

科学译丛

放射性同位素在生物化学中 应用的总结 and 远景

科学出版社

科 学 译 丛

放射性同位素在生物化学中
应用的總結和远景

科 学 出 版 社

1956年8月

內 容 提 要

本書一共選譯五篇有關示踪原子在生物化學、生理學、農業化學等方面研究工作中應用方法和工作總結的論文。尤其是第一篇文章是總結了示踪原子法在生物化學研究的成就以及今後的工作方向。

本書可供生物學、醫學、農學工作者的參考資料。

放射性同位素在生物化學中 應用的總結和遠景

Итоги и перспективы использования
радиоактивных изотопов в биохимии

原著者 恩 格 里 哈 特 院 士 等
(Акад. В. А. Энгельгардт и др.)

翻譯者 許 振 英 等

出版者 科 學 出 版 社

北京東黃城根甲42號

北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

印刷者 北 京 新 華 印 刷 廠

總經售 新 華 書 店

1956年8月第一版

卷3:0494 印張:24/5

1956年8月第一次印刷

開本:787×1092 1/25

(京)0001-7,885

字數:56,000

定價:(9) 0.25元

目 錄

放射性同位素在生物化学中应用的總結和远景.....	
..... B. A. 恩格里哈特 (1)	
在生理学研究中的应用示踪原子的方法.....	Б. И. 阿寧科夫 (22)
示踪原子在激素代謝研究中的应用.....	T. C. 薩哈茨卡婭 (26)
放射性磷在農業化学和土壤研究上的应用...	A. B. 索科洛夫 (35)
示踪原子和光合作用.....	A. A. 尼啓波罗維奇 (43)
电离輻射生物学作用的生物化学基礎.....	A. M. 庫津 (52)
示踪原子在研究水生動物营养中的应用.....	
..... A. Г. 罗吉娜、A. C. 特罗兴 (61)	

放射性同位素在生物化学中应用的 總結和远景

B. A. 恩格里哈特院士

穩定同位素之發現，特別是伊倫娜·居里(I. Curie)和弗列傑利克·約里奧(F. Joliot)對人工放射性的發現，以及利用核子反應大量製造各種輕元素底放射性同位素的可能性以一種異常有力的新工具豐富了實驗科學。現在，從地質學到高級神經活動的研究，從金屬冶煉到魚類培植，大概很難找到有哪一門自然科學用不上同位素方法的。

雖然示踪原子方法在各種科學和實驗中獲得極其廣泛的應用，但我們可以毫不誇張地說，在所有這些應用中，最重要的和最多樣性的要數研究活有機體中各種化學過程的生物化學領域了。

為了證明我的話是有根據的，並使我不致被人責難為有意加給這門科學以某種“特殊”地位起見，只消引幾個數字就夠了，這些數字本身就會說明一切。隨便翻閱一下去年年底和今年年初幾卷現代最大的美國生物化學雜誌，就可以發現：在各種性質極不相同的工作當中，利用同位素方法來進行的平均約佔 35%，沒有低於 24% 的，而在個別幾期中竟達到 40% 以上。由此可見，全部工作的三分之一以上利用了同位素方法，當然，主要是利用放射性指示劑。在考慮這些數字時，也許需要比較謹慎一些。毫無疑問，這裏存在有趕時髦的成分，上述工作中的某些問題可能並不一定非利用示踪原子方法不可。但即使對這些數字加以某種修正，在生物化學中同位素指示劑方法已經獲得異常廣泛的利用，它對於現代生物學上許多問題的研究具有十分重大的意義，這總還是無庸置疑的。在其他任何一門自然科學中，放射性同位素都還沒有獲得如此廣泛的應用。

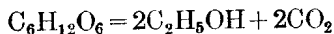
為什麼示踪原子的应用偏偏在生物化学中，而不是在其他化学领域中，例如在有机化学、膠体化学、物理化学等中起了决定性的和最廣泛的作用呢？為什麼偏偏在我們這門科学中，實質上只是一种純粹的在方法上的新手段，即帶有相当程度，技術性質的因素竟然会在許多情況下引起若干似乎已成定論的概念底根本改变呢？

