

电离辐射对植物的作用



И. М. 瓦西里耶夫

科学出版社

И. М. ВАСИЛЬЕВ
ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА
РАСТЕНИЯ

Изд. АН СССР, 1962

内 容 简 介

此书就电离辐射对植物的生长与发育所引起的作用中,有关伤害与刺激作用的机制,作了简明的阐释。本书共分为四部分:(1)电离辐射伤害植物的初发过程;(2)电离辐射所引起的植物射线病;(3)植物对电离辐射的敏感性;(4)电离辐射在作物栽培中的应用。

本书著者对电离辐射在农业生产中的作用评价,提出了一些看法,是值得注意的。

电离辐射对植物的作用

【苏】И. М. 瓦西里耶夫 著
方亦雄 韓錦峯 王瑞新 譯
罗 宗 洛 校

*

科学出版社出版

北京朝陽門大街 117 号

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

*

1964 年 11 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1964 年 11 月第一次印刷 印张: 9 3/16

印数: 0001—3,000 字数: 238,000

统一书号: 13031·2001

本社书号: 3078·13—6

定价: 【科七】1.60 元

序 言

从发现 X 射线(Röntgen, 1895)与物质的放射性现象(Becquerel, 1896)以来,已经六十多年¹⁾。在这期间内,生物学中形成了一个新的分科——放射生物学²⁾——其分支有放射生理学,放射生物化学,放射细胞学,放射遗传学等。在放射生物学中的每个分支方面都累积了大量的数以千百计的文献³⁾。在实践中出现了应用电离辐射的广泛可能性,同时电离辐射工作对人类的危害性也已十分清楚(《工作人员对电离辐射的防护», 1958; Price 和 Spinney 等, 1959),所有这一切都是迫切需要就电离辐射对活体的作用,其中也包括对植物的作用进行深刻研究的。在这方面仍然还有许多不清楚的地方(Dale, 1952; Pollard、Guild、Hutchinson 和 Setlow, 1955; Sparrow, 1957; Haddow, 1958)。

X 射线与放射性物质对植物作用的最初研究,基本上都具有生理学的特点⁴⁾。植物放射生理学迅速地发展起来,同时,放射生理学的研究者不仅有植物学家,而且还有医生和物理学家。这是

1) 关于 Röntgen、Becquerel 以及 Pierre Curie 与 Marie Curie (居里夫人) 与 Rutherford 与 Soddy 的研究历史可参阅(Becquerel, 1901; Pierre Curie, 1905; Rutherford 与 Soddy, 1903; Goldberg, 1903, 1904; Залкинд, 1901, 1904; Bayer, 1904; Старосельская-Никитина, 1957; Claus, 1958)。

2) 在化学方面分为放射化学和辐射化学。前者研究放射性物质的化学性质;后者研究放射性物质及一般电离辐射对其他物质的辐射作用(Дашкевич, 1959; Старик, 1959)。根据这点,确切些说不应称作放射生物学,而叫做辐射生物学。但是放射生物学已成为科学上广泛惯用的术语。因此,虽然近年来已开始采用较确切的术语——辐射生物学,我们还是把它保留了下来。在苏联科学院的系统中不久以前建立了辐射与物理-化学生物学研究所。

3) 根据 Sparrow (1957) 的资料,有关电离辐射对植物作用的发表文章篇数,至 1955 年已达到 3000 篇左右。迄至目前这个数字还在大大地增长。

4) 参阅评论: Мезерницкий, 1916; Komuro, 1921; Неменов, 1921; Lallemand, 1928—1929。

由于使用植物材料进行工作比較使用动物材料简单些,此外,照射过的植物时常被利用作为射綫疗法中的剂量計 (Jüngling, 1920). Schwarz、Czepa 和 Schindler (1922)、Martius (1924) 等特別指出,由于不是經常能应用妥善的方法,这就决定了研究結果中的某些矛盾性。

从 20 年代开始,在发现微生物 (Надсон 和 Филиппов, 1925)、果蝇 (Muller, 1928) 以及植物 (Stadler, 1928; Делоне, 1928, 1930) 的輻射突变以后,产生了放射遺传学,放射細胞学也特別迅速地在发展着。从 30 年代起,由于水的射解現象的发现 (Risse, 1929; Fricke, 1934a、b) 以及电离輻射对活体的間接作用学說的产生,放射生物化学的发展也十分迅速。

