

土壤-植物系에 對한 放射性核種의 舉動에 關한 研究

I. 大豆作物에 依한 Cs-137 의 吸收移行

柳 駿* · 金 在 成* · 李 榮 日*

(1983년 5월 17일 접수)

Studies on the Behaviour of Radionuclides in the Soil-Plant System

1) On the Uptake of Cesium-137 by Soybean

Joon Ryu,* Jae Sung Kim* and Young-il Lee*

Abstract

The present study was carried out to determine the effect of a radionuclide, cesium-137, in soybean, which is an element released usually from nuclear facilities. Soybean plants were grown on the pots treated with cesium-137 0.5~60 $\mu\text{Ci}/10\text{ kg}$ soil and the uptake, translocation and accumulation of the radiocesium in the plant parts were measured at different growth stage. The results are summarized as follows:

1) Visual toxic symptoms on the plants due to treatment of radioactive cesium were not observed up to 60 $\mu\text{Ci}/10\text{ kg}$ soil in a pot.

2) The uptake of cesium-137 in soybean plant was increased with increment of concentration applied, while the uptake of potassium was proportionally decreased, indicating to have an ion antagonistic relationship between them.

3) The absolute amounts of cesium-137 in the plants were gradually increased by the pod setting stage, but rather reduced at harvesting stage. The accumulation occurred more in the leaves and stems than the soybean seeds.

4) The rate of uptake was ranged from 0.039 to 0.005 with proportional decrease by increasing concentration applied and the rate of Cs-137 translocation from plants to seeds was averaged 38.6% in soybean plant. The concentration coefficient was 0.04 in the soybean seeds from the pots treated with 20 μCi of cesium-137 and decreased with increment of cesium-137 applied.

I. 序 論

原子力の 平和的利用 분야가 擴大됨에 따라서 放射

性物質의 生産量이 증가하고 또한 放射性廢棄物의 量도 증가되었다. 특히 近來에 와는는 原子力發電所의 稼動에 따른 施設周邊의 環境汚染問題가 대두되고 있는데 이들 施設物로부터 放出될 수 있는 放射性物質이

*韓國에너지研究所 放射線農學研究室 (Radiation Agriculture Division, Korea Advanced Energy Research Institute, P.O. Box 7, Cheong Ryang, Seoul)

Table 1. Chemical characteristics of soil used

pH(1:5)	T-N(%)	Avail-P(ppm)	O.M.(%)	CEC (m.e./100 g)	Ex-cation (m.e./100 g)				Texture
					Ca	Mg	K	Na	
6.5	0.12	43	3.6	4.25	0.94	0.37	0.17	0.04	SL

주변 環境에 어떠한 영향을 미칠 것인가에 대한 解析 研究가 매우 중요시되고 있다.

地表面과 大氣中에서의 放射性物質은 氣象條件에 따라 보다 넓은 地域으로 擴散되며 일부는 土壤表面에서 流失되지만 大部分은 土壤中에서 土壤粒子나 含有成分과 理化學的 反應에 의해 吸着, 固定 또는 非吸着의 形態로 存在하고 있으며 다른 일부는 經時的으로 下層으로 溶脫流失되는데 이들의 存在 形態中에서 水溶性을 포함한 置換態의 것은 作物에 의해 吸收, 移行된다. 이렇게 汚染된 作物體는 먹이연쇄(food chain)를 경유하여 人體의 放射線被曝의 原因이 될 수 있으므로 放射性物質의 土壤, 植物系에서의 舉動研究는 放射能汚染 방지 책을 수립하는데 매우 중요한 課題가 된다. (1~4)

최근 우리나라에서도 古里原子力發電所 1號機를 비롯하여 原子力發電所의 계속적인 증설에 따라 放射性核種의 環境汚染에 관한 관심도가 높아져 原子力發電所 주변 農耕地와 農作物에 대한 放射能 水準 調査가 柳等⁽⁵⁾에 의해서 遂行되고 있으며 本 研究에서는 土壤, 植物系에서의 放射性物質의 舉動에 관한 研究의 일환으로 주요 발작물인 大豆를 대상으로 半減期가 긴 核種中的 하나인 Cs^{137} 을 土壤에 處理하여 生育時期別, 作物部位別로 吸收移行 狀態와 土壤中的 Cs^{137} 이 大豆의 生育에 미치는 影響등을 조사하여 몇가지 結果를 報告하는 바이다.

