

科学总结
生物学科

—1—

放射生物学

苏联科学院科学情报研究所

科 学 总 结
生 物 学 科

— 1 —

放 射 生 物 学

苏联科学院科学情报研究所

科 学 出 版 社

1 9 5 9

РАДИОБИОЛОГИЯ

АН СССР, 1957

內 容 簡 介

本書集集了15篇論文，從各個方面闡述了電離輻射對有機體的作用，從微生物到高等動物，就電離輻射對其生態、生理、病理等諸方面的影響及如何用電離輻射來研究和探測生物體內的各種變化和機制，都作了概要的介紹。可供生物物理學研究工作和教學工作者的參考。

放 射 生 物 學

蘇聯科學院科學情報研究所

華 光 等譯

*

科學出版社出版 (北京朝陽門大街117號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

中華書局上海印刷廠印刷 新華書店總經售

*

1959年3月第一版 書號:1638 字數:358,000

1959年3月第一次印刷 開本:850×1168 1/32

(滬)0001—3,360 印張:13 1/2

定價:(10) 2.30元

序 言

提供給讀者的 1953—1955 年間放射生物學研究方面的述評，目的在於闡明和批判地來分析在這一領域內蘇聯的和國外的廣泛文獻。談論關於科學批判評述的效益，特別是在像目前正在蓬勃發展着的放射生物學這一類科學的領域方面，未必需要。由於缺乏前幾年的放射生物學某些部分的述評，使我們的工作產生了某些困難。然而爲了使讀者對問題熟悉，我們認爲引用這些部分較早時期的文獻是適宜的。在一次評述中將放射生物學所研究的許多問題都涉及到也是不可能的。本彙編中僅包括現代放射生物學最迫切需要的問題。我們打算在以後的各冊中對第一本彙編中未包括的一些問題予以注意；這裏所說的各冊應當每隔 2—3 年相繼出版。

有關醫學放射生物學問題，放射損傷的臨床問題，以及採用電離放射進行治療和診斷問題等，我們認爲應當作爲單獨評述的題目，因此，本彙編未加闡述。

這一方面的許多作者和專家參加了評述的編寫。自然，在不同作者所寫的不同文章中，對同一事物觀察時，不能不反映出學者們有時不儘相同的觀點和看法。我們保留了反映放射生物學現代狀況的這些不同觀點，以及有關放射生物學方面的許多還在爭論的和不明瞭的問題。

對放射性遺傳進化學的評述更是如此。其中反映出來最積極從事於放射對遺傳性影響研究的研究人員的觀點。只從放射對染色體直接作用的理論觀點出發對物體做某些片面的觀察，以及對其他小器官和細胞質中代謝作用破壞的遺傳變化方面的作用估計不足，是由於在這一方面的研究工作的發展非常不够所引起的。

原子能和平利用工作的廣泛發展，在放射生物學面前提出了許多需要解決的任務。

能引起放射損傷和機體死亡的大劑量放射劑量對機體作用的問題，在最近十年間大力進行了研究，並且今天我們已經能夠做出有關這些研究的某些總結。另一方面，由於超過地球表面自然放射能量數十倍或數百倍的小劑量放射而產生的不斷照射的生物作用這一問題，尚在進行研究。在這一方面僅僅在累積所搜尋的試驗資料。少劑量照射對壽命機體免疫性能、新生體的出現、後代的生活力等的影響，需要在很長時間內進行試驗和觀察。在估計少劑量放射對人類的遺傳危害性時，學者們提出恰恰相反的觀點。當時，一些學者以昆蟲和動物的局限試驗為依據，指出了甚至在極小劑量的放射情況下，不斷的照射也有嚴重的危害性；另一些學者考慮到修復過程的強度和活機體對少劑量電離照射的進化產生的適應性，而提出了關於存在不危害人類生命的最大容許劑量的見解。無論是前者和後者所具有的試驗材料對於自己的結論說來都是不够充分的，因而使少劑量放射問題成為現代放射生物學的迫切需要解決的問題之一。已知的生殖腺對電離照射作用的敏感性，在放射作用下新型機體生成顯著提高的可能性，將它們應用到農業中的遠景，以及對人類遺傳危害性的實際程度的確定等，都提出了目前放射生物學問題當中居於首位之一的放射遺傳學問題。

