

토양 strontium-90의 땅콩과 참깨에 의한 흡수 및 축적

최용호* · 조재성**

Uptake and Accumulation of Soil Strontium-90 by Peanut and Sesame

Yong-Ho Choi* and Jae-Seong Jo**

Abstract

A greenhouse experiment on the Sr-90 uptake by peanut and sesame was conducted through pot cultures on a sandy loam soil of pH 6.35 treated with Sr-90 in 5.2 and 31.2Bq per gram.

The rate of Sr-90 transfer from soil to each plant part, the ratio of Sr-90 concentration in the part to the concentration in soil, and the patterns of their temporal changes were not, on the whole, significantly different between the two treatments. About 0.7 and 0.5 % of Sr-90 in soil transferred to all the mature plants of peanut and sesame, respectively, with the radioactivities in their roots not counted. Only 4% and less than 15% of Sr-90 absorbed by peanut and sesame, respectively, translocated to their seeds. Both crops showed the highest Sr-90 concentration in the leaf and the lowest in the seed. At maturities, the concentration ratio in dry seed was 0.4 in peanut and 3.3 in sesame and that in dry leaf was 12.5 and 10.7, respectively. Sr-90 concentrations in the top 15 cm soil after harvests averaged about 80 % of the concentrations at starting. Sr-90 uptake resulted in neither growth inhibition nor yield decrease.

서 론

우리나라에서 발전용 원자로의 수가 10 개에 이르는 등 원자력의 이용이 날로 증대됨에 따라 방사

성 물질이 주변 환경으로 방출될 위험도 늘어날 전망이다. 방출된 방사성 물질이 농경지에 축적되면 농작물의 방사능 오염을 초래하고, 나아가 그 농산물의 이용을 통하여 인체에 흡수되면 방사선 피폭을

*한국원자력연구소 환경영향평가분야(Environmental Impact Assessment, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon)

**충남대학교 농학과(Dept. of Agronomy, Chungnam Nat'l University, Daejeon)

일으킬 수 있다.

그러므로 농작물에 의한 토양 중 방사성 핵종의 흡수, 이행, 축적 과정에서 그 특성을 이해하는 것은, 원자력 발전소 또는 방사성 폐기물 처분장과 같은 원자력 관련 시설의 환경영향 평가와 농경지 오염사고가 있을 때 재배적 대책 수립 등을 위해 매우 중요하다.

원자력 발전소의 가동이나 핵폭발시 생성되는 핵분열산물 가운데 strontium-90(Sr-90)은 생성량이 비교적 많고, 반감기가 28 년으로¹⁾ 긴 편인데다가, 또한 토양에 침적되면 대부분 가급대로 수 년 이상 작토층에 머물고²⁻⁵⁾, 인체에 흡수되면 조혈장기인 골수에 축적되어 장기간 내부피폭을 초래하므로⁶⁾ 매우 위험한 방사성 핵종이다.

따라서 외국에서는 농작물의 Sr-90 흡수에 관한 연구가 원자력을 본격적으로 이용하기 시작한 1950년대부터 주요 농작물을 중심으로 많이 수행되어 오고 있으나 우리나라에서는 1980년대에 들어서야 연구가 시작되어 현재까지 일부 농작물에 대해 소수의 실험^{5,7-11)}이 수행되었을 뿐이다. 농작물이 방사성 핵종을 흡수하는 정도는 작물이나 토양의 종류 그리고 재배환경에 따라 크게 변하므로¹²⁻¹⁴⁾ 더욱 정확한 평가를 위해서는 국내 또는 부지 고유의 자료가 광범위하게 축적되어야 한다.

본 연구에서는 주요한 유향작물로서 생육 특성이 서로 크게 다르고 전세계적으로 연구가 거의 이루어지지 않은 땅콩과 참깨를 온실 내에서 포트에 재배하여 토양으로부터의 Sr-90 흡수, 축적, 체내 분포 등의 경향과 Sr-90 흡수가 작물의 생육에 미치는 영향을 조사함으로써 땅콩과 참깨 경작지가 Sr-90으로 오염되었을 때 방사능 환경영향 평가와 재배적 대책 수립 등을 위한 기초 자료를 마련하고자 하였다.

