

畚土壤에서 水稻의 Cesium-137 吸收와 水稻體內 分布

金在成*·林秀吉**
(1985년 2월 20일 접수)

The Uptake of Cs¹³⁷ by Paddy Rice from Soil and its Distribution in the Plant

Jae Sung Kim* and Soo Kil Lim**

Abstract

A pot experiment was conducted to study the influence of potassium and cesium carrier on the uptake of radionuclide Cs¹³⁷ which is an element released usually from nuclear facilities, by paddy rice upon prolonged cropping of contaminated soils. The results are summarized as follows:

1) Visual toxic symptoms on the growth of rice plant due to treatment of radioactive cesium were not observed up to 20 $\mu\text{Ci}/10\text{ kg}$ soil in a pot.

2) The yield and potassium content in rice plant were increased with potassium application, while the reverse was true for the calcium and magnesium. The addition of potassium to the soil markedly reduced Cs¹³⁷ uptake by rice plant but the addition of Cs carrier increased Cs¹³⁷ uptake.

3) Potassium and Cs¹³⁷ showed uniform distribution in all parts of plant and the contents of these two elements were high in the stems and leaves, and low in the heads. The ratio of Cs¹³⁷ to K was, however, not uniform in all parts of a plant. It was shown that this ratio was higher in the seed part, that is, chaff and hulled grain than in the leaves and stems.

4) Cs¹³⁷ absorption rate in rice plant was remarkably reduced with increase of potassium application and it was ranged from 0.02~0.47% in potassium non-treated plot to 0.01~0.04% in plot treated with a concentration of 16 kg/10 a.

5) The amount of Cs¹³⁷ and potassium uptake of rice plant depended on soil type. Uptake of Cs¹³⁷ by rice plant was higher in the soil with low pH and potassium content. The Cs¹³⁷ uptake by rice plant decreased as the potassium content and pH of soil was increased, but Cs¹³⁷ uptake increased when CEC and clay content in soil was high.

*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)

**高麗大學校 農化學科 (Dept. of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Korea University, Seoul)

緒 論

급진적이고 폭넓은 科學의 發達과 이에 따른 人間문명의 發展은 多量의 資源의 利用과 새로운 에너지資源의 開發利用을 가증시켜 放射性物質과 原子力利用分野의 확대에 따른 核燃料의 生産量이 增加하였으며 또한 이에 따른 放射性 廢棄物의 量도 증가하게 되어 放射性物質에 의한 環境汚染 問題가 고조되고 있다.

國內에서도 原子力發電所의 建設, 稼動을 계기로 施設周邊의 環境汚染 問題가 중요시 되었고, 原子力施設로부터 放出될 수 있는 放射性物質의 주변 環境에 미치는 영향을 評價하기 위한 一連의 研究가 遂行되어 原子力發電所 주변 農耕地 土壤과 農作物의 放射性物質 汚染실태를 조사한 바 있다. (6,7,19) 특히 農業災害의 觀點에서 放射性核種을 利用한 農業環境에서의 放射性物質의 行動에 關한 解析研究는 더욱 큰 의의가 있을 것으로 사료되어 前報(20)에 이어 cesium-137을 몇가지 畚土壤에 處理하고 水稻를 栽培하여 畚土壤의 理化學的性質이 水稻의 Cs¹³⁷吸收, 移行에 미치는 영향조사와 함께, Middleton(12)과 Tensho等(23)이 植物의 Cs¹³⁷과 K의 吸收에서 拮抗的作用이 있으며, 또한 植物의 Cs¹³⁷吸收에 非放射性物質인 cesium의 無機化合物 (Cs carrier)의 영향을 Epstein과 Hagen(11) 및 Larson等(6)이 조사보고 하였던 바 水稻의 Cs¹³⁷吸收에 대한 K肥料과 無機化合物 cesium chloride(CsCl)의 영향 및 Cs¹³⁷의 水稻體內 部位別 分布등을 조사하여 보고하는 바이다.

