

# 同位素示踪技术在农业科学中的应用

李京淑

(中国农业科学院原子能利用研究所)

同位素示踪法用于农业科学研究中已有几十年的历史,许多其它方法难以解决的研究课题已通过示踪原子法得到解决,从而揭示了被试物质在有机体内的代谢规律和本质,为正确地认识自然和改造自然作出了贡献。

本世纪初, Hevesy 利用  $^{210}\text{Pb}$  首先开展了豆类植物对溶液中铅的吸收和运转的示踪试验。由于当时适用于生物学示踪研究的同位素不多,所以在农业科学中示踪技术的应用还不广泛。直至三十年代末和四十年代初期,人造放射性核素的不断出现及精密探测仪器的研制成功,在生物学领域中同位素示踪技术的应用才日趋广泛,逐渐由简单地追踪单一元素在生物体内的行为,进而追踪一些复杂的化合物在生物体内的运转、分布和生理、生化过程。随着感光材料的改进和发展,利用放射性同位素的射线粒子使感光材料感光的放射性自显影的技术也不断改进和完善,逐渐由宏观定位向微观定位扩展。

美、苏等国利用示踪法研究肥料的施用技术,仅就有关磷肥研究一项,到八十年代初期就取得了数千万美元的经济收益。印度利用稳定性同位素研究牲畜饲料,经济收益也达千万美元以上。美国有人利用示踪法研究生物固氮机制也取得进展。日本利用示踪法研究鱼类的回游规律,对水产资源的调查和不断增加鱼产量作出了贡献。为了交流各国学者在农业科学方面的同位素示踪技术应用及研究成果,国际原子能机构(IAEA)及联合国粮农组织(FAO)经常组织各学科的各种类型的学术会议,每次都有数十篇示踪技术应用研究方向论文进行交流。

我国在五十年代末期,随着原子能和平利

用事业的发展,同位素示踪技术在农业科学中得到广泛应用,近三十年来为我国农业科学和农业生产作出了显著成绩。例如,浙江农业大学应用同位素示踪技术研究农用化学药物(农药、肥料及肥料增效剂等)在作物和土壤中的代谢,累积和对环境的污染与净化,为国家判定安全使用标准提供了重要的科学数据。湖北省农业科学院用稳定性同位素  $^{15}\text{N}$  研究水稻氮肥一次性全层施肥,提高了水稻对氮肥的利用率,节约了氮肥,使水稻增产 15% 左右。近年来推广此项施肥技术,获得了很大的经济收益。中国农业科学院与北京农业大学利用  $^{32}\text{P}$ -磷矿粉,研究腐植酸对难溶性磷肥的增磷效果,其结果为国家调整腐植酸肥料生产布局提供了科学依据,节约了大量资金,减少了农业损失。实践证明,同位素示踪技术是农业科学及生物科学研究中的不可缺少的重要手段。

## 一、同位素示踪法的特点与基本方法

同位素示踪技术的主要优点是:

1. 具有高度的灵敏性,即使是很精确的化学分析法,也难定量测定到  $10^{-12}\text{g}$  的物质,而采用放射性同位素示踪法测定放射性的存在,则很容易达到这一量级的精度。例如,  $1\text{Bq}$  的  $^{32}\text{P}$  含有  $1.78 \times 10^6$  个  $^{32}\text{P}$  原子,而质量仅有  $9.48 \times 10^{-17}\text{g}$ ,现代的射线仪器能够准确的测定  $1\text{Bq}$  或更低的放射性(即可测量含有  $10^{-16}$  克的  $^{32}\text{P}$  的放射性)。

2. 制样比较简单,一般不需要作精密的提取与分离,简单处理一下试样即可用固体或液体形态进行测量,因此可大大缩短研究进程,提高工作效率。

3. 可能区分原有试样中的被追踪物与新加入的被追踪物。如用标记肥料进行肥料试验时,可以测知植物体吸收的营养中那些是来自肥料,那些是来自土壤。

4. 一些用其他方法不能揭示的问题,使用示踪法进行研究却具有独到之处。如生物体内蛋白质的合成,细胞周期的测定,光合作用等都是采用示踪技术取得了很大进展的。

但示踪法同样也有一定局限性。一般说探测仪器较为昂贵;一些元素尚无适合的同位素可供试验用;有时因放射性示踪剂使用不当,常可使供试生物产生辐射损伤,因此,实验人员的安全防护也要注意,需要有一定专业基础的受过专门训练的操作人员进行操作;试验过程中也要考虑对环境的污染。