尋找將機體與其細胞的放射敏感性無論是向提高方面改變或特別是向降低方面改變的方法這一課題，也與上述問題密切相關；這種放射敏感性向提高方面改變對醫學與農業具有重要意義。向降低方面改變對於防止人體受電離放射有害作用則具有絕對重要的意義。

已經擬定的在實際開展和平利用原子能的研究中具有特別重大意義的那些問題的解決，在很大程度上取決於我們在各種電離放射對機體，機體的個別系統、器官、組織和基質的作用的密切機構方面的知識。研究電離放射作用的生物物理學、生物化學和生理學原理，以及查明被照射的機體內的初次反映機構和進一步變化的因果關係的連續性，應當來建立可以解決全部放射生物學其他問題的基礎。最後必需提到有關生物界中放射性元素的轉移和

濃度問題方面近年來蓬勃發展的放射生物學的分枝。在地面上具有大量放射元素中心的形成與原子反應堆的放射碎屑問題和原子武器試驗有關，因而使得對放射生態學的研究越來越注意。

無論放射生物學方面的上述問題和其他問題的順利研究，都需要在這些方面進行研究的知識和總結。提供給讀者近年文獻的評述，目的在於幫助研究人員能夠去理解這些問題，並以此來促進上述放射生物學領域中研究工作的發展。

目 錄

序言..... (iii)

電離輻射作用的生物物理學基礎

.....B. H. 別涅沃林斯基、B. И. 科羅哥定、
Г. Г. 波利卡爾波夫 (1)

電離輻射的生物化學效應

.....A. M. 庫津、H. Б. 斯特拉日夫斯卡婭 (41)

保護機體免受電離放射損傷的化合物.....E. Ф. 羅曼策夫 (92)

電離輻射對微生物的作用

.....Г. А. 梅特維傑娃、H. А. 波莫什切尼科娃 (107)

電離輻射對植物的影響(生理學研究).....И. М. 華西里耶夫 (120)

各種電離輻射對動物機體作用之比較

.....M. П. 多姆什拉克、H. Г. 達達斯卡婭 (140)

電離輻射對動物機體作用的細胞學及組織化學的研究

.....A. Л. 沙巴達什 (160)

電離放射作用引起的病理變化

.....A. E. 伊萬諾夫、B. B. 施霍得羅夫 (178)

電離放射作用時造血機能的變化

.....M. C. 拉樸捷娃-波波娃、B. A. 古賓 (202)

電離放射對神經系統機能的作用.....H. H. 利符施茨 (249)

電離放射對免疫的作用.....И. H. 基謝列夫、A. П. 布集尼 (272)

電離輻射對昆蟲的作用.....A. A. 彼列傑里斯基 (301)

放射遺傳學

.....M. A. 阿爾謝也娃、M. Л. 別爾戈夫斯基、
H. Л. 捷洛涅、O. H. 彼得羅娃、
B. B. 赫伏斯托娃、H. И. 夏皮羅 (316)

電離輻射作用的生態學研究.....A. A. 彼列傑爾斯基 (365)

用電離輻射影響生物體的技术及劑量的測定

.....A. B. 比別爾加爾 (379)

電離輻射作用的生物物理學基礎

В. Н. 別涅沃林斯基 В. И. 科羅哥定

Г. Г. 波利卡爾波夫

放射生物物理學研究的範圍是研究關於在照射時間內初生反應的機制問題和在潛伏期中放射性後效反應的本質問題，即研究生物基質各部分由於在高能輻射作用之下分子的電離和激發而引起的物理的和化學的變化。同時它還研究電離輻射的直接作用與通過水相電離和基的生成而產生的間接作用之間的相互關係，研究放射性生物效應對劑量、劑量率及比電離的數學依賴關係，研究生物基質中的次級物理化學變化，研究放射性後效反應的動力學問題，研究主要的物理和化學因素（溫度、氧等）對放射性生物反應的影響，研究初級放射性毒素形成的規律性。

雖然由於生命現象的物理化學基礎的巨大複雜性及研究的不充分而存在着困難，但最近十年來，上述問題的研究已獲得了相當大的成就。在這個時期中確定了一系列的根本現象。電離輻射的間接作用代替了目的論的統治地位。科學家們集中地研究了基及其產物的性質和形成的規律。“防護效應”“稀釋效應”“溫度和氧的效應”獲得了普遍的承認。人們發現了溫度和氧對照射時間內的放射性生物反應及照射後的反應有着不同的影響。如果說初級光化學反應在很大程度上依賴於氧壓而具有很小的溫度係數時，則生物基質的放射性後效反應幾乎不依賴於氧的水平，而具有大的溫度係數。科學家對於射綫感染毒素的研究予以極大的注意，這些毒素有些學者認為是水中放射性反應的最後產物，而另一些作者則認為是發生於機體內部的後效反應的中間產物。最近發表了許多科學論文和對於許多關於放射性生物物理學不同觀點的評論文章，在這些文章中收集和討論了歷年來的文獻。

