

《解 說》

核技術의 農學的利用現況과 展望(Ⅱ)

權 臣 漢

韓國原子力研究所, 放射線育種學 研究室

(접수: 1978. 2. 9)

1. 緒 論

世界人口의 人口一人當 耕地面積을 비교할때 우리나라는 一人當耕地面積이 가장 狹少한나라에 속한다. 우리나라 전체인구 3,600萬을 위해서는 農耕地 1ha에서 16名을 부양해야하며 그러자면 1ha에서 평균 4.7 ton의 食糧을 생산해야 하나 1977년 현재 3.7ton을 생산하므로써 12.6명분의 食糧밖에 생산못하여 食糧自給度는 79%程度이다. 이러한 慢性的食糧不足狀態에서 1975년부터는 有史以來 처음으로 쌀과 보리는 自給의 宿願이 달성되었으나 小麥, 豆類, 옥수수의 自給度는 各 各 5.5%, 72.9%, 8.6%로서, 이들 糧穀에 대해서는 매년 270萬ton程度(1976년도에 3억5천만불)가 導入되고 있어서 限定된 農地에서 食糧의 完全自給은 遙遠한 과제이다. 게다가 國民所得增大로 인한 食糧의 高級多樣化로 시간과 비례해서 農產物의 부족현상은 심각해질 것이다. 農業增產은 여러가지 복합적인 요인에 의해 이뤄짐은 물론 短期間에 成就할수도 없는 것이므로 급속도로 變遷하는 現시대에서 食糧의 完全自給化를 이룩하기위한 대책으로서는 國토의 最大活用은 물론 農業技術의 完全開發로서 所期의 目標達成을 할 수 있을 것으로 본다. 따라서 農業技術의 한 方法으로서 최근 先進國家에서 널리 開發利用하고있는 放射性同位元素의 農學的利用技術을 導入消化함은 물론 우리실정에 알맞는 方向으로 修正開發하여 우리나라 農業研究機關이 손쉽게 利用할 수 있도록 하는 것은 매우 중요한 일이라고 생각된다.

前報의 核技術의 農學的利用現況과 展望(Ⅰ)에서는 品種改良面을 論하였으나 이어서 本報에서는 주로 作物의 營養生理및 土壤肥料研究에서 放射性同位元素의 利用에 關해 소개코져 한다. 農作物의 增收는 優秀한 品種의 育成과 科學的인 栽培法으로 이룩될 수 있다.

栽培法이란 作物이 가지는 機能性을 최대로 能率化시켜주게 하는 것으로 이를 위해서는 作物生理와 土壤肥料에 關한 綜合的인 研究가 필요하다. 放射性同位元素가 農學分野에서 가장화려하게 등장할 수 있는 곳이 生理營養分野로서 이는 放射性同位元素를 追跡子로서 이용하므로써 종전에는 植物體內에서 일어나고있는 現象에 대해서 처음과 끝부분만알고 中間過程은 推測에 의존하는 수가 많았는데 放射性同位元素를 이용하게 되면서 부터 많은 中間過程의 비밀이 解明되므로써 作物栽培를 보다 科學的이고 效率的으로 遂行할 수 있게 되었다.

2. 農學研究에 이용되는 放射線 및 放射性同位元素

農學및 生物學研究에 이용되는 放射線은 X-線, γ -線등의 電離放射線과 α , β -線등과 같은 粒子放射線이다 X-線은 高電壓發生裝置에 의한 管球의 Filament에서 發生하는 量子인데 反해 γ -線은 原子核에서 放出하는 量子인 것으로 이들은 그 에너지와 生物體에 미치는 영향이 비슷하며 주로 品種改良研究를 위한 種子 및 生體照射時와 食品保全을 위해 이용된다.

追跡子技術과 生體內部照射用으로 널리 이용되는 放射線으로는 粒子放射線인 α -線과 β -線이 있다. α -線이란 Helium 原子核으로서 水素原子核(陽子)의 4배나 되는 質量을 가지고 있어 生體內에서의 透過性이 극히 弱하며 空氣中에서도 數 cm 정도의 透過能力밖에 갖지 못한다. β -線은 原子核에서 放射되는 電子로서 에너지 정도는 同位元素의 종류에 따라 다르다. β -線은 α -線에 비해서 單位距離內의 電離作用이 弱하기 때문에 에너지損失이 적어 α -線보다는 飛程距離가 크나 역시 透過力이 매우 弱하므로 外部照射用으로는 부적당하며 植物의 生長點이나 種子內部에 溶液으로서 吸收시켜 內

部照射用으로 이용된다.

