

보리의 토양 Sr-90 흡수 및 토양 - 작물체 전이계수

최용호¹, 정규희², 천기정¹, 김삼량¹, 이정호¹

한국원자력연구소 환경연구부¹

경기대학교 생물학과²

요 약

Sr-90과 소석회를 처리한 pH 6.05의 양질사토로부터 보리에 의한 Sr-90 흡수 실험을 온실내에서 포트 재배로 실시하였다. 수확기에 보리 지상부로의 Sr-90 흡수율은 늘쌀보리가 평균 0.41%, 울보리가 평균 0.23%였고 전이계수도 전자가 후자보다 부위에 따라 30-60% 정도 높았다. 흡수율과 전이계수는 전체적으로 볼 때 Sr-90 처리 농도간에 유의차가 인정되지 않았다. 10a당 약 94kg에 해당하는 소석회 처리는 Sr-90 흡수를 억제하고 전이계수를 감소시키는 데 효과적이지 못한 수준이었다. 보리의 부위별 Sr-90 전이계수는 건조중 기준으로 줄기 1.51, 잎 4.45, 종실 0.35, 전지상부 1.30으로 제안될 수 있었다. Sr-90 흡수에 따른 작물체의 생육장해나 수량감소는 없었다.

Key words : 보리, Sr-90, 토양, 흡수, 전이계수, Sr-90 농도, 석회

서 론

원자력 시설의 가동으로 인해 환경으로 방출된 방사성 물질의 일부는 농경지에 축적되어 재배 작물의 뿌리를 통하여 작물체에 흡수된 후 인체에 까지 도달하게 된다.

FOOD II(1)나 KFOOD(2) 등과 같은 평형 섭취경로 모델에서는 위와 같은 뿌리 흡수에 의한 작물체내 핵종농도를 예측하기 위하여 토양중 핵종 농도에 대한 작물체내 핵종 농도의 비로 정의되는 전이계수(또는 농축계수)라는 인자를 사용하고 있다.

그런데 전이계수는 작물의 종류 및 pH, 토성, 유기물 함량과 유사원소의 존재와 같은 토양 조건 등에 따라 그 값이 크게 달라지는 인자로서(3,4) Ng 등(5)이 조사한 바에 의하면 동일 핵종에 있어서 최고 수천배 크기 정도의 변이를 보이고 있고 Sr-90의 경우는 건조중 기준으로 대략 0.05~17.5의 범위를 보이고 있다.

따라서 피폭선량 평가의 현실성을 높이기 위해서는 자국이나 평가지역의 실정에 보다 적합한 전이계수치를 적용하는 것이 요구되며 이를 위해서는 다양한 종류의 농작물 및 토양 조건 등에 대해 전이계수를 계속 조사하여 데이터 베이스를 확충해 나가야 한다.

보리는 최근 우리나라에서 생산과 소비가 점점 감소하는 추세에 있지만 아직까지 중요한 동계 작물의 하나로서 맥류중에서는 가장 넓은 재배 면적을 차지하고 있다. 또한 식생활과 관련된 용도도 다양해서 종실은 혼식, 양조용 및 보리차 등에 사용되고 경엽부는 사료나 퇴비 등에 이용되고 있다(6).

Sr-90은 핵분열 산물로서 그 생성량이 비교적 많으며 반감기가 28년으로 비교적 길어 토양중에 축적되면 장기간 작물에 의해 흡수될 수 있고 또한 인체내에서는 주로 뼈에 축적되어 장기간 내부 피폭을 초래하므로 환경적 측면에서 가장 중요한 핵종의 하나이다(7).

우리나라에서는 보리의 Sr-90 흡수에 관한 연구보고는 거의 전무한 실정이나 구미에서는 Neel 등(8), Romney 등(9) 및 Steffens 등(10)이 사토에서 양토에 이르는 여러가지 토양에 있어서 보리의 Sr-90 흡수실험을 실시한 바 있고 Ng 등(5)은 이들의 실험결과를 정리하여 보리의 Sr-90 전이계수를 발표한 바 있으며 이외에도 다수의 연구보고(11,12,13)가 있다.

