

同位素及辐射在植物生理学、农业化学及
土壤学中的应用

科学出版社

65
2.59
C2

同位素及輻射 在植物生理学、农业化学及 土壤学中的应用

(全苏同位素及核輻射应用會議論文集)

孙 鵬 魯如坤 等譯
吳 洵 文启孝

科 学 出 版 社

1963

ВСЕСОЮЗНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ПРИМЕНЕНИЮ ИЗОТОПОВ
И ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ
(ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ АГРОХИМИЯ ПОЧВОВЕДЕНИЕ)
Издательство АН СССР
Москва, 1958

內 容 簡 介

本书内容包括各主要同位素在植物生理学、农业化学和土壤学中应用的方法、大量的实验研究报告资料和对理论性问题的探讨与阐述。所论及的同位素有 P^{32} , N^{15} , C^{14} , Ca^{45} , S^{35} , I^{131} 等, 实验研究所涉及的作物除大田作物外, 还有蔬菜及森林作物; 书中还讨论了大气电场和电离辐射的生物学效应等问题。本书可供植物生理学、土壤学及农业化学研究工作者以及有关大专院校师生参考。

同位素及辐射在植物生理学、
农业化学及土壤学中的应用
(全苏同位素及核辐射应用会议论文集)

孙 鵬 魯如坤 等譯
吳 洵 文启孝

*

科学出版社出版 (北京朝阳门大街 117 号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

*

1963 年 10 月 第 一 版

书号: 2851 字数: 456,000

1963 年 10 月 第一次印刷

开本: 787×1092 1/18

(京) 0001—2,000

印张: 21 2/9 插页: 9

定价: 3.30 元

目 录

同位素和輻射在农业上的应用·····	1
原生质结构中肽键的合成·····	19
利用 C^{14} 闡明橡胶草中橡胶及其伴生物质的生物合成机制·····	28
研究各种放射性物质在植物中分布的放射自显影标本制备的新方法·····	39
应用示踪碳研究叶绿素成分的更新过程·····	50
关于光合作用产物的多样性和它的生理意义·····	56
应用放射性同位素研究光合作用的中间产物·····	64
应用放射性碳研究胡桃属(<i>Juglans</i>)植物不同种的光合作用与其新栽培条件间的关系·····	71
应用 C^{14} 研究微量元素对光合作用和同化物质运转的影响·····	78
大豆光合作用产物的运转和产量问题·····	84
植物韧皮部和栓内层机能的相互制约·····	88
应用放射性碳研究萜烯的生物合成·····	93
关于戊糖类及 α -甲基- d -葡萄糖甙参加木质素的形成·····	99
冬播及春播作物品种对 P^{32} 的吸收与植物个体发育阶段和耐寒性的关系·····	103
应用 P^{32} 研究植物发育初期的氮磷营养·····	108
应用示踪原子法证明钙在植物中的再利用·····	116
钙在植物中的运转问题·····	121
植物对 P^{32} 和 C^{14} 的吸收和分布与其电的极性的关系·····	126
輻射对植物有机体氧化还原过程的作用·····	131
应用同位素研究椴树的开花和蜜液的分泌·····	135
应用同位素 N^{15} 研究豆科植物根瘤中的大气氮素生物固定作用·····	139
应用示踪氮研究在植物产量形成中氮素营养的作用·····	148
应用稳定性同位素 N^{15} 研究铜在植物吸收铵态氮和硝态氮中的作用·····	157
磷肥的后效和有效性磷酸盐在土壤中的贮量和积累·····	165
影响植物吸收磷的某些因素·····	170
应用示踪原子法研究棉田施用磷肥机械化·····	175
棉花磷肥施用方法及施用时期的评价·····	180
提高灌溉植棉业中磷肥的肥效·····	187
对不同农作物施用过磷酸钙的方法·····	193
应用示踪原子法研究有机矿质混合肥料的组成及其对春小麦磷素营养的影响·····	201
过磷酸钙中的磷素在泥炭沼泽土中的运动及大麦对它的利用·····	207
腐殖质对植物吸收磷、钙的影响·····	211
P^{32} 在马铃薯和蔬菜的追肥试验中的应用·····	220
磷从植物中向土壤的运转·····	225