已出版的下列著作，引起了讀者的巨大興趣：Никсон 主編的“放射生物學”^[35]，Лебединский 主編的“放射生物學”^[34]，“輻射的生物作用和射綫病臨床學”^[5]，“照射對機體的作用”^[15]，“電離輻射對生物體的作用”^[14]，Hollaender 主編的“放射生物學”^[219]，還有 Тарусов 的論文“放射性射綫的生物作用原理”^[36]，以及 Васц 和 Alexander 的論文“放射生物學原理”^[73]。

Лебединский^[23]，Gray^[141]，Keiner 及其合作者^[163]，Mortimer 和 Beam^[201]，Патт^[212]，Sparrow 和 Forro^[216] 等著作是綜合性的評論文章。

在 [33, 36, 50, 105, 106, 156, 193] 的著作裏詳盡的討論着放射性化學的問題和輻射能量的吸收問題，在 [77] 的著作裏談論到氧的作用問題，在 [10, 38, 161, 185] 的著作中涉及到了毒血病的作用問題。

現在這篇關於電離輻射作用的生物物理學基礎的綜述主要是包括從 1953—1955 年所發表的著作。

放射化學的初級過程

自從 Вейс 和其他的一些學者提出了關於在被照射了的機體內部生物學效應和水的輻射分解的產物的聯系原理後，放射性化學，特別是水溶液化學，在放射性生物學家的著作中佔據了相當的地位。電離輻射感染和水分解產物之間的聯系在被稱為稀釋作用和防護作用的實驗中以及在溶解在水中的氧和其它元素的溫度對感染的影響的實驗中得到了證實。

最近幾年來在放射性水化學所形成的觀念和它(水化學)對於放射性生物學的意義，在 Васц 和 Alexander^[73]，Тарусов^[36] 的論文中，在論文集“輻射生物學”^[219]，“放射性生物學”^[85] 和其他一些文章中^[17, 39, 42, 43, 44, 116, 190] 得到了闡明。

Пифф 和其它的一些學者^[214] 的著作闡明了在亞甲基藍和甲笨銨藍及其它的氧化還原指示劑的水和甘油溶液中經過照射後的反應性質。像退色測驗指出的，甘油對照射是比較敏感的。作者

的意見，認為這個現象可能和防護問題發生關係。

在用X射綫和紫外綫照射蛋白質溶液時，胸腺核酸和半胱氨酸的水的酸度會增加。防護物質減弱pH的變化。作者認為如果紫外綫直接對溶解物質發生作用，那末X射綫則是通過水起作用^[173]。

在Долин^[18]的著作中談到了在不同酸度和不同濃度的酸溶解氧中水的輻射分解產物的產量問題，在這部著作裏指出了生成的氫與照射的劑量和氧的濃度的比例關係。他同時還測量了在各種濃度中H₂O₂的數量。

其他的一些著作^[125, 240]闡明了經過照射後水溶液的氫的產量決定於一系列的條件。

學者們認為除了氧和水的pH之外，存在於水中的，能抑制過氧化氫分解的氯離子和溴離子對過氧化氫的產量有着一定的影響^[62, 226]。Alexander和其他一些學者^[52]在研究X射綫對水化聚1-甲基丙烯酸的作用時發現了HO₂基對於在這些系統中的變化負有重大的使命。

物理和化學因素在放射性生物學反應中的作用

輻射的類型和能量

科學家們研究了照射的持續時間和劑量率對不同照射對象的影響。著作敘述了鐳的β射綫的脈衝式照射對*Ascaris megalocephala* 卵的影響^[157]。研究了在鐳的γ射綫的作用下蟋蟀的減數分裂(成熟分裂)過程中照射強度和照射時間對形成“децентрический мостик”的作用。在Tomson和Turtelott的著作^[260]中研究了用Co⁶⁰的γ射綫對家鼠感染時劑量率的作用，他們指出劑量率從2530倫琴/小時變化到240倫琴/小時幾乎不影響半致死劑量的數量，但在劑量率進一步減低的情況下LD₅₀很快的就增高起來，在劑量率由240倫琴/小時變化到4.8倫琴/小時時LD₅₀擴大2倍多。Граевская和Кейлина^[11]研究了劑量率對白