中性子は 質量單位가 1이며 荷電이 없기때문에 物質內를 容易하게 통과할 수 있으며 주로 原子爐나 Cyclotron에서 얻을 수 있다. 原子爐에서 발생하는 高에너지 中性子를 水素나 炭素와같이 가벼운 原子核과 彈性衝突을 시키면 에너지를 잃어 熱中性子가 되어 核反應을 일으켜 吸收되거나 스스로 β -線을 放出하고 崩壞된다. 熱中性子は 生體內에서 生體의 主成分인 窒素와 核反應을 일으키어 炭素核을 만들면서 陽子를 放出하거나 水素核과의 反應에서 γ -線을 내기 때문에 重要な 生物學的 뜻을 가진다.

農學研究에 利用되는 主要 放射性同位元素는 表 1과 같은데 放射線을 品種改良이나 食品保全등의 研究를위해 利用하는 面外에 放射線을 研究에 利用하는데 있어서 가장 널리 알려지고 독특한 應用方法은 放射性核種을 檢出하고 追跡子(Tracer)로 쓰는 일이다. 이 應用方法에서는 表 1의 各種 放射性同位元素를 機器로서 極少量의 放射性核種을 檢出하고 同定할 수 있는 能力을 利用하여 分子, 細胞 또는 生物體까지도 적당한 放射性核種으로 「표기」를 붙이거나 「標識」할 수 있고 그 標識가 生物體內에서의 移動을 追跡할 수 있게 한다.

表 1. 農學研究에 利用되는 主要放射性同位元素의 特性

種 類	半減期	放射線에너지 (MeV)		最大水中飛程 (mm)
		β -線	γ -線	
^{32}P	14.30日	1.701	—	4.2
^{25}S	87.10日	0.167	—	0.2
^{45}Ca	164.00日	0.254	—	0.8
^{36}Cl	3.08×10^5 年	0.714	—	27.0
^{42}K	12.51時間	3.580	1.51	19.0
^{24}Na	15.00時間	1.390	2.80	6.4
^{131}I	8.06日	0.608	0.42	2.2
^{59}Fe	45.10日	0.460	1.1, 1.3	1.5
^{99}Mo	6.70時間	1.230	0.24, 0.75	—
^{60}Co	5.20年	0.306	1.1, 1.3	0.8
^{14}C	5,570.00年	0.155	—	4.2

3. 放射性同位元素의 應用原理

가. 追跡用物質

放射性同位元素는 그 종류에 따라 α -線, β -線 또는 γ -線을 放出하며 이들 放射線이 物質을 透過할때는 電

離作用을 일으키면서 그들이 지녔던 에너지를 잃어간다. 이같은 電離作用이 있기때문에 放射線을 檢出할수가 있고 따라서 放射性同位元素의 所在를 알아내게 된다. 마치 數千, 數萬個의 검정콩 중에 섞여있는 몇개의 흰콩알을 肉眠으로 識別해내듯이 檢出器로 손쉽게 찾아낸다. 即, 行方을 追跡할 수가 있는데 이때 追跡用으로 쓰이는 物質을 追跡子(Tracer) 혹은 標識物質 (Labelled compound)이라 한다.

나. Autoradiography

放射線은 寫眞原板을 感光하는 作用이 있다. 이 原理를 利用해서 試料에 들어있는 放射性物質의 分布 即, 그 位置라든지 量을 필립에 그대로 나타나게 하는데 이러한 技術을 오토래디오그라피 (Autoradiography)라 한다.

다. 放射化分析

放射能의 檢出方法이 高度로 발달됨에 따라 植物體內에 含有하는 有益 또는 有害한 超微量의 元素도 檢出해낼 수가 있다. 종래의 化學分析으로는 重量分析法の 경우 10^{-6}gr , 分光分析法이라 해도 10^{-9} 程度밖에 檢出할 수 없지만 放射能을 利用하면 元素에 따라서는 $10^{-16} \sim 10^{-18}\text{gr}$ 까지의 微量物質의 檢出이 가능하다.

라. 稀釋分析

單體 또는 化合物中에 섞여있는 放射性物質의 量은 보통 比放射能(Specific activity)으로 表示하고 한편 放射性物質의 量은 キュ리(Ci)로 表示하고있다. 混合物中에 어떤 物質이 얼마만큼 들어있는나를 알고자할 때 손쉽게 알아내는 方法이있다. 即, 混合物中에 放射性同位元素로 標識한 物質의 一定量을 첨가하여 골고루 섞은 다음 그 物質의 一部를 採取해서 이때의 比放射能과 混合前의 比放射能을 比較하면 되는데 이처럼 稀釋을 하여 分析하는 方法을 稀釋分析法(Isotopic dilution method)이라 한다.