根外营养及其对吸附性离子进入茶树的影响·····	231
在植物根外营养条件下磷的吸收强度及其轉化为各种不同的有机状态·····	236
集中施用顆粒过磷酸鈣时棉株不同生长阶段对示踪磷的吸收·····	241
应用放射性磷研究番茄的根外营养·····	247
植物对有机、无机化合物中的 P^{32} 、 S^{35} 及 C^{14} 的吸收·····	252
利用示踪磷研究植物对肥料中磷的吸收·····	257
測定接穗及砧木的适应性的方法·····	263
温度条件对植物吸收养分及养分在植物体内的分布的影响·····	267
大气电场对植物吸收养分的影响·····	274
論同位素方法在土壤改良研究中的应用·····	280
酸性土壤吸收性能的研究·····	286
应用同位素研究土壤、粘土和泥炭中吸收性磷酸离子化合物的轉化、老化和結晶过程·····	291
应用 γ 射綫測定土壤水分、积雪复盖层中水分的蒸发和水分貯量·····	297
放射性同位素 Co^{60} 和 I^{131} 在田間土壤改良研究中的应用·····	305
某些形态的重水在土壤学和生理学研究中的应用·····	312
在研究果树施肥时放射性磷 (P^{32}) 的应用·····	318
在果树栽培中同位素应用的展望·····	324
应用示踪磷研究果树作物的根外营养·····	334
矿质溶液从木質部向韌皮部的运轉·····	338
乔木树种实生苗对磷的吸收与施肥深度的关系以及菌根在櫟树实生苗的磷素营养中的作 用·····	345
根际微生物在木本植物营养中的作用·····	350
关于苹果树各器官間磷的分布的特征·····	355
乔木树种的磷素营养·····	361
不同起源的乔木和灌木根的分枝和树枝之間的关系·····	369
木本植物液流速度的研究·····	374
在不同氮和鉀的营养条件下幼龄木本植物对磷的吸收与不同施肥深度的关系·····	380
利用放射性同位素方法研究营养条件与核輻射对植物的作用·····	385
Co^{60} 的輻射对农作物的影响·····	391

同位素和輻射在农业上的应用

В. М. Ключковский

(莫斯科季米里亚捷夫农学院)

农业科学的进步和基础自然科学的发展,特别是物理学、化学的成就,有着极为密切的关系。这些科学以及与其有关的工业生产的发展为科学实验的技术装备提供了新的可能,而同时也就使得农学、生物学、医学、以及一系列其他科学部门的理论概念得到加深。

Φ. 恩格斯在指出生产在科学发展上的作用的同时,也曾指出这种情况的意义,即在工业巨大地发展起来,并产生了很多力学上的、化学上的、以及物理学上的新事实,这些事实不但提供了大量的可供观察的材料,而且自身也给予了和以往完全不同的实验工具,并使新的仪器的制造成为可能^{[1]*}。季米里亚捷夫曾着重指出物理化学的实验方法在用于生理学研究中的巨大意义。在他概述十九世纪生物学的发展时曾经写道:“可以这样说,生理学上的一切光辉成就都和物理学和化学的实验方法普及到这个科学领域中有密切关系,并加以天才地不断改善以便解决生理学上更加复杂、更加细致的课题有着密切关系。这就再次证实了这样一条法则——K. A. 季米里亚捷夫说道——新的研究方法的发现,常常是取得比宣布新学说和对事实的新解释更为重大的成就的泉源”^[2]。

现在,主要由于核子物理学和现代原子物理学的成就使得科学实验有可能得到空前扩展,并且在技术装备上正在进行着剧烈革新的时候,我们来回顾一下对这个在基础自然科学和工业发展过程中所呈现出来的、新的实验研究方法的估价以及它在生理学上、从而也在农学上的意义,无疑是非常适时的。

我们这一时代的农业生产,是科学技术成就可以“用武”的最广阔的园地,而农业中大規模应用工业技术,加上农业研究中使用各种各样科学的实验方法,也对科学技术的发展产生重大的影响。

但是,应当记住,科学和生产的相互关系,在农业中是有其自己的特点的,并且这种特点和在一些工业部门中是有所不同的,这些工业部门(如电力工业、原子工业等)

* 恩格斯:1956,自然辩证法。150页,人民出版社。——译者注

它們的初始兴起,如果没有一定的科学学科的发展是不可想象的。

但是,农业却是在某些精确的科学試驗出現以前很久,在历史上就早已产生了,而且只是随着基础自然科学的发展,农业上丰富的实践經驗才逐渐成为科学研究和科学概括的对象的。在这一阶段,农业科学并没有为新型农业生产的产生創造出前提,而只是尽可能去理解生产活动并使之更加合理而已。

随着精密科学的发展,以及科学的实验方法在农业中的应用和愈来愈大的扩展,那些教条主义理論体系的园地是愈来愈縮小了。同时,农业和工业間的紧密联系,也为科学对农业生产不断增长着的影响創造了更加稳固的基础。

尽人皆知,例如在农业达到現代技术水平以前,化学工业以及农业化学在农业提高上起着多么巨大的作用,而它們則是在用化学知識和化学研究方法來研究农业問題的基础上发展起来的;而关于植物营养、关于土壤肥力的化学条件等方面的科学概念,为工业肥料的生产以及已經研究的和正在进行研究的、合理施肥制度的科学原理,奠定了农学的基础。

但是,农业化学及一般說來和农学一样,它們本身的发展也是和普通化学、物理化学、生物化学和生理学的进展有着密切的关系。这些进展不断地以新的理論概念和新的实验技术丰富着农业科学。因此,季米里亚捷夫^[3]的一句名言說:“只因有了农业化学和植物生理学才开始有現代农业的存在”。这句名言不仅应该看作是对于科学在农业上重要意义的崇高评价,而且应该看作是关于不断加强农业和基础自然科学紧密联系的号召。我們只要立足于对农业过程本質更深入更具体的認識,把更完善的方法应用到研究中去,我們就能够保証农业科学发展应有的水平,可以摆脱教条式煩瑣的議論的重現。只要在农学和基础自然科学紧密联系的条件下,农业就可以充分地应用那些随着新型工业生产所产生出来的新的技术。