그런데 추적자 실험에서는 환경중에 존재하고 있는 방사능의 영향 및 방사능 분석과 계측상의 문제 때문에 통상 환경 준위보다 훨씬 높은 준위의 방사능을 처리하게 되고 이로부터 도출된 전이계수치를 환경에서의 저준위에 대하여도 적용하고 있다. 이것은 작물체에 의한 핵종의 흡수 및 축적은 토양내 핵종 농도와 비례하여 감소 혹은 증가(따라서 전이계수는 불변)한다는 직선성의 가정에서 출발하고 있다(3). 그러나 여기에 대하여는 다소 이견을 보이는 연구자들(14,15,16)도 있으므로 가능한 한 넓은 범위의 농도에 대하여 흡수 실험을 실시하여 처리농도에 따른 전이계수의 변화경향을 살펴 볼 필요가 있다.

한편 Sr-90의 흡수에 영향을 미치는 여러 요인중 Ca에 의한 흡수저해작용은 잘 알려져 있는 사실이다(4). 농업에서는 토양환경을 개선하기 위하여 석회를 널리 사용하고 있는데 그 주성분은 Ca이다. 따라서 통상적인 석회 사용이 보리의 Sr-90 흡수에 미치는 영향을 조사하는 것도 의의있는 일이라 하겠다.

본 연구에서는 한국원자력연구소 인근에서 채취한 양질사토에 있어서 영과(종실+겉질)의 특성이 서로 다른 피맥과 과맥의 장려품종에 대하여 Sr-90 처리농도 및 석회처리 유무가 Sr-90 흡수 및 전이계수에 미치는 영향을 조사하고 부위별로 적절한 전이계수치를 도출하고자 동 연구소에 설치한 온실에서 포트재배를 통하여 보리의 Sr-90 흡수 실험을 실시하였다.

이 실험의 결과는 KFOOD(2)와 같은 한국형 섭식경로 내부피폭선량 평가코드의 전이계수 데이터 베이스로 이용될 수 있을 것이며 또한 보리 재배 농경지의 Sr-90 오염시 대책수립을 위한 기

초자료로도 활용될 수 있을 것으로 본다.

재료 및 방법

보리의 Sr-90($Sr^{*}Cl_2$, in 0.1M HCl, carrier free, Amersham, U. K.) 흡수실험에 공시된 품종은 우리나라의 장려품종인 울보리(피맥)와 늘쌀보리(과맥)의 두가지였으며 재배토양은 한국원자력연구소 인근에서 채취한 양질사토로서 그 물리, 화학적 특성은 표 1과 같다.

재배용 포트는 윗내경 31cm, 아래내경 22cm, 높이 29cm의 배수공이 없는 합성수지제로서 포트당 15kg의 풍건토양을 필요로 하였다.

Sr-90 처리농도는 무처리와 풍건토 1g당 1.6, 8.0 및 40.0Bq의 네가지였고 석회 처리는 무처리와 포트당 6.0g(10a당 약 94kg)의 소석회 처리의 두가지였다. Sr-90과 석회는 기비와 함께 표면에서부터 15cm 깊이(풍건토 11.5kg)까지 균일하게 처리하였고 처리후 2-3일 경과한 다음 파종하였다.

파종은 카보람 분제로 종자를 분의소독한 후 1988년 10월 25일에 포트당 45립 정도를 전면산파하고 3cm 가량 복토하였다. 시비는 기비로 포트당 질소 0.4g, 인산 0.6g, 칼리 0.5g을 각각 요소, 용성인비, 염화칼리로 주었고 추비로는 이듬해 3월 27일에 질소 0.4g에 해당하는 요소를 포트표면에 살포하였다.