마. 質量分析

H-1와 H-2 또는 N-14와 N-15의 경우 H-1와 N-14는 安定同位元素로서 放射線을 放出하지않으므로 放射能檢出器로는 이들을 分析할 수가 없지만 대신 이들은 質量數가 각각 다르기때문에 質量分析器 (Mass spectrometer)에 의한 物理分析으로 分析될 수 있다.

4. 作物의 營養生理 및 土壤肥料研究에서 放射性同位元素의 應用

가. 營養生理

營養生理에 利用되는 放射性同位元素의 應用例를 들면 C-14는 CO₂-14로서 주로 光合成機作에 관한 연구에 應用되는데 光合成過程을 이 同位元素로 追跡하르로서 光合成의 第一次生産物은 포스트그리세린酸임을 확인하였고 光合成中の TCA Cycle 과 빛과의 關係를 究明하였다. P-32는 農學研究에 가장 많이 利用되는 放射性同位元素인데 그 理由는 취급이 비교적 간단하고 적당한 半減期와 강한 感光性이 있을뿐만 아니라 P는 植物의 營養生理에 極히 重要한 元素이기 때문이다. P-32 다음으로 應用分野가 넓은 放射性同位元素는 S-35로서 이는 利用面의 特性이 P-32와 비슷하다. 벼에 있어서 追肥로 使用된 黃酸암모늄中の S는 곧 吸收되어 잎에 모였다가 種子의 成熟과함께 이삭으로 移動하는 現象, 殺虫劑로서 散布한 硫黃이 레몬의 果實中에 利用되는 사실등이 究明되었다. Cl-36은 주로 作物體中の 鹽素의 移動에 관한연구에 利用되고 있으며 Na-24, K-42등은 作物뿌리의 陽이온의 吸收機作의 究明研究에 利用되었다. Ca-45은 P-32나 S-35에 이어 應用分野가 넓은 放射性同位元素로서 Ca은 植物體의 上部보다는 下部의 잎에 많으며 어린잎보다는 오래된 잎에 특히 잎周邊部位에 많이 分布한다는 것이 밝혀졌다.

나. 吸收의 機作

養分吸收의 機作에 대해서는 이제까지 여러가지 假設이 있었으나 放射性同位元素의 利用으로 微量의 定량이 가능해졌기 때문에 이것을 사용한 연구로 새로운 사실이 밝혀졌다. 即, 뿌리에 吸收된 養分中에는 浸透했다가 곧 나와 버리는 것과 한번 浸透하면 나오지 않는 것이 있음을 알게 되었고 나오지 않고 뿌리로 浸透한 것은 植物體內에 운반되어 이용된다는 것을 알게 되었다. 흙에서의 養分吸收에 대한 實驗結果를 토대로 吸收의 機作을 알아보면, 흙속에서는 보통 植物養분이 물에 녹은 狀態로 존재하는 것은 적다. 물론 少量씩은 녹아나오므로 植物이 여기서 養分을 吸收하지 않는다고는 할 수 없으나 대개는 植物이 적극적으로 흙의성분에 작용하므로서 거기서 養分을 吸收한다고 생각하고 있다. 또 옛부터 뿌리는 炭酸을 分泌하여 흙의 成分을 녹여낸다고 有機酸등이 그 때문에 뿌리에서 나온다고 하는 식으로 생각하고 있었다. 그런데 K-42, Na-24, Br-82 등을 보리의 幼植物에 吸收시켜 粘土와의 交換을 여러가지로 調査한 結果 흙과 뿌리가 직접 접촉하여 뿌리表面의 水素이온과 흙의 K, Ca, Ag 등이 置換하여 吸收된다고 하는 接觸置換說을 提唱하게

되었다.

다. 養分吸收과 栽培環境과의 關係究明

短時間에 조금밖에 變化하지 않는 것을 精確히 測定한다는 것은 養分吸收과 環境條件의 關係를 調査함에 있어서 放射性同位元素는 매우 適合하게 이용된다. 放射性同位元素를 追跡子로 사용하여 하루동안의 養分吸收量의 變化를 調査한결과 벼의 幼植物의 磷酸吸收는 P-32에 의해서 오전 6시부터 10시까지 吸收量이 最大이고 오후 2시가 지나면 吸收量은 현저히 낮아지는 것을 알았다.

