

# 放射性同位素在生物學上的應用

許 葆 圻

生命的展續包含很多聯接而繁複的代謝反應，這些反應，都在生物體內進行。要研究這些反應的真實過程，只有從一個活的生物來探求，才能達到目的。原子科學的進步，啓發了放射性同位素的應用，尤其在生物學方面，漸漸啓示着解答以前所難以解決的問題的途徑。本文所述，不過是幾個簡單的實例。

## 被運用得最普遍的要算同位素冲淡法：

假使我們要測量全身血液有多少，好像除了把血液全部抽出來量以外是很難得到滿意的結果。但是應用同位素冲淡法，問題似乎就變簡單了。這方法的原理，就是包含有放射性同位素的試驗物質和所要測定的試驗材料，均勻混和以後，取出一部份來測定這同位素在每單位容積內的含量，就可以計算冲淡的體積了。下面介紹一種最簡單的約略計算方法：

假使應用蓋格計數器 (Geiger's Counter) 測得在一種很小體積放射性指示劑溶液的測數每分鐘是一千次，隨即加水冲淡，再測得放射性變為每分鐘每毫升是十次。因為放射性在這整個系統內的總值是不變的，所以這冲淡的體積一定是一百毫升無疑。根據這個事實，假定在 B 毫升溶液裡的放射性量是每分鐘 A 次，和 V 體積液體混和後，取出少量，又測得放射性是每分鐘每毫升是 S 次，我們就可以得到下面的簡單算式：

$$V = \frac{A}{S} - B$$

$$V = \frac{A}{S} \quad (\text{假使 } B \text{ 的體積比 } V \text{ 小得很多的時候})$$

利用這方法就可以測定我們全身血液的容量或者某種不可能直接來量的液體的體積。用含有放射性同位素的紅血球（鐵，鉻，或鉀的放射性同位素都可以用）一定體積，測得它的放射性，然後注射到血液裡，經過適當的時間，使它有充份的混和機會，抽出

一小部份血液來，再做放射性的測定，這樣就可以簡便的算出全身血液的體積了。

## 沖淡法在植物營養方面的應用：

利用放射性同位素可以測定植物體內某種養份來源的數量。在施用含有  $P^{32}$  的磷肥以後，從測定肥料和植物的放射比值 (Specific Activity) 就可以計算植物從肥料吸收的磷肥量了。

$$\frac{\text{植物放射比值}}{\text{肥料的放射比值}} \times 100 = \text{植物從肥料中所吸收磷肥的百分數}$$

這方法在農業方面的應用，相當重要，因為可以用來測定肥料的有效性和施肥的有效時間，施肥的方法，石灰氮肥和鉀肥對磷肥有效性的影響，和灌溉對磷肥有效性的影響等問題。

## 沖淡法在動物營養方面的應用：

動物的營養份，也和植物的一樣，有有機和無機之分，有機營養份的問題比較簡單，因為只須經過單方面的代謝作用，我們只需分析排泄物就可以估計它們的消化吸收等問題；但是無機營養份就沒有那末簡單了；因為它們在身體的某一部份是代謝物，而在另一部份又可以吸收重行應用，所以它們的實際消化吸收等問題很不容易來估計。如果應用放射性同位素，就沒有這些困難了。下面就是一個例子：

假使一個動物，吃進一百單位的膳食鈣質 (Dietary Calcium) 以後，腸胃吸收了 A 單位，於是  $100 - A$  單位的鈣質從糞便排泄出來。同時假使每吃一百單位鈣質以後，內在鈣質 (Endogenous Calcium) 有 E 單位排泄出來；因為這些從糞便裡排泄出來的鈣質，是同時包括一部份沒有被吸收的和那些被利用後再排泄出來的兩部份。所以排泄出來鈣質的總量是：

$$Ca_e = 100 - A + E \quad (1)$$

$Ca_e$  的份量可以用普通的化學分析法來測定的。假使在開始這個實驗以前，每天用  $Ca^{45}$  靜脈注射到血漿裡，測得血漿中鈣的放射比值為  $S_p$ ，糞便的為  $S_e$ ，於是就有下面的關係：

$$\frac{S_e}{S_p} = \frac{E}{100 - A + E} \quad (2)$$

從式 (1) 和式 2 的關係，就可以求得 A 和 E。A 就是代表膳食鈣的實際利用量 (True Availability)，E 代表內在鈣質的排出量。再舉一個實例來表示如下：

假使有一頭小牛，平均每天吃進 16.7 克的鈣質，排泄出來 15.9 克，表面看來，似乎只吸收了百分之五的鈣質。事實上這是錯誤的。假如用  $\text{Ca}^{45}$  每天注射到血液裡，幾天後，測定糞便和血漿的放射比值得到  $\frac{S_f}{S_p}$  的平均值為 0.227。由此就可以計算 A 和 E 的值，得到實際吸收量是 26.4%，內在鈣質的排出量是每天 3.6 克。可以計算如下：

$$\text{從 } \frac{S_f}{S_p} = \frac{E}{100 - A + E}$$

$$0.227 = \frac{E}{15.9}$$

$$E = 0.227 \times 15.9 = 3.6 \text{ 克}$$

$$\text{從 } Ca_t = 100 - A + E$$

$$15.9 = 16.7 - A + 3.6$$

$$A = 16.7 - 15.9 + 3.6 = 4.4 \text{ 克}$$

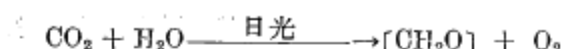
$$\text{所以實際吸收百分數} = \frac{4.4}{16.7} \times 100 = 26.4 \%$$