同位素示踪技术的基本方法和程序,因研究目的不同而不同。一般需要首先选择适当的示踪剂(标记元素或标记化合物),在农业科学中常用的放射性核素有 $^{32}\text{P}$ , $^{45}\text{Ca}$ , $^{14}\text{C}$ , $^3\text{H}$ , $^{35}\text{S}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{65}\text{Zn}$ , $^{86}\text{Rb}$ 等,常用的稳定性核素有 $^{15}\text{N}$ , $^{13}\text{C}$ , $^{18}\text{O}$ 等。还要根据试验的特点,历时,核素半衰期长短等,估算示踪剂的用量,然后确定将示踪剂引入供试体的方法,试验管理及防护措施,采样及制样方法,测量仪器及污物处理措施等,最后是试验数据的处理与分析。需要进行正确的设计和采取严密组织实施,才能保证试验结果的准确与可靠。

## 二、同位素示踪技术在农业科学中的应用

### 1. 在作物营养生理研究中的应用

在作物生长发育过程中,作物与环境之间进行着物质与能量的交换,这一交换过程的正常运转是保证作物对环境的适应和作物正常生长发育的前提。所以了解作物生长过程中对物质的吸收、代谢、积累规律和各项生理指标,从而定向地控制物质的积累,是农业生产中提高作物产量的关键。

用示踪原子法研究作物体内无机物及有机

物的运输途径、速率和机理,光合作用的强度和速度,作物根系的吸收能力以及体内外激素合成(或吸收)和代谢特点……等方面都有不少实例和成果。例如,用环割植物的茎皮或手术隔离植物输导组织的木质部与韧皮部,再用 $^{14}\text{CO}_2$ 饲喂植物叶的试验证明,植物光合作用所制造的有机物主要是通过植物的韧皮部运输的,根部吸收的水分和无机盐离子主要是通过木质部运送到茎叶等部位的。Bidolulph等人于1975年给生长12天的菜豆叶引入 $^{32}\text{P}$ , $^{14}\text{C}$ -蔗糖和 $\text{THO}(^3\text{H}_2\text{O})$ ,经测定证明蔗糖运输速度为107cm/h,而 $\text{THO}$ 与 $^{32}\text{P}$ 的运输速度只有78cm/h。我国学者采用 $^{32}\text{P}$ 土壤注射法测定玉米根系吸收活力,结果表明,随着作物生育期的推移,根系不断向土层深度伸展,玉米在10—11叶片全展期时,根系吸收能力的最活跃区为20cm土层处,占全层(40cm深)的63%,而在玉米乳熟期,其根系吸收能力最活跃区为30cm处,吸收 $^{32}\text{P}$ 为全层吸收量的40%左右,这说明玉米在生长过程中其根系吸收能力的活跃区主要是在土层20—30cm间,可为确定玉米施肥技术提供科学依据。近年来,我国学者利用氚标记天然矿体腐植酸,研究腐植酸对作物的刺激作用和抑制蒸腾作用,试验证明,腐植酸可通过植物根系或叶面被植物吸收(见图1),并参与植物代谢。在叶面喷施腐植酸可使气孔的开张度变小,从而可以提高植物的抗旱能力,这对我国华北、西北地区作物抵御早春干热风,防止作物减



图 1

产是有良好的作用。近年来,利用腐植酸抗旱的农业措施在农业生产上取得了较好的效果,受到国内外学者的关注和赞许。

## 2. 在作物育种研究方面的应用

应用示踪技术深入地研究作物的丰产性及光合作用之间的相互关系,可以弄清高产品种所具有的生理特征,从而选择光合效率高的,叶片干物质累积多的(源强度大),又能经济合理地使干物质重新分配(库强度大)的基因型。示踪法可以在植物完全正常生长的条件下,研究作物源与库的密切关系,以便筛选丰产性能高的作物品种。

应用 $^{14}\text{CO}_2$ 示踪技术与红外线气体分析仪相结合的方法,测定植物的光呼吸和暗呼吸作用之间的关系,证明作物的光呼吸/暗呼吸比值,对作物净光合率有直接影响。所以,示踪技术在植物的高光教育种中是必不可少的研究手段。