我認為，答案很簡單。任何一个化学家，任何一个物理学家所感兴趣的，首先是那些基本的独立的个别的过程。生物化学家却不同，他們差不多無例外地經常需要研究那些單个过程的總和。他要和複雜的多步驟的化学反应系統打交道。在这种多步驟的化学反应系統中各單个環節、个別的組成部分並不是彼此孤立的，也不是个别反应的某种混合，而是有規律地組合成一个整體。在那些我們称之为新陳代謝的生物化学反应中，我們可以看到：各个環節十分協調地銜接在一起，各个基本过程高度統一地結合着。在这种条件下，生物化学家所遭到的困难，比起那些研究基本过程的化学家或物理学家來自然要大得多。

生物化学近數十年發展的全部進程主要在於把那些複雜的生物化学过程底總和分为組成这些總和的單个環節，研究这些初級反应的性質，並闡明这些基本反应組合成較複雜的生物化学總和的途徑。

为了說明这一情况，不妨援引兩個例子。这会使我們对現代生物化学的研究方法獲得某种直接的概念。

第一个例子是酒精發酵的化学歷程（химизм），这是拉瓦錫（Lavoisier）和給呂薩克（Gay-Lussac）在他們的經典研究中以其天才的洞察力所闡明的。他們的說法是：發酵時糖的粒子分解为等量的酒精和二氧化碳。运用通常的化学符号，这一結論可用簡單方程式表述如下：



这一方程式在歷史上称为拉瓦錫-給呂薩克方程式。一百多年來自然科学家們關於酒精發酵本質所有的知識不出这一方程式。

根据布赫涅尔（Büchner）和 A. H. 列別捷夫（Лебедев）的研究，發

現沒有活的酵母細胞也能發生發酵作用。自此以後，就可能將這一平衡方程式分割成若干個數目日益增多的、單個的、彼此關聯的生物化學反應。

現在不用拉瓦錫-給呂薩克方程式，可用下述化學反應的總和（不過這尚遠未將問題徹底說清楚）表示釀酵的化學歷程。（圖 1）

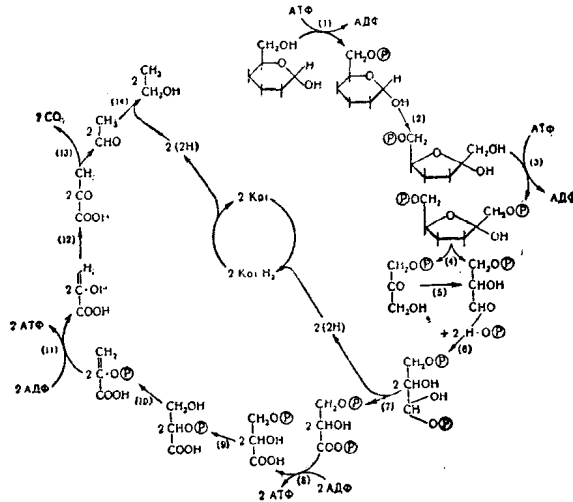
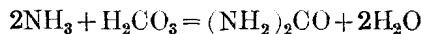


圖 1 酒精發酵圖式

第二個例子是尿素的合成。尿素是活有機體內氮化物代謝的最終產物。根據 И. П. 巴甫洛夫 (Павлов) 和馬爾謝勒·年茨基 (Марсель Ненцкий) 以及施米傑別爾格 (Schmidberg) 在上世紀末所做的經典研究，得出尿素是由氨和碳酸化合而成的概念。尿素的合成可用簡單方程式表述如下：