材料 및 方法

1. 供試土壤

水稻體에 의한 Cs¹³⁷의 吸收實驗을 위한 水稻栽培 土壤은 理化學的性質등을 고려하여 홍해(청계동), 조안(광활동), 단양(중동동), 전곡(파주동), 포천(삼각동) 등에서 採取하여 韓國에너지研究所 試驗農場에 설치된 대형 pot에 보존중인 것을 선정하여 風乾, 製질한 후 土壤 10 kg씩을 試驗 pot에 담아서 水稻栽培에 사용하였다.

試驗土壤의 理化學的特性은 表 1에서 보는바 같이 청계동과 파주동은 土壤 pH와 置換性 K가 낮은 酸性土壤으로 점토함량이 높은 壤土와 微砂質壤土였으며 중동동과 광활동은 pH가 높은 알카리성으로 14%정도의 비슷한 점토함량을 가진 壤土와 微砂質壤土였다. 특히 석회암지대에서 채취한 중동동은 치환성 Ca함량이 매우 높았고, 광활동은 다른 土壤에 비하여 치환성

K 및 Na함량이 높았다.

2. K와 Cs¹³⁷處理 및 栽培管理

水稻의 Cs¹³⁷吸收에 대한 K비료의 효과를 보기위해서 K비료 수준을 10 a當 8 kg을 기준으로하여 4 kg과 16 kg區를 첨가하여 無處理區와 비교하였다. 이것은 pot당 K₂O로서 0, 0.66 g, 1.32 g, 2.64 g을 施用한 것이며 N과 P₂O₅는 pot당 각각 2.84 g, 1.67 g을 사용하였는데 이는 10 a當 N, P₂O₅가 15 kg과 9 kg에 해당하여 施肥는 水溶液으로하여 Cs¹³⁷과 함께 첨가하였다. Cs¹³⁷의 處理는 標識된 무담체의 Cs*Cl(1 mCi/ml)를 적정량으로 稀釋하여 pot當 20 μCi씩 肥料液과 함께 일정량의 물을 混合한후 전체 pot에 첨가하고 잘 섞이도록 저어주었다. Cs¹³⁷吸收에 대한 Cs擔體의 영향을 보기위하여 pot當 20 mg의 cesium chloride(CsCl)를 첨가하고 무담체구와 비교하였다. 肥料과 Cs¹³⁷과 擔體處理 다음날에 통일계 水稻(관약)건묘를 선발하여 3本씩 3株 移秧하여 계속 담수상태로 栽培하였다.

3. 植物體 分析 및 放射能計測

항시 담수상태로 온실에서 재배한 水稻를 收穫期에 각 pot의 土壤表面에서 5 cm以上の 地上部를 모두 收穫하여 收量을 조사하고 70°C의 熱風乾燥器에서 3일간 건조시킨후에 乾物重을 測定하고 잎, 줄기, 벼, 현미, 왕겨등으로 나누어 Wiley mill로 분쇄한후 化學分析과 Cs¹³⁷의 放射能 計測試料로 사용하였다.

水稻體 各 部位別 化學成分은 各 試料를 습식분해하여 Ca과 Mg은 EDTA에 의한 적정법으로, K는 atomic absorption spectrophotometer로, 磷酸은 spectrophotometer로, 질소는 Kjeldahl법으로 정량하였다.

Cs¹³⁷의 放射能計測은 분쇄시료 1 g을 정형하여 450°C 電氣爐에서 灰化한후 planchet에 옮겨 담아서 alcohol과 비눗물로 적시어 균일하게 分布시키고 赤外線燈으로 건조하여 2-π gas flow counter (PR region)로 放射能을 반복 측정하였다. 計測器의 計測效率를 결정하기 위하여 Cs¹³⁷無處理區의 각부위별 試料 1 g씩을 회화하여 Cs¹³⁷標準量으로 處理하고 計測試料와 같은 과정으로 試料를 調製하여 標準試料로 사용하므로서 간접적으로 灰分에 의한 自己吸收의 영향을 보정하였다.