这本书是一本有关植物放射生理学材料的綜合报告。书的形成,基本上是根据作者及其同事自己的研究材料。同时在这书中还对文献資料作了詳細的綜述,其中也包括有关放射生物化学、放射細胞学与放射遺传学的資料。但是对放射生物学的这些領域只是順便提一下,以便就电离輻射对植物作用的情况有个完整的概念。

电离輻射对活体的作用,通常可分为原发的、初发的和繼发的过程。原发过程具有純物理的特性,并表现在組成細胞的分子順沿正进行电离的顆粒径迹所产生的电离与激发。初发过程与生命上重要結構的损伤以及相应的生理功能的破坏有关。繼发过程 (按动物的“射綫病”名称而获得的),是有机体生命活动的一般破坏,这种破坏常常导致死亡。书中仅仅研究了初发的和繼发的过程。本书的第一編,闡述初发的过程;第二編讲繼发的过程;而以“植物的輻射敏感性”为标题的第三編,既談到初发过程,也談到了繼发过程。在全书的結尾一編中,分析了在植物栽培中应用电离輻射的途径問題。

为了在后面叙述作者本人的实验資料时不致出現重复現象,这里,我們提一下主要的研究方法。研究的主要对象是冬小麦 No. 599 的超級原种,它是非黑鈣土地带农业研究所育成的小麦-冰草的杂种 (莫斯科, Немчиновка)。另外,也研究了大麦、燕

麦、玉米、蚕豆、菜豆、豌豆、馬鈴薯以及許多其他的作物。植物培育在水培的营养液中，在 $23^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的恆溫室內用 ДС-30 型日光灯整昼夜的光照。照例是在苗齡 4—6 昼夜时，在 РУМ-3 型的伦琴射綫裝置上在 165 千伏，15 毫安培，不用滤片的情况下进行照射。这种方法在个别情况下所产生的誤差，我們都把它指示出来。

在不同時間內（5 年时期內）О. И. Парфенова、Н. Д. Смирнова（Рыбалка）、Е. И. Маслова、中华人民共和国的进修生秦苏云（Цинь Су-юнь）、葯剂师 Т. С. Спасская 以及 X 射綫技術員 Б. Г. Жуков 都参加了实验工作。

在写作过程中，这本书的每一章均在講習班、学术會議和个别科学家的私人座談中討論过。作者衷心地向所有参加过討論本书的人們致以謝意。

• • •

目 录

序言	iii
----------	-----

第一編 植物射綫伤害的初发过程

第一章 关于植物射綫伤害的初发过程概念发展的主要方向	1
第二章 植物的初发射綫伤害的外部表现	9
第三章 电离輻射对細胞中最重要的化学物质的影响	14
第四章 电离輻射对原生质最重要的物理-化学特性的作用	26
第五章 电离輻射对植物体内的生理-生化过程的作用	36
第六章 电离輻射对原生质新形成以及对細胞核的器官的作用	61
第七章 关于植物在射綫伤害下初发过程的本质	70

第二編 植物的射綫病

第八章 植物射綫病研究中的主要問題	84
第九章 植物射綫病的最重要的表现	91
第十章 被射綫病损伤的植物体内生理-生化的变化	119
第十一章 植物生命活动在射綫伤害以后的恢复	141
第十二章 关于射綫病和被照射的植株枯死的本质	145

第三編 植物的輻射敏感性

第十三章 植物輻射敏感性研究中的基本問題	154
第十四章 植物生长和种子萌发过程的輻射敏感性	161
第十五章 植物的輻射敏感性和各种电离輻射的关系	186

第十六章	植物的輻射敏感性和环境条件的关系	198
第十七章	植物对电离輻射的防护	211
第十八章	关于植物的輻射敏感性差别的本质	219

第四編 电离輻射在作物栽培中应用的途径

第十九章	历史文献的概述	226
第二十章	电离輻射对农作物生长和发育的影响	236
第二十一章	电离輻射在育种学中的应用	245
第二十二章	放射性指示剂方法	250
第二十三章	关于电离輻射在作物栽培中的应用	254