這一方程式在科學界中保持了三十多年，但是現在發現這個看來似乎很簡單的过程原來是無數彼此關聯着的單個生物化學反應的結果。這些反應的總和也許可用下列圖式來表明，這一圖式我借自 А. Е. 布拉溫什捷恩 (Браушштейн) 的論文 [1]。據稱也決不是完美無

缺的。(圖 2)

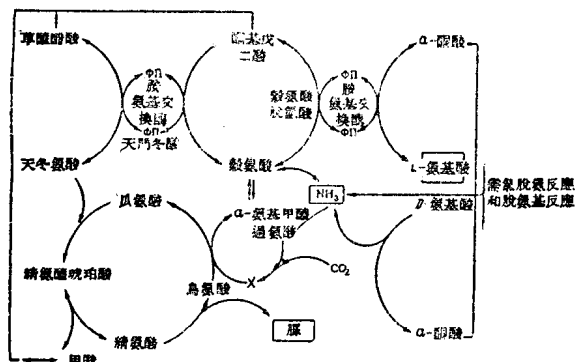


圖 2 有机体中尿素合成的圖式

这两个例子十分清楚地說明，生物化学家所遇到的反应是怎样複雜。像这样複雜的化学过程用一般化学分析法往往是不能圓滿解釋的。

为了要揭示複雜的新陳代謝过程的中間階段，生物化学家們很早就幻想着能用某种方法把参加这种或那种反应的化学分子做上标记，利用这种标记可以研究相应物質在其反应各个階段中底遭遇。譬如，这种方法曾被用來判断各种脂肪酸（食油的組成部分）分解的各个階段。为此，在脂肪酸分子的尾部接上具有某种特徵的，在有机体中表現穩定的化学基，例如苯环。利用这种示踪的脂肪酸，可以獲得脂肪酸在動物体内氧化底各个化学階段的初步概念。

有時採用某种易被發現的元素來把有机分子打上标记，譬如用氯化代替分子中的氢。然而所有这些“示踪”分子的化学和物理性質是与天然物質不同的，这就使人对它們在有机体中的变化是否按照参加新陳代謝的常态物質分子的变换途徑進行，完全缺乏信心。所以很明顯；用这种方法來标记生物学上重要化合物的可能是極其有限的。

我們身体的各种組織主要是由一些有机化合物構成的。組成这

些化合物的元素的穩定同位素和放射性同位素之發現給生物化学的研究工作帶來了嶄新的远景。在分析新陳代謝的複雜的生物化学过程底研究工作中，示踪原子的应用起着極其重要的作用。这一方法使实验者有可能追踪他感到兴趣的那个分子在其新陳代謝过程的無數次变化中的整个遭遇，从開始到終了。

第一个利用同位素來研究生物化学过程的科学家海維莎 (Hevesy) 曾十分恰当地形象化地指出：化学家和生物化学家之間的主要區別在於，化学家不是一个歷史学家，他对他所試驗的那个有机化合物中的碳來自何处並不感兴趣，相反地，生物化学家的基本任务便是就有机分子的全部生物学过程（从食物進入活的有机体起，至最後產物排出來为止）來研究这些分子底歷史。

Б. А. 季米里亞捷夫 (Тимирязев) 在他出色的“生物学中的歷史方法”《Исторический метод в биологии》一書中全面地論述了用歷史觀點解決生物学問題的重要意义。季米里亞捷夫所想到的是用成千累万年的進化階段和地質時期來衡量的歷史時期。生物化学家則只有解釋發生在十分短暫時間內的歷史变化的任务，这短暫的時間可能是有机体的一生，可能是食物消化和利用的時間，也可能是某一生理机能完成的过程。在解決这些特殊的生物化学研究任务時，同位素方法具有異常巨大的意义。

要在現在这样一段有限的時間內，把解決各种生物化学問題所用的一切利用示踪原子方法比較詳盡地加以介紹，是不可能的。因此我只限於概括地敘述某些特別典型的利用示踪原子的方法，並用幾個个别例子來具体闡明同位素分析法給生物化学所開闢的各种可能性。