当人类跨入原子世紀的时代,新的原子技术正在蓬勃的发展,并且运用到科学和生产的各个领域。核物理及同位素化学的成就(这些成就用来掌握原子核裂变的能量),为在农业和农学研究中应用原子技术开辟广闊的道路。

在这一新技术的“宝庫”中,首先是包括那些各种化学元素的同位素、以及各种核輻射。 γ 射綫、各种能量的 β 射綫、快中子和热中子,在研究和具体运用射綫对生物(包括微生物、高等植物和动物)的作用方面,已經成为极易掌握的工具。輻射效应可以用来改变生物的遗传特性以提高其生产率,也可以作为刺激剂或消毒剂用来調节其生化过程的強度。在創制农业試驗工作中的新仪器的时候,輻射源已經广泛地被应用。

原子能的生产和应用引起大量的(按放射性強度來說)放射性物質的积累,这些

物質是屬於重核裂變產物這一類的。裂變產物以及一些別的輻射源(如 Co^{60}) 是農業中用作放射性輻射源(如用作輻射消毒等)最易獲得的貯備物質。但是,當獲得原子能時,由於裂變產物的形成所產生的那些農業問題的范围,遠遠不局限于此。裂變產物(如錒、釷、鈾、鈾等元素的放射性同位素即屬於這一類)在過去幾年甚至完全沒有引起農業科學的注意,而現在在農學面前提出了嚴重的任務,那就是研究這些重核裂變的放射性產物對於植物的影響;並且闡明當它們進入農業物質循環時,決定那些長半衰期裂變產物的命運的規律。這樣一些規律的研究,對於研究和提出防護措施的科學根據都是必要的,這些措施可以防止農產品中積累放射性物質的不良後果。所有這些問題的研究就促使了農業科學在本質上全新的學科例如放射性同位素農業化學、農業生物物理學得以發展。可以毫不懷疑,由於有了無窮無盡的原子能源,能量資源的巨大增長,在將來不僅對於工業和運輸業,而且 also 對農業有着相當重要的意義。但是,在原子能學本身在農業科學中暫時還未占有顯著地位的時候,這還是個將來的課題。而在今天,原子能在農業上實際的應用,主要是利用同位素和電離輻射作為科學實驗的新的技術手段。

同位素和電離輻射在農業研究中的應用近年來得到了巨大的發展。假若說在這個基礎上已經解決了農業生產上某些巨大的實際問題還為時過早的話,那麼可以完全有把握地斷言,主要是由於同位素方法的應用,目前在農業上許多具有實際意義的局部性的問題已獲得新的闡明。同時,同位素的應用,對於研究那些直接和農學有關的一系列理論問題,也具有重大的作用。

在對這方面已經取得的成果加以評價時,必須考慮到同位素和輻射用在農業研究中的歷史還是不長的。原子技術在農業研究中的最初階段是以解決某些比較簡單的課題為其特徵的;但根據這些已可証實這種新方法的優越性。因此,我們應該十分確切地認識到在許多工作中所呈現出來的那種趨向,即迅速地在這種原子技術的寶庫中找到可以直接推動農業和畜牧業生產高漲的方法,例如通過利用放射性物質和核輻射對生物的刺激作用,從而更快地獲得實踐上具有重要意義的結果。

但是,現在似乎已經清楚了,那就是在農業中應用原子技術的道路上,為了獲取有成效的進展,不論是在農業研究中應用同位素方法方面,還是在利用核輻射作用於生物方面,都不能期望輕易地獲得勝利,而是需要非常嚴肅的、系統的、不懈的工作。在這種情況下,進行一系列的原則性的方法問題的研究是有重要意義的,這些問題是與用來解決農業科學任務的同位素和輻射研究方法的特點有關的。

*

*

*

在我們轉而論述目前在農業上應用同位素和輻射的途徑時,應該首先提出這樣

一些結果,这些結果是在研究作为农业生产基础的最重要的生物化学过程的本质时,应用示踪原子法取得的。在这些生化过程中,首先是光合作用。

根据在进行光合作用时植物放出氧气的同位素組成的測定結果(这个測定是 А. П. Виноградов^[4] 最早完成的)得出了下列的結論:即光合作用中的氧不是来自 CO_2 , 而是来自水。由于应用了放射性同位素碳,現在科学研究对于光合作用的化学本质、其一系列生化反应(在这些生化过程中吸收碳素并形成植物体中各种各样的有机化合物,这些有机化合物則被用作合成那些构成植株各个器官及植物产品的原料)中各个依次相連的环节都有了深刻的理解。在应用放射性同位素碳及稳定同位素氮的工作中,曾揭示了光綫光譜組成及其他条件对于光合作用的进程、以及光合作用产物最初积累过程的方向等方面的影响。由于这些研究的成果,农业科学就有了理論武器,根据这些理論就有可能以人工控制象光合作用这样重要的反应^[5]。