재료 및 방법

땅콩과 참깨의 Sr-90($SrCl_2$ in 0.1M HCl, carrier-free, Amersham, U.K.) 흡수 실험을 수행하기 위해

공시된 품종은 각각 새들땅콩과 단백깨였다. 재배 토양은 pH(1:5) 6.35, 유기물 함량 0.42%, 양이온 치환용량 7.5 me/100g, 치환성 Ca 함량 4.5 me/100g인 사질양토(모래 78.9%, 미사 16.4%, 점토 4.7%)였다.

Sr-90 처리농도는 무처리, 풍건토 1g당 5.2Bq, 31.2Bq의 세 가지로서 전층에 균일처리하였다. 재배용 포트는 윗내경 25.5cm, 아래내경 23.0cm, 높이 29.5cm의 배수공이 없는 합성수지재로서 포트당 14kg의 풍건토양, 1.5l의 물, 적정량의 핵종 희석액과 비료를 고르게 섞어 채운 다음 작물별로 세 가지 처리농도에 대하여 완전임의배치법 3 반복으로 배치하였다.

비료는 전량 기비로 포트당 질소, 인산, 칼리, 석회를 각각 땅콩의 경우 0.24g, 0.55g, 0.71g, 7.8g씩, 참깨의 경우 0.63g, 0.31g, 0.71g, 7.8g씩을 사용하였다(여기서 1g은 작토 깊이를 15cm로 보고 면적비로 환산하면 10a당 약 12.8kg에 해당).

두 작물 모두 5월 11일에 포트당 다섯 구멍에 구멍당 수립씩 점파하였고, 파종 후 토양 입자의 부유에 따른 작물체의 표면오염을 막기 위해 토양 표면을 공시토양과 같은 토양으로 0.5cm 정도 복토하였다.

작물체는 한국원자력연구소 내에 설치된 비닐 온실 안에서 가꾸었다. 온실은 가능한 한 열이 두어 내부의 온도가 외기와 큰 차이가 나지 않도록 하였으며 표토와 작물체의 상태를 고려해 거의 매일 적당량의 수분을 공급하였다. 생육 초기에 적당히 습아 포트 당 땅콩은 3 개체, 참깨는 4 개체씩으로써 길렀다.

두 작물 모두 생육시기별로 3 차에 걸쳐 시료를 채취하고 방사능을 분석하였다. 땅콩은 7월 8일(개화기), 8월 23일(결협중기), 10월 19일(성숙기)에 포트당 1 개체씩을 채취하였고 참깨는 7월 8일(착상초기)과 8월 23일(성숙기)에 포트당 1 개체씩을, 9월 20일에 포트당 2 개체씩을 채취하였다. 뿌리는 채취대상에서 제외하였다.

위와 같이 채취한 작물체를 부위별로 나누어 생체중을 달고, 햇볕에 말린 다음 80°C로 조절된 건조

기내에서 14 시간 건조한 후 건조중을 칭량하였다. 토양시료는 3 차 수확이 끝난 직후 상부 약 0.5cm 깊이까지 토양을 걷어낸 다음 표면에서부터 15cm 깊이 사이에서 포트당 1 kg 정도 채취하여 3~4일 풍건한 후 110℃로 조절된 건조기 내에서 14 시간 건조하였다.

작물체 시료내 Sr-90 농도는 건조시료를 450℃로 조절된 전기로내에서 8 시간 태워 얻은 회분을 직경 5 cm planchet에 담아 적당량의 증류수를 가하여 planchet 내면에 고무 퍼서 적외선등 아래서 말린 다음 G. M. 검출기 (1.5mg/cm², operating voltage 1,100, Aloka)로 β선을 계측하여 구하였다. 토양 시료 내 Sr-90 농도는 3.2 g의 건토를 직경 5cm planchet에 담아 위와 같은 방법으로 측정하였는데, 1 반복당 3 개의 계측시료를 만들어 그 평균값을 취하였다. 방사선 계측은 채취 후 적어도 20 일이 경과하여 Sr-90과 그 자핵종인 yttrium-90 간에 충분한 평형이 이루어 졌다고 볼 수 있을 때 실시하였다. 시료 내 방사능 농도는 환경 중에 본래부터 존재하던 β선 방출핵종의 기여분이 포함되지 않도록 대조구 시료의 계수치를 공제한 순계수치로 계산하였다^{7,8)}.