結語		260
----	-------	-----

参考文献		265
------	-------	-----

第一編 植物射綫伤害的初发过程

第一章 关于植物射綫伤害的初发过程 概念发展的主要方向

最早的概念

关于射綫伤害初发过程的第一个学說，来自于用动物为材料的試驗，并有过“卵磷脂学說”的說法。这个学說的作者是 G. Schwarz (1903)。在 Schwarz 的概念中，卵磷脂的分解并形成如胆碱等有毒的分解产物，是有机体射綫伤害的基础。Schwarz 本人和許多其他的研究者用鐳照射鸡蛋时，也都发现了卵磷脂的这种变化。因此，看来卵磷脂的学說曾得到这簡單的証据，同时也曾引伸到植物体方面，但是这学說存在不久就被否定了。

很快就开始发展了另一个学說。首先 Perthes (1904) 发现了，用 X 射綫和鐳照射馬蛔虫与蚕豆幼苗以后，产生了特別显著的抑制細胞分裂以及細胞内含物的各种各样的反常情况。以后 Perthes 的学生 Koernicke (1905) 专门用植物为材料做过研究，并且肯定了，处在強烈分裂状态下的分生細胞对照射最为敏感，而在这些細胞中受伤害最大的部分是核，也就是核的染色体。在照射的影响下核在分裂时会出現各种不同的破坏現象，形成許多双核和多核的細胞，染色体和紡錘体的断裂；子染色体不能完全地彼此分开，而是形成了橫隔，以后就获得了“桥”(мост) 的名称。Koernicke (人們称他是植物放射細胞学的創始人) 的研究曾引起了人們的极大注意，特別是动物学家 G. Hertwig 和 O. Hertwig 兄弟以及 P. Hertwig 等的注意 (Hertwig, G., 1911, 1920; Hertwig, O., 1911; Hertwig, P., 1911)。这样就形成了射綫伤害“核的学說”。

与此相并行地另外一个学說也发展起来了，这学說的創始人是动物学家 Bergonié 和 Tribondeau (Bergonié et Tribondeau, 1906)。在有机体的射綫伤害中物質代謝的破坏具有主导意义的論点是这个学說的基础。因为根据作者的資料，幼齡未分化的細胞具有最旺盛的物質代謝，所以是最敏感的。作者原来的結論是这样：“……細胞对輻射的敏感性与它們分裂的能力成正比，而与分化的程度成反比。”

Petry (1913)的研究，在植物射綫伤害初发过程的概念发展中具有一定的意义，他的論点是由下列事实出发的：电离輻射只有当它們被細胞吸收时才能发生作用。不同的細胞其化学成分亦异。因此可以預料，它們的“光动力性”(фотодинамичность)也不一样，也就是說吸收輻射的能力不一样。曾用最简单的方法檢驗过这个推测：从外面向細胞內注入各种不同的物質，这些物質就被認為是“光动力物質”。但是，从这里未获得任何的变化。

大致也是在这一时期，还曾有过根据酶工作受到破坏的概念，来闡明有机体初发的射綫伤害本質的嘗試。London (1911)在《生物学与医学中的鐳》的专著中同意了这个观点。但是尚沒有得到支持这个观点的可靠的实验論据。

这一切造成了对輻射伤害初发机制認識的模糊性，而且在二十世紀 10 年代和 20 年代初的文献中所談到的問題是一系列不能令人滿意的情況(Holthusen, 1922; Straus, 1923; Немецков, 1925)。但这同时又促进了后来的探索，以致最后形成了三个主要的，共称之为“直接作用学說”、“間接作用学說”和“靶学說”的射綫伤害学說。

直接作用学說

虽然这学說的肇始可能已由 Керник 发起，但是这学說的創始人却公認為是 Dessauer (1922, 1923a, b)。Dessauer 推論的过程是这样的。在液体与固体的介质中，由于电离輻射能的作用而从原子中冲脫出的电子，并不是离开了它，而是重新进行組成。其