放射性和稳定性同位素在植物营养和代謝研究方面的应用引起新发现,它使我們更加深入地理解植物根系对营养元素吸收的最初过程的机制,并闡明根部营养和碳素吸收之間相互作用的极其重要的方面。借助于示踪原子法曾經发现为根系吸收的二氧化碳可参与受体的形成。受体对于矿质氮素化合物的吸收以及氨基酸的合成是必需的。对于影响植物組織中氧气状况的因素及其与光合作用中所用二氧化碳的来源的关系等問題,也給予了新的闡明^[6]。

应用示踪原子法研究外界环境因素对植物生长发育和代謝的影响,在光合作用和矿质营养之間的相互关系以及根系的合成作用等方面,都获得了新的結果。这些結果对于說明調节植物营养条件的方法上,是有深刻意义的。近代植物营养科学基本概念之一——外部条件和植物体内的物质代謝过程具有极为密切的相互联系的学說(这种学說是由 Приянишников^[7] 在世时发展起来的),由于应用放射性和稳定性同位素新研究方法而获得了愈来愈充实的内容。

同位素方法的应用发现了在生物体内蛋白質、核酸、核蛋白的組成不断地进行着強烈的更新过程。借助于稳定性同位素氮和放射性同位素碳确定了植物叶中叶綠素也进行着強烈更新的事实^[8,9]。最近应用示踪原子法对于豆科植物根瘤固定大气氮素的研究得出了出乎意料的結論,即固氮作用并不是在根瘤菌的細胞中进行的,而是在其周围的根瘤的組織中进行的^[10]。

同位素指示剂曾成功地用来研究嫁接植物的砧木和接穗之間的物质交换和运轉,以及研究果树根系个别部分和树冠之間相互关系的特点^[11];并用来闡明禾本科植物各类根系在供应根部营养以营养元素方面的作用。曾确定了在植物生长发育的早期,从外界环境中吸收磷素的某些特点。在磷素进入植物体和氮素营养条件的相互

关系方面得到了一些新材料。同位素的方法也成功地用来研究根际微生物的发育对于植物吸收矿质营养元素的影响^[12]。

应用同位素方法来研究植物叶部的根外营养问题，曾获得了极为丰硕的成果。应用同位素示踪法使得有可能在根外营养的条件下进行细致精确的观察，如对于物质进入叶部组织及其参与代谢过程的观察，以及物质从处理叶向植物其他部分运转过程的观察^[13]。大家都知道，应用同位素指示剂对于根外营养的研究大大有助于开展棉花、甜菜及其他农作物根外追肥效果的研究，而且也是在我国组织大规模地在生产中考验这种方法的动力。

在研究土壤不同施肥方法和时期的效果方面（主要为磷肥），示踪原子法得到了非常广泛的应用。在研究施肥问题中，这种方法的优点首先是它可以直接测定植物从土壤以及从示踪肥料中吸收的营养元素的数量。在用示踪磷酸盐的试验中曾获得了大量的事实，这些事实对于磷肥施用是有重要意义的。

在用示踪过磷酸钙的试验中，得以明确地指出肥料颗粒的大小对于供应植物不同生长时期磷素方面的意义。特别是曾经阐明在植物生长早期（当和种子共同条施时）小粒肥料在磷素供应上的优越性；而比较大粒的肥料则在生长后期表现出它的良好作用^[14]。这些试验结果是农业向肥料工业提出重新审定生产过磷酸钙质量方面要求的根据。

近年来，农业试验机关对于有机肥料和磷酸盐混合共同施用的某些方法，以及这种混合肥料和石灰配合施用等方面的研究，给予了巨大的注意。同位素方法的应用使得在过磷酸钙和有机肥料配合施用的意义，以及有机无机肥料在什么样的配合比例下对于植物吸收磷素具有良好影响等方面获得了非常客观与可信的结果。同时也证明了植物以什么样的速度和在多大的程度上利用单施的或和有机肥料混施的磷素，以及它和复土深度、部位、使用方法（条施、点施或穴施）的关系等。特别是曾经发现通过和腐殖质混合以提高植物对过磷酸钙中磷素的利用时所需的有机肥料的用量比通常所推荐的数量要少得多。曾经确定，过磷酸钙（或者是有机无机混合肥料）当撒施并浅复土时，它在供应植物磷素方面的优越性只表现在生长前期；而在深施（18—20厘米）时，除去生长的最初几天以外，几乎在整个生长期中，植物都可以很好地利用肥料中的磷素。也曾证实，能够保证植物磷素供应最好的施肥方法是深施基肥（达耕层深度），并在播种或定植时条施、点施或穴施少量肥料相配合^[15]。

应用同位素方法测定植物从肥料中吸收的营养元素的数量并和植物的化学分析相结合，使我们可以确定植物从土壤中吸收的相应的营养元素中有多少数量系来自土壤本身的化合物，有多少系来自事先施入的肥料。这样我们就能够阐明不同的施

肥方法对于植物利用土壤自然肥力的营养元素有什么影响。所得到的这些结果,对于解决象论证輪作中正确的施肥制度这样一些问题,以及对于研究最有效地使用肥料的方法等方面,都具有很大的作用。