II. 材料 및 方法

1. R.I. 處理 및 栽培管理

供試土壤은 韓國에너지研究所 金谷農場(경기도 남양주군 미금면 평내리 소재)의 밭토양으로서 pH가 다소 높고 CEC와 置換性 K含量이 매우 낮은 土壤이다. 試驗前土壤의 理化學的性質은 表 1과 같다. pot 試驗은 風乾土壤 9kg 석을 pot에 담고 肥料를 pot當 硫安 1.386g, 過磷酸石灰 1.209g, 염화加里 0.950g을 용액으로 하여 施用하였고, Cs^{137} 의 處理는 $Cs*Cl$ 형태의 放射性同位元素를 사용하여 pot(土壤 10kg)當 0, 0.5, 1, 5, 10, 20, 40, 60 μCi 석의 濃도로 처리한 후 흙과 잘 교반한 다음 그 위에 土壤 1kg을 첨가하였다.

供試大豆 品種은 “봉의”로 하였으며 2L의 물을 pot에 灌水한 후 물이 土壤에 완전히 스며든 다음 콩 種

Table 2. Yield and chemical composition of soy bean plant at different levels of Cs^{137}

Cs^{137} applied (μCi /pot)	Yield (g/pot)	K(%)	Cs^{137} (pCi/plant)
0	18.3	2.1	—
0.5	20.3	1.9	94.7
1.0	17.1	2.1	144.5
5.0	18.3	2.0	166.8
10.0	19.3	2.1	233.4
20.0	19.0	2.0	348.5
40.0	19.3	1.8	501.1
60.0	19.6	1.7	1115.2

자를 5粒씩 2cm 길이로 播種하였고 외부로부터 汚染을 방지한 半 vinyl 온실에서 栽培하였다.

2. 試料調製 및 放射能測定

Cs^{137} 을 土壤에 處理하여 栽培한 大豆作物은 生育時期別로 試料를 採取하여 生體重을 조사하고 70°C 전후에서 건조한 후 乾物重을 測定하였고 放射能試料 調製法⁽⁶⁾에 의거 조제한 試料를 2-Pi Gas Flow Counter (PR region)로 放射能을 測定하였다.

III. 結果 및 考察

1. $Cs^{137}O$ 大豆生育에 미치는 影響

放射性物質(Cs^{137})로 處理된 土壤에서 栽培된 大豆의 生育狀態를 보면 Cs^{137} 의 處理濃도에 따라서 開花時期나 花粉稔성에 별 차이가 없었으나 處理濃도가 增加함에 따라 落葉이 다소 빠른 경향을 보였다. 그러나 收穫期 大豆作物의 草長을 비롯하여 分枝數, 節數, 莢數와 種子數를 보면 無處理區에 비해 處理區가 오히려 다소 높은 경향을 보였으며, 收量에 있어서도 1.0 μCi 處理區를 제외한 全試驗區에서 無處理區에 비하여 Cs^{137} 處理區가 增加한 경향을 나타냈다(表 2).

本 試驗의 Cs^{137} 處理濃도 범위에서는 大豆作物의 生育阻害 影響을 볼 수 없었으며 오히려 生育이 증진된 結果를 보였는데 60 μCi 까지 Cs^{137} 을 處理하여도 大豆에 吸收되는 Cs^{137} 의 量은 處理濃도에 따라 정비례적으로 높은 吸收率을 보이지 않으므로 放射性物質에 의한 作物體의 汚染은 어떤 외부증상을 나타내지 않고 正常

Table 3. Seasonal accumulation of cesium on various parts of soybean plant treated with Cs¹³⁷ (10 μCi per pot)

Growth stage	pCi/g dry weight					pCi per plant
	leaves	petioles	stems	seed shells	seeds	
Seedling stage	124.7	—	104.4	—	—	34.1
Flowering stage	110.0	122.0	86.2	—	—	293.4
Pod filling stage	58.0	54.1	51.2	63.7	—	339.0
Maturing stage	29.5	44.2	43.8	28.6	16.9	233.4

生育을 하면서 일정한 放射性物質을 吸收함을 알 수 있었다.