결과 및 고찰

땅콩과 참깨가 뿌리를 통하여 Sr-90을 흡수하고 체내에 축적하는 정도를 조사하기 위하여 Sr-90을 두 가지 농도로 토양에 처리하여, 한 포트의 토양으로부터 한 작물체의 각 부위로 전이된 Sr-90의 비율과 토양처리 농도에 대한 각 부위내 농도의 비를 작물의 생육 단계에 따라 측정하는 것은 표 1에 나타나 있다.

부위별 전이율은 개화기의 땅콩에서만 5.2Bq 처리에서 31.2Bq 처리에서보다 유의하게 높게 나타났을 뿐 전체적으로 처리 농도간에 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 부위별 농도비도 처리농도 간에 유의차가 인정된 경우도 있으나, 전체적으로 볼 때 두 작물 모두 큰 차이가 없었다. 또한 부위별 Sr-90

의 전이율과 농도비의 생육 경과에 따른 변화 양상도 두 처리 간에 이렇다 할 차이가 나타나지 않았다. 최 등⁸⁾은 벼와 콩에서 처리농도 간 차이에 대하여 이와 비슷한 경향을 보고한 바 있다. 또한 최 등⁷⁾은 보리에서도 건토 1g당 1.6, 8.0, 40.0Bq 처리하였을 때 차이를 관찰하지 못하였다고 하였고, 김⁵⁾도 벼에 대하여 비슷한 결과를 보고한 바 있다. 방사성 핵종의 토양 중 농도가 증가하면 작물체내 농도도 그에 비례하여 높아진다는 직선성의 가정에 대해서는 많은 연구자들이 이견을 보이고 있으므로¹³⁾, 우리나라의 주요 농작물들을 대상으로 더욱 넓은 농도 범위에 걸쳐 흡수실험을 수행할 필요가 있다고 본다.

땅콩의 경우 각 부위별로나 식물체 전체에서의 Sr-90 전이율은 개화기 이후 생육이 경과함에 따라 점점 증가하였으나, 식물체 전체에서의 농도비는 점점 감소하는 경향이 처리농도에 관계 없이 나타났다. 성숙기에는 개화기보다 전반적으로 약 3 배나 높은 전이율을 보였는데, 이것은 토양의 Sr-90 오염이 땅콩의 생육 후기에 일어나더라도 상당량의 Sr-90이 체내에 축적될 수 있음을 시사한다. 성숙기에 종실과 꼬투리에 나타난 Sr-90 전이율은 결협중기보다 각각 약 5 배, 2 배 증가하였으나, 경엽부의 증가는 뚜렷하지 않았다. 작물체의 부위별 Sr-90 농도비를 보면, 경엽부에서는 개화기 이후 결협중기까지 감소하다가 성숙기에는 다소 증가하였고, 꼬투리와 종실에서는 결협중기와 성숙기 사이에 큰 변화 없이 미미한 증가를 보였다. 이와 같이 결협중기보다 성숙기에 농도비가 조금씩 증가하였음에도 불구하고 식물체 전체 농도비가 오히려 감소한 것은 농도비가 높은 잎과 줄기에서는 건물중의 증가가 거의 이루어지지 않았던 반면에, 농도비가 가장 낮은 종실은 건물중 증가가 현저했기(표 3) 때문이었다.

