一些，否則感覺與前、後張簡報有點難聯想。
- (2) 我覺得LRS可以說得更清楚一些，否則剛學完高中化學的學生容易與氫原子光譜的萊曼系搞混。

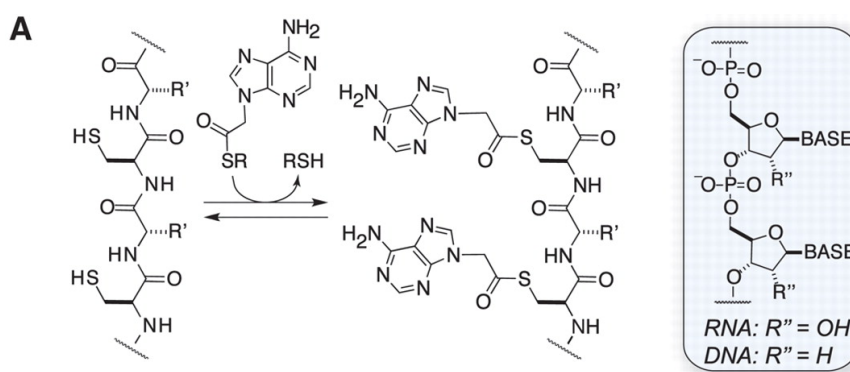
5. 對take home quiz的回應

- (1) Why evolution cannot explain how life formed in the first place?

因為演化只能解釋可適應環境者得以存活，可以適應環境的構造何其多，並沒辦法推論出生命是如何組成的。

- (2) What is the structure of thioester peptide nucleic acid?

如下圖，該結構恰可使其自動組合^[3]。



- (3) You are asked to memorize the English name, chemical structure and chemical property of 5 amino acids. Which 5 you are going to pick up and why?

抱歉，我的理由都很簡單普通，我會選六個來背也是因為這些原因。

Tryptophan: 因為我曾經學過色胺酸是血清素及褪黑激素的前驅物。

Tyrosine: 因為我曾經學過酪胺酸激酶受體的相關代謝途徑。

Glutamate: 因為他曾是我的科展實驗原料之一。

Methionine: 因為在學轉錄時他永遠是第一個被轉錄出來的。

Cystenine: 因為之前學到兩個半胱氨酸會產生雙硫鍵。

Proline: 因為我曾經學到脯氨酸是植物體中是滲透壓保護因子。

- (4) 想想看在sec5中討論了共價鍵、氫鍵、離子鍵與凡德瓦力，唯獨漏了 hydrophobic interaction ? 為什麼 hydrophobic molecules 要聚在一起 ?

因為hydrophobic interaction的形成並非如其他關係是互相吸引，而只是單純因為其形成後的 $\Delta G < 0$ （ ΔH 是較小正值， ΔS 是較大正值），才會造就hydrophobes自發性地聚集^[4]。

(5) 1mL生理食鹽水中有多少個「離子」？

一般的生理食鹽水為0.9%，且其常溫下密度為1.202g/mL，又氯化鈉為強電解質，假設其完全解離。

故1mL生理食鹽水中約含有

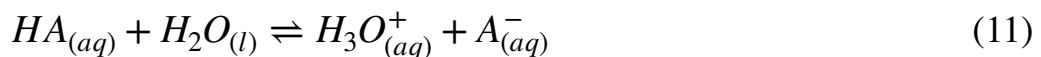
$$2 \cdot \frac{0.89}{100} \cdot \frac{1.202 \cdot 1}{23 + 35.5} \approx 3.7 \cdot 10^{-4} \text{莫耳的離子。}$$

(6) 為什麼生物喜歡輕的carbon？

根據Graham's law，質量愈大者，其擴散速率愈慢。以植物為例，當植物要取用空氣中的 CO_2 時，其葉片內的空腔會因為具備C12的 CO_2 擴散速率較快，會先被擁有較多具C12的 CO_2 空氣充滿，而後氣孔關閉，導致植物體在進行光合作用時只能取用較多的C12作為碳源^[5]。除了質量愈大會導致擴散速率愈慢外，其實也會造成反應速率變慢，但其原因與擴散速率變慢的原因相似，便不再贅述。

(7) pKa的定義是什麼？

假設有一酸 HA ，其解離方程式為式(11)。



該反應式之平衡常數可寫作式(12)。

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} \quad (12)$$

而酸度係數 pK_a 即為

$$pK_a = -\log_{10} K_a \quad (13)$$

(8) 酸鹼值的定義是什麼？

假設有一液體，其中含有 H^+ ，則該溶液之酸鹼值即為

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad (14)$$

(9) 如果origin of life stated from RNA，RNA是扮演哪些角色？

RNA扮演著遺傳物質及代謝催化劑的角色。

6. 參考資料

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Nernst_equation

- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Goldman_equation
- [3] Yasuyuki Ura, John M. Beierle, Luke J. Leman, Leslie E. Orgel, M. Reza Ghadiri, "Self-Assembling Sequence-Adaptive Peptide Nucleic Acids," *Science* 03 Jul 2009: Vol. 325, Issue 5936, pp. 73-77
- [4] [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/
Physical and Theoretical Chemistry Textbook Maps/
Supplemental Modules \(Physical and Theoretical Chemistry\)/
Physical Properties of Matter/Atomic and Molecular Properties/
Intermolecular Forces/Hydrophobic Interactions](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Physical_Properties_of_Matter/Atomic_and_Molecular_Properties/Intermolecular_Forces/Hydrophobic_Interactions)
- [5] <https://www.quora.com/Why-do-organisms-favour-the-carbon-12-isotope-as-compared-to-carbon-13>