結果 및 考察

1. 水稻의 Cs¹³⁷吸收

Cs¹³⁷로 汚染된 土壤에서 栽培된 水稻의 生育은 全供試土壤에서 Cs¹³⁷處理에 의한 生育障害는 나타나지 않았고 가리 무질가구에서만 生育과 結實이 다소 불량하

Table 1. Characteristics of soils used in the experiments of Cs¹³⁷ treatment

Soil No.	Soil series	Sampling site	pH (1 : 5)	T-N (%)	O.M (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	CEC m.e/100g	Ex-cation(m.e/100g)				Sand %	Silt %	Clay %
								Ca	Mg	K	Na			
1	Cheonggye	Heunghae	5.7	0.11	1.9	166	10.6	5.60	1.35	0.16	0.23	36.7	46.3	17.0
2	Gwanghwal	Choum	8.2	0.04	0.4	54	8.2	3.75	2.80	1.16	1.52	10.2	75.9	13.9
3	Jungdong	Danyang	7.7	0.14	2.6	57	10.1	13.20	1.12	0.36	0.14	46.9	38.6	14.5
4	Paju	Jungok	5.4	0.11	2.0	24	10.5	3.15	1.32	0.25	0.13	6.2	63.1	30.7
5	Samgag	Pocheon	6.1	0.15	2.7	821	8.5	3.81	0.84	0.54	0.09	61.2	30.6	8.2

였고, K첨가량의 증가에 따라 收量이 다소 증가하는 경향을 보였다. 담체첨가에 의한 영향에서는 담체무첨가구에서는 담체첨가구와 비슷한 生育을 나타냈으나 乾物重과 收量이 다소 적은 경향을 보여 Cs담체첨가가 水稻의 收量을 다소 증가시키는 경향을 보였다. Nishita와 Haug⁽¹⁸⁾는 Cs¹³⁷에 汚染된 土壤에서 收量감소가 있었다고 하였으나 柳 등⁽²⁰⁾이 土壤 10 kg에 60 μ Ci處理에서도 Cs¹³⁷에 의한 大豆 生育阻害가 없었다고 보고하여 본 실험의 20 μ Ci처리에서 生育에 대한 結果와 비슷하였고, Fredrikson 등⁽²⁾과 Nishita 등⁽¹⁵⁾은 土壤에 K첨가는 作物體 收量을 증가시킨다고 하여 본 실험과 일치된 結果를 보고하였다. 또한 Nishita 등⁽¹⁵⁾은 Cs담체첨가에 의하여 水稻 收量을 감소시킨다고 하였으나 Fredrikson 등⁽²⁾은 置換性K가 낮은 土壤에서는 收量을 증가시키나 높은 土壤에서는 별 영향이 없다고 하여 본 실험의 土壤 收量 변화가 없었고 다른 土壤에서는 담체첨가에 따라서 收量이 증가하는 경향을 보인 結果와 비슷하였다.

Cs¹³⁷로 汚染된 土壤에서 栽培된 水稻의 양분함량과 Cs¹³⁷吸收는 담체첨가구의 경우 表 2에서 보듯이 모든 土壤에서 K첨가량의 증가에 따라서 水稻體內 K의 含量도 고도의 유의성있는 正의 상관($r=+0.616^{**}$)을 보이면서 증가하였으나 Ca과 Mg은 減少하였으며 질소와 인산도 K첨가에 따라서 水稻體 吸收는 감소하는 경향을 보였다. Cs담체무첨가구에서도 가리첨가에 따른 各成分含量의 변화는 담체첨가구에서와 비슷한 경향을 보였고 그들의 함량에서도 비슷한 分布를 보였으나 K함량이 담체첨가구에 비하여 다소 높은 含量을 보였다. Fredrikson 등⁽²⁾과 Nishita 등⁽¹⁷⁾은 K첨가는 植物體內 K含量을 증가시키나 Ca과 Mg의 含量은 減少시키며 Cs담체 첨가는 植物體의 K함량은 減少시키나 Ca과 Mg吸收에는 별 영향이 없다고 보고하여 본 실험과 일치하는 結果를 얻었다.