작물체는 당 연구소 내에 설치된 온실에서 육성되었다. 온실은 가능한 한 열이 두어 내부의 온도가 외기와 큰 차이가 나지 않도록 하였으며 포트와 작물체의 상태를 고려해 적당량의 수분을 공급하였다. 성장 정도에 따라 적당히 솎아 포트당 30개체가 서게 하였다.

작물체 시료는 수확기인 1989년 6월 15일에 포트당 20개체를 예취하여 줄기, 잎, 영과(늘쌀보리는 영과를 다시 종실과 겉질로 분리)로 나누어 천일건조한 다음 80°C 정도로 조절된 건조기내에서 5시간 더 건조한 후 건조중을 칭량하였다.

토양시료는 수확이 끝난 포트에서 3cm 정도 깊이까지의 표층토를 걷어 낸 다음 표면에서부터 15cm 깊이 사이에서 1kg 정도를 채취하여 3~4일

Table 1. Physico-chemical properties of the soil used for the experiment.

pH	O.M. ^a (%)	T-N ^b (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	E.C. ^c (cmol/kg)				C.E.C. ^d (cmol/kg)	Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	Texture LS ^e
				K	Ca	Mg	Na					
6.05	0.68	0.05	375	0.18	3.29	0.12	0.02	4.7	15.3	2.8	81.9	LS ^e

a : Organic matter

b : Total nitrogen

c : Exchangeable cation

d : Cation exchange capacity

e : Loamy sand.

풍건한 후 110°C 정도로 조절된 건조기내에서 14 시간 더 건조하였다.

작물체 시료내 Sr-90 농도는 건조시료를 450°C로 조절된 전기로내에서 8시간 회화시켜 얻은 회분의 적정량을 직경 5cm planchet에 담아 증류수를 가해 planchet 내면에 고루 퍼서 적외선등 하에서 건조시킨 다음 G. M. 검출기(1.5mg/cm², operating voltage 1,100, Aloka)에 의한 β선 계수법으로 측정하였다.

토양 시료내 Sr-90 농도는 3.2g의 건토를 직경 5cm planchet에 담아 위와 같은 방법으로 측정하였는데 포트당 3개의 계측시료를 만들어 그 평균값을 취하였다.

Sr-90 처리전에 환경내에 존재하던 β선 방출핵종의 기여분을 제거하기 위하여 무처리구 시료에 대한 계수치를 처리시료에 대한 계수치로부터 공제하여 순계수치를 구하였다.

모든 시료내 방사능 측정은 채취후 3주 정도 경과하여 Sr-90과 그 자핵종인 Y-90 간에 충분한 평형이 이루어졌을 때 실시하였다. 계측효율은 Sr-90 무처리구에서 얻은 작물체 회분시료와 건토 시료에 방사평형 상태에 있는 Sr-90 표준용액 일정량을 가해 표준시료를 만들어 계측한 후 그 분당 계수치를 표준시료 내의 Sr-90의 분당 붕괴수로 나누어 구하였다.

작물체 시료와 토양 시료내 방사능을 측정후 다음과 같은 식으로 부위별 Sr-90의 전이계수

(B_v)를 계산하였다.

$$B_v = \frac{\text{수확시 작물체 부위내 Sr-90의 농도(Bq/g-dry)}}{\text{수확시 건토중 Sr-90의 농도(Bq/g-dry)}}$$

이상의 실험은 1포트를 1반복으로 하여 3반복으로 실시하였다.

결과 및 고찰

우리나라의 보리 장러품종중 피맥인 울보리와 과맥인 늘쌀보리를 공시하여 Sr-90과 석회를 처리한 토양에서 포트 재배를 통하여 작물체를 육성하고 수확기에 토양으로부터 보리 지상부로의 Sr-90 흡수율을 조사한 결과는 표 2와 같다.