应该指出,如果在肥料制备时,能把同位素标记在它的组成中,则同位素的方法就可能直接地比较植物对不同状态肥料的吸收利用。但是,在应用天然磷盐(例如磷矿粉)的情况下,这种方法并不是经常可以轻而易举地达到的。用中子照射天然磷盐并不能使这个问题得到圆满的解决,因为在激活(активация)过程中改变了被照射物质的各种原子的化学状态^[16],因而就发生了放射性的杂质。因此,А. В. Соколов所建议的借助于同位素指示剂,根据所谓选择吸收法对不同状态的肥料有效性进行相对评价的方法,就有了重要的意义^[17]。这种方法的原理是这样的:同时施用两种状态的肥料,其中之一作为标准并进行标记,而另一种不进行标记而与标准相比较。于是就可根据植物从标准肥料中吸收示踪元素的数量,而作出结论。

近来,在研究对不同施肥方法和不同施肥时期的相对评价方面又有了更加完善的同位素方法。例如有人曾经指出^[18],通过不太复杂的田间和盆栽试验设计,不但可以把植物中所含有的元素分为两部分(取自土壤和取自肥料),而且可以进一步划分,例如,在施用基肥并配合条施或追肥时,我们可以确定植物从土壤中吸收了多少某种元素,从基肥中吸收了多少,从条施肥料中吸收了多少,以及从某一时期的追肥中吸收了多少。所有这些,对于借助于精确的试验来寻求科学论证农业中合理施肥制度方面具有实践意义的答案,都提供了更为广泛的可能性。

示踪原子法曾成功地用来研究土壤和肥料的相互作用过程,用来研究土壤中阳离子代换的动力学,用来阐明土壤中磷盐吸收的实质^[19],并曾研究出了土壤代换量的测定方法以及其他一些在农业方面有重要意义的土壤的某些特性的测定方法^[20]。基于同位素方法的应用,曾提出了在同时考虑到灌溉土壤特性的情况下,迅速评定灌水产品的新方法^[21]。另一具有意义的工作是应用同位素稀释作用来测定土壤中对植物有效的磷素的含量^[22]。

为了进一步有成效地阐明某些带有原则意义的问题,在土壤农化研究中应用同位素的方法是极为需要的。这些问题涉及到当同位素(特别是放射性同位素)参与某些过程时的特点。现在应该提出属于这类性质的两个主要问题:其中之一即不同质量的同一元素的各个同位素之间,它们在质量上的差异,对于这些同位素在土壤-植物这样一种体系中的行为到底影响到什么程度。

大家都知道,轻元素的同位素(特别象氦这样的同位素),它们的质量上的差异,对不同同位素组成的化合物,不论在化学性质或者在物理化学性质方面,都有极为重

大的影响。这些差异反映在氮的各种同位素在生物体系中的不同行为上^[23]。在使用这些元素进行同位素試驗时,这种情况必須加以注意。

至于象氮、硫、鈣等元素的各种同位素在質量上的差异,到目前为止,一般認為其在生物試驗中不至严重改变它們的习性。

因此,1953年 П. А. Власюк^[24]报导的實驗是动人听聞的。在他的試驗中“鈣、磷的放射性同位素进入植物的速度,和它們的稳定同位素比較起来,要慢10—50倍”。可惊的倒不是这个一般的結論,即同一元素的不同同位素,它們的习性是不同的。值得惊奇的是这些所观察到的进入植物体的速度差异是如此巨大! 在1955年同一作者曾叙述过用春播巢菜做的一个試驗,在这个試驗中,植物中鈣在不同处理中的比放射性強度与这些植物的培养液中鈣的比放射性強度相等或只为其1/2, 1/4, 1/5。作者得出結論說:放射性鈣(Ca^{45})的原子是“以不同于其稳定性同位素原子的速度进入植物的”^[25],这些結果和結論看起来是应当引起极大注意的。因为,它們引起了这样的怀疑,即当观察物质的吸收、运轉和代謝过程时,示踪原子法是否适用的問題。但是,我們还没有看到过任何著作依据实验材料批判性地来审查上述那些既未被公認、也未被推翻的結論*。

1956年,在我們的研究中,Н. И. Селеткова曾进行了和上述相类似的試驗,将巢菜、豌豆、烟草在生长一开始即置于含有放射性同位素 Ca^{45} 的营养液中进行砂培,对营养液和植物不同部分鈣(Ca^{45})的比放射性強度的測定並沒有証实 П. А. Власюк所得的結論,即鈣的各个同位素在它們从营养液进入植物时有显著的差异^[参見24,25]。在不同植物标本中,鈣比放射性強度的测量偏差不超过試驗誤差(即不超过在重复測定营养液中鈣的比放射性強度时,测量本身所变动的范围)。因此,我們的結論是:上述关于鈣的放射性的和非放射性的同位素在进入植物时速度上不同的結論,是沒有經過驗證的。当然关于不同同位素組成的分子或离子,在性質上的不一致性以及研究出現在农化試驗中的这种不一致性等問題,完全沒有因此而消失。但是對我們來說,似乎只有在試驗准确性要求极高时,才具有方法上的实际意义。