植物의 잎이 가스代謝를 하는 중요한 場所라는 것은 말할것도 없으나 잎으로도 無機養分을 吸收하는 일이 여러가지 實驗으로 알려져있다. 예로서 어떠한 養分이 缺乏된 植物에 그 養分을 잎에 발라주면 缺乏狀態가 회복되는 것은 이미 알려진 일이다. 그런데 잎에 無機養分이 어떻게하여 植物體에 吸收, 利用되는가는 역시 직접적으로 아는 方法이 없다. 여기서도 放射性同位元素를 利用하여 吸收되기 쉬운 形態의 部位와 條件등을 아는 것과 동시에 吸收된 養分이 어떻게 植物에 利用되는가를 調査할 수 있는데 특히 微量成分의 化學的 定량이 어려운 것에 대해서는 이 方法이 매우 편리할 것이다. 그와 葉面吸收의 機作은 잎의 構造와의 關係과 잎의 代謝와의 關係도 함께 고려해야하며 作物의 측면에서도 養分의 종류에 따라서 별개로 檢討하지 않으면 안될 要因이 많이있어 금후에 追究되어야 할 문제가 많은 것으로 이 方面의 放射性同位元素의 利用研究는 크게 기대된다.

라. 養分의 分布

作物을 둘러싸고 있는 環境은 多樣하여 복잡하게 서로 얽혀있어서 作物의 一生을 통해서 作用하는 外界의 條件은 거의 限없는 것이라 해도 좋을 것이다. 作物은 이 環境에 時時刻刻 適應하여 그 영향을 받아가면서 生育하고 있는데 이러한 것을 實驗을 통해서 알아보면 植物의 잎에 햇빛을 차단시키기 위해 검은 종이를 붙이거나 검은 주머니를 씌워둔채 뿌리에 P-32를 施肥한다. 6時間程度 경과한 후 植物體를 Autoradiography 法을 사용하여 P-32의 分布를 보면 빛을 차단하든가 호흡을 억제하면 그 部分에 磷의 蓄積이 저해되는 것을 확실히 알 수 있다. 이와같이 빛이나 호흡장애가 體內의 代謝와 結付되어 磷의 分布가 이에따라 變化하는 것임을 放射性同位元素를 利用하여 쉽게 알아낼 수 있다. 作物은 一生동안 끊임없이 새로운組織이나 器官을 形成하면서 生長을 계속하는데 이때 어린時期에 吸

수한 無機養分은 거의 排出되지 않고 새로운 部位에 옮겨지면서 그 作物의 終末가까이 까지 生命活動에 참가하는 것을 알 수 있는데 生育初期의 어린時期에 放射性同位元素로 標識한 養分을 吸收시켜 이들이 作物의 生育에 대하여 어떻게 體內에 再分布하는가를 보기로 하자. 磷은 生長에 따라서 꽃이나 열매등 새로이 生長한 部位에 계속해서 옮겨가지만 칼슘은 한번 吸收되면 잎에 모여져 비교적 다른 部位로 移動하기 어렵고 드디어는 枯葉이 되어 없어져 버린다는 것이 밝혀져 있다. 兩者의 特徵으로 보아 磷은 體內에서 매우 活潑히 움직이기 때문에 基肥로 初期에 施肥하는 것이 效果的이라는 것을 알 수 있다. 作物은 發芽後 곧 흙에서의 養分吸收를 시작하여 種實作物의 경우 成熟할때까지 作物의 生育에 필요한 各種養分을 끊임없이 계속 吸收한다. 그런데 지금까지의 研究로는 窒素, 磷, 硫黃등은 生育의 初期부터 어느 時期까지 施肥한것은 그 效果를 나타내지만 一定時期以後의 施用은 作物生産에 거의 영향을 미치지 않는다고 하며, 또 칼슘이나 칼륨등은 一生을 통하여 거의 다 필요한 것으로 추측되었으나 放射性同位元素를 利用한 研究에 의해서 各種養分の 吸收되는 時期와 역할등을 정확히 調査할 수 있게 되어 作物의 特性에 알맞는 肥料種類, 施肥量, 施肥時期등을 決定하게 하므로서 效率인 作物生産을 이룩할 수 있게 되었다.