利用這種方法可以測定任何動物營養份的有效性。

其次要討論的是植物體中代謝作用的途徑 (Metabolic Pathways)

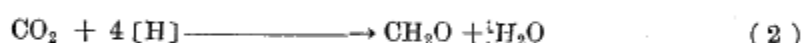
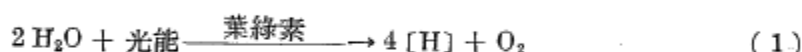
若干生化作用的過程，和它們的中間代謝產物的研究，很難得到滿意的解答，成為歷年的懸案。自從應用放射性同位素追蹤法以後，有許多問題，已不難得到按步啓示。一般研究的方法是使植物吸收含有放射性同位素的化合物以後，經過適當的時間後，停止其作用，然後進行分離，淨製，和測定中間化合物的放射性。在這方面應用最廣的同位素，要算  $\text{C}^{14}$  最合理想。這方面可以研究的問題很多；像光合作用的過程，微生物代謝作用，二氧化碳的固定，脂肪酸的氧化，糖的分解，蛋白質的代謝作用等。下面是光合作用的例子：

所謂光合作用，就是綠色植物將日光能變成化學能的過程，可以用化學方程式來表示如下：



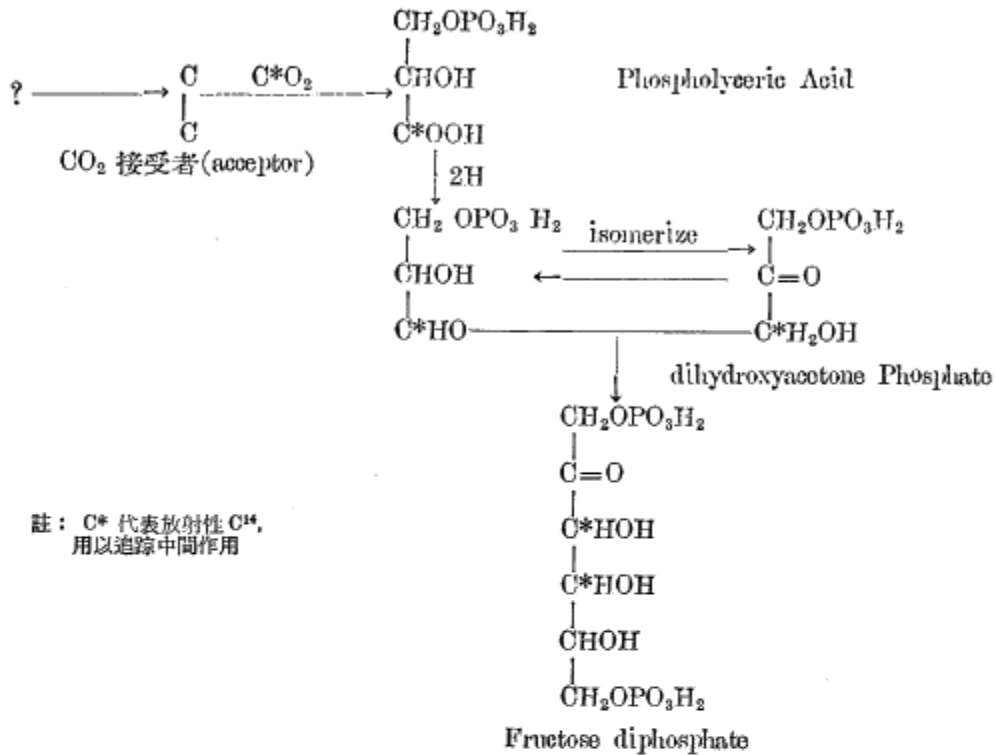
但為詳細探求它的過程，到底要經過些什麼步驟，這問題就比較複雜了。以前曾經有人用過  $\text{C}^{11}$ ，因為它的半衰期太短而不適用。現在可以用  $\text{C}^{14}$  是很合理的。

研究的方法是先把被實驗的植物（綠藻或別的高等植物）曝露在  $\text{C}^{14}\text{O}_2$  裡，經過適當時間來求出中間產物那幾種有機化合物是含有  $\text{C}^{14}$  的。由各方最近研究結果的指示：預先經光線照射過的綠藻，在黑暗中可以固定二十倍以上的  $\text{CO}_2$ ，並且這時所生成的中間化合物和在曝光下生成功的很相似。但是和未經預先照射的就大不相同。下式是表示光能的作用：