鼠新陳代謝的影響，即研究劑量率為 19.1 侖琴/分鐘和 75.6 侖琴/分鐘情況下 500 侖琴 X 射綫照射對 48 小時後肝臟中肝醣的含量
的影響，獲得了效應與劑量率的明確的關係。在第一種情況下肝
醣的含量總共降低 18%，在第二種情況下降低 64%。

某些學者對於模型系統敘述了同樣的劑量率的直接係式^[39]。

究竟是什麼東西使得劑量率對生物學效應發生這樣的影響？
這個問題在 Kepp^[164]，Kepp 和 Müller^[166] 的著作中得到探討。在
研究 X 射綫(200 千伏)和快速電子(3 百萬電子伏)對人體皮膚的
影響時，這些作者發現在劑量率從 300 到 2000 侖琴/分鐘的情況
下“時間因素”(照射時間長短的影響)對於 β 粒子表現得特別突
出，而對於 X 射綫來說實際上是看不存在的。在微弱強度範圍內的
“時間因素”對於 X 射綫也開始起着重要的作用。對於上面描述的
現象，作者們作出如下的解釋。顯然，“時間因素”和恢復時間有
關，而恢復時間又轉而依賴比電離：比電離愈大，恢復時間也就愈
長。在長恢復時間的情況下無論任何強度的照射，一切量子的衝
擊作用積累起來，而“時間因素”則不存在。在恢復時間的情況下，
積累作用表現甚不明顯，因為部分衝擊加之於前一次衝擊的後效
已經消失了的組織元中。由此人們可以明白何以在輻射強度降低
時，發生放射性生物效應降低的現象，以及比電離較弱及“時間因
素”的作用較大的現象，因此在創造緻密電離時，高力率的分次照
射必需具有較高的生物學強度。其他的一些學者也得出了類似這
樣的結論^[165]。

Oehiert 和 Müller^[211] 在以劑量率為 8 和 40 侖琴/分鐘的 X
射綫作用於 *Hordeum vulgare* 時沒有發現任何的差異而對於微
生物甚至可以看到半致死劑量隨比電離的增加而增長的情況^[179]。
在用 X 光照射雄性果蠅時，沒有發現劑量率對遺傳學因子有任何
影響^[172]。

在用 X 光和快速電子照射 *Escherichia coli* 和 *Pseudomonas*
aeruginosa 的試驗中，也未發現輻射類型對電子鈍化曲綫有任何
的影響^[186, 197]。Тинг, Чинн 和 Джос 在用電壓為 200 千伏的 X

射綫和能量為 23.5 百萬電子伏的電子照射各種種類的酵母菌時，發現了輻射敏感性很明顯地依賴於輻射的類型。但是在兩種情況下酵母 *Torulopsis cremosis* 和 *T. utilis* 的鈍化曲綫都是指數形狀的，而 *Mycoderma lactis* 和 *Candida crusei* 的鈍化曲綫都是 S 形狀的。

Zirkle 和 Tobias^[276] 研究過在 0.75—190 千電子伏/微米的範圍內，輻射能量對單倍和雙倍染色體酵母，以及藻類 *Stichococcus* 的生物學效應的相關性。和前面的著作一樣，存活曲綫也正依賴新能量的綫性損失的大小。各種輻射的相對生物學效應，在 0.75—27 千電子伏/微米能量範圍內保持為恆量，而在 27—190 千電子伏/微米能量範圍內，這種效應約增加 3—4 倍。

關於輻射能對紫鴨跖草小孢子的作用也獲得了類似的數據，這裏染色體變體的數目是感染的標誌^[94, 137, 171]；這種材料也同樣發現於各種昆蟲的卵上。同樣 Θ MH^[50] 指出：在相似的物理條件下以 P^{32} 的 β 射綫， CO^{60} 的 γ 射綫和高壓為 125 千伏的 X 射綫照射姬蜂 *Ha'brobraconjuglandis* 時，從劑量 199 倫琴起 X 光對發育的抑制效力較大， β 射綫較小， γ 射綫又更小。作者指出：經過一段時間，這時間與劑量成反比，在照射的卵中顯現出顯著的變化。但是，各種類型的輻射所引起的變化是完全相同的。