마. 肥料의 行方

肥料가 作物에 吸收되어서 어떠한 經路를 걸으며 吸收된 養分은 作物의 生育에 따라서 어떻게 그 生活에 利用되는가를 아는것은 肥料를 만드는 사람에 있어서도 또 肥料를 施用하는 農民에 있어서도 매우 중요한 일이다. 植物體內에서 物質이 움직이며 돌아다니는 現象은 轉流라고 불려져 그 움직임이 여러가지로 調査되어왔다. 그런데 放射性同位元素를 利用하므로써 養分の 역할이 쉽게 알려졌는데 P-32, Ca-45, S-35, Cl-36, Mo-99 등을 利用하여 이 方面의 研究가 많이 이뤄졌다. 植物은 動物과 같이 발달한 循環系는 가지고 있지 않으나 뿌리에서 吸收된 養分은 신속히 地上部에 운반되고 여러가지 部位에 분배되어 각각 濃度를 적당히 보존하게 하는 能力을 가지고 있다. 이러한 역할을 하는 것은 通導組織이다. 이 組織에 의한 養分の 體內分布現象에 대해서도 放射性同位元素는 여러가지 문제를 쉽게 解決하는데 利用되고 있다.

바. 土壤에서 P-32의 移動

磷酸의 土壤內에서의 移動을 확인하기 위하여 H_3PO_4 中の P를 P-32로 標識하고 Carrier로서는 第二磷酸소

다($NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$)를 첨가하여 沖積土로 된 뽕나무밭에 주었더니 土壤中에서의 移動分布는 5~15cm 정도였고 또 水溶性이었던 P-32는 한달동안에 約 90%가 非水溶性으로 化學形態가 變化되었음을 알 수 있었다. 또한 圓柱容器를 利用하여 건전한 土壤과 秋落이 常習으로 일어나는 旱土壤에 대한 溶脫作用을 H_3PO_4 -32의 水溶液으로 비교한 시험에 의하면 秋落畚이 훨씬 溶脫이 심했으며 土壤에 固定된 磷酸의 土壤別分布에 있어서는 건전한 土壤에서는 表層에 固定이 된채 下位層으로의 移動이 거의 없었음을 알 수 있었다.

사. 肥効判定의 比較

가령 磷酸肥料의 肥効를 따질 때 중래의 方法에서는 磷酸을 施用한 試驗區에서 作物이 吸收한 全磷酸量으로부터 無施用區에서 그것을 뺀 差異를 보아 作物이 肥料로부터 吸收한 吸收率을 보았는데 이것은 소박한생각이다. 왜냐하면 作物이 土壤의 磷酸을 吸收하는 量이 어느試驗區에서나 똑 같다고는 볼 수 없기 때문이다. 이런경우 同位元素를 利用하는 것이 有利하다. 放射性磷(P-32)으로 標識된 肥料를 作物에 施用한 다음 作物에 吸收된 P-32의 量을 測定해보면 肥料로부터 吸收된 磷酸의 量이 밝혀질 것이고 또 作物體의 全磷酸含量을 分析해보면 肥料의 寄與度도 따질수가 있게 된다.

아. 施肥方法의 比較

肥料를 土壤에 施用할때 層狀으로 주는 경우와 土壤에 그냥 섞어주는 경우에 있어 어느편이 보다 合理的인가를 알아본다든가 또는 施肥의 위치에 따라 그 施効는 어떻게 달라지며 또 肥料를 土壤에 주었을 때와 직접 葉面에 散布했을 때의 肥効라든가 또 그 吸收率은 어떠한가등에 대한 것들도 同位元素의 特徵을 적절하게 利用하므로써 究明되었다.

자. 化學形態와 肥効

化學形態를 달리한 각종 磷酸肥料를 P-32로 標識하여 土壤別, 作物別로 그 肥効를 測定할 수 있었는데 그 結果 대개의 경우 過磷酸石灰($Ca(H_2PO_4)_2$)가 메타磷酸石灰($CaHPO_3$), 磷酸二石灰($CaHPO_4$), 磷酸三石灰($Ca_3(PO_4)_2$)보다 肥効가 높았다. 또 中性 혹은 알칼리성의 石灰質土壤에서는 磷酸암모늄($(NH_4)_2HPO_4$)이 磷酸一石灰, 磷酸二石灰보다 肥効가 높았는데 이것은 磷酸石灰가 石灰質土壤에서는 有効도가 낮은 磷酸三石灰로 變하기 쉬운 때문이라고 생각되고 있다.