Sr-90 전이율은 개화기 이후 어느 때나 잎 > 줄기 > 꼬투리 > 종실의 순이었으며, 농도비는 개화기에는 잎과 줄기가 비슷하였고 그후에는 전이율과 같이 잎 > 줄기 > 꼬투리 > 종실의 순이었다. 이와 같이 영양기관과 비교하여 종실부위의 Sr-90 농축

Table 1. Sr-90 transfer rates and concentration ratios in the plant parts of peanut and sesame at 3 different growth stages as affected by soil Sr-90 level

Crop	Growth ^a stage	Sr-90 conc. applied (Bq/g-soil)	Transfer rate ^b (%)					Concentration ratio ^c				
			Leaf	Stem	Pod ^d	Seed	All	Leaf	Stem	Pod ^d	Seed	All
Peanut	Flower- ing (58)	5.2	0.17	0.09	—	—	0.26	15.2	16.0	—	—	15.4
		31.2	0.13	0.07	—	—	0.20	12.3	11.8	—	—	12.1
		t-value	*	*	—	—	**	NS	NS	—	—	NS
	Middle podding (104)	5.2	0.36	0.15	0.03	0.006	0.55	10.8	8.8	1.6	0.3	6.2
		31.2	0.38	0.13	0.02	0.005	0.53	10.6	7.5	1.3	0.3	6.0
		t-value	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
	Maturity (161)	5.2	0.41	0.15	0.04	0.027	0.63	12.1	9.7	1.7	0.4	4.6
		31.2	0.52	0.18	0.05	0.030	0.78	12.8	9.1	1.7	0.4	4.8
		t-value	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
Sesame	Early capsuling (58)	5.2	0.09	0.08	0.008	—	0.18	16.3	13.1	2.9	—	12.2
		31.2	0.11	0.08	0.012	—	0.20	14.2	14.3	3.8	—	12.1
		t-value	NS	NS	NS	—	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Maturity (104)	5.2	0.02	0.04	0.07	0.020	0.15	12.1	8.3	12.2	3.1	7.9
		31.2	0.01	0.05	0.09	0.039	0.19	9.4	6.3	9.4	3.4	6.4
		t-value	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*
	— (132)	5.2	—	0.05	0.06	0.010	0.12	—	6.0	13.9	1.7	6.3
		31.2	—	0.04	0.06	0.013	0.11	—	5.8	9.1	1.5	5.1
		t-value	—	NS	NS	NS	NS	—	NS	*	NS	*

- a : Numbers in parentheses are days after sowing.
- b : $\frac{\text{Amount of Sr-90 activity in each part of a plant}}{\text{Amount of Sr-90 activity added to a pot}} \times 100$
- c : $\frac{\text{Sr-90 concentration in each plant part (Bq/g-dry)}}{\text{Sr-90 concentration applied (Bq/g-soil)}}$
- d : Capsule for sesame
- *, ** : statistically significant at p=0.05 and 0.01, respectively.

도가 낮은 것은 일반적인 현상으로서 Evans와 Dekker¹⁵⁾, 그리고 이 등⁹⁾은 콩에 대하여, Tensho¹⁶⁾는 벼에 대하여, 그리고 최 등은 벼와 콩⁸⁾, 그리고 보리⁷⁾에 대하여 본 실험과 유사한 경향을 보고한 바 있다.

참깨의 경우 착삭초기와 성숙기 사이에 경엽부와 식물체 전체에 대한 Sr-90 전이율이, 그 이후에는 꼬투리와 종실, 식물체 전체에 대한 전이율이 크게

감소하였는데, 이것은 생육후기 잎의 심한 탈락 현상과 성숙기 이후의 탈엽과 탈립 현상에 기인하는 것으로 보인다. 그런데 줄기에서는 탈락이 없었음에도 불구하고 착삭초기보다 성숙기에 전이율이 크게 감소한 것은 줄기에 축적되어 있던 Sr-90이 결실기에 현실로 상당량 이행하였다는 것을 시사한다. 참깨 꼬투리 내 Sr-90 전이율은 성숙기에 착삭초기보다 약 8 배 증가하였는데 이것은 땅콩과 비교하면

Table 2. Distribution frequencies of Sr-90 activity in different plant parts of peanut and sesame at their maturities as affected by soil Sr-90 level

Sr-90 conc. applied (Bq/g-soil)	Sr-90 distribution frequency ^a (%)							
	Peanut ^b				Sesame ^c			
	Leaf	Stem	Pod	Seed	Leaf	Stem	Capsule	Seed
5.2	64.7	24.1	6.9	4.3	17.0	27.6	42.5	12.9
31.2	66.3	23.5	6.3	3.9	5.8	26.7	48.0	19.5
t-value	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

a : $\frac{\text{Amount of Sr-90 activity in each part of a plant}}{\text{Amount of Sr-90 activity in all the parts of the plant}} \times 100$

b, c : 161 and 104 days after sowing, respectively.