K첨가에 따른 各 土壤別 水稻의 Cs¹³⁷吸收는 그림 1에서 보여 주듯이 K첨가에 따라서 모든 土壤에서 水稻의 Cs¹³⁷吸收는 담체첨가구($r=-0.492^{*}$)와 무첨가구(r

Table 2. Chemical composition of rice plant at different K levels in Cs¹³⁷-treated soil with Cs carrier

Soil	K kg/10a	Ca	Mg	K	N	P ₂ O ₅	Cs ¹³⁷
		%					
Cheonggye	0	0.51	0.19	0.70	0.85	0.61	930.0
	4	0.44	0.26	0.78	0.92	0.60	1163.0
	8	0.41	0.17	0.87	0.88	0.56	383.7
	16	0.35	0.22	1.10	0.60	0.48	86.5
Gwanghwal	0	0.38	0.22	0.54	0.92	0.55	67.0
	4	0.33	0.20	0.63	0.86	0.63	65.7
	8	0.33	0.13	0.68	0.91	0.53	38.3
	16	0.28	0.18	0.77	0.76	0.52	35.3
Jungdong	0	0.40	0.23	0.73	0.76	0.56	258.0
	4	0.36	0.31	1.04	0.69	0.47	120.0
	8	0.36	0.27	1.17	0.70	0.57	52.0
	16	0.35	0.27	1.10	0.68	0.58	35.5
Paju	0	0.48	0.16	0.66	1.03	0.57	1325.0
	4	0.40	0.17	0.70	1.04	0.61	580.7
	8	0.37	0.17	0.83	1.01	0.63	205.0
	16	0.49	0.12	1.06	0.85	0.53	117.3
Samgag	0	0.43	0.23	0.99	0.80	0.53	255.0
	4	0.42	0.21	0.82	0.92	0.66	187.7
	8	0.32	0.27	0.92	0.89	0.68	111.7
	16	0.41	0.27	1.10	0.86	0.60	99.7

$= -0.480^{*}$) 모두 유의성 있는 負의 상관을 보이면서 크게 減少하였으며 Cs담체첨가구는 무첨가구에 비하여 다소 높은 吸收量을 보여 土壤에 Cs담체첨가는 水稻의 Cs¹³⁷吸收를 증가시키는 것으로 나타났다. Fredrikson 등⁽²⁾과 Gulyakin과 Yudinseva⁽⁴⁾ 및 Nishita와 Haug⁽¹⁸⁾들은 土壤에 K첨가는 植物의 K吸收는 증가시키나 Cs¹³⁷吸收는 減少시킨다고 하였으며 Nishita 등⁽¹⁵⁾은 처