然而在研究有關材料之前，不妨先作一些一般的說明。我們已經知道，示踪原子方法在生物化学領域內獲得了極其廣泛的应用。然而在这廣泛的应用中也隱藏着某种危險。同位素方法既成了一种時髦的东西，因此有時那些实际上完全可用最普通的經典分析化学方法來解決的問題也用起同位素方法來了。

缺乏批判精神的研究工作者往往喜欢把同位素的应用本身当作一种目的,而忘記了这歸根結蒂只是一种方法而已。有时当刚开始工作的青年科学工作者來徵求關於科学工作题目的意見時,如果問他对什麼样的工作有兴趣,經常会得到这样的回答:“与示踪原子有關的一些工作!”

有时,因为想把研究工作做得特別科学和更加現代化,就一定要竭力用上放射性同位素,虽然这种研究工作的实际價值並不大,甚至很成問題,絲毫也不值得使用放射性碳和盖格計數器。

也不应当忘記,同位素方法虽然如此經常地給实验者帶來多种新的廣泛的可能性,但其中也隱藏着不少的危險——過於倉卒的和錯誤的結論。可以說,用示踪化合物得出的实验結果幾乎總是需要特別周密而細緻的加工和特別深刻的批判分析。沒有这些,就像薩克斯(Sacks)在他所著書^[3]中正確指出的那样:“就会有这样的危險,即在已得的結果中讀出多於实际所包含的东西。”

如前所述,生物化学研究工作中的同位素方法,在許多情況下,使得某些長久以來似乎已成定論的那些概念起了根本的变化。諸如:靜止狀態(Стационарные состояния)底性質,構成有机体組織的各种物質底穩定性和永恆性,所謂內源新陳代謝和外源新陳代謝底相互關係等等問題。

人們早已知道,甚至最簡單的低分子的易擴散的物質,如各种离子,在細胞、組織以及包圍細胞和組織的組織液或者血漿中的濃度也是完全不同的。特別典型的是离子在紅血球和血漿(这是血的液体部分,紅血球懸浮其中)中的分佈情况。血漿中所含的鈉要比紅血球中所含的多許多倍;而鉀則相反,差不多全部集中在血球中,血球中鉀的濃度要比血漿中的約大十四倍。普遍的分析方法对这种不均匀分佈底本質無法回答。过去認為不均匀分佈可能由於細胞壁的不滲透性,在这种情况下,不均匀分佈便可能是某种靜力的靜止狀態(Статическое состояние);或者这种不均匀分佈之所以能維持是由於不断的運動,譬如,鉀不断地从血漿進入細胞,直到从細胞中出來

的鉀和由血漿進入細胞的鉀兩者平衡時為止；在這種情況下便可能呈現動力的靜止狀態（Динамическое стационарное состояние）。這可用粗略的示意圖來說明（見圖3）。

在動力的靜止狀態下，我們要使物質不斷地逆着濃度梯度而移動。這只能依靠某些能供應為完成此工作所需能量的過程來實現。這就是所謂“主動的運輸”（активный транспорт）。當實驗者尚未掌握同位素方法時，要解決我們所碰到的是第一種靜止狀態還是第二種靜止狀態的問題，確實曾經是一種巨大的、不可克服的困難，因為普通的分析方法照例只能給予一個簡捷的回答：沒有可能。同位素方法馬上使研究者能輕而易舉地並完全確定地解決這個問題——我們所面對的問題是逆着梯度的物質移動，抑僅僅是簡單的擴散現象。