不过應該強調的是:关于生物体系中同位素效应的詳尽的研究具有巨大的理論意义。而且毫無疑問,同位素方法愈广泛应用,对于用同位素法所获得的結果的准确性要求愈高,這個問題也将愈引起人們的重視。

* 这里提一下,在生物試驗中,同一元素的同位素在行为方面的巨大差异这个类似的問題,在动物体中,也曾提出来过。有人說^[26]:在計算鈷的放射性同位素和稳定同位素的平衡时,曾发现他們的不同行为。在有机体中,稳定性鈷被截留60—70—75%,而这时放射性鈷被截留的只有25—30%。由此得出結論說:动物細胞对于鈷的不同同位素有不同的关系。

与示踪原子法在土壤学、农业化学和生理学研究中的应用有关的带有原则性的第二个问题是对于辐射效应可能的作用评价的问题。这种效应当我们用放射性同位素进行试验时,总是在某种程度上存在的。一般说来,这个问题是与更加广阔的问题——电离辐射的生物效应——有密切的关系。

电离辐射对植物的作用,这个农学上的新问题,由于它和同位素及辐射在农学中应用的前景有关,我们对于它的某些方面加以简要的讨论是必要的。

现在,当放射性同位素正在愈来愈广泛应用于生理学、农业化学、土壤学的研究中的时候,关于这些放射性同位素当它们进入植物组织,并在组织中积累起来时,以及当它们加入到土壤或营养溶液中时,它们的辐射效应问题,即使纯粹作为方法来看,也具有首要的意义。

为了有成效地在这些研究中应用放射性同位素的方法,必须确证所使用的放射性水平和电离剂量符合于下列原则,即辐射射线对于我们所要研究的那些过程的自然进程不得引起畸变。例如,示踪肥料的比放射性强度应当符合于这样的要求,即射线对于示踪元素的进入根系(在根外营养的情况下,则对于示踪元素的进入叶部)以及对于它们在植物不同部分中的运转、分布和积聚不得产生影响。当借助于同位素示踪法研究植物的物质代谢过程时,所加入的示踪元素或示踪化合物的比放射性强度不得超过这样的水平,即在这种水平时,射线可以直接地或间接地引起所要研究的那些代谢过程强度的改变。但同时类似的试验中,当规定原始示踪化合物比放射性强度时,必须经常注意到问题的另一方面,即放射性的水平必须高达足以使我们可能对最低量示踪元素的放射性进行准确的测定。这一最低用量应该通过相应的试验来确定。

到目前为止,这类问题的解决是基于如下的前提,即通常所应用的放射性同位素的剂量(即所谓指示剂量),在用植物进行试验时,一般不至对所研究的生理、生化过程产生巨大影响。但是,对于指示剂量的理解是极其相对的,因而有必要通过有系统的研究进行验证。这些研究因此也就可以更加精确地确定,在某些典型的农化和生理试验条件下,它们的指示剂量范围。

应当指出,文献上的结果,甚至对象“ P^{32} ”的射线对于植物吸收磷有无影响”这样一个简单的问题,也是十分矛盾的。一部分文献说:在一系列的试验中所设计的示踪肥料的比放射性强度,可以在相当广阔的范围內,对植物吸收磷不产生明显的影响。但另一部分文献说:在试验中,甚至极低的放射性水平,已对磷的吸收引起某些改变^[27]。

因此,目前在农业同位素研究中,有步骤地加强关于测定指示剂量、允许剂量、致

害剂量的极限的研究的必要性是不应有所怀疑的。在我们的实验室中曾进行了这类问题的研究,并且得到了一些结果。这些结果,不论从方法方面,或是更广泛地从放射性生物学的观点来看,都是有意义的。

只有在全面地研究放射性物质在广泛的浓度和电离剂量范围内对植物的生理效应,这一问题才有可能获得合理的解决。对我们来说,这一点从一开始就是很明确的。在这方面所进行的研究证明,一般说来,使高等植物出现明显的辐射危害征象的剂量,是远远高于作为指示剂使用时的放射性同位素剂量的范围的。

但是,植物对于辐射危害的敏感性是和很多因素有关的。因此,企图找到某一个对植物来说能适用于所有情况的放射性物质的指示剂量、允许剂量和致害剂量的范围也许并不是正确的。

除了不同品种的植物对辐射敏感性不同而外,非常明显,植物年龄的不同也会引起对射线敏感性的改变。在植物生长的早期,对辐射危害的抗性最小。

此外,曾经确定,植物对放射性物质危害作用的敏感性,在很大的程度上,决定于营养条件以及其他一些外界因素。例如,磷素营养不足的植物和充分保证磷素营养的植物比较起来,前者对放射性磷的危害作用要敏感得多^[28]。由于水分状况的改变和光照不足,使得光合产物的积聚减低,从而破坏了正常的物质代谢过程。这些情况都会影响植物对辐射危害的敏感性。