Sr-90의 흡수율은 늘쌀보리가 평균 0.41%, 울보리가 평균 0.23%로 품종간에 2배에 가까운 차이를 보였다. 석회 처리구는 무처리구에 비해 전체적으로 약간 낮은 값을 보였으나 흡수억제 효과를 인정할 수 있을 만큼 유의한 차이는 없었다. Sr-90 처리 농도간에도 어느 경우에 있어서도 유의차가 인정되지 않았으나 울보리의 경우 처리 농도가 증가할수록 흡수율이 약간씩 감소하는 경향을 보였다.

그런데 이와 같은 흡수율은 동일 품종, 동일 토양에 있어서도 재식밀도, 근계와 토양간 공간적 관계, 토양내 핵종의 농도 분포, 작물체의 생장 정도등에 따라 꽤 크게 달라질 수 있다(9).

Table 2. Rates of Sr-90 uptake by two barley cultivars from the soil treated with lime and Sr-90.

Cultivar	Sr-90 treatment (Bq/g-s.)	Uptake rate (%) ^a		LSD(5%)	Mean
		Limed ^b	Unlimed		
Olbori	1.6	0.243	0.270	NS	0.257
	8.0	0.219	0.223	NS	0.221
	40.0	0.192	0.207	NS	0.200
	LSD(5%)	NS	NS		NS
	Mean	0.218	0.233	NS	0.226
Neolssalbori	1.6	0.368	0.411	NS	0.390
	8.0	0.423	0.442	NS	0.433
	40.0	0.434	0.395	NS	0.415
	LSD(5%)	NS	NS		NS
	Mean	0.408	0.416	NS	0.412

LSD(5%): least significant difference at the significance level of 5%.

NS: statistically not significant.

a: $\frac{\text{Total Sr-90 all plant tops on a pot at harvest}}{\text{Total Sr-90 added to a pot at the beginning}} \times 100$

: Average of 3 replicates.

b: 6.0g of slaked lime per pot.

Romney 등(9)은 토성이 사질양토, 사질식양토, 양토 중의 하나이고 pH가 4.6~8.0에 이르는 6종 류의 토양에 대하여 포트 재배로 보리의 Sr-90 흡수실험(포트당 풍건토 1.6kg, pot 직경 8inch, Sr-90 전충 균일처리)을 실시한 결과 보리 지상부로의 Sr-90 흡수율은 0.58~3.24%의 범위인 것으로 보고한 바 있는데 본 실험 결과는 이에 비해 상당히 낮은 값을 보이고 있다. 이러한 차이는 pot의 크기 및 재식밀도, 토양 및 품종, 그리고 기타 재배조건에 차이에 기인하는 것으로 본다.

Wiklander(11)는 야외 포장에서 식질양토로 포트 실험(포트 크기 직경 20cm, 깊이 60cm, Sr-90 및 석회 등을 표층 15cm 까지 균일처리)을 수행한 결과 보리에 의한 토양중 Sr-90의 흡수율은 석회 처리시(pot당 약 17g, 540kg/10a에 해당) 약 0.30%, 석회 무처리시 약 0.76%였다고 함으로써 본 실험의 결과와는 달리 석회 처리에 의해 보리의 Sr-90 흡수가 크게 억제됨을 보여준 바 있다. 양

실험에서 석회 처리의 효과가 다르게 나타난 것은 석회 처리농도 및 토양의 차이에 의한 것으로 보여진다.

위와 같은 작물체에 의한 핵종 흡수는 토양중 핵종 농도의 감소를 의미하는 것으로 그 정도가 비교적 클 경우에는 토양중 핵종 농도 평가시 고려해 주어야 하나 대부분의 평가모델에서는 무시할 수 있는 것으로 보고 있다. 이상에서 볼 때 실제 포장에 있어서 보리 작물체에 의한 Sr-90 흡수율은 높아야 2~3% 정도에 불과할 것으로 예상되므로 단기적인 평가에 있어서는 무시해도 좋을 것으로 보이나 수십년 이상의 장기적인 평가에 있어서는 불필요한 과대평가를 방지하기 위해 고려해 줄 필요가 있다고 본다.

