

原子能科学在农业上的应用

赵善欢 刘紹德

农业科学的发展是和物理学、化学及其他基础科学的发展分不开的。由于近代原子核物理、同位素化学、电子学技术的发展，给农业科学研究和农业生产开辟了广阔的前途。原子能科学服务于农业，基本有两个方面：

第一、示踪原子法的应用，这是科学家研究生命有机体活动秘密的有力工具。近年来世界各国正在广泛地利用这种先进的方法研究动植物的生物化学过程，营养的吸收运转和分佈，植物的生长和发育，授粉和受精过程等等。总之，在生物学领域里和农业各个部门中，示踪原子法的应用有着巨大的实际意义，例如研究根外施肥的吸收时间和速度，作物施肥的时期和深度，害虫的飞翔和分佈，植物生长素的生理作用，动物血液的测定，植物体水分的测定等等。无论在理论上，生产上都是极其重要的。事实证明运用这新方法，获得了许多革新的资料，丰富了理论，推动了生产。

第二、辐射线的利用。由于放射性同位素原子核衰变时，放出射线和能量，使人类控制生命有机体获得新的有利方法，

高剂量可以杀虫灭菌，贮存农产品；低剂量可以刺激农作物生长发育，提高产量，改变遗传性，选育良种；利用放射线还可以测定土壤水分和密度；又可以在未收获前测定农作物的产量。

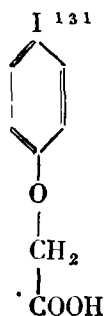
由于原子能科学在农业中应用已经取得良好的效果，因此各国都很重视，在苏联的高等农业院校和农业研究机关和其他有关生物研究单位都设有实验室，研究原子能在农业及生物学上的应用。例如在格鲁吉亚共和国黑海沿岸等地正在利用同位素研究亚热带作物，梯比里斯植物保护研究所正在研究檸檬的干枯病，它可供我们研究华南柑桔黄龙病的参攷。1955年7月苏联科学院举行了和平利用原子能会议，会上宣读的有关生物学部分的论文已彙集成册，1958年4月22—26日在莫斯科召开了苏联农业中利用放射性同位素和射线的科学会议，报告的论文有100篇。在党的正确领导之下，我国原子能事业正在日益发展。第一座原子反应堆和第一座回旋加速器在苏联无私的援助下，已于去年国庆节前夕投入生产。各地研究原子能在农业上应用的实验室，也逐步建立起来。今后同

志們会有很多机会去接触这门科学，或者参攷有关的文献。本文的主要目的在于把原子能在农业上应用的两个主要方面的方

法，成就及前途作一简要的初步介绍。由于我們接触这门新的科学时间还不长，学习不够深入，錯誤在所难免，請讀者們指正。

一、示踪原子法在农业上的应用

所謂示踪原子，就是把要研究的对象用放射性同位素标记，例如要研究植物刺激素对位苯酚代乙酸对植物插条生根的作用时可以用 I^{131} 标记这个分子中的碘原子上，其标记后的分子式如下：



要研究磷肥的根外营养时，可用 P^{32} 标记过磷酸鈣浸提液，然后把标记好的化合物浸(或噴)到植物体上，每隔一定時間(例如10分钟)直接用定标器連接計数管的

装置在沒有沾染放射性的莖或叶上測量其放射性强度，由于放射性同位素在衰变时能放出透过植物組織的射綫来，因此能在这种仪器装置上形成一种电訊号(我們称为脉冲)很灵敏地測出标记原子的行踪，所以称为示踪原子法。如果形成的訊号愈多，說明放射性愈强，吸收的刺激素(或磷肥)就愈多，因此植物吸收了多少磷肥？什么时候开始吸收？分佈在植物的那一部分？都可以获得准确的回答，如果考虑到植物組織对射綫的吸收作用时，那么取定量的供試样品烘干或灰化后測量，那将得到更精确的数据。

利用示踪原子法能够揭发生命活动的秘密获得許多过去无法得到的資料，解决农业及生物学研究中用別的方法不能解决的难题。例如用稳定性同位素 O^{18} 标记研究結果，获得了光合作用放出的氧是从水