현저한 증가였다. Sr-90 농도비는 경엽부와 식물체 전체에서는 생육이 경과함에 따라 감소하는 경향이 있으나, 꼬투리에서는 결실기간을 통하여 크게 증가하였다. 종실에서는 3 차 채취시료에서 성숙기에 채취한 2 차 시료에 비해 농도비가 반으로 감소하였는데, 이것은 성숙기 이후 종실의 건물 축적이 거의 없었다고 가정하면 탈립이 먼저 일어나는 하위립의 Sr-90 농도가 상위립보다 높았다는 것으로 해석할 수 있다. 부위간 전이율은 착상초기에는 잎 > 줄기 > 꼬투리의 순이었다가 그후에는 심한 탈립으로 인해 대체로 꼬투리 > 줄기 > 종실 > 잎의 순이었으며, 농도비는 착상초기에는 잎과 줄기가 꼬투리보다 훨씬 높았다가 그후에는 대체로 잎과 꼬투리가 비슷하였고 그 다음으로 줄기 > 종실의 순이었다.

성숙기에 식물체 전체로 이행된 평균 Sr-90 전이율은 땅콩은 약 0.7 %, 참깨는 약 0.5 % 이었다. 이러한 전이율은 토양 중 방사성 핵종을 재배 작물이 흡수하여 제거한 정도를 나타내는 것으로 작물, 토양의 종류, 재식밀도, 시비, 토양 중 핵종의 농도 분포 등에 따라 값이 달라지는데, 1 회와 작물재배로 Sr-90을 흡수 제거하는 비율은 5%를 넘지 않는 것으로 보고¹²⁾ 있다.

두 작물의 성숙기 각 부위의 Sr-90 농도비는 대체로 경엽부는 서로 비슷하였으나 꼬투리와 종실은

참깨가 땅콩보다 수 배나 컸다. 경엽부와 종실간 Sr-90 농도 차이는 땅콩의 경우 20~30배나 되었으나 참깨의 경우는 2~3배 정도에 불과하였다.

성숙기에 조사한 작물체내 각 부위별 Sr-90 분포 빈도(표 2)는 두 작물 모두 처리농도 간에 뚜렷한 차이가 없었다. 참깨의 꼬투리와 종실에서의 분포빈도는 각각 45 %, 16 % 정도로서 땅콩보다 상당히 높았는데, 이것은 참깨 잎의 심한 탈락 현상에 기인하는 것으로 판단된다. 땅콩의 경우 종실에 나타난 분포빈도는 4 % 정도로서 흡수된 Sr-90이 종실로 이행한 비율이 매우 낮았다. 그러나 이 값은 산

Table 3. Sr-90 retention rates in the top 15 cm soil after crop cultures at two different soil Sr-90 level

Sr-90 conc. applied (Bq/g-soil)	Sr-90 retention rate ^a (%)	
	Peanut ^b	Sesame ^c
5.2	83	84
31.2	74	78
t-value	NS	NS

a : $\frac{\text{Sr-90 conc. in soil at harvest}}{\text{Sr-90 conc. applied}} \times 100$

b, c : 161 and 132 days after sowing, respectively.

Table 4. Dry weights of the plant parts of peanut and sesame at their two different growth stages as affected by soil Sr-90 level