(1)式表示葉綠素吸收光能，使  $\text{H}_2\text{O}$  受到光解 (Photolysis) 造成氧和氫，這氫是強還原劑。(2)式代表從  $\text{CO}_2$  的還原來造成有機中間化合物 (Organic Intermediates)。其中過程，可以利用放射性  $\text{C}^{14}$  來做顯跡劑加以探求。從實驗證明， $\text{C}^{14}$  進入這中間產物的時間只有幾秒鐘。如果把綠藻浸在含有  $\text{C}^{14}$  的氫碳酸溶液中，經過十秒鐘取出分離，就可以得到下面各種含有  $\text{C}^{14}$  的中間化合物，Phosphoglyceric acid, Ribulose diphosphate, Hexose diphosphate, Fructose Phosphate, Mannose Phosphate, Glucose Phosphate, Sedoheptulose Phosphate, Ribose Phosphate, Ribulose Phosphate, Dihydroxyacetone Phosphate, Phosphoenol Pyruvate。第一我們應該注意的是所有這些化合物都和磷酸相連繫而指示磷質的重要性，第二從實驗測知大部份  $\text{C}^{14}$  存留在 Phosphoglyceric acid 中，並且造成這化合物的速度最快。所以很顯明的表示這種化合物是  $\text{CO}_2$  還原後的最初生成物。而六碳糖的造成是從 Phosphoglyceric Acid 的糖分解可逆反應 (Reversible reactions of glycolysis) 所造成。

其次我們所要所述的六碳糖是從兩分子的 Phosphoglyceric Acid 所造成。先還原成為 Aldehyde 一部份再經過同質異性化 (Isomerize) 變成 Dihydroxyacetone 後再凝集成為六碳糖。下式代表這些反應的經過：



從以上的關係，可知六碳糖中第三第四個碳原子一定是從 Glycolic Acid 第三個碳原子而來。

其次是 C—C 化合物的來源問題，以上曾經說過在幾秒鐘短期的光合作用時間裡，除掉六碳糖以外，還有其他含有 C<sup>14</sup> 的五碳七碳等等化合物的造成，這也許就是產生 C—C 複雜體的物質。實際情形尚待研究。

放射同位素在各種科學的應用，正方興未艾。本文不過約略舉出幾種較為普通的運用，藉以引起大家研究的興趣。

表十四

ZOOPLANKTON	Morning (at 7 o'clock)														Noon (at 3o'clock)														Night (at 20, 20')													
	2月 4日	5日	6日	7日	8日	9日	11日	12日	13日	14日	2月 4日	5日	6日	7日	8日	9日	11日	12日	13日	14日	2月 4日	5日	6日	7日	8日	9日	11日	12日	13日	14日												
Gymnodinium simplex									+																																	
Ceradum lineatum	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	-	-												
Eugleua acus						-	-	+		+			+		+	-				-					+		+			-												
Rhæus longicaudus								+		+									-	-						+			-	-												
Synura uvella		+			-	-	-			+					+		+		+	+					+			+														
Eudorina elegans					+	+	+	+	+						+	+	+	-	+	+		-	+		+	+	+	+	+	,												
Coleps hirtus		+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	-	+	+	+	+	+	+	+					+	*	+	+	+												
Mesodinium pulex					+																				+																	
Didinium nasutum								+	-	+																																
Holophrya sp.								+									+		+								+															
Enehelys farcimen																												-														
Lionotus fasciola																			-																							
Dileptus anser							-																																			
Prondonia leucas																-																										
Paramoecium Caucatum																						-																				
Spirostomum ambiguum	+	+	+	-								+																														
Bursaria truncatella									-									+	+			+	+	+	+																	
Stentor polymorphus		+	+	+	+	+	+	+		+	+			+			+	+	+	+	+						-	-	,													
Halteria grandinella																												-														
Stylonichiamytilus					+																						+															
Euplotus charon							-																-																			
Vorticella nebulifera	+					-	-	+		+				+	+			+	+								-	+														
Asplanchna priodonta					+		+	+	+	+								+	+	+							-	+	*	+												
Synechaeta stylaa									+	+								+	+	+							-															
Triarthra terminalis	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	*	+		+	+	+	+	+	+	+	+												
Diurella tigris					+	-		+	+	+					+				+	+								-	,	,												
Brachionuts pala	+		+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+												
Brachionus bakeri	+		+	+		+	-		+	+	-	+	+		-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	*	+												
Brachionus sp.	+		+	+		+	-		+	+	-	+	+		-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	,	+												
Anuraea aculeata						-		+						+	+	+		+																								
Anuraea sp.	*	*	+	+	+		+	+	+	+	*	*	+		+	+	+	+	+	*	*	+	+	+	+			+	+	+												
Anuraea ecchlearris	-			+	+	+	+		+	+	*	*		+	+		+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+												
Pleosoma hudsoni											+																															
Rotifer vulgaris			-					-					+							+					+					-												
Cyclops leucakarti	+		+	+					+			+						+		+		+	*	+	+	+	+	+	+	+												
Larvae of the Shrimps		+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	-	+	-	+	+	+	*	+	*	+	+	+	+	+	+	+	-	,													
Paramoetum bursaria							+	-				-					-								-																	

附註：※=示Plankton數量極多

丰一败量多

土=中等

+=出現數量少

一 有現極少