中来，並不像过去那样认为是从二氧化碳来的，利用放射性 C^{14} 标记的研究証明植物的根也能吸收碳素营养，而且吸收量可佔植株全部吸收的28%或更多。我国高额丰产的創举，使得根据叶面吸收 CO_2 和光能計算产量的理論无法解釋，有可能是由于大量施用有机肥在土壤中产生丰富的碳素营养，作物的根吸收了这些碳素作为增加产量的条件之一。利用示踪 C^{14} 研究証明光合作用是分两步走；第一步是在光作用下生成不稳定的含氢化合物(RH)，第二步是RH和 CO_2 結合，在黑暗中进行，而且証实了过去认为碳水化合物是光合作用的最初产物而后轉化为蛋白質脂肪等次級产物是不全面的。利用車軸草在放射性 CO_2 中露光一秒鐘，結果有8.1%的 C^{14} 存在于氨基酸中，而这时碳水化合物中並沒有发现 C^{14} ，这說明氨基酸的形成比碳水化合物还早，更不一定是从碳水化合物轉化而来的。不同的光波所得光合作用产物可能不同，这个問題引起农业及生物研究者极大的兴趣，用示踪 C^{14} 研究証明藍光合成蛋白質較多，紅光形成碳水化合物居多。这些研究結果表明，利用人工方法合成食物，並不是幻想而是科学家今后的任务。

示踪原子法的主要特点之一是具有高度的灵敏性。最灵敏的天秤能决定 4×10^{-9} 克，微量化学分析法能达 10^{-10} 克，光譜分析法能达 3×10^{-14} 克，而示踪原子法可以达到 $10^{-18} - 10^{-20}$ 克，这对

于研究动植物生理有着重要的意义。大家都知道许多微量元素对生物体起着重要作用,当我们研究动植物对微量元素的吸收运转和分布时,产生极大的困难,那就是量太少了。例如在1000磅的大水牛中,估计只有一毫克的钴,然而钴的作用却很大,用普通生物化学方法去研究这样微量的东西那是十分困难的,利用放射性 Co^{60} (放出 γ 射线,半衰期为5.3年)便可以很灵敏地测量出来。有人研究证明动物需要钴是因为肠内微生物合成维生素 B_{12} 的缘故,如果缺乏钴会使牛羊患贫血病。利用示踪 Ca^{45} 研究母鸡下蛋知道每下一个蛋需要消耗体内2克的钙,并且证明形成蛋壳所需的钙主要来自骨骼中,并不像过去认为主要来自消化道。这说明示踪原子法可在正常生理情况下研究物质在动物体中所起的变化,这方法合乎生理条件,也是突出优点之一。

还有示踪原子法的应用不受外界环境条件对方法本身的影响,因为无论在高温低温环境,在高山、平原、陆上和海底,高空和土中原子核的衰变都是同样进行的,并且方法比较简单,可以避免繁复的化学分析手续,研究期限大大缩短,所得结果可靠,符合多快好省的要求。

示踪原子法虽然有着上述的特点和优越性,然而并不因此而代替其他生物学和化学研究方法。相反,应该很好的和其他方法结合起来,例如在研究植物营养和代谢,时常须要和生物化学方法相结合,研究光合作用产物和化合物在有机体内变化时,常常和色层分析法相结合,这种把示踪原子法和色层分析法相结合特称为放射性色层分析法。这种方法的基本原理是这

样的:被研究的混合物(例如各种糖类或氨基酸,)在两种不相混的溶剂中(例如水和酚)的分配系数不同,如果在滤纸的一端滴上一滴带有放射性的被研究的混合物,然后将这一端与有机溶剂(例如酚)接触,则混合物中的各种化合物在滤纸上的移动速度不一样,结果在滤纸上的位置亦各不相同,使用显色剂显色,即露出放射性色斑,然后测定色斑的放射性,则可以定性和定量地研究混合物的质和量。