Fredrikson等⁽⁷⁾이 여러가지 발작물을 대상으로 遂行한 調査結果를 보면 Cs¹³⁷ 處理에 의한 收量變化는 土壤形態에 따라서 다르나, 粘土와 K 含量이 낮은 土壤에서는 Cs¹³⁷ 處理에 의해 收量이 增加하였고 粘土와 K 含量이 높은 土壤에서도 收量의 減少는 보이지 않았다고 보고하였다.

2. 放射性物質의 吸收 移行과 分布

Cs¹³⁷의 處理에 따른 大豆作物體의 Cs¹³⁷ 吸收는 表 2에서와 같이 處理濃度의 增加에 따라 吸收는 增加하였으나 K 含量은 減少함을 나타내어 作物體의 K 吸收와 Cs¹³⁷ 吸收 사이에는 拮抗性이 있음을 보여주었다. 이는 Kiyosi等의⁽⁸⁾ 放射性同位元素를 利用한 발작물 조사결과에서 Cs¹³⁷은 理化學的性質이 K와 유사하여 作物體에 의한 吸收時 拮抗作用이 있었다는 보고들과 일치하는 結果였다.^(7,9)

大豆作物體의 生育時期別 Cs¹³⁷의 吸收는 10 μCi 處理區를 기준하여 붙때 表 3에서와 같이 作物體 株當 放射能은 pod 形成期까지는 增加하였으나 收穫期에서는 減少하였다. 이는 營養生長期間까지는 吸收力이 활발하므로 地上部位의 放射能이 增加하고 生殖生長期間에는 吸收力이 弱화되는 結果에 기인된 것으로 생각된다.

Table 4. Distribution of cesium on different parts of soybean plant treated with various concentration of Cs¹³⁷

Cs ¹³⁷ applied (μCi/pot)	pCi/g dry weight				
	petioles	leaves	stems	seeds	seed shells
0.5	14.07(25.76)*	8.27(15.14)	11.13(20.38)	8.3(15.20)	12.85(23.53)
1.0	15.38(19.51)	20.04(25.42)	14.78(18.75)	9.11(11.56)	19.53(24.77)
5.0	31.38(29.19)	14.68(13.66)	24.60(22.88)	13.56(12.61)	23.28(21.66)
10.0	44.23(27.13)	29.45(18.06)	43.83(26.88)	16.90(10.37)	28.64(17.57)
20.0	50.81(22.38)	39.88(17.57)	52.13(22.96)	30.77(13.55)	53.44(23.54)
40.0	135.12(21.27)	143.02(22.51)	141.80(22.32)	80.97(12.75)	134.41(21.16)
60.0	181.7 (20.55)	124.5 (14.08)	234.3 (26.49)	105.6 (11.94)	238.3 (26.95)

*() ; Content(%) of upper ground plant parts

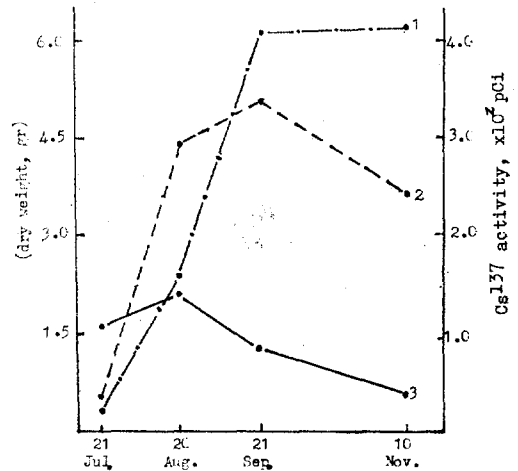


Fig. 1. Growth of the upper ground mass of soybean and accumulation of Cs¹³⁷ in the plant cultivated with 10 μCi per pot

Dry weight of one plant(1), activity of whole plant(2) and activity per g dry weight(3)

또한 단위 乾物重當 放射能은 그림 1에서 보듯이 幼苗期에서 收穫期로 갈수록 作物體 全部位에서 減少되었는데 이는 作物의 生長에 따라 植物의 有機質量의 增

Table 5. Cesium absorption in soybean plant, translocation and concentration coefficient in seeds treated with various concentration of Cs¹³⁷ in soil