Crop	Growth ^a stage	Sr-90 conc. applied (Bq/g-soil)	Dry weight (g/plant)					
			Leaf	Stem	Pod ^b	Seed	All	
Peanut	Middle podding (104)	Control	5.2	2.9	3.3	3.5	14.8	
		5.2	4.7	2.4	2.6	2.6	12.4	
		31.2	5.0	2.4	2.4	2.7	12.5	
		LSD (5%)	NS	NS	NS	NS	NS	
	Maturity (161)	Control	5.6	2.6	3.9	10.1	22.3	
		5.2	4.8	2.2	3.5	8.9	19.3	
		31.2	5.7	2.9	4.1	10.3	22.9	
		LSD (5%)	NS	NS	NS	NS	NS	
	Sesame	Early capsuling (58)	Control	0.7	0.7	0.4	—	1.7
			5.2	0.8	0.9	0.4	—	2.1
			31.2	1.1	0.7	0.4	—	2.3
			LSD (5%)	NS	0.1	NS	—	NS
Maturity (104)		Control	0.3	0.9	1.0	1.2	3.4	
		5.2	0.2	0.7	0.7	0.9	2.6	
		31.2	0.2	1.1	1.4	1.6	4.3	
		LSD (5%)	NS	0.3	0.5	NS	NS	

a : Numbers in parentheses are days after sowing.

b : Capsule for sesame.

田 등¹⁷⁾이 벼에서 Sr-90이 식물체에 흡수된 것에 대한 현미에서의 분포빈도로 보고한 값(1.0~2.4%) 보다는 높았다.

두 작물의 3차 시료채취 직후 0~15cm 사이의 표층에서 토양시료를 채취하여 Sr-90 농도를 측정하고 초기농도와 비교하여 조사한 Sr-90의 잔류율은 두 작물 모두 처리농도 간에 유의차 없이 약 80% 였다(표 3). 이것은 1 회의 작물재배 후에도 대부분의 Sr-90은 작토층에 남아 다음에 재배되는 작물에 게 계속 흡수될 수 있음을 의미한다. 최 등⁸⁾도 벼와 콩에 대하여 이와 유사한 결과를 보고한 바 있다. 한편 20% 가량의 손실은 Sr-90의 반감기(28년)와 Sr-90 전이율 등으로 볼 때 대부분 지하이동이 차지하는 것으로 추정된다.

Sr-90 흡수가 두 작물의 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Sr-90 무처리, 풍건토 1g당 5.2Bq 처리 및 31.2Bq 처리 간에 생육시기별 및 부위별로 건물중을 측정하여 비교한 결과는 표 4에 나타나 있다. 땅콩에서는 어느 경우에도 처리간 건물중의 유의차가 없었으며, 참깨에서도 Sr-90 처리시에 무처리보다 건물중이 유의하게 높은 경우는 있었지만, 유의하게 낮은 경우는 없었다. 따라서 토양 1g당 31.2Bq까지 Sr-90 처리는 작물의 생육이나 수량에 영향을 미치지 않았다고 할 수 있다. 최 등^{7,8)}은 벼, 보리, 콩에 대해서도 본 실험과 유사한 결과를 보고하였고, 김⁵⁾도 토양 1g당 148Bq까지 Sr-90을 처리하여도 벼의 생육에 별로 영향을 미치지 않았다고 하였다.

이상의 결과로 볼 때 Sr-90으로 오염된 농경지에서 경작금지, 작목변경, 조기수확, 흡수억제제 살포, 오염토 제거, 객토 등과 같은 재배적 대책의 실시 여부를 결정하기 위해서는 작물체의 방사선 장해보다는 오염된 농산물의 이용을 통한 인체내 Sr-90의 축적 정도와 그에 따라 예상되는 방사선 피폭선량을 주요 판단 기준으로 삼아야 할 것이다. 따라서 합리적인 대책결정을 위해서는 광범위한 농작물과 그 재배조건에 대하여 Sr-90 흡수실험을 실시하여 작물체가 흡수, 축적하는 토양 Sr-90에 관한 기초자료를 충분히 확보하여야 하며, 또한 농산물의 생산, 유통, 소비 등에 관한 조사도 병행하여 오염 농산물의 섭취에 따른 인체내 Sr-90 축적 정도를 더욱 정밀하게 평가할 수 있도록 해야 할 것이다.