如果把纸上层析的滤纸条放到X光底片上感光,能更清楚地看出放射性色斑的位置来,根据感光黑度的强弱可以进行定性和定量的研究。这种凭本身的射线使照相底片感光而不用照相机的照相方法,我们特别称为放射性自动摄影法,这种方法与放射性色层分析法一样具有很高的灵敏度,能达 10^{-19} — 10^{-20} 克,当采用这个方法研究营养物质在生物体内微细分布时极为有利,可以利用肉眼直接观察营养物质在植株中各部分甚至组织内部的分布状况,利用 P^{32} 对萝卜作根外追肥自动照相时可以看出 P^{32} 主要积存在萝卜的块根中,我们曾经利用花生植株从根部引入放射性的过磷酸钙溶液自动照相结果证明 P^{32} 主要存在于花生叶脉和叶尖部分。这种方法很简单,不需要贵重仪器,效果很好,在生物学和农业研究中具有广泛的使用价值。

利用示踪原子法研究土壤学,农业化学和植物营养有着头等重要的意义,苏联在最近证明:土壤的结构影响着磷素可给性,在红壤中从分散的小团粒土壤植物吸收的磷比在从大团粒土壤者更多,而在黑钙土中则得到相反的结果,在黏壤质灰化土上利用 P^{32} 研究植物从颗粒肥料中吸收

的磷素营养时发现：在不施石灰的土壤中植物主要从颗粒肥料中吸取磷素而在施用石灰的土壤中植物就没有这种优势，由此可见施用石灰能使土壤固定磷酸盐的条件改变，从而影响植物对磷素的吸收。

如果把标记的肥料进行不同深度的施肥方法的研究是有很大的实践价值的，因为这样能够决定农作物究竟能够吸收多深的营养物质，从而决定施肥深度和耕作深度和决定种子与施肥位置等等，在苏联曾经利用 P^{32} 研究燕麦播种时施肥位置和种子位置的关系，如果把肥料放在小行下3厘米深处出苗后三天即吸收大量 P^{32} ，如果在小行下10厘米深时则在第五天开始吸收，但是在离小行5厘米远和3厘米深时要到第10天才有少量吸收，同样用燕麦作材料研究磷肥用层施和混施法的吸收问题时，发现第一次收获时燕麦吸收的磷肥是层施的佔多，但第二次收获时就没有区别了，这说明层施在植物生长初期是有利的。利用玉米研究证明迟施追肥时蛋白态的磷酸盐含量要小于早施的。这证明了为了保证核蛋白质的形成，必须早施磷肥。

利用放射性同位素研究木本植物及果树的根系营养时，获得了许多新的资料。苏联许多科学工作者研究证明根际微生物影响着植物营养的吸收，植物根部的积极吸收和移动是由于根系尚未木栓化的幼嫩部分来完成的，衰老的木栓化部分仅是消极吸收养分，吸收量相差在几十倍以上，并且证明木本根系吸收养分与养分浓度、温度、水分等环境因子有关，在晴天比阴天为多，钾的吸收早晨达最大值，夜间降低，利用放射性同位素研究知道磷素在自根果树的一个支根引入时，在树冠的分佈

是局部的，因而得出施肥要均匀施在树冠投影的四周的结论。

根外营养是近代农业科学的成就，利用 P^{32} 作根外追肥研究指出磷很快就输送到花蕾中，防止棉花在孕蕾期间因缺乏营养而落蕾现象，在这个时候根外追施磷肥比在土壤施肥吸收多8—10倍，由于这项措施能使棉花增产10—30%，因此在苏联已经用飞机进行棉花根外追肥，利用放射性磷对大豆作根外追肥时证明大豆的叶子能很好地吸收施在叶上的液体或粉状磷肥。在植株形成豆荚之前作根外追肥对生长有良好影响，在豆荚出现期作根外追肥对种子产量和提高含油量有良好作用。

利用标记 C^{14} 研究大豆生物学时最近发现：在低层的叶子其同化产物主要供给根部，上层叶子其同化产物主要供给植株的上部，中层叶子则上下兼顾，在密植情况下，下层叶子因遮蔽而缺乏养分而又无法从其他叶子运来，因而使叶子脱落，豆荚形成之后也随之而落。利用示踪原子研究证明豆科作物的根瘤菌固氮不是直接在菌体内而是在根瘤组织周围，因此现在研究的重点不是如何提高根瘤菌的活动性而是利用选种或生态学方法以提高豆科作物本身固氮的能力。