在研究放射性物质对植物的作用时,下述联系到植物本性的一个剂量学的特殊问题具有极其重大的意义,而这个问题到目前为止,远还没有予以充分的考虑。

显然,各种元素的放射性同位素对植物的作用应该和决定着它们在其组织和器官中分布的特点的化学属性有关。在这一方面,具有重要意义的不仅是那些象碳、磷、硫、钙、钴、锌等元素的同位素在植物中的分布特点,而且属于裂变产物的元素同位素(如铀、钍、镭、钷、钷等)的分布特点也具有重要意义。一部分裂变产物可以在生殖器官中大量积聚,而另一部分则主要集中在营养器官中,或大部分集中在根系中,而只有不大的一部分向植株地上部分运行。

不同元素的放射性同位素在植物中的不同分布特征,以及它们以不同的强度被植物吸收,这些情况就使得当它们在外界环境中以同一浓度存在时,而对植物器官的辐射效应却有差异。这种巨大差异的形成也与同位素的衰变方式和辐射粒子的能量有关。例如,在 β 射线的最大能量很小时,植物组织中所含有的放射性物质在进行衰变时所放出的能量,其中大部分可以被植物组织所吸收,而几乎和器官的大小和形状无关。但是对于高能量的 β 射线,特别是对那些放射 γ 射线的同位素来说,被含有这些同位素的组织所吸收的能量,可能只是极其不大的一部分。这种差异由于高等植

物的特殊結構，如具有不大的橫向器官，而特別明顯地表現出來。計算證明，在厚度為 0.2 毫米的葉片中，總共被吸收的能量只相當於含在該組織中的放射性磷在衰變時所釋放出的能量的 25 %^[29]。

因此，植物組織所受到的，由其中所含的具有高能量的輻射粒子的同位素，當其衰變時而產生的輻射劑量率（мощность дозы）（以單位時間中的物理當量倫琴或拉特表示）不僅和組織中放射性同位素的濃度有關，而且在很大程度上和這些器官的大小和形狀有關。

在這些情況中，還有一個重要因素也是值得注意的，而過去這一因素往往為那些從事於放射性物質對植物的輻射效應的研究者所忽視。假若植物組織中（如葉）的放射性同位素在衰變時所放出的能量，大部分並不被這一組織所吸收，而是散布到周圍的環境中去，那麼植物的某一器官所受到的輻射劑量就應由兩部分組成——一部分來自內照射（即來自在這一組織中所進行的衰變），另一部分來自外照射（即來自鄰近器官或鄰近植株的輻射），這種外照射的大小，特別在 γ 輻射源的情況下，已經不僅僅決定於植物器官大小和形狀，而且也與這種環境，即供試的植物羣體的大小有關。

例如，假若在營養鉢中有一株植物或幾株同樣的植物，如果它們中的每一株都含有同一數量的能放射硬 β 或 γ 射線的放射性同位素，那麼只有一株一盆的植物組織所受到的劑量（以拉特/秒表示）將要小於幾株一盆時每一組織所受到的劑量。假若把幾個這樣的營養鉢（上面種有含同樣數量放射性同位素的植物）放在一起，那麼外部照射由於相鄰營養鉢的影響，還要進一步增大，因而每一株植物各自受到的總劑量也就相應地增大。

因此，即使在使用同一種放射性同位素的試驗中，當它們在植物的營養環境中具有同一的濃度，它們以同一的強度進入植物，並且它們在植物器官中的分布也是相同的，而劑量條件卻可能遠不是一樣的。這種輻射的組合體因素的複雜性，當我們用能放射 γ 射線的同位素布置盆栽或大田試驗時，必須特別予以注意。

這裡所簡略談到的一些情況，在我們研究放射性物質在農業上的生物效應以及在我們研究有關裂變產物的農業化學問題時，是有重要意義的。

在這一篇簡述中，不可能對於這些在現代農業科學上有迫切意義的複雜問題，加以詳盡的全面的闡述*。我在這裡只能談一個例子來加以說明，在我們研究放射性物

* 關於放射性裂變產物在土壤中的行為，關於它們進入植物以及在收穫物中累積的問題，在不久前發表的 В. М. Ключевский, Ч. В. Гулякин 等的著作中曾有詳細的闡述^[30]；關於土壤和植物放射性污染問題的文獻總結，請參閱 Ю. А. Поляков 和 Н. С. Гермогенова 的著作^[31]。

质对植物的作用时，特别是当我们研究放射性裂变产物在土壤中的习性及其对植物的作用时，农业生物物理学和同位素农业化学所遇到的多么独特的现象，和多么与众不同的任务。

在 И. В. Гулякин 和 Н. И. Селеткова^[32] 的著作中曾经指出，象放射性钍这样的放射性元素，当它们通过根系进入植株时，植物地上部器官的放射性强度，几乎完全是由其短半衰期的衰变子体（钍 X 及钍 B）在这些器官中的积累量所制约；母体同位素（放射性钍）几乎完全不进入植物地上部分器官，而大量地阻留在根中。因此，当在营养液中有放射性钍和与其处于放射性平衡的子体存在时，在进入植物的过程中以及当从根部向地上器官运转时，它们之间的平衡关系就受到剧烈地破坏，并且产生了同位素母体和子体的分离。