차. 重窒素의 利用

放射能이 없어도 質量分析器로 同位元素들을 分離하

여定量할 수가 있기 때문에 非放射性同位元素로도 肥料成分의 追跡이 가능하다. 磷酸肥料의 경우는 P-32라는 利用하기가 편리한 放射性同位元素가 있으나 肥料中에서 가장 重要한 窒素의 同位元素들 中에는 追跡에 알맞는 放射性同位元素가 없다. 尿素라든가 黃酸암모늄에 含有된 窒素는 보통 N-14이다. 이 N-14대신에 보다 무거운 N-15(重窒素)로 窒素成分을 標識하면 P-32로 標識된 磷酸肥料처럼 追跡物質로 利用이 될 수 있다. 窒素肥料를 N-15로 標識해서 밋는데 주었을 때 施肥時期, 位置 吸收過程을 試驗한結果 黃酸암모늄과 尿素的 利用率은 서로 비슷할뿐만 아니라 다른 窒素質肥料보다 월등하게 높았으며 幼體形成期 2週前에 주는 것이 移殖할때 주는 것 보다. 窒素의 利用率이 높았음을 알아내었다. 그외도 放射性同位元素는 土壤中의 有效磷酸을 植物을 基準으로 한(Plant available phosphorous) 作物自體의 吸收狀況으로 判定하여 利用率을 알아낼 수가 있다.

5. 畜産分野에서의 放射性同位元素의 利用

放射線 및 放射性同位元素가 獸醫畜産分野에 利用될 수 있는 原理 또한 放射性物質은 安定同位元素가 될때까지는 계속 自然崩壊를 일으켜 α, β, γ 등의 放射線을 放出한다는 點과 동시에 螢光作用, 感光作用이 있어 GM計數器나 Scintillation計數器들을 使用하면 極微量이라도 쉽게 그 存在를 追跡해 낼 수 있다는 것으로 앞서 論한바와 같다. 動物營養에 관한 연구는 주로 얼마의 飼料를 먹고 얼마나 고기나 젖이나 계란으로 轉移되었는가를 飼料率이 關係된 것인데 그 理由로는 各種 家畜이나 家禽들은 飼料를 섭취한 후 여러가지 代謝過程을 거쳐야만 비로소 고기, 젖, 알을 生産해낼 수 있기 때문이다. 飼料中의 Ca와 P는 骨格의 主成分이며 동시에 이들은 비타민 D와 有機的인 關係가 있음은 잘 알려져 있어서 Ca와 P를 定量코져 애를 썼으나 이들은 體中에 들어가면 대개 직접 糞便으로 排泄되어버리거나 아니면 腸으로 吸收되어 血中으로 移行되어 버리게 되고 血中에 吸收된 Ca나 P는 다시 腸으로 排泄되게 되므로 직접 糞便으로 나온것과 混合되어 이들의 吸收와 排泄에 關해서 종래의 方法으로는 정확히 알수가 없었으나 Ca-45, P-32등 放射性同位元素를 利用하므로써 骨格形成過程과 Ca, P의 相互關係 그리고 이들의 利用率 算定등이 쉽게 되었다.

去勢한 숫송아지의 飼料에 Ca을 배합하여 給與했을 때 종래의 化學的인 分析方法으로는 給與量의 24% 만이 消化吸收된다고 밝혀졌으나 Ca-45를 使用한 結果

38% 임이 判明되었다. 飼料作物인 알팔파에 含有된 P의 利用率이 얼마전까지만해도 22%로 알려져 있으나 P-32를 利用하여 實驗한結果 그의 眞價는 95%임이 알려져 알팔파와 말로 量과 質에 있어서 매우 좋은 P의 供給源임이 밝혀졌다. 젖소는 하루에 約 15gr의 P를 섭취하여 우유에 P를 分泌하는데 우유속에 들어있는 P의 由來를 알기위해 P-32를 使用하여 實驗한 結果 全體 P의 20%가 飼料에서 오고 나머지 80%는 젖소 自身の 骨組織으로부터 生成添入됨이 밝혀졌다. 그리고 계란의 경우에는 65%가 飼料에서 그리고 3%가 產卵雞自體로부터 由來됨도 밝혀졌다.

身體를 形成하고있는 모든 成分은 合成과 分解가 계속되면서 動的平衡을 유지하고 있어서 體內構成物은 늘 새로운 것으로 交替되고 있으나 이들 交替量을 일반적인 方法으로 測定한다는 것은 도저히 불가능 했다. 그러나 跡子法을 利用하므로써 이들을 쉽게 測定할 수 있게 되었는데 P-32를 利用하여 근육중에 있는 P의 代謝回轉率을 測定한 結果全體給與 P의 60%가 20分을 週기로 代謝回轉되고 脊의 內藏粘膜炎에서는 15%의 DNA가 매일 代謝回轉되고 있음이 알려지게 되었다. 지금까지 哺乳類의 齒牙는 어릴때부터 조금씩 자라서 永久齒가 된다고 믿어 왔으나 Ca-45를 利用하므로써 갈슴 組織인 齒牙는 끊임없이 合成과 分解가 共存하여 平衡을 유지함이 밝혀졌다.