요 약

땅콩과 참깨 두 작물의 Sr-90 흡수 실험을 pH 6.35의 풍건 사질양토에 Sr-90을 g당 5.2Bq와 31.2 Bq로 처리하여 온실 내에서 포트재배로 수행하였다. 토양에서 작물체 각 부위로 Sr-90이 전이되는 정도와 토양처리 농도에 대한 각 작물체 부위별 Sr-90 농도비, 그리고 생육 경과에 따른 그 변화 양상들은 전체적으로 처리농도 간에 유의한 차이가 없었다. 토양 Sr-90이 땅콩과 참깨의 성숙개체로 전이된 비율은 각각 평균 0.7%, 0.4% 정도였고 작물체에 흡수된 Sr-90이 종실로 이행한 비율은 땅콩이 4%였고 참깨는 15% 이하였다. 두 작물 모두 농도비는 잎에서 가장 높았고, 종실에서 가장 낮았다. 성숙기에 건조 종실에 나타난 농도비는 땅콩이 0.4, 참깨가 3.3이었고, 건조엽에서는 각각 12.5, 10.7이었다. 재배 후 0~15cm의 표층토 내 Sr-90 농도는 초기농도의 80% 정도였다. Sr-90 흡수에 따른 작물체의 생육 장해나 수량 감소는 없었다.

참 고 문 헌

1. Glasstone, S. and Jordan, W. H. (1980) : Nuc-

lear power and its environmental effects. American Nuclear Society. La Grange Park, Illinois.

2. Polyakov, Y. A., Kader, G. M. and Krintskii, V. V. (1973) : Behaviour of Sr-90 and Cs-137 in soils. In Klechkovskii, V. M., Polikarpov, C. G. and Aleksakhin, R. M.(Eds.). Radioecology. pp. 78-102. Wiley. New York.

3. Squire, H. M. (1966) : Long-term studies of strontium-90 in soils and pastures. Radiat. Bot. 6 : 49-67.

4. 이정호 등 (1984) : 환경 감시 방법의 표준화 연구. KAERI/RR-423/83. 과학기술처.

5. 김재성 (1985) : Strontium-90과 Cesium-137의 답토양별 흡·탈착과 수도체의 흡수양상에 관한 연구. 고려대학교 박사학위 논문.

6. Comar, C. L. (1955) : Radioisotopes in biology and agriculture : Principles and practices. McGrawhill Book Company. New York.

7. 최용호, 정규희, 천기정, 김삼량, 이정호 (1991) : 보리의 토양 Sr-90 흡수 및 토양-작물체 전이계수·방사선 방어학회지 16(1) : 33-42.

8. 최용호, 이창우, 이강석, 이정호, 조재성, 정규희 (1992) : 벼와 콩에 의한 Sr-90 흡수·축적 및 토양-작물체간 전이계수. 한국원자력학회지 24 (2) : 121-129.

9. 이서래 등 (1982) : 방사성 물질의 환경내 행동 및 영향 평가. KAERI/RR-282/81. 한국에너지연구소.

10. 이정호 등 (1989) : 고리 주변 환경 종합평가 및 관련모델 개발 : 온배수 및 환경특성. KAERI/NSC-397/89. 한국에너지연구소.

11. 이정호 등 (1991) : 섭취 및 호흡에 의한 방사선 내부피폭 선량 평가 코드 개발. KAERI/RR-998/90. 과학기술처.

12. Coughtrey, P. J. and Thorne, M. C. (1983) : Radionuclide distribution and transport in terrestrial ecosystems - A critical review of data.

- Vol. 1. A. A. Balkema. Rotterdam.
13. Zach, R. (1980) : Transfer coefficients to terrestrial food products in equilibrium assessment models for nuclear installations. AECL Report. AECL-6449. WNRE.
 14. Till, J.E. and Meyer, H. R. (Eds.) (1983) : Radiological assessment - A textbook on environmental dose analysis. NUREG/CR-3332. ORNL-5968.
 15. Evans, E. J. and Dekker, A. J. (1962) : Comparative Sr-90 contents of agricultural crops grown in a contaminated soil. Can. J. Plant Sci. 42 : 252-258.
 16. Tensho, K., Yeh, K. and Mitsui, S. (1959) : The uptake of strontium-90 and calcium by lowland and upland rice from soil and their distribution in the plants. Soil Plant Food. 5(1) : 1-9.
 17. 山田要ら (1979) : 土壤汚染の機構と解析-環境科學特論. 産業圖書. 東京.