Fritz-Niggli^[127, 130, 131] 研究果蠅卵對 X 射綫及起高速電子（能量 31 百萬電子伏）的相對敏感性，自果蠅出生 1 小時起，至發育的各個階段都進行了研究。他確定輻射敏感性和胚的年齡有很大相關性，在早期階段大約要漲落 2 倍。在不同的發育階段感染曲綫的形狀也同樣顯示出是完全不同的。至於電離粒子能量的大小，除去研究的最初階段 1, 2 小時之外（此時 β 粒子具有最大的效應），X 射綫顯現出稍微較強的損害作用。

各種能量輻射的比較效應也在各方面進行了研究，如在爪蛙的科蚪上^[128]，在組織的培養中^[132]，在大麥籽粒上^[96]，在田馬 *Melanoplus differentialis* 的卵中，在鼠亞科^[120]，在蛙類中^[203]，在蘋果的接穗上^[88]及其他對象^[241]。

所獲得的材料證明：各種輻射的生物效應不決定於電離粒子的類型，但是與該粒子路徑上散射能量的平均值有關。經典的理論不能解釋這樣的現象。因此有些學者^[25, 26]提出這種觀念：化學活潑的產物是輻射感染的原因，這些產物是由於水分子的電離所引起的，並從電離處向細胞的敏感部分擴散，在細胞的敏感部分它們進行抑制作用。在上述觀念的基礎上所獲得的數學公式與這種表面理論相符合。

溫度的影響

不久以前對於電離輻射在生物基質範圍內引起的反應的溫度關係所完成的研究，用來分析模式試驗中以及用各種不同機體進行的試驗中的溫度效應。

目前已在研究電離輻射對酶及抗生素的作用。當以帶電粒子（電子、氦核、氮核）照射時溫度相關性顯現出來。這樣，過氧化氫鈍化反應的機率是溫度的函數。在低溫照射時，有 1/4 過氧化氫酶分子被鈍化；在中等溫度照射下，有一半分子被鈍化；而在高溫（低於 370°K）下照射時，所有分子都被輻射鈍化。在更高溫條件下，照射過氧化氫酶及轉酶時，出現超過分子大小的橫截面。在這種溫度情況下，通過分子層的帶電粒子使分子鈍化。在這樣情況時，可觀察到輻射的間接作用，學者強調^[25]，對於在電離輻射作用下的溫度效應目前尚沒有滿意的解釋。Setlow 和 Doyle^[24]同樣也研究過溫度及輻射的直接作用對過氧化氫酶活性的影響。

在研究輻射對於在 77—310°K 溫度範圍內乾燥的噬菌體下的直接作用的研究結果中，曾顯現出兩個相繼的鈍化階段：(1)與溫度無關的階段；(2)與溫度有關並具有 1100 氫活化能^[68, 69]的階段。

Wood^[270, 271]完成了溫度及培養基的相態對射綫照射過的酵母存活率的影響方面的一些工作。酵母的膠體正常容許冷卻到 -0.5°C，能夠過度冷卻到 -10°C。溫度 -10°C 到 +45°C 內酵母染色體的輻射敏感性幾乎不依賴於照射時的溫度。但是，55°C 時酵母輻射敏感度可增到 6 倍。固態情況下溫度範圍 -30°—

-10°C 時, 酵母的輻射敏感性比液態時低一半; 在 -10°—-2.5°C 的溫度範圍, 輻射敏感性隨溫度成比例地增加, 很可能這是由於細胞內增加了游離的水。當 +52.5° 的熱力及輻射同時發生作用時, 出現了熱力鈍化和射綫鈍化的協同作用時, 學者們就 Зеркль 和 Тобнас 的散射鈍化理論討論了實驗結果。照射過的酵母的鈍化, 藉散射核的作用, 於溫度 0—-40°C 時能達到 50%。噬體 T₂^[272] 也獲得類似的關係。其他著作中^[98, 292] 用放射性 P³² 也發現, 在低溫時細菌噬體的鈍化下降。