血液의 主要 構成分子인 Fe의 경우 설탕이나 아미노酸은 Fe 吸收에 큰 영향을 미치며 동시에 組織의 Fe 含量 조절은 可溶性키레이트化合物에 달려있음이 Fe-59에 의해 밝혀졌다. Ca-45, I-131, C-14, P-32등을 利用해서는 계란의 形成過程을 확실히 밝혔을뿐만 아니라 계란의 卵發育發生初期孵化 7日頃에는 卵黃의 65%가 그리고 卵白의 25%가 胚로 移行하되 孵化日이 가까워질수록 이들의 移行率이 반대로 달라짐이 밝혀지기도 했다.

動物에 먹혀지는 飼料의 가치를 判定하기 위해 지금까지는 一定期間에 飼養試驗을 하여 開始時體重과 終了時體重을 비교하여 良否의 判定을 하였다. 그러나 Na-24는 이러한 번거로운 過程을 하지 않고도 飼料의 가치를 判定해주었다. 即, Na-24는 骨組織이나 脂肪組織 또는 體液에 親和性을 갖고 있지 않고 正肉에만 親和性이 있어 여기에 거의 集中으로 集積하므로 Na-24를 動物에 투여하여 이들의 放射能을 測定 比較하므로써 쉽고 간단하게 正肉의 量을 產出해 낼 수 있는 것이다.

甲狀腺은 動物에 있어서 肥肉, 泌乳, 產卵등과 關係가 깊은 內分泌器官으로 沃素(I)와 밀접한 關係가 있

다. 그래서 그와 化學的特性이 같은 I-131은 이들에 관한 연구에 자주 쓰인다. 또한 甲状腺機能抑制는 家畜이나 家禽의 肥肉成長에 큰 效果가 있음이 밝혀져 I-131이 正肉生産을 위한 肉質改善에도 쓰이고 있으며 아울러 지금까지의 일반적인 方法으로는 도저히 그 判定이 어려웠던 泌乳가 좋은 젖소의 選拔에도 I-131을 쓸 수 있어 I-131은 家畜의 優良種을 選拔하는 遺傳育種에 應用되고 있다.

심지어 放射性同位元素는 細菌이나 寄生蟲의 移動이나 分布狀을 調査하는데도 쓰인다. 即, C-14나 P-32가 포함된 培地에서 細菌이나 寄生蟲을 培養하여 그들에게 放射性同位元素를 注入시킨후 그 放射能을 追跡하는 것이다. 이것을 利用하여 家畜에 어떤 藥品을 투여했을 때 그 藥品들이 細菌이나 寄生蟲의 分布와 作用 등에 대한 藥理學的인 面을 추궁할 수 있게 한다. 그외에도 稀釋法에 의한 血漿뿐만 아니라 體液量 및 體液成分의 測定에도 쓰인다. 稀釋法을 利用할 수 있는 同位元素는 血內的 滯留時間이 비교적 길되 生體에 害가 없는 것이어야 하며 동시에 正常血液成分과 容易하게 혼합되어 그 證明이나 測定이 簡単하여야 한다. 이런 點에서 P-32, Cr-51, Fe-59, I-131, K-42등이 비교적 많이 쓰인다.

6. 農業土木 및 水産資源開發

地下水開發, 土壤流失, 貯水池堤防의 漏水地點探查 등 農業土木分野에서도 광범위하게 應用되고 있다. 종래에는 堤防漏水地點探查에 色素나 電解物質을 使用해 왔는데 여기에 放射性同位元素를 利用하므로써 확실한 성과를 얻을 수가 있었다. 이러한 目的으로 使用되는 放射性同位元素는 半減期가 짧고 吸着性이 적은 沃素를 일반적으로 使用하며 그 方法은 放射性 I를 自然放射能의 強度가 가장 큰 堤防地點 근처 水面에 投入한 후 의심스런地點에 미리 設置한 觀測孔들을 통해 放射能을 測定하므로써 漏水口의 位置와 漏水速度를 探知한다. 또한 地下水가 있는 곳은 대개 地層의 均열이 심한 斷層破碎帶이며 이러한 地質構造帶에서는 그 地表部의 自然放射能이 增大한다는 原理를 利用하여 地下水探查를 하게 된다.