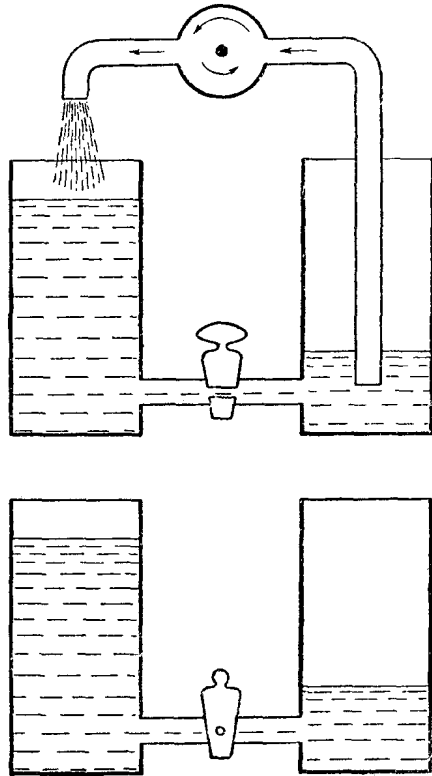


圖3 靜止狀態示意圖

應用同位素方法得到的重要結果就是發現了幾乎在所有的靜止狀態下，我們所遇到的都是一種活動的、有時進行得十分迅速的過程。

由於同位素方法的運用許多生物化學和生理學的概念變得更其深刻了。這些概念所涉及的已經不僅是這些或者那些物質底含量，而是有機體一切最重要組成部分，譬如，蛋白質、脂肪，甚至許多似乎

是最不活潑的、純粹是結構性的組成部分，如骨質或牙質等底成分本身。海維莎(Hevesy)，申海麥爾(Schoenheimer)，李欽別爾格(Rittenberg)以及其他許多研究者在工作中應用同位素(先是穩定的，然後是放射性的)的結果無可置疑地證明，構成動物體各種器官和組織的一切物質底組成都是不斷地相當迅速地更新着的。

在這以前，都認為，有機體底儲藏脂肪(Запасный жир)並不發生新陳代謝，它在化學上是靜止不變的，只在必要的情況下才參加新陳代謝過程。

正如過去所想像的那樣：各種細胞和組織蛋白質的壽命非常長。在有機體的生命過程中，一般祇有很少量的組織蛋白質“損耗”掉。過去認為，在氮的平衡狀態下，氮代謝的主要部份是靠食物中的含氮物質，那時認為後者的轉變是一種所謂“外源的新陳代謝”，與之相對立的是涉及到細胞和組織本身組成部份的範圍小得多的“內源新陳代謝”。現在根據同位素實驗的結果，把這兩種新陳代謝的對立完全放棄了，而用全新的“新陳代謝基質”的概念代替它。形成這種基質的既有在細胞和組織中連續進行着的複雜有機物分解過程的產物，也有由於食物的消化作用和同化作用進入有機體的產物，兩者的比重完全相等。至於這種新陳代謝基質，一方面各種組織從中吸取為連續進行合成過程所需的材料，另一方面則不斷由有機體所排出的新陳代謝最終產物而不斷形成。

這種關於有機體最重要成份連續流動的概念，關於這些成份不斷分解和不斷重新合成的概念，確是一個有革命性的結果。這種結果在現代生物化學和生理學的思維中，是由於同位素方法的應用所引起的。

身體組織內有機物的更新速度非常大。根據申海麥爾的數據^[4]：肝臟脂肪的半衰期約等於一晝夜，換言之，在一晝夜的時間內，全部脂肪的一半即重新合成一次。儲藏脂肪的半衰期約為一星期。

特別重要的是確定了下述事實：所有細胞和組織的蛋白質的“分子再生”作用(這是申海麥爾所給的名稱)進行得非常快，根據同位素

的研究結果，有机体各部份蛋白質的寿命变化範圍很大。在新陈代谢進行得很活躍的組織中，再生作用進行得最快。這裏半衰期照例僅有幾晝夜。例如：老鼠肝臟蛋白質的更新速度相當於每小時在每克組織內合成 1.5 毫克的蛋白質。如果考慮到每克鮮肝臟大約含 100 毫克蛋白質，則全部代謝大約需要三晝夜的時間。