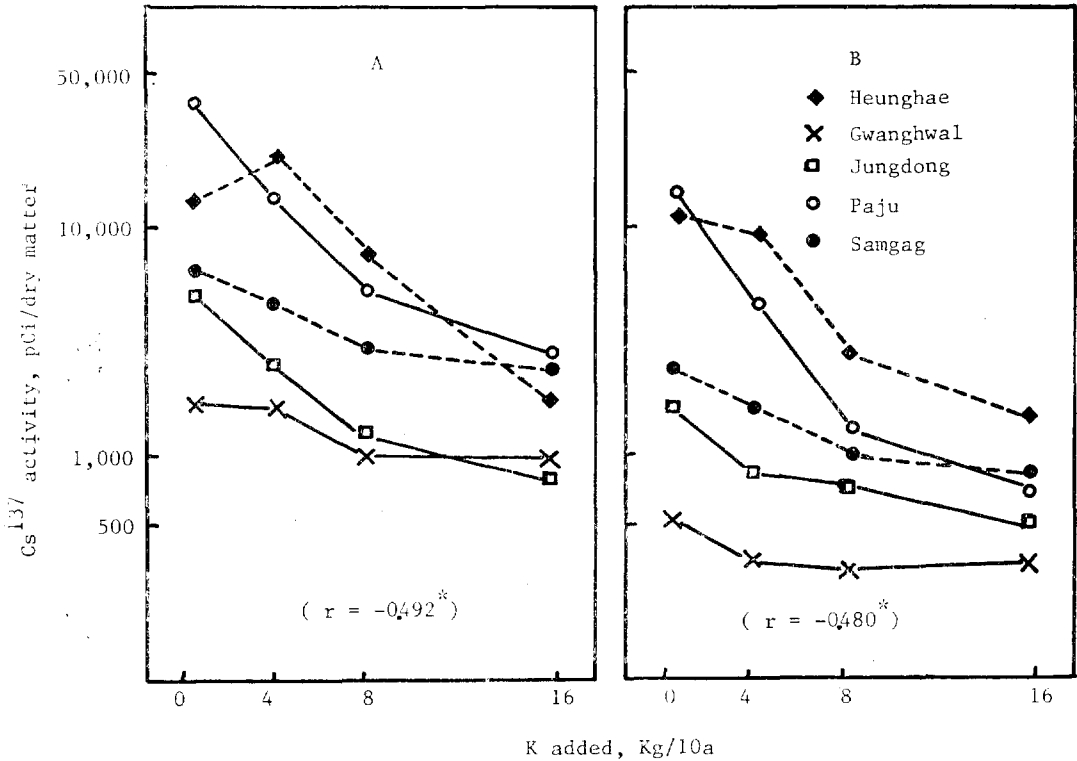


Fig. 1. Total uptake of Cs¹³⁷ of whole rice plant at different K levels in soil (A: carrier added, B: carrier free)

환성 K가 낮은 土壤에서 K첨가에 의한 억제효과가 더욱 크다고하여 본 실험의 置換性 K含量이 낮은 청계동과 파주동에서 자란 水稻가 높은 Cs¹³⁷含量을 보이면서 또한 높은 抑制效果를 보였고 置換性 K含量이 제일 높은 광활동이 가장 낮은 Cs¹³⁷含量을 보이면서 완만한 抑制效果를 나타낸 결과와 일치하였다. 또한 Larson등⁽⁵⁾과 Middleton등⁽¹²⁾ 및 Nishita등⁽¹⁵⁾은 土壤에 Cs담체첨가는 Cs¹³⁷의 有效度를 증가시켜 植物體 吸收를 증가시키나 K의 吸收는 減少시킨다고 하였으며 비

슷한 결과가 많이 發表되어 있는데^(1,2,16,17) 본 실험에서도 이와 일치되는 결과를 얻었다.

2. Cs¹³⁷의 水稻體 部位別 分布

收穫期 水稻體內的 K와 Cs¹³⁷의 部位別 含量 分布를 表 3에서 비교해보면 K의 水稻體內 部位別 분포는 줄기에서 53.9%로 가장 높고 잎>현미>왕겨 순서였으며, Cs¹³⁷의 分布 역시 줄기가 43.7%로 가장 높고 잎>현미>왕겨 순서로 K와 같은 分布를 보였으나 K는

Table 3. Absorption and distribution rate of Cs¹³⁷ and K in different parts of rice plant at harvesting stage

Part of plant	Dry weight (g/hill)	K content		Cs ¹³⁷ content		Cs ¹³⁷ /K ratio	Index
		mg/hill	distribution rate(%)	pCi/hill	distribution rate(%)		
Leaves	5.5	58.9	29.9	1,171	29.2	19.9	98
Stems	6.2	106.5	53.9	1,752	43.7	16.5	81
Hulled grain	8.4	17.6	8.9	659	16.5	37.4	184
Chaff	2.3	14.3	7.3	423	10.6	29.6	146
Rough grain	10.7	31.9	16.2	1,082	27.1	33.9	167
Whole plant	22.4	197.1	100	4,005	100	20.3	100

Cs¹³⁷에 비하여 잎과 줄기에 分布比率이 높았고 Cs¹³⁷은 K에 비하여 種實部에 높은 分布비율을 보였다. 또한 水稻體內 部位別 K含量에 대한 Cs¹³⁷含量的 分布比(K mg當 Cs¹³⁷ pCi)는 현미에서 가장 높고 왕겨>잎>줄기 순으로 각각의 含量別 部位分布 순서의 역순이었다. 이와같은 경향은 水稻體內에 吸收된 Cs¹³⁷은 K에 비하여 種實部로의 移行이 높으며 K는 Cs¹³⁷에 비하여 잎의 노화에 따라서 줄기와 엽초로의 이행이 높아져 일어나는 현상으로 생각되며 Middleton⁽¹¹⁾과 Tensho등⁽²³⁾ 및 Tanaka^(21,22)들도 이런 사실을 인정하였다. 또한 Epstein과 Hagen⁽¹⁾ 및 Nishita등⁽¹³⁾은 K와 Cs¹³⁷의 植物體內 吸收分布에서 유사성을 인정하였고, Menzel과 Heald⁽¹⁰⁾와 Middleton등⁽¹²⁾ 및 Tensho등^(23,24)은 K含量에 대한 Cs¹³⁷含量比는 部位에 따라서 다르며 種實部位가 높고 잎과 줄기에서 낮다고 보고하여 본 실험과 같은 결과를 얻었다.