結果是被吸收的能量以热的形式释放出来，該地点的温度剧烈地增加，如果这是产生在細胞的特別重要的地方，染色体上就会由这样小范围地局部的温度增高，以及与它有关的周围分子的破坏所产生的后果而有害地影响到所有的細胞。

Dessauer 的关于照射热效应的概念引起了热烈的討論 (Straus, 1923; Dessauer, 1925; Rajewsky, 1929)。他的关于染色体中伤害局部化的論点，特别是关于直接击中染色体的电离顆粒决定性意义的論点，对后来的研究起着很大的影响。因此，在探索射綫伤害的机制中，放射生物学家的注意力都集中在染色体方面。

小室 (Komuro, 1924)、Bersa (1927 a、b)、Левитский 和 Араратян (1931) 在这方面都进行了大量的工作。小室以蚕豆幼苗作的試驗中，用高剂量的 X 射綫照射后 1 个半小时，就已經可以看到反常的有絲分裂，过 6 小时就产生了固縮現象，核膜破坏，以致于核的染色质进入到細胞质中去。在 Bersa 用玉米根作的試驗中，以低剂量的 X 射綫照射后 8—9 小时，可以看到正在进行分裂的細胞数目减少，过 36 小时产生了所謂次級变化，这种变化就是染色体粘在一起，形成桥、断裂等現象。Левитский 和 Араратян 用黑麦、大巢菜与还阳参的幼苗作的試驗中在 X 射綫照射以后可以看到染色体的各种断裂，易位和組合，把照射过植物的这些畸形現象和植物在自然条件下，自生地产生的那些畸形現象比較一下，証明了，这里仅仅是量的差异。它們在質上是相同的。

但是所有这些研究都有非常严重的缺点。如 Левитский 和 Араратян 对它們的評价，对于細胞学家來說，这是典型的形态学的研究，不言而喻这些研究尚沒有揭露初发的射綫伤害的本質。不但如此，他們当时似乎还掩蔽了其他的研究。放射細胞学在放射生物学中占了优势。Lea (1946, 1955) 的专著《輻射对活細胞的作用》* 可以作为这方面的例子。这本书 1946 年发行了初版，而在 1955 年作者逝世后的再版中也并没有什么改变。这本专著内一

* 此书的中譯本已于 1962 年 10 月由科学出版社出版。——譯者

切都是以放射細胞学的观点叙述的。放射生理学几乎完全缺如，甚至連“生理学效应”一名詞本身也被应用于純細胞学的現象，即染色体的粘会上。

間接作用学說

这个学說是由 Risse (1929) 和 Fricke (1934a, b) 的放射化学的研究而产生,他們确定了,在有氧存在的情况下,用X射綫照射水和水溶液时会产生水的射解,并形成生命力短暫的化学活性基团 H 、 OH 、 HO_2 和較稳定的 H_2O_2 。因此,正如 Fricke 的研究所証明的一样,可以看到溶解于水中的有机物質例如葡萄糖、尿素、甘氨酸、肌酸等的氧化,胃蛋白酶、胰蛋白酶、淀粉酶、轉化酶的鈍化。

这些事实对放射生物学家們发生了很大的影响。曾經进行过多次验证性的研究。在水溶液中照射了蛋白質、酶、核酸等各种有机物質,在所有情况下,其結果都是,当在水中溶有氧时,在电离辐射影响下,这些物質遭受到破坏。在无氧的环境和用氮代替氧的情况下,照射效应就要小得多。而且因为在X射綫和 γ 射綫照射情况下,只有当有氧存在时才能由水形成自由基,所以毫无疑問,水射解为強烈的氧化产物,正是辐射伤害的直接原因 (Forssberg, 1947; Sparrow a. Rubin, 1952; Gray, 1953; Barron, 1954; Frank a. Platzman, 1954; Франк, 1955; Шехтман, 1955a, b; Васц a. Alexander, 1955; Dale, 1955; Serra, 1955b; Кузин, 1956, 1957; Simonis, 1956; Кригер, 1959)。