活有机体内各種器官和組織的蛋白質的不斷“流動”，即這些蛋白質所含胺基酸成份的不斷更新，已經牢固地肯定了。這樣頭等重要的事實所以能夠肯定，是由於應用同位素指示劑的結果。應該把這種更新看作是細胞蛋白質不斷分解和不斷重新合成的結果。

流動的概念，蛋白質容易更新的概念，顯然曾經使某些著者誇大地認為這種更新是很容易實現的。因而得出這樣的假設：蛋白質所含胺基酸成份的更新，可以在不發生一般新陳代謝的系統，例如血漿和血清中進行。甚至硬說單獨的孤立的蛋白質也能進行這樣的更新。毫無疑問這是過分誇大了。這些誇大的推論未被証實；人們曾經揭露了導致錯誤結論的方法上的錯誤。胺基酸根之進入蛋白質分子不是由於“加進去”的結果，而僅僅是在蛋白質真正合成的過程中才能發生的。В. Н. 奧列霍維契(Орехович)最近關於雞蛋蛋白質的工作^[5]特別能夠說明這一點。他發現在孵化期間和雞蛋在母雞體內形成時，僅在蛋白質急劇重新合成的條件下，僅在雞蛋內進行着新陳代謝過程的那些部份中，才有示蹤的胺基酸出現。

同位素的應用，在細胞的亞微結構的作用和機能方面引起了某些概念上的重要改變。Н. М. 西薩江(Сисаян)用植物質體特別是葉綠體所作的研究工作的結果，可以作為一個例子。這些結果將在生物學部的會議上報告。以前認為葉綠體僅僅是葉綠素的唯一媒介，它的作用僅僅是參與光合作用。最近發現，主要根據利用放射性指示劑的許多實驗證明：葉綠體原來是各種酶大量集中的地方，在質體中進行着一系列與光合作用無關的酶促過程。

同位素方法對於快速反應的闡明是有特別重大的意義。尤其是像光合作用這樣的反應，一方面作用的時間異常短促，一方面這些反

应的全部總合十分複雜，所有这些反应都是隨着基本的初級作用——光量子的吸收立即相繼發生的。在过去漫長的年代裏，科學家們曾努力設法想獲得關於作为吸收二氧化碳的基礎的初級反应的任何指示。所有这些企圖，在未掌握同位素分析法，特别是利用放射性碳以前大部份都白費了。这种同位素的新方法的应用，給我們以过去甚至不能想像的結果。關於二氧化碳同化作用的舊觀點，必需加以深入的修改。根据 A. П. 維諾格拉多夫(Виноградов)和 P. B. 捷斯(Тейс)的同位素實驗^[6]，肯定了一个基本的事实。由於他們研究了光合作用中所生成的氧的同位素成份，第一次用實驗方法肯定了：氧不是來自二氧化碳，而是來自水的。許多著者早已作过假設：光合作用中水分子的分裂，即水的光化分解是初級的光化学作用。然而只有採用了同位素方法，此处是利用了穩定的重氧同位素，才有可能把假設变为牢不可破的事实。

其後科學家們的注意力曾集中於所謂“黑暗的”光合作用，即沒有太陽光輻射能參加的光合作用。碳的放射性同位素的廣泛应用，在這裏起了決定性的作用。在最初的實驗裏採用了 C^{11} ，由於它的壽命很短(半衰期等於 20.5 分鐘)，這便造成了很大的困難。後來从原子堆中得到長壽命的放射性碳 C^{14} (它的半衰期是 5700 年)，就大大地增加了實驗的可能性。以前認為二氧化碳是通过鎂原子与葉綠素分子結合起來進行光化学还原作用的，但同位素方法完全改变了这种概念。根据美國的卡曼(Kamen)^[7]，開勒文(Calvin)^[8]，加夫龍(Gaffron)^[9]和我們的 H. T. 多曼(Доман)，別欽科(Бойченко)以及其他許多科學家的研究結果發現：二氧化碳与某种二碳的有机分子的結合，是碳酸同化过程的第一步，即碳酸被还原以前的預備階段；这种有机分子的化学性質現在尚未搞清楚。在二氧化碳同化过程中發現了第一个可覺察的中間產物是有三个碳原子的酸，即所謂磷酸甘油酸。只是在此以後，已經結合的二氧化碳才被水中的氫还原；根据 A. П. 維諾格拉多夫和 P. B. 捷斯的資料，氫是光化学分解的產物。