植物生长刺激素在农业中的应用近年来十分广泛，可以刺激植物生长，防止落花落果，促进插条生根，改变枝条生根的极性现象，然而生长刺激素的作用机制至今仍未弄清，利用示踪原子法在这方面研究开辟了新的成功的可能性，利用放射性 I^{131} 标记的4-碘苯代乙酸溶液供给番茄的枝条，利用核子计数装置或自射线照相法可以看出生长刺激素主要集中在生长

的幼嫩部分和果实中，使根和叶子中的养分顺利地输送到果实中来，因而能刺激生长，防止番茄落果，苏联学者利用 C^{14} 标记 α -萘乙酸研究指出不同植物对生长刺激素的吸收和分佈是不同的，例如插条难生根的酸樱桃比易生根的黑穗状醋栗对 α -萘乙酸的吸收和重新分配的程度要弱得多。並且有效地破坏了酸樱桃枝条下部生根和上部抽芽的极性现象。

在研究动物营养和家畜病害方面示踪原子法应用也是和植物一样有用的。利用放射性 I^{131} 研究证明奶牛产奶与碘有关，因此在奶牛的日粮中应加入一些碘。利用示踪原子研究动物的代谢时证明动物体内的脂肪是不断更新的，并不像过去认为脂肪只有在营养十分缺乏时才利用的论点。利用标记的叶绿素研究证明叶绿素参与动物的造血机能，因此家畜要有青饲料。利用 P^{32} 标记的肥料放入鱼池内发现 P^{32} 先被水中细菌和水草吸收，然后再被小脊椎动物吸收，最后才进入鱼体内。根据上述的研究可合理制定饲养家畜和鱼类的制度。例如经研究后制定饲养鲤鱼和鲱鱼的先进制度，使得单位面积产量提高五倍。

植物遗传选种是农业研究中一项重要课题，理论上的争论也比较多，这个原因之一是对植物授粉受精过程仍未彻底了解，利用示踪原子法将开辟广阔的途径，利用标记的花粉可以研究授粉受精过程一系列的理论和实际问题，苏联利用 P^{32} 和 S^{35} 标记烟草和玉米花粉研究了“双受精”生理效能的本质，研究的资料表明辅助授粉距离基本授粉时间愈远则放射性有规律地降低，这说明在受精的“基本过程”进行过以后，后来的花粉组在新陈代谢过

程中把自己的物质带入胚珠或开始发育的种子。利用 S^{35} 标记了玉米花粉研究了玉米进入胚囊花粉管物质数量与什种第一代中父本性状显现程度的关系问题，研究所得资料证明进入胚囊的花粉管物质数量和什种第一代父本颜色的出现程度存在着正相关，利用标记的花粉研究混合授粉时可以确定究竟那一个父本与母本受了精及其一系列的生理问题。无疑的在今后利用示踪原子法还可以研究许多动物和植物的受精过程及植物的无性什交等问题。

植保工作在农业生产上占着重要地位，植物保护上存在的问题也可以利用示踪原子来研究，例如研究毒剂对虫体作用的持久性、毒剂在害虫体内的扩散和分佈，毒剂使用时对作物的作用等等。近年来利用带有示踪原子的有机磷剂研究药剂进入植物体内的速度及其运转情况，获得不少成就。利用同位素研究DDT在家蝇上的代谢时发现在抗毒品种变化为DDE（双氯苯二氯乙烯）利用示踪原子亦可以研究昆虫的飞翔及越冬场所。例如全苏植物保护研究所利用 Co^{60} 标志盾麦蚜蛾成虫发现蚜蛾由麦田飞至森林越冬能飞达10—12公里，成虫越冬后再飞至附近的麦田为害。其他在病原微生物及传染途径的研究，示踪原子方法也具有广阔的前途。