Cs ¹³⁷ applied(μCi/pot)	% absorption of plant (upper ground part)	% translocation*	concentration coefficient**
0.5	0.069	29.95	0.29
1.0	0.051	19.19	0.17
5.0	0.012	29.69	0.03
10.0	0.009	18.03	0.03
20.0	0.003	52.09	0.04
40.0	0.003	85.60	0.07
60.0	0.005	36.17	0.06

* (radioactivity of seeds/radioactivity of plants above ground) × 100

** radioactivity of seeds per gram of dry weight/radioactivity of soil per gram of dry weight

加에 기인된 결과이다. (7,9) Rommey 等(10)이 발작물에 의한 放射性物質의 生育時期別 吸收에 대한 조사결과를 보면 大豆에 의한 Cs¹³⁷의 吸收는 處理후 처음 20日 동안은 잎과 줄기에서 상당히 빠르게 吸收 移行되나 이후 收穫期까지는 일정한 濃度로 유지된다고 보고하였다.

大豆作物體에 吸收된 Cs¹³⁷의 部位別 放射能 蓄積量은 表 4에서와 같이 Cs¹³⁷의 處理濃度가 增加할 수록 部位別 放射能 蓄積量이 증가하였으며 모든 處理區에서 部位別로 비슷한 分布를 보였고, 乾物重 g當 平均 放射能의 分布를 보면 엽부위(葉+葉柄)(41.7%), 줄기(22.9%), 콩피부리(22.7%), 콩(12.6%)의 순으로 濃縮되어 莖葉部가 種實에 비해 높은 分布를 나타내어 Gulyakin 等(8)이 放射性物質은 種實에 비해 榮養器官에 많이 濃縮된다는 보고와 일치하였다. (10,11) Kiyoshi 等(12)이 누에콩에 대한 Cs¹³⁷의 部位別 調査에서 잎과 줄기에 66.9%, pod에 33.1%, 콩에 16.8%로 보고하여 本實驗과 비슷한 結果를 나타내었다.

Cs¹³⁷의 處理濃度에 따른 大豆作物體의 吸收率, 移行率 및 濃縮係數는 表 5에서와 같다. 전술한 바와 같이 處理濃度가 增加할 수록 作物體 1株當의 Cs¹³⁷ 吸收는 增加하는데 비해 處理濃度別 作物體의 地上部 吸收率은 減少함을 보여준다. 즉, 0.5 μCi 處理區에서 0.069%, 10 μCi 처리구에서 0.009%, 60 μCi 처리구에서는 0.0049%로 減少되는데 이는 土壤中の Cs¹³⁷의 含量이 높아도 無擔體의 Cs¹³⁷ 處理는 作物에 거의 非有用성이며(7), K와 N 등의 榮養素와의 相互作用에 의한 制限적 吸收에 기인된 것 같다. Nishita 等(10)의 조사에 따르면 Cs¹³⁷은 Sr⁹⁰에 비해 土壤에 의한 영향을 많이 받아 作物體 吸收率이 약 10배정도 적다고 하였으며, 作物別 吸收率은 水稻가 1.01%, 밀이 0.076%, 누에콩이 0.030%로 本실험에 비해 다소 높으며 水稻의 높은

吸收率은 窒素質肥料(암모니아態 窒素)에 의한 것이라고 하였다. (12,13)

地上部 吸收에 대한 種實로의 移行率은 18.03~85.6% 범위로 處理濃度에 따라서 다소 차이가 있으나 평균 38.6%를 나타내어 Cs¹³⁷의 種實로의 높은 移行率을 나타내었다. (14) Kiyoshi 等(12)은 밀과 누에콩에서의 移行率은 16.9%와 16.8%로 보고하여 本實驗의 조사보다 낮은 移行率을 보였다.

土壤 g當 放射能과 種實 g當 放射能비인 濃縮係數는 土壤中の 放射能이 높을 수록 낮아지는 경향이 있으며 20 μCi 處理區에서는 0.04였다. 濃縮係數는 作物과 土壤特性等 環境에 따라서 다르게 되는데 Gulyakin 等(8)은 土壤 kg當 Cs¹³⁷을 0.14 mCi 處理하여 완두콩의 농축계수를 조사한 결과 植質土壤에서는 0.05, 壤質土壤에서는 0.01로 보고하였다.