用示踪法还可以测定植物根系的分布范围,根的吸收能力,从而有助于筛选出根系发育好、抗旱能力强的抗旱品种。

近年来,在作物诱变育种中,日本和我国已始用氚标记的胸腺嘧啶核苷( $^3\text{H-TdR}$ )作示踪剂,进行放射自显影观察,测定作物合子细胞周期,以便确定作物合子细胞期DNA合成的时间,从而适时施加诱变手段。这将可以提高育种突变率,减少后代分离,大大缩短诱变育种的试验周期。

国内外学者认为,在果树育种中,同位素示踪技术在评价砧木特征和适应能力,研究果树幼年期的生理特点和抗病力,估计突变体的生产能力等方面是十分必要的研究手段。此项工作应当加以开展。

## 3. 在土壤肥料研究中的应用

同位素示踪技术在土壤肥料研究中的应用最为广泛,主要是这一方法能够比较准确地测定土壤和肥料的相互关系和复杂的代谢过程,是深入研究土壤-肥料-植物之间关系的有力手段。

氮、磷、钾是作物不可缺少的三大营养元

素,用示踪法研究作物氮、磷、钾三要素时,常以稳定同位素 $^{15}\text{N}$ 、放射性同位素 $^{32}\text{P}$ 和 $^{42}\text{K}$ 作为示踪核素,但由于 $^{42}\text{K}$ 半衰期太短(12.4h)以致其使用受到一定限制,故常以化学性质相似的 $^{86}\text{Rb}$ 代替钾进行示踪试验。由于放射性核素 $^{32}\text{P}$ 具有半衰期适中(14.3d),射线单一,能量(1.71 MeV)较高,放射性易于测量,防护简单,便于去污等特点,因此被广泛应用于研究磷肥和作物营养中的磷素代谢。利用 $^{32}\text{P}$ 测定土壤有效磷的含量(“A”值法和“X”值法),测定磷肥利用率及研究提高磷肥利用率的有效措施,研究土壤中磷素的固定,形态和转化等方面都做了许多工作。用铷(Rb)代替钾(K)作为示踪剂应用,许多试验已证明铷和钾在土壤和植物中的活动状况相似,并用以研究了钾肥与氮肥、磷的配比,钾在土壤中的固定和钾肥的施肥技术等。但也有人认为铷和钾质量不同,铷在植物体内的代谢活动与钾的代谢不完全相同,因此某些情况下,不宜于用铷代替钾作示踪剂。

近年来,应用稳定性 $^{15}\text{N}$ 研究氮肥的施用技术和植物体内有机物代谢等方面的工作取得了很大进展,特别是在土壤供氮能力,氮在土壤中的移动、扩散和吸附,氮素的矿化(腐植化)与固定,硝化与反硝化作用的研究都取得了进展。试验证明,碳铵的不同造型和不同施肥技术,其肥效不同。造粒深施,可以防止氮素损失,提高氮肥利用率,获得了节约肥料,提高作物产量的效果。我国利用 $^{15}\text{N}$ 研究了一些品种的硝化抑制剂,可对氮肥产生增效作用。若硝化抑制剂使用得当,则可使小麦、水稻等作物获得不同程度的增产效果。

近年来利用放射性核素 $^{59}\text{Fe}$ , $^{65}\text{Zn}$ , $^{54}\text{Mn}$ 等研究作物对微量元素的吸收与利用,也有报道。我国已利用 $^{59}\text{Fe}$ 研究出新的有机螯合铁肥,其对作物的施用效果近似于价格昂贵的EDTA螯合铁肥,大大优于无机铁肥。用 $^{65}\text{Zn}$ 研究土壤磷素含量与施锌的关系以及锌肥的施用技术也取得了进展。

## 4. 在植物保护和环境保护方面的应用

用示踪法研究植物保护方面的有关问题,

可以在较短时间内,提供比较准确的有关资料。其主要途径是,通过放射性培养基标记病原菌和放射性寄主(先使寄主作物吸收放射性)标记病原菌,从而研究病害对植物的传播途径和规律,研究作物的抗病性及抗病机制。用饲喂法,浇涂法、插钻针法或浸渍法等标记农业昆虫,研究昆虫迁飞的规律,越冬的场所以及对农业害虫的防治措施等。广东省昆虫研究所用<sup>131</sup>I和<sup>198</sup>Au研究白蚁活动规律及巢穴分布,为防治白蚁为害,筛选灭蚁药物作出了贡献,受到国内外学者重视。