當把照射過的腸桿菌的水懸液 (在蒸餾水中) 保存在寒冷處時發現了還原作用。估計在細胞本身內部就具有這種反應的機制^[217]。

研究了溫度 (在 -196—+40°C 的範圍內) 和培養基相態對於腸桿菌對 X 射綫和 α 粒子的敏感度的影響。發現了對 X 射綫的輻射敏感在溫度由 -196° 提高到 0°C 時要提高 3 倍, 而在 0°C 時不管是在固相, 還是在液相總是一樣的, 腸桿菌對 α 粒子的敏感度在固相時是固定的, 而是液相時敏感性的一半。兩種形式的輻射的不同結果, 證實了 X 射綫和 α 粒子作用的不同機制的存在^[154]。

查明了, 在不同種細菌間及對於同種類的輻射照射後, 還原作用對溫度的依賴性變異很大, 在腸桿菌菌種是 B/r 的情況下在 18°C 時觀察到最大的存活率。在照射後反應速度隨溫度的提高而提高, 並要依賴於培養基的存在^[248]。

依賴於照射後的時間完成了對 X 射綫照射過的腸桿菌在 44.5°C 時的反應的研究。還原作用的最大值, 發現是在 4 小時後。在 37°C 時對細胞的初步影響使得對 X 光的電離反應在 1 小時內增加一倍, 但對 α 粒子的抵抗力並未改變^[180]。就在同樣對象上研究了溫度對 X 光的突變作用影響^[60]。

在大麥乾燥穀粒的實驗^[210] 中確立, 由 X 射綫引起的感染在 -190°C 時比在溫度是 +20°C 要降低。低溫可防護輻射的生理危害和遺傳危害, Ниланом 發表了類似的結果^[208]。和 20°C 時比較在照射大麥種子時, 種苗損害和染色變體數目的降低發生在

-80°C, 但是突變頻率對這兩種溫度來說是一樣的, 同樣在照射時也不依賴於 CO₂ 和 O₂ 的濃度。在溫度 0°C 的影響下, 在 X 射綫照射之後 *Paris tetraphylla* 的染色體的破壞和變位的數增加了。這種溫度或者是刺激了染色體的破壞, 或者是延長了還原期。

在研究溫度對 *B. coli* 的影響時 Stapleton 和 Edington^[249] 發現這些菌類在溫度為 -196° 時對照射的抵抗力比在冰浴槽的溫度下的抵抗力大大的提高了。根據 Шехтман^[48] 的材料來看, 溫度甚至對那些缺少水的對象的輻射敏感性發生影響, 例如對植物的乾燥的種子。X 光照射過的小麥的乾燥種子在 -100—120°C 時比在室溫照射的感染大約要少一半。在該種情況下, 根據作者的意見, 可以觀察到溫度對初期輻射生物學反應的動力學有着直接的影響, 如果這些反應和活性基作用結合, 那末溫度的降低一定會引起它們互相作用速度的降低和重新結合過程的減弱。

在這一工作中指出了氧給於 X 光對小麥 48 小時種苗的感染性的影響。

不久前, 發表了關於溫度對被 X 射綫照射的蛔蟲卵的作用的資料^[70]。如果它們在 35 星期的過程中保持在 0—5°C, 然後在 30°C 時孵化, 則觀察不到被照射過的卵的分裂被抑制; 但是在低溫的影響下, 特別是在第一個月中, 胚胎發生的正常過程已經被破壞了。照射過的卵對於 30°C 的溫度的敏感性比未照射過的卵大。胚胎在生物活性最適合的溫度時, 發育較好。Haas 及其他學者^[144] 發現在照射時間中按果蠅的變位速度測定出來的感染度在 $3 \pm 2^\circ\text{C}$ 時比在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 時強。

Барлоу 和 Селлерса^[26] 的試驗中研究過低溫對鼠反應的影響。在 2—6°C 下經過 400—800 倫琴照射後動物在 30 天中的存活數和維持在室溫下照射的動物比較, 看出死亡率的增加及老鼠壽命的縮短。另外一些著作敘述了過熱對於鼠的輻射敏感性的影響^[54, 72, 125]。Даулл 和 Хасегана 研究了高溫介質對鼠的死亡的影響^[113]。