早經肯定了关于射綫伤害与細胞中水的含量有密切联系的事实,正是对这个观点的証明。Koernicke (1904) 在自己早期的工作中,就已注意到这些事实。Petry (1921, 1922)就这一問題进行过专门研究,他比較了干燥的、浸过水的和发了芽的种子的敏感性,并肯定了在辐射敏感性和种子中水分含量之間具有直接的关系。誠然,在 Petry 的研究中曾发现了这样的事实,即如果发了芽的种子重新干燥达风干状态,它們的敏感性比起原始的风干种子,

总是要高些。可是 Petry 这方面的研究并没有引起应有的注意。种子干燥到其中含有极少量的水分时，遭受射线伤害的事实也没有被注意。这些在以后 Шехтман (1956)、Ehrenberg 以及 Caldecott 等(参阅: Ehrenberg u. Zimmer, 1956) 的研究中特别明显地表现出来。

我们以 A. M. Кузин 的概念作为例子，他在许多年内连续不断地发展着间接作用学说。电离辐射通过水射解的产物——H、OH 与 HO_2 起作用这是这一概念的基础。由于这些化学活性物质和细胞的代谢产物起反应的结果，形成一些过氧化物类的有毒物质。这些物质作用于核蛋白、脂蛋白和糖蛋白类型的分子化合物，于是引起它们的解聚作用。就其后效来看，高度聚合的去氧核糖核蛋白和 DNA 的解聚作用特别重要。它能使这些对细胞生命活力最重要的聚合物生成反常的碎片。可是，由于 DNA 决定 RNA 的合成，而 RNA 又决定特殊的蛋白质合成，所以由于照射而出现的 DNA 的反常碎片引起了 RNA 的异常结构的合成，并由此也引起了异常的多肽合成，这种多肽通常在有机体内未曾遇到过。所有这种现象都使物质代谢个别环节的相互联系受到破坏，它使透性受到更严重的破坏。

考虑到近年来的放射生物化学成就，目前对间接作用学说的看法就是这样。

靶 学 說

Crowther (1923) 是靶学说的创始人。他在对 Strangeways 和 Oakley (1923) 的实验资料，进行了数学的分析之后，而提出了这个学说(Strangeways 和 Oakley 发现，以软 X 射线照射雏鸡的组织培养细胞对有丝分裂经常产生抑制影响，而且照射时间愈长，抑制程度愈大)。Crowther 比较了照射结果和剂量之后，肯定它们是服从概率规律，而且可用指数曲线形式制图表示出来。Crowther 对这些资料作了进一步的分析，得出结论：在细胞中直接受害的部分的体积相当于中心体大小，大约是细胞的 $1/25$ 。因为这些部分的

伤害仅仅服从概率规律,于是一切有关致死剂量的結論,例如,和个别細胞輻射敏感性的差别有关的致死剂量,就失去了它的意义。

在 Jordan (1938)、Rajewsky (1952)、Zirkle 和 Bloom (1953)、Six (1954)、Hug 和 Wolf (1956) 的研究中,特別在上面指出过的 Lea 的专著中靶学說获得了进一步的发展。根据 Lea 的意见,靶就是核蛋白分子。在由一个核蛋白分子所构成的最小的病毒中,靶即病毒整体。在染色体中基因就是靶。靶的伤害发生或者是在电离粒子直接击中的情况下,或者是在水介质中电离作用活动接近于靶的情况下。在后一种情况下伤害取决于水射解的产物。

靶学說在 Timofeeff-Ressovsky 和 Zimmer (1947) 的有关这問題的专著中得到了广泛的支持。他們得出了与 Lea 的結論大致相同的結論,其不同之处在于,他們完全否定水射解的产物在靶伤害中的任何意义。

在近代的研究中,原来的靶学說已不再为人所应用,但是关于在細胞中存有一种最敏感的结构,它主要位于細胞核中的說法却为不少人所承认,Б. Л. Астауров (1947, 1958) 的概念可以作为一个例子,它是根据分別地照射蚕卵的核和細胞質的广泛試驗所研究出来的。作为这个概念基础的論点是:照射的效应主要表现在核上。照射細胞質,甚至用很高的剂量,結果作用不大。根据 Hevesy (1945) 的概念,电离輻射首先能抑制染色体的特殊物质——DNA 的合成。作者得出結論,以核蛋白的特殊结构受到破坏为表現形式的染色体受损伤,是射綫伤害的基本原因。由于这个原因就产生了突变,使細胞的物质代謝受到破坏,而导致射綫病。