이상의 結果로 미루어 農耕地에 Cs¹³⁷이 汚染되었다 하더라도 作物體에 吸收되는 量은 극히 微微한 것으로 보인다.

IV. 要 約

原子力施設에서 放出될 수 있는 주요 核種中에서 Cs¹³⁷을 인위적으로 土壤에 處理하여 作物體에 吸收, 移行 및 濃縮關係를 究明하고자 pot(土壤 10 kg)當 0.5~60 μCi로 處理한 후 大豆를 栽培하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

- 1) 供試된 Cs¹³⁷의 上記 處理濃度에서는 大豆作物의 生長阻害 영향을 볼 수 없었다.
- 2) 處理濃度 增加에 따라 大豆作物의 Cs¹³⁷ 吸收는 增加하였으나 K含量은 減少하였으므로 두 이온間の 拮抗性을 보였다.
- 3) 生育時期別 吸收量은 pod 形成期까지는 增加하다

收穫期에는 減少하는 경향을 보였고 種實에 비해 莖葉部に 높은 蓄積을 보였다.

4) 大豆作物의 Cs^{137} 吸收率은 0.069~0.005의 범위로 Cs^{137} 處理濃도에 따라서 減少하였고, 移行率은 平均 38.6%였고, 種實에의 濃縮係數 또한 濃度の 增加에 따라 減少하였으며 20 μ Ci 處理區를 基準으로 할 경우 농축계수는 0.04 였다.

參 考 文 獻

1. Sommermeyer, K. and Godt, K. J. (1957): The uptake of radioactivity directly through leaves and indirectly via the roots of plants, *Int. Conf. on the Peac. Uses Atomic Ener. Proc.*, **18**, 439.
2. Ritchie, J. C., McHenry, J. R. and Gill, A. C. (1972): The distribution of Cs^{137} in the litter and upper 10 cm of soil under different cover types in northern Mississippi, *Health Physics*, **22**, 197.
3. Cline, J. F. and Rickard, W. H. (1972): Radioactive strontium and cesium in cultivated and abandoned field plots, *Health Phys.*, **23**, 317.
4. Miller, J. R. and Reitemeier, R. F. (1963): The leaching of radiostrontium and radiocesium through soils, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **27**, 441.
5. 柳 駿, 金在成, 李榮日(1982): 原子爐 施設周邊의 農耕地 및 農作物內의 放射性 核種研究, KAERI/RR-319/81.
6. 山縣 登(1967): 環境放射能測定法, 共立全書.
7. Fredriksson, L., Eriksson, B., and Rasmuson, B. (1958): Studies on soil-plant-animal interrelationships with respect to fission products, 2, U.V.

Intern. Conf. on the Peac. Uses of Atomic Ener. A/Conf. 15/P/2207 Proc., **18**, 439.

8. Kioyshi, T. (1959): The uptake of cesium-134 and potassium by lowland and upland rice from soil, and their distribution in the plants, *J. Sci. Soil Manure, Japan*, **30**, 253.
9. Gulyakin I. V. and Yudintseva, E. V. (1958): Uptake of strontium, caesium and some other fission products by plants and their accumulation in crops, 2, U.V. *Inter. Conf. on the Peac. Uses of Atomic Ener. A/Conf. 15/P/2207 Proc.*, **18**, 439.
10. Nishita, H., Rommey, E. M. and Larson, K. H. (1961): Uptake of radioactive fission products by crop plants, *Agric. Food Chem.*, **9**, 101.
11. Kioyshi, T. (1961): The uptake of strontium-90 and cesium-134 by wheat and broad bean from soil and their distribution in the plants, *J. Sci. Soil Manure, Japan*, **32**, 111.
12. Kiyoshi, T., Yeh, K. L. and Mitsui, S. (1961): The uptake of strontium and cesium by plants from soil with special reference to the unusual cesium uptake by lowland rice and its mechanism, *Soil and Plant Food*, **6**, 176.
13. Minotti, P. L., Craig, D. and Jackson, W. A. (1965): High cesium uptake in wheat seedlings cultured with ammonium, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **29**, 220.
14. Ichikawa, R., Eto, M. and Abe, M. (1962): Strontium-90 and cesium-137 absorbed by rice plants in Japan, 1950, *Science*, **135**, 1072.