但是在研究植物吸收二氧化碳時，同位素方法的应用不限於那

些丰富了我們關於光化学階段和大气中二氧化碳同化作用的知識的成就。苏維埃学者 [A. Л. 庫尔薩諾夫 (Курсанов) 和他的同事們^[11]] 在其卓越的研究工作中肯定了: 除了綠葉吸收大气中的二氧化碳外, 在植物內部还緊張地進行着利用从土壤經过根系進入植物的二氧化碳的过程。这种二氧化碳在羧化反应中与有机分子相結合, 並以巨大的速度轉移到植物的主要化学實驗室, 即葉子裏去, 在那裏与經过光合作用同化了的空气中的二氧化碳一起加入新陳代謝基質。这样, 土壤中二氧化碳的吸收过程和大气中二氧化碳的吸收过程合成为一个新的複雜的整体。这些事实的肯定是一个具有原則意义的重大成就。在植物新陳代謝的最重要的根本过程中, 在將無機碳吸入有机界範疇的过程中, 揭開了新的一頁——这全是在仔細安排和仔細進行的實驗中应用了同位素方法, 应用了放射性碳的結果。

神經組織——从神經末梢到中樞神經系統, 包括它的最高級器官即腦髓——机能的基礎的化学过程的研究領域, 給放射性指示剂方法的应用, 展開了特別廣闊而重大的前途。正是對於这一对象, 同位素方法具有特殊價值, 因为它來研究在組織中所進行着的複雜生物化学过程時, 可以最大限度地保持正常的生理条件, 这一特點是其他方法所不具备的。当問題涉及中樞神經系統活動的基本化学过程的研究時, 同位素方法的重要性格外明顯; 中樞神經系統具有異常多样的机能和对这些机能極其敏銳而微妙的調節性, 並且對於外界任何影响, 任何条件的改变極其敏銳。無怪乎科學家們要對利用放射性同位素指示剂來研究与神經系統机能相關联的生物化学过程的問題給以很大的注意了。

这样一个方向的研究工作, 在苏联的實驗室中開展得特別廣泛。

对研究結果任何过分詳細的敘述在這裏是不可能的, 因为这本身便可成为一个內容丰富的報告, 就像 A. B. 巴拉金 (Палладин) 院士將要在即將到來的國際生物化学會議和日內瓦會議上所作的那樣。在這裏只能限於大略地也是不全面地舉幾個例子。

这方面研究的对象具有不同程度的複雜性。心臟神經末梢組成

和与之直接連結的心肌本身兴奋組成,是 T. M. 圖尔巴耶夫(Турпаев)在 X. C. 柯什托揚茨(Костоянц)實驗室中的研究对象^[12];他在这裏巧妙地利用了对於神經活動具有特殊毒性的元素的放射性同位素,即銀、汞、鎘的放射性同位素的鹽。他第一次使在下述問題上獲得某些数据成为可能,即为了抑止心臟組織的兴奋器官,需要多少有毒分子。

Н. П. 李索甫斯卡婭(Лисовская)^[13]在我們的實驗室裏進行了对大腦皮質切片的研究工作;利用放射性磷的結果,可以闡明在能量交換的基本过程与形成磷蛋白的反应之間的相互關係——磷蛋白質是大腦組織所含蛋白質中化学上最活潑的部分。