总之，利用示踪原子这个先进的研究方法，在农业各个部门中应用非常广泛的。然而，我们不能忘记在使用这个方法时必须注意以下几个前提条件：

1. 由于同位素及仪器的来源困难，在使用这个方法之前必须考虑到用其他方法无法解决或者解决不彻底，或者利用这个方法可以大大地提高准确性和缩短时间的

前提下才使用它。

2. 不应忘記放射性物質对生物体本身的作用而引起生理不正常的可能性, 因此必須了解不同生物体对射綫的不同感受度。

二、电离輻射在农业上的应用

电离輻射的利用, 是原子能在农业上应用的一个重要方面, 是人类有計劃控制生物有机体的一个新方法, 它是使我們获得定向变異的一个有威力的工具。

利用物質对射綫的吸收, 散射作用, 可以測定土壤水分和密度。苏联和我国都已製造出凭借 γ 放射源的土壤水分测定仪, 使用干电池在田間直接测量土壤的水分和密度是很灵敏的, 这就可以避免烘干测量土壤水分的方法的繁重劳动, 而且大大縮短時間。这种方法的基本原理是射綫通过土壤时, 随着土壤含水量的增加而使得测量的脈冲数有規律地降低来实现的。同样的道理, 可以利用射綫来測定田間作物的产量(例如甘蔗在田間的产量)。

由于宇宙綫和地球表面土层中微量放射性物質的存在, 使得生物体时刻处在天然的低剂量的輻射中, 也就是說, 天然致电离輻射乃是生物有机体发展时的外界环境条件的組成部分。因此利用电离輻射来增加农作物的产量及改善其品質, 是有可能的, 因为微量的放射綫存在, 通过其能量作用, 使有机体組織內中性分子活化, 活化后的分子直接参加了新陳代謝的氧化还原过程, 从而加强了光合作用。这就是利用低剂量电离輻射刺激农作物, 加速其生长, 提高其产量的理論根据。

1951—1952年苏联П.А.符拉修克院士利用放射性鋅和放射性磷(23—26微居

3. 注意射綫对人畜的有害作用, 参加放射性工作的人員必須先进行技术訓練, 严格遵守安全規程, 然而不应因此而产生惧怕心理。

里)的盆栽試驗下, 由于放射綫的影响, 使甜菜根重量增加0.5—1倍, 含糖量提高0.7—1.5%。1953年利用 P^{32} 对种子进行播种前处理, (剂量为14克0.5至12微居里), 在田間条件下使糖用甜菜增产38.8—46.6公担/公頃。1954年用 P^{32} 1—10微居里的盆栽影响下, 使番茄果实增产40—46%。利用 Zn^{65} 对羽扇豆进行播种前种子处理, 使根瘤数目大大增加, 从而增大了羽扇豆的地上部重量。苏联H. Г. 热日里用天然放射性物質(含鈾、鈷、鋼的頁岩)放于土壤中对69种农作物537个田間試驗証明增产从10—40%, (大麦三叶草增产20—40%)部分在10%以下。利用X射綫500—1000倫影响下能使紅蘿蔔增产。1000—2000倫作用下能使包心菜增加收获量。然而在各国学者的报导中, 所得結果頗不一致, 相反亦有坏結果的, 这是因为放射源来源不同, 剂量不同, 試驗处理的外界环境条件亦不一致的緣故。因此我們必須有分析地对待这些結果。这也說明在这方面的的工作还做得不够深入, 今后还需进一步去研究。

射綫不仅对有机体的生长具有刺激作用, 而且还能改变有机体的遺傳性, 使农业选种育种工作开辟了新的途徑。苏联、美国、德国、瑞典在这方面做了不少工作, 苏联曾經利用X射綫照射种子, 使小麦—冰草什交种的严重倒伏現象改变成抗

倒伏、产量高的新品种，利用放射綫还培育出无芒大麦，早熟甘藍等品种，在瑞典也获得了抗倒伏的大麦輻射突变系。同时获得了种子量多脂肪含量高的芥菜品种。利用放射性育种法还获得了蛋白质含量高的大麦品种和烤製面包用的品质优良的小麦品种。利用放射綫育种在德国获得了新的菜豆品种，在美国获得了抗杆锈病的燕麦品种。

輻射选种在微生物学上有特殊的意义，曾經利用輻射方法获得新类型的青黴菌，使青黴素制造成本大大降低，产量提高几十倍。

在蚕叶上大家知道雄蚕比雌蚕吃桑叶少，抗病力强，所产的絲质量高等优点，然而要在幼蚕及卵中区别雌雄是困难的，苏联中亚細亚蚕叶研究所利用射綫处理千万个未受精的卵，受精后大部分死去，只获得2%左右蛾子，其所产的卵白色是雄的，黑色是雌的，然后用光电分色仪器来分开，这就可以专养雄蚕，少养雌蚕了。这样估計苏联所有的农莊农場，可增加二亿卢布的收入。