3. 水稻의 Cs¹³⁷吸收率

K와 Cs담체 첨가에 따른 水稻의 Cs¹³⁷吸收率は K첨

가에 따라서 모든 土壤에서 크게 減少되었는데 담체첨가구의 경우 K무첨가구에서는 0.03~0.47% 범위의 吸收率을 보였으나 K最高첨가구인 16 kg첨가구에서는 0.01~0.04%로 크게 減少되었고, 담체무첨가구에서는 K무첨가구에서 0.01~0.22%, K최고첨가구에서는 0.01~0.02% 범위로 減少되면서 담체첨가구에 비하여 훨씬 낮은 吸收率을 보였다. 또한 土壤에 따라서도 많은 차이를 보였는데 청계통과 파주통이 0.03~0.47%로 가장 높은 吸收率을 보이면서 또한 가장 큰 吸收率 減少를 보였고, 광활통이 가장 낮은 0.02~0.03%의 吸收率으로 적은 吸收率 減少를 보였다. 다른 조사자들에 의한 植物의 Cs¹³⁷吸收率은 Nishita등^(23,25)이 밀(0.076%), 누에콩(0.030%), 陸稻(0.049%) 및 水稻(1.01%) 등의 吸收率을 보고하였다.

4. 水稻의 Cs¹³⁷吸收와 土壤特性

水稻의 Cs¹³⁷吸收와 土壤의 理化學的特性과의 상관관계를 조사하여 본 결과(表 4) 水稻의 Cs¹³⁷吸收에 栽培 土壤의 pH와 높은 負의 상관관계(r = -0.541*)를 보여

Table 4. Correlation between Cs¹³⁷ uptake of rice plant and soil properties

correlation member		Cs carrier	correlation coefficient(r)	Significance	Regression equation
X	Y				
Soil pH	Cs ¹³⁷ uptake of rice plant	added free	-0.541 -0.509	* *	y = -183.028x + 1517.596 y = -111.864x + 916.441
T-N content in soil	"	added free	+0.088 +0.078	N.S "	
O.M content in soil	"	added free	+0.102 +0.084	" "	
P ₂ O ₅ content in soil	"	added free	-0.139 -0.117	" "	
CEC content in soil	"	added free	+0.381 +0.370	" "	
Ex-Ca content in soil	"	added free	-0.188 -0.156	" "	
Ex-Mg content in soil	"	added free	-0.202 -0.186	" "	
Ex-K content in soil	"	added free	-0.480 -0.471	* *	y = -510.117x + 557.948 y = -324.510x + 336.702
Ex-Na content in soil	"	added free	-0.300 -0.276	N.S "	
Clay content in soil	"	added free	+0.419 +0.322	" "	

주었다. 즉 土壤 pH增加에 따라서 水稻의 Cs¹³⁷吸收는 減少되었다. 이들에 관한 조사는 미진하여 비교가 곤란하나 土壤脫着에 관한 조사에서 Martin등⁽⁶⁾과 Nishita등⁽¹³⁾은 pH增加에 따라서 土壤吸着量은 增加하고 土壤溶液으로의 溶出量은 적다고 보고하여 植物의 Cs¹³⁷吸收에 pH영향을 인정하였다. 水稻의 Cs¹³⁷吸收에 대한 土壤 磷酸(r = -0.139) 置換性 Ca(r = -0.188), Mg(r = -0.202)과 Na(r = -0.300) 등은 유의성없는 부의 상관관계를 나타내어 다소 減少시키는 경향을 보여 주었고,