海洋生物의 먹이사슬은 陸上生物보다 비교적 단순하며 自然界에서는 프랑크톤이 일차적으로 魚類의 飼料가 되고 있어 魚業과 프랑크톤은 重要한 關係가 있다. 植物프랑크톤의 繁殖은 海水의 無機物含量과 깊은 關係가 있어 海洋生産力은 光合成에 必要한 海水中 酸素나 營養鹽의 含量과 프랑크톤의 數의 測定值로서 標示

해 왔다. 炭素의 同位元素 C-14의 一定量을 海水에 投入한 다음 海水中的 植物프랑크톤을 採取하여 C-14의 放射能을 測定하면 海洋의 生産力을 알 수 있게 된다. 이 외에도 魚類의 人工飼育을 위한 生理, 生態, 水質 및 飼料 등에 관한 研究 또는 魚群의 移動, 探知 등 水産資源開發을 위해서 放射性同位元素는 광범위하게 利用될 가능성이 있다.

7. 우리나라에서 放射性同位元素의 生理營養分野에서 發展과 寄與度

우리나라에서 처음으로 金肥를 使用한 것은 1915년이며 農作物의 品種改良, 土壤의 種類, 栽培方法의 改善, 氣象條件에 따른 施肥方法에는 많은 變遷이 있었는데 그 中施肥法의 效率面에는 많은 의문점이 있었으나 1960년대 초부터 放射性同位元素를 利用하여 많은 事實이 밝혀짐으로써 農作物栽培와 增産에 크게 寄與하였다.

水稻栽培에 있어서 秋落現象은 減收要因이 되는 것으로 그 原因이 硫安肥料의 施用에만 있는 것으로 알려져 왔으나 放射性硫黃의 利用으로 본래부터 눈에 있었던 有機硫酸化合物이 高溫에 의해서 分解되어 H₂S가 스를 發生하는데 큰 原因이 있음을 알았고 老朽化畜에는 鐵分과 망강成分이 缺乏되었음을 放射化分析法에 의하여 究明하였으며 또 여기서는 溶脫이 심하므로 肥料의 分施가 效果的이라는 事實도 밝혀내었다. 우리나라 農村面積의 $\frac{1}{3}$ 에 해당하는 低位生産畜의 原因이 特

殊成分不足, 微砂礫土壤, 重粘土, 濕畜退化鹽土, 鹽流土 등에 기인됨을 밝혔으며 그 대책으로서 品種의 選拔 砂壤土에서는 乾畜直播, 分施, 無機營養素의 供給, 覆土 등이 效果的이라는 것을 證明하였다.

加里에 관한 연구로서는 土壤 및 農作物의 加里非破壞分析, 加里同位體의 土壤肥料學의 利用研究로서 加里分析法을 開發하였으며 또 加里吸收에 영향을 주는 土壤要因中 有機物の 영향을 土壤의 酸化還元轉位와 관련시켜 연구한결과 砂壤土에 있어서 加里肥料의 施用은 加里肥料의 직접적인 이용보다는 오히려 土壤中 加里의 吸收를 增進시켜 加里施用效果가 發現되는 것으로 밝혀졌다. 同位元素를 利用한 水稻의 肥料增進研究에서는 追跡子法, 放射化分析法이 처음으로 導入되었으며, 窒素質肥料의 肥効를 增進시키고자 土壤의 肥沃度別 窒素肥料의 效果를 본 結果, 窒素의 含量은 葉鞘, 줄기, 이삭 및 止葉에서 多收穫畝에서 生長한 벼 植物體에 더 많았고 硅素含量은 止葉에서 多收穫畝이 低收

畝畝보다 거의 2倍程度 높았는데 이는 土壤內에 可給態硅酸量이 多收穫畝에 많았던 것으로 알려졌다.

우리나라 벼는 生育 후반기에 가서 뿌리가 傷해 養分吸收障害를 일으키므로 충실한 結實을 못하는 경우가 많기때문에 中間落水를 시켜주어 뿌리에 충분한 酸素를 供給해줌으로서 根活力이 회복되어 肥料成分의 吸收가 촉진될 수 있다는 사실이 放射性同位元素를 利用하여 그 確證을 얻게 되었으며 葉面施肥效果도 입증되

었다. 그리고 제주도 굴나무에 發生하는 斑點病이 Mn 缺乏에 기인 한다는 것도 放射性同位元素를 利用하여 究明되었다. 최근에 와서는 公害産業 폐기물중의 加里成分을 回收하여 複合肥料製造法을 開發하였으며 이 複合肥料(Ball complex fertilizer)의 施肥法을 究明, 利用케 함으로서 米穀增産에 직접 이바지했음은 물론이고 公害防止面에도 간접효과를 견우었다.