我们曾经验证了裂变产物的某些简单的放射族（радиоактивное семейство）在这方面也有类似的现象^[33]。例如当 $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$ 的平衡溶液和土壤相互作用时，曾经发现放射性同位素的母体和子体在吸收方面是不同的。在中性盐溶液中，当 $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$ 从吸附状态被代出时（在放射性平衡恢复后），后者的分离现象特别明显。土壤中吸附态的并处于相互平衡的 $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$ 从土壤中通过根系进入植物时，母体总是要超过子体钇。因此，当这种在发生上成对偶的放射性同位素开始进入植物后不长的一段时期中，所采的植物样本的放射性强度并不是稳定的，而是随着子体钇的不断积累，随时间而增加。这种情况一直继续到平衡关系的建立。当通过根系进入植物地上部器官时，母体放射性锶在吸收方面高于子体的类似现象，不仅表现在这些放射性同位素从土壤中进入植物的时候，而且表现在处于相互平衡的 $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$ 加到含有石英砂的营养钵中的时候。

但是，当 $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$ 进一步从已经形成的、并且含有母体锶（从而也含有在衰变过程中不断产生的子体钇）的器官（如下部的叶）向上面的叶子运转时，都发现短半衰期的子体同位素具有比较大的活动性。在一个把 $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$ 通过个别植物叶部进行根外施用的试验中，连续观察这些放射性同位素从处理叶向植物其他部分转移时发现在从植物地上部分的某一部位向另一部位运转的过程中，短半衰期的子体放射性同位素 Y^{90} 和母体 Sr^{90} 比较起来，子体更大的活动性表现得最为明显。

在以根外施用的方法将 $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$ 施于向日葵的叶子上时，发现了这样情况，即在植物样品（分布在处理叶上部的叶子）采下后 10—15 天这段时间内，植物样本的放射性强度减少到原来放射性强度的 $1/8—1/10$ 以下。这一情况说明，短半衰期的子体放射性同位素钇在这些叶中运转的优势，同时也说明了母体锶向这些器官运转是以小于平衡关系好几倍的速度进行的。

这些結果証明：第一，在研究那些发生上具有一定关系的放射性核素*在植物中的运轉、分布和吸收时，必須考虑到上述这种放射性平衡被破坏的現象；否則，对于这个因素的忽視，可能导致严重的差誤。第二，这些結果表明，在植物吸收同族放射性物质时，我們評定植物不同器官所受到的輻射剂量时，也必须考虑到母体核素和子体核素在吸收和分布方面的差异。

所有上述的情况使我們得到这样的結論：在我們研究象“放射性物质对植物的效应”这样的問題时，农业科学所遇到的是一个极为复杂的问题。这首先是由于在这些試驗中，环境条件是极为多种多样的，以及由于精确測定輻射对植物效应的生物物理景象存在着困难。

我們对于这一問題的复杂性，应特別加以注意，还有从大量报导中提到关于通过用放射性物质的溶液浸种或把少量放射性物质加到土壤中去可以提高农作物产量和品質的問題^[33,34]，尽管有相当长的研究历史，但到目前为止，还是极其模糊的，而結論是极为矛盾的。关于使用上述方法对植物的影响，或一般所謂放射性物质对植物的效应这个问题，根据已經积累的資料来看，可以归納如下几点。

在文献中曾叙述了大量試驗，在这些試驗中曾发现在放射性物质作用下，植物的产量获得了增加，生长和发育加速了。这些观察是在具有极寬的剂量幅度的試驗中得出的，剂量幅度从浸种用的每升溶液中含有 0.5 毫居里的浓度直到以“极其”微量的放射性物质加到营养液或土壤中去，这时的剂量是远远小于通常植物所处的环境中天然放射性的水平。

而同时却有大量的試驗，在同样广的剂量范围内，沒有发现任何放射性物质对植物的刺激作用，甚至有的情况还发现負的效应。

我們应当指出的是，某些作者在研究微量放射性物质对植物的作用时，是从这样一种概念出发的，即天然放射性元素也和其他一些植物所必需的非放射性元素（如微量元素）一样，对于植物的生活也是必需的，从而断言放射性本身就是决定天然放射性物质在生物体中作用的一个因素^[參見33]。

因此，应该指出在不久前发表的具有重大意义的 А. П. Виноградов 的著作^[35]。在他唯一的应用天然放射性同位素 K^{40} 所作的試驗中証明，放射性对于麴菌 *Aspergillus* 的物质代謝強度和生长並沒有任何重大的影响。这个試驗結果不能不使我們以批判态度来对待所謂“天然水平的放射性对植物是絕對必需的”这样一种論断。

* 核素 (нуклид) 是指具有一定的質量数和一定原子序数的原子，如 $^{32}_{15}P$ ， $^{60}_{27}Co$ 。而且有相同原子序数，但是質量数不同的核素，則互称为同位素。核素和元素的区别是一个元素可以有几个核素。有时，在习惯上核素和同位素常混用。——譯者註。