Allen^[55] 總結了關於照射鼠腫瘤時透熱治療的局部高溫和 X

射綫照射的協同作用。照射過的組織對溫度升高的抵抗力低於未照過的組織。

氧 的 影 響

在 1953—1956 年間完成了相當大量的工作，進一步闡明氧參與在生物基質中引起電離輻射的反應的規律。

研究 X 射綫對嘌呤和嘧啶的作用時指出，這些物質的吸收光譜在有氧存在的情況下，比有氮存在時減少得很多，也證明了，二磷酸吡啶核苷酸在照射下的氧化在氧的環境裏比氮的環境裏進行得更為有效^[78]。Johnson 和 Weiss^[162] 研究了由在水溶液中被 X 射綫照射過的甲烷生成甲基水過氧化物的過程對於溶解的氧的依賴關係。Hart^[148, 149] 研究了不同濃度的氧對由於 X 射綫照射在水溶液中引起的羧酸的氧化過程的影響。

已經證明，放射性過氧化物可以自動的對別的分分子作用而引起分子聚合和合成^[188]。例如著者曾證明，對於某些染料來說（安尼特黑，甲烯藍等），這種合成是和照射時環境中氧的存在和濃度有關的^[189]。

用 X 射綫照射溶有氧的 ДНК 水溶液時發現了黏度的減少，這種減少繼續到照射後 48 小時以內，而在氮氣環境裏卻沒有這種後效作用，如果在照射之前而不是在以後，在 ДНК 溶液中加入半胱氨酸、胱氨酸和氰化鈉，則可防止黏度的減少，可能這些物質是和照射時所形成的產物有關的^[104]。

在缺氧時，由於水的輻射分解而形成的氧化作用，也可以在被照射的 ДНК 溶液中引起黏度的減少，附加的氧僅僅加強了氧化作用的強度，著者的看法，黏度的減少是和由於氨基的損壞和在某種程度上由於末磷基的分解而引起氫鍵數量的減少相聯系的^[189]。在真空中照射時 ДНК 溶液的後效作用（黏度的減少）約為在含氧溶液中的 $1/3$ ^[107]、Conway^[104] 也得到類似的結果。

Swanson 和 Johnston^[255] 企圖用在模型實驗裏 ДНК 的解聚現象，來解釋在照紫鴨拓草細胞時染色體的固縮。在氮氣環境裏

照射細胞時出現染色體固縮的次數顯著減少，在 DHK 溶液裏也觀察到類似的現象，作者指出了過去在染色體固縮與由有絲分裂和變體所形成的 DHK 解聚作用的聯系方面進行了許多研究，在這個方向上的工作可能對輻射生物學的發展帶來貢獻，但是為了肯定的僅用 DHK 的分解來解釋固縮作用還必須對被照射的染色體作細胞化學研究。

研究倫琴射綫在空氣的不同含氧量下對鴨拓草孢子的作用時 Beatty^[30] 發現，在前期和半前期之後照射孢子時氧之作用最為有效，曾經在劑量率為 50 倫琴/分鐘用 200 倫琴劑量分別在氮氣，5% 氧氣，空氣和鈍氧的環境中照射細胞。在照射之後的 1—6、8、10 小時內進行了觀察，在氮氣中有絲分裂能力減少得比其他情況較為緩慢，並且恢復較快。

Giles^[36]，Swanson^[31]，Baker 和 Halle^[74] 在他們的評論文章中分析了關於氫在照射時形成染色體變體中的作用的兩種假設，著者指出在這兩個絕對相反的假設中——破壞假設和復原假設——沒有一個是令人滿意的，Schwartz^[29] 所提出並由 Baker 和 Halle^[74] 所贊同的恢復假設曾假定乏氧與破壞沒有關係，但是這種關係却很好的反應在損壞端的形成上，破壞假設認為氧在細胞中的行為，正好影響染色體的破壞^[29]，Thoday 的^[29] 著作中討論了新的解釋，其中提出在電離輻射作用下氧影響變體次數的各種可能途徑的圖式，根據這個圖式，第一階段包括由輻射造成的原始物理和化學現象，這引起與氧無關的直接作用，也通過與氧的方向有關的原子基引起間接作用，第二階段氧加強了染色體的破壞，乏氧僅減弱破壞或促進被破壞的染色體復原，在第二階段中進行的初級破壞和上述的破壞在時間間隔上有所區別，在第四階段的末尾可能發生被破壞染色體重新合成，這個圖式反映被照射細胞中真正過程的程度如何，現在仍是有疑問的^[24]。

照射時氧的存在對大麥種子有深刻的影響，加強了染色體變體的次數，加強了不孕性和變異速度^[30]。

Nilan^[38] 研究了對 X 射綫照射大麥種子所引起的細胞遺傳性