其他的学說

除上述的学說以外还发展了許多其他的学說。其中一个学說是在植物射綫伤害中,細胞丧失不透性具有特別重要意义的論点为根据的。Straus (1923) 在这一概念的发展中起着很大的作用。

按 Straus 的意見，电离輻射对于細胞最敏感的物质——芳香族系拟脂的作用是射綫伤害的基础。由于这些拟脂在原生质的表层结构中起着最重要的作用，而細胞的透性与表层结构有关，所以細胞不透性的丧失是一种初发的生理变化。

这个观点在 Heilbrunn 的工作中获得了进一步的发展。在他和 Mazia (Heilbrunn a. Mazia, 1936)合作的論文中(这篇論文刊登在 Duggar 所編輯的刊物《輻射的生物学效应》的第一卷內)，提出了一个問題，从作者的观点来看，細胞原生质透性的破坏在射綫伤害中是主要的。这种破坏的基础是原生质的胶体化学状况发生变化，即原生质开始溶解，以后原生质的粘度增加，并凝聚起来。这种过程的性质和血液的凝固相类似，并取决于原生质中 Ca 状况的变化。在照射的影响下和原生质层有联系的 Ca 被释放，并且在原生质内部扩散。在这个基础上影响透性的层膜被溶解，于是其透性变得更大，相反地，原生质主要的物质凝聚起来并丧失它原有的生理功能。Heilbrunn 在以后的工作中又重复了这个观点(Heilbrunn, 1956, 1958)。

A. Г. Пасынский (1957) 也认为透性机制的破坏，在細胞射綫的伤害中是主要的。在他的概念中細胞原生质是由具有分界面的許多显微结构所組成，这就保存了这些结构的工作特点。当电离的粒子击中这种显微结构的分界面时，它就丧失了有选择性的不透性。因此代謝过程就被破坏。在照射以后的最初时期內，照射对代謝过程的作用还显示不出来，随着它們以及和它們有相互关系的細胞內结构的变化发展的程度，其作用表现得越来越强烈，一直到能以明显地分辨出最后的結果来。

关于发生了变化了的物质代謝，在細胞射綫伤害中起决定作用的概念，在文献中占居很大的地位。正如上面已指出过的，这个观点在老的文献中也曾几次地被提出来过。就是在一系列近代的概念中它也是主要的。Н. М. Сисакян (1955) 在发展着这种概念。根据他的資料，物质代謝的个别环节如碳水化合物、蛋白質和核酸的代謝，受損害的程度不一样。例如在作者的試驗中，当照射剂

量为 5000 伦琴时,核酸合成方向就已经被破坏,而蛋白质合成在 20,000 伦琴、糖合成在 30,000 伦琴时才被破坏。核酸合成总在嘌呤碱和嘧啶碱含量有严重变化的地方发生破坏。照射当天最敏感的含氮碱为尿嘧啶,过一昼夜在鸟嘌呤,腺嘌呤和胞嘧啶的含量中同样也发现了变化。

М. Н. Мейсель (1955) 也发展着基于物质代谢破坏的观点。在他的概念中电离辐射还损伤细胞质和核。可是组成细胞的各个结构,以及与此相适应的一些过程所受的损伤也不相同。核素代谢是最敏感的,其次为碳水化合物代谢、脂肪和甾醇代谢。核素代谢破坏有使核蛋白合成,核分裂和生殖过程延缓的后果。碳水化合物代谢破坏导致细胞的能量平衡发生紊乱。脂肪和拟脂代谢的剧烈破坏,引起脂肪酸和甾醇大量的累积。酶系统的不同辐射敏感性是所有这些现象的基础。

我们再来研究一下 Б. Н. Тарусов (1955) 所持的观点。这个观点可以归纳如下。水的射解和形成化学上极活跃的基团,是射线伤害的第一阶段。第二个阶段——这些基团和细胞的生物学上重要物质相作用,作用的结果是出现了在能量上极活跃的分子和原子,它们乃是由于自身加速作用而发展起来的连锁反应的中心。这些反应在细胞结构的脂蛋白相中进行着。反应的后果是相界破坏,这就有害地影响到基本的生命过程。