随着农业上化肥、农药、除莠剂的广泛使用及工业“三废”的增加,使农业环境常受到污染,要保证农产品、畜产品、水产品的产量和质量不断提高,必须研究农业环境的保护,利用同位素示踪技术研究有害化学物质在作物及土壤中的残留、转移和降解是行之有效的办法。为此,我国于七十年代开始了农用标记化合物的研制,到目前为止已有数十种农用标记化合物的产品供应,为研究化肥、农药的安全使用提供了必要手段。浙江农业大学1980年以前就用<sup>14</sup>C-666, <sup>35</sup>S-1605, <sup>35</sup>S-杀螟松, <sup>35</sup>S-甲胺磷, <sup>32</sup>P-乐果等在水稻、果、蔬、茶叶、棉花等作物上进行了吸收、分布和残留的试验研究,为国家制定农

用化学药品的安全使用标准,提供了可靠的科学依据。

## 5. 在畜牧兽医研究中的应用

同位素示踪技术在畜牧兽医上的应用日益广泛和深入,主要有以下几方面:(1)应用同位素示踪技术研究动物对营养物质的消化、吸收和代谢,包括用不同标记化合物研究动物体内的氨基酸、蛋白质、酯类、糖类、维生素和矿质营养的代谢过程。(2)用同位素稀释法和激素放射分析法(目前文献中常提到的放射免疫法、竞争性蛋白结合分析法、放射配体分析法以及免疫放射测定法均属此类),测定动物机体内的组织成分,如测定体内若干激素、维生素、酶、细菌和病毒等。(3)用放射性同位素可以测定动物某些器官的功能状态,从而可以诊断某些疾病。如用<sup>131</sup>I溶液、<sup>131</sup>I-邻碘马尿酸钠(<sup>131</sup>I-H)、<sup>131</sup>I-玫瑰红钠可以分别测定动物甲状腺、肾脏、肝脏的功能,诊断这些器官的疾病。以上这些研究和应用,说明同位素示踪技术已经深入到畜牧兽医的许多学科中,为动物的饲养管理和疾病的治疗提供了研究手段,对畜牧兽医发展起到了一定的促进作用。由于有核医学及其他学科的原理、方法的借鉴,同位素示踪技术在畜牧兽医这一领域中的应用是有广阔前景的。

(上接第370页)

收都与波长有关,即使是经过黑化处理也不可能达到完全无选择性,加上窗口材料对辐射吸收的选择性,热释电探测器的响应率多少还是与波长有关的,只是远不如光子探测器那么明显,特别是在红外波段,光谱特性曲线十分近似于一条平线。

综上所述,热释电探测器是利用热释电效应工作的,是对温度变化敏感的一种传感器,其基本结构是一个以热释电晶体材料为电介质的电容器,其主要性质有:

(1)只响应变化的温度或辐射;(2)可等效为电流源;(3)电流响应率决定于器件的结构与材料,与负载无关。电压响应率除与器件本身结构与材料有关外,还与负载有关。(4)响应率与它的频率特性是有矛盾的,要追求一方,必然

要失去另一方;(5)电压响应率的频率特性曲线近似为梯形,频率低时 $R_V \propto \omega$ ,在一定的频率范围内, $R_V$ 为一常量;(6)电流响应率与电压响应率对器件的结构与材料性能的要求恰好相反,这点是很特殊的;(7)居里温度远高于室温的器件,温度稳定性好;(8) $R_V$ 的温度特性还与负载有关。

## 参 考 文 献

- [1] 阿·伊·基泰戈罗兹基著,物理学概论(第三册),人民教育出版社,(1960),702.
- [2] R. J. 凯斯主编,光探测器与红外探测器,科学出版社,(1984),112.
- [3] 前田敬二ほか共著,光电变换デバイス,コロナ社,(昭和50年),68,71.
- [4] R. H. 金斯顿著,光学和红外辐射探测,科学出版社,(1984),111.