在天然情况下，生物有机体也会产生突变的，然而用射綫方法可使突变的頻率增加1000倍，使人类更有把握定向改造生物有机体，从而更好地为人类的幸福服务。

高剂量輻射对于农作物会造成相反的效果，那就是对生长和发芽的抑制作用，在强剂量作用下，有机体的新陈代谢处于停滯状态，生理机能降低，因此生长迟緩或停止了，然而正因为这样利用射綫来抑制种子发芽，貯藏农产品就变成了事实，苏联用10,000倫照射馬鈴薯，使得貯藏9—12个月不发芽，不腐烂，养分也保

留下来。在零度下用射綫处理猪肉能貯藏数月之久。用射綫貯存洋葱及其他蔬菜亦已成功。在穀仓上利用了射綫的强大穿透力，可杀死櫟內、牆中、穀物中的害虫，对粮仓的空仓消毒至为有利。大家所关心的，是用射綫处理过的食品是否可食，这个问题还没有得到彻底解决，照射后的毒性一般是沒有的，但是在高剂量作用下是否在食物中产生了新的放射性物质，根据苏联大量試驗材料証明，在一定剂量作用下食品是不会变成放射性的，因此，苏联保健組織决定在食品中利用10,000倫照射过馬鈴莢，然而在更高的剂量作用下是否有放射性的问题，尙未有結論，因而就使得这一方法在食品工业中未能广泛应用，相信不久是可以解决的。然而仅就处理后馬鈴薯能久藏就解决了澱粉工业上的季节性生产問題，在实际应用上价值已經不少了。华南的甘莢如果用射綫貯存成功时，亦解决澱粉工业及酒精工业上一个巨大問題。

电离輻射在植物保护上的应用近年来有新的发展，当射綫通过病原菌或害虫时，会破坏原生质中化学結構及其代谢，以致有机体趋于死亡，不同的机体对射綫的抵抗力是不同的，温血动物X射綫量为400—800倫即致死，种子植物为1,000—20,000倫，細菌为50万—200万倫，根据美国昆虫学者研究結果，寄生在羊皮下的螺旋蝇蛹用5,000—7,500倫处理可将雄性生殖細胞毁灭，結果而不能繁殖。苏联应用 Co^{60} 50,000倫杀死米蛾。利用 P^{32} 10^{-5} — 10^{-7} 居里/升培养已經感染病毒病的番茄，当植株吸收了 P^{32} 之后，通过 β 射綫的内照射，使病毒蛋白分解，比不处理的产量提高40%。

三、在華南地区应原子能研究农业的任务和前途

华南地处亚热带。作物种类繁多，經濟价值高、高温多湿，作物生长的环境因子较复杂，存在问题更多，因此必须选择理論上和生产上迫切解决而用其他方法又难于解决的问题作为我們研究的任务。下列是一些值得研究的问题：

1. 利用示踪原子研究水稻深耕密植情况下对肥料的吸收和分佈問題。研究橡胶的合成生理問題。

2. 研究桔柑黄龙病的病原及傳播問題，研究水稻三化螟、粘虫及其他害虫的飞翔和分佈，白蟻生活习性，杀虫剂的毒理等問題。

3. 紅壤对于磷肥的固定作用及农作物

对磷肥的利用問題。

4. 利用射綫貯存甘薯及水果問題。

5. 利用射綫对作物进行內照射或外照射探討对提高产量的作用問題。

6. 利用射綫选育橡胶抗寒品种，水稻抗倒伏品种，抗膿病蚕种，改变荔枝花性以克服隔年結果現象等等。

原子能科学应用于农业，在华南还是刚刚开始，由于仪器的缺乏，經驗不足，困难是有的，但这是解决农业研究中的难题，推动农业生产发展的一个新的、有效的方向！我們深信在党的正确领导下，今后一定会取得飞跃的发展和巨大的成就。