土壤有機物(r = +0.102), CEC(r = +0.381) 및 점토함량(r = +0.419)은 水稻의 Cs¹³⁷吸收를 增加시키려는 경향을 보였으나 유의성은 없었다. 土壤中 置換性加里와 水稻의 Cs¹³⁷吸收는 높은 유의성을 보이는 부의 상관(r = -0.480*)을 나타내었는데 置換性 K含量이 낮은 청계통과 파주통이 높은 吸收를 나타내었고 K含量이 제일 높은 광활통이 가장 낮은 吸收를 보여 Fredrikson등⁽²⁾과 Graham⁽³⁾ 및 Nishita등⁽¹⁵⁾이 보고한 土壤中 置換性 K含量 增加는 植物의 Cs¹³⁷吸收를 減少시키며, 특히

Menzel⁽⁹⁾은 土壤中 有效K와 植物의 Cs¹³⁷吸收는 反比例한다는 結果와 일치함을 보여주었다.

要 約

原子力施設로부터 放出될 수 있는 放射性物質의 하나인 Cs¹³⁷을 土壤에 처리하여 水稻에 의한 吸收와 그 分布에 미치는 加里肥料과 Cs담체의 영향을 조사하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1) 試驗土壤 10 kg에 20 μCi水準까지의 Cs¹³⁷처리에서도 水稻生育에 어떤 영향을 볼 수 없었다.

2) 加里첨가에 따라서 水稻의 收量과 水稻體內 K含量이 增加하였으나 Ca, Mg의 含量은 減少되었으며 水稻의 Cs¹³⁷吸收도 크게 抑制되었으나 Cs담체첨가는 Cs¹³⁷ 吸收를 增加시켰다.

3) 水稻體內 K와 Cs¹³⁷의 部位別 分布는 동일한 傾向으로서 일반적으로 이들 두 원소의 含量은 줄기에서 가장 높았고 다음이 잎, 왕겨, 종실, 현미의 순서였다. 그러나 Cs¹²⁷/K의 含量比는 水稻體 各 部位에서 일정치 않았으며 현미와 왕겨등의 종실에서 높았고, 잎과 줄기에서 더 낮았다.

4) 水稻의 Cs¹³⁷吸收率은 K첨가 증가에 따라서 크게 減少되었는데 K무첨가구에서는 0.02~0.47%범위였고 최고첨가구(16 kg/10 a)에서는 0.01~0.04% 범위였다. 또한 담체첨가구에서의 吸收率은 0.03~0.23%였고 담체무첨가구에서는 0.01~0.10%범위였다.

5) 栽培土壤의 pH와 置換性 K가 낮은 土壤에서 水稻의 Cs¹³⁷吸收가 높았으며, 土壤 pH와 置換性 K가 增加됨에 따라 吸收는 減少되었고 土壤의 陽이온 置換能과 집토함량이 높으면 水稻의 Cs¹³⁷吸收도 증가되었다.

참 고 문 헌

1. Epstein, E. and Hagen, C. E. (1952) : A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots, *Plant Physiol.*, **27**, 457.
2. Fredrikson, L., Eriksson, B., Rasmuson, B., Gahne, B., Edvarson, K. and Löw, K.: Studies on soil-plant-animal interrelationships with respect to fission products, 2. *U. V. Inte. Conf. on the Peac. Uses of Atom. Ener. A/Conf. 15/p/22 07 Proc.*, **18**, 449.
3. Graham, E. R. (1958) : Uptake of waste Sr⁹⁰ and Cs¹³⁷ by soil and vegetation, *Soil Sci.*, **86**, 91.
4. Gulyakin, I. V. and Yuditseva, E. V. Uptake of strontium, cesium and some other fission prod-