利用同位素方法來研究中樞神經系統在靜止或活動、兴奋或抑止等各种机能狀態下所發生的化学变化是有很大的前途的。在烏克蘭科学院的生物化学研究所中, A. B. 巴拉金和他的同事在这方面進行了大量的研究工作^[14]。这些工作包括对大腦所十分富有的油脂化合物的研究,对在各种生命活動現象中起很重要的作用的核酸的研究。Г. Е. 符拉吉米罗夫(Владимиров)和他的同事們^[15]在列寧格勒, B. C. 沙波特(Шапот)^[16]在明斯克也在進行这方面的工作。後者所獲得的結果和 Н. П. 李索甫斯卡婭的研究結果一致,使人們对大腦組織的蛋白質,對於这些在任何組織和細胞的新陈代謝中起主導作用的那些物質,予以特別的注意。B. C. 沙波特的實驗証明:大腦組織中蛋白質分解和合成过程,可以根据含有放射性同位素的示踪胺基酸的含量來判断。並指出:在不过份兴奋,即中樞神經系統正常活動的条件下,这种蛋白質的合成过程的速度很大;反之当大腦細胞由於过度的長期兴奋而處於疲乏狀態時,蛋白質的轉化强度便劇烈下降。

我曾經說過:同位素方法使那些普通的純粹化学分析方法不能解決的問題,有了解決的可能。我想援引我在医学院的女同事 Н. В. 愛勒岑娜婭(Ельцина)所作研究工作的結果,來說明同位素方法的強大有力。這裏將要提到的實驗涉及現代生物学一个最重要的最迫切的問題,同時也是具有很大实际意义的問題,即惡性瘤新陈代謝特

微問題。

惡性瘤的阻止不住的、不規則的和具有破壞性的生長能力，終歸是由於它與正常組織不同的新陳代謝的特徵所決定的。幾十年來無數研究工作者都竭力想找出這些特徵，因為確定了惡性瘤新陳代謝的特徵和性質以後，我們就能推論出如何合理而準確地探尋對這種新陳代謝的影響，這樣來制服這個可怕的病症，人類最兇惡的敵人。

這個任務是如此地吸引人，也是這樣地難於得到解決。事實上在這一重要路程上，祇向前走了一步。我指的是瓦爾布爾格 (Warburg) 在二十年代所作的研究工作^[17]，它迄今大約已有三十年的歷史了。那是對惡性瘤新陳代謝最初的一些研究工作。在瓦爾布爾格以後，人們曾作了無數次嘗試，想進一步發現惡性癌繁殖的新陳代謝的祕密，但是儘管採用了各式各樣的實驗方法，後來的工作沒有能給我們帶來多少明白、清楚和能說明問題的結果。

因此瓦爾布爾格的觀察和結論，至今仍是我們關於惡性癌細胞新陳代謝的特徵的主要知識。

這些結論是怎樣的呢？它們涉及到那些方面的新陳代謝作用呢？癌性細胞在什麼類型的新陳代謝反應中顯示出自己的特徵，暴露出它與正常組織的特殊的不同之點呢？這些反應是一些能供應每一個活細胞以能量和動力的生物化學過程；生命活動的無數多種多樣的現象就是靠着這個動力才得以實現的。在這些生物化學過程中，碳水化合物被分解，同時放出為實現一切生命機能所需要的化學能。

細胞中碳水化合物分解的反應已經知道的有兩種可以作為上面所說的能源。第一種是醣的氧化，醣與空氣中的氧化合，這種反應是細胞呼吸作用的基礎。第二種是缺氧的分解過程，它作為發酵作用的基礎。如果我們這裏碰到酵母，這種發酵過程便生成酒精，而在動物組織裏便生成乳酸。這種過程在動物組織中稱為醣酵解。

酒精發酵和醣酵解過程，正如我們通常知道的那樣，既不能供應很大的能量，在純粹化學方面效應也很小。在酒精發酵和醣酵解時，醣分子所放出的能僅為呼吸過程中，醣與氧化合所放出的能的 $\frac{1}{25}$ —