从上述可以得出结论,在植物射线伤害初发过程的问题方面有着各种不同的观点。这无疑是在放射生物学这方面正在进行着紧张的摸索工作的标帜。如果在了解同一问题方面有这样的多样性,那就意味着这一问题尚远未弄清楚。

第二章 植物的初发射綫伤害的外部表現

在目前所知道的植物放射生理学方面的研究中，尚沒有任何一个可靠的情况，能以断定由于照射而引起的死亡，乃是在照射当时就已經开始了，还是在照射后 1—2 天才开始的。植物在照射后，一般保持着正常的形态，可以維持相当长时间的涨压和綠色。但是，如果以相当高的剂量进行照射，植物生长在或大或小的程度上很快就減緩或者完全受到抑制。

照射后植物外部的形态

图 1 表示的是未經照射的，和在苗龄 6 昼夜时以 50,000 伦琴剂量照射过的冬小麦植株。照片是在照射后 4 昼夜拍摄的。照射过的植株保持了新鮮的綠色形态。但是它們在生长上却显著地落后了。

在用同一种小麦及其他植物的另一些試驗中（将在下面讲到），曾試用了更高的照射剂量，照射对叶子的涨压和顏色在头几天甚至几个星期內沒有发生任何显著的作用，仅仅使生长受到抑制。

但是，如果以极高的剂量照射叶子时，那么可能較快地引起植物叶子变黄和枯死。其中一个試驗是預先在小麦植株苗龄 4 昼夜时以 100,000 伦琴剂量照射胚芽鞘部分，而以 200,000 伦琴左右剂量照射叶尖部分。除生长延緩以外，这种照射沒有发生任何显著的影响。过几天以后以 600,000 伦琴剂量对胚芽鞘和以 1,500,000 伦琴左右剂量对叶尖分二次进行照射。在这样的照射以后叶尖在第二天就变黄了，丧失了涨压，又过几天就干枯了。

在 Sussman (1953) 的試驗中曾以 3,200,000 伦琴剂量的 γ 射綫照射馬鈴薯未发芽的块茎。在这样的剂量下过几天块茎相繼干

枯死亡了。

从所叙述的試驗中可以作出下面的結論：

1. 要想立即杀死植物，必須以 1,000,000 伦琴极高的剂量照射。
2. 在經受几万或几 100,000 伦琴剂量情况下，植物可以长時間的保持正常的形态，仍然保持漲压和綠色。
3. 在这些照射剂量下生长明显地遭到破坏。在植物照射后第二天就出現了生长抑制的現象。

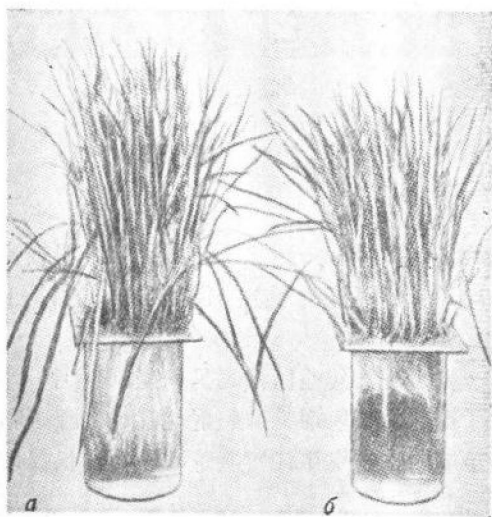


图 1 冬小麦

a. 未經照射的植株； b. 在苗齡 6 昼夜時經受 50,000 伦琴剂量照射过的植株。

植物生长的临界照射剂量

由于生长最先受到伤害，所以我們就进一步研究受到照射影响所发生的生长的变化，这完全是可以从外部的表現来判断的。

图 2 表示的是未經照射的和在苗齡为 4 昼夜時經受 1000、3000、5000 以及 10,000 伦琴剂量照射过的冬小麦植株。照片是在