- ucts by plants and their accumulation in crops.
2. *U. V. Inte. Conf. on the Peac. Uses of Atom. Ener. A/Conf. 15/p/2207 Proc.*, **18**, 476.
5. Larson, K. H., Neel, J. W., Olafson, J. H. and Romney, E. M. (1957) : Plant uptake of Sr⁹⁰, Y⁹¹, Ru¹⁰⁶, Cs¹³⁷ and Ce¹⁴⁴ from soils, *Soil Sci.*, **83**, 369.
6. 李鈺浩 (1983) : 原子力施設 주변의 環境影響評價研究, KAERI/RR-386, 182.
7. 李鈺浩 (1984) : 環境監視方法의 標準化 研究, KAERI/RR-423/83.
8. Martin, J. C., Overstreet, R. and Hoagland, D. R. (1945) : Potassium fixation in soils in replaceable and nonreplaceable forms in relation to chemical reactions in the soil, *Soil Sci. Soc. Proc.*, 94.
9. Menzel, R. G. (1954) : Competitive uptake by plants of potassium, rubidium, cesium and calcium, strontium, barium from soils, *Soil Soc.*, **77**, 419.
10. Menzel, R. G and Heald, W. R. (1955) : Distribution of potassium, rubidium, cesium, calcium and strontium within plants grown in nutrient solutions, *Soil Sci.*, **80**, 287.
11. Middleton, L. J. (1958) : Absorption and translocation of strontium and cesium by plants from foliar sprays, *Nature*, **181**, 1300.
12. Middleton, L. J., Handley, R. and Overstreet, R. (1960) : Relative uptake and translocation of potassium and cesium in barley, *Plant Physiol.*, **35**, 913.
13. Nishita, H., Kowalewsky, B. W., Steen, A. J. and Larson, K. H. (1956) : Fixation and extractability of fission products contaminating various soils and clays: 1. Sr⁹⁰, Y⁹¹, Ru¹⁰⁶, Cs¹³⁷ and Ce¹⁴⁴, *Soil Sci.*, **81**, 317.
14. Nishita, H., Steen, A. J. and Larson, K. H. (1958) : Release of Sr⁹⁰ and Cs¹³⁷ from vinaloam upon prolonged cropping, *Soil Sci.*, **86**, 195.
15. Nishita, H., Romney, E. M., Alexander, G. V. and Larson, K. H. (1960) : Influence of K and Cs on release of Cs¹³⁷ from three soils, *Soil Sci.*, **89**, 167.
16. Nishita, H., Romney, E. M. and Larson, K. H. (1961) : Uptake of radioactive fission products by crop plants, *Agr. Food Chem.*, **9**, 101.

17. Nishita, H., Taylor, P., Alexander, G. V. and Larson, K. H. (1962) : Influence of stable Cs and K on the reactions of Cs¹³⁷ and K⁴² in soils and clay minerals, *Soil Sci.*, **94**, 187.
18. Nishita, H. and Haug, R. M. (1972) : Influence of clinoptilolite on Sr⁹⁰ and Cs¹³⁷ uptakes by plants, *Soil Sci.*, **114**, 149.
19. 柳駿, 金在成, 李榮日(1982) : 原子爐 施設周邊의 農耕地 및 農作物內的 放射性 核種研究, KAERI/RR-319/81.
20. 柳駿, 金在成, 李榮日(1983) : 土壤-植物系에 對한 放射性核種의 舉動에 관한 研究. 1) 大豆作物에 의한 Cs¹³⁷의 吸收移行, 韓國環境農學會誌, **2**, 30.
21. Tanaka, A. (1956) : Studies on the characteristics of the physiological functions of leaf at definite position on stem of rice plant (4), *J. Sci. Soil Manure, Japan*, **27**, 223.
22. Tanaka, A. (1956) : Studies on the characteristics of the physiological functions of leaf at definite position on stem of rice plant (5), *J. Sci. Soil Manure, Japan*, **27**, 262.
23. Tensho, K., Yeh, K. and Mitsui, S. (1959) : The uptake of Cs-134 and K by lowland and upland rice from soil and their distribution in the plant, *J. Sci. Soil Manure, Japan*, **30**, 253.
24. Tensho, K., Yeh, K. and Mitsui, S. (1961) : The uptake of Sr-90 and Cs-137 by wheat and broad bean from soil and their distribution in the plant, *J. Sci. Soil Manure, Japan*, **32**, 111.
25. Tensho, K., Yeh, K. and Mitsui, S. (1961) : The uptake of Sr and Cs by plant from soil with special references to the unusual cesium uptake by lowland rice and its mechanism, *Soil Plant Food*, **6**, 176.