Sr-90 처리농도 및 석회 처리 유무에 따른 올보리와 늘쌀보리의 부위별 Sr-90 전이계수를 조사한 결과는 표 3에 나타나 있다.

늘쌀보리가 올보리에 비해 전부위에 걸쳐 거의

Table 3. Sr-90 transfer coefficients from soil to different plant parts of two barley cultivars grown in the soil treated with lime and Sr-90.

Cultivar	Lime ^a addi- tion	Sr-90 treatment (Bq/g-s.)	Transfer coefficient ^b						
			Stem	Leaf	Caryopsis ^c	Seed	Glume	Wh.top	
Olbori	Yes	1.6	1.61	3.93	0.33	-	-	1.06	
		8.0	1.08	3.80	0.34	-	-	0.92	
		40.0	0.69	3.26	0.30	-	-	0.73	
		LSD(5%)	0.53*	NS	NS	-	-	NS	
		Mean	1.13	3.66	0.32	-	-	0.91	
	No	1.6	1.45	4.15	0.51	-	-	1.11	
		8.0	1.15	3.75	0.36	-	-	0.92	
		40.0	1.05	3.82	0.33	-	-	0.91	
		LSD(5%)	NS	NS	NS	-	-	NS	
		Mean	1.22	3.90	0.40	-	-	0.98	
	Mean		1.17	3.78	0.36	-	-	0.94	
	Neolssal- bori	Yes	1.6	1.34	4.12	0.54	0.33	1.09	1.34
			8.0	1.63	5.13	0.58	0.33	1.21	1.52
			40.0	1.50	5.29	0.58	0.30	1.15	1.56
LSD(5%)			NS	1.14	NS	NS	NS	NS	
Mean			1.49	4.85	0.57	0.32	1.15	1.47	
No		1.6	1.59	4.49	0.64	0.36	1.31	1.54	
		8.0	1.54	5.43	0.67	0.32	1.50	1.67	
		40.0	1.26	4.72	0.56	0.28	1.13	1.43	
		LSD(5%)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
		Mean	1.46	4.88	0.62	0.32	1.31	1.54	
Mean			1.48	4.86	0.59	0.32	1.23	1.51	

LSD(x%) : least significant difference at the significance level of x%.

* : LSD(1%)=0.73 NS : statistically not significant.

a : 6.0g of slaked lime per pot.

b : $\frac{\text{Sr-90 conc. in the plant part at harvest (Bq/g-dry)}}{\text{Sr-90 conc. in the soil at harvest (Bq/g-dry)}} \times 100$: Average of 3 replicates.

c : Seed + Glume.

모든 동일 처리간에 다소 높은 전이계수를 보였고 전지상부에 있어서는 늘쌀보리가 평균 1.51, 올보리가 평균 0.94로서 전자가 후자보다 60% 정도 큰 값을 보였으며 줄기, 잎, 영과(종실+겉질)에 있어서도 두 품종의 평균간에 비교적 큰 차이가 나타났다.

석회 처리와 무처리를 비교해 보면 전반적으로

처리구가 무처리구보다 약간 낮은 값을 보이고 있으나 어느 부위에서도 석회처리에 의한 전이계수 감소효과를 인정할 만큼 큰 차이는 없었다. Sr-90 처리 농도간 Sr-90 전이계수는 올보리의 경우 대체로 1.6Bq 처리에서 가장 높은 값을 보였고 늘쌀보리의 경우에도 종실에서 그러하였으나 전체적으로 볼 때 처리 농도간에 큰 차이가 없

있으며 직선성의 가정이 부적절하다고 불만한 뚜렷한 경향성을 발견할 수 없었다. 울보리에서 1.6Bq 처리시 전이계수가 가장 높았던 것은 표 2에서 본 바와 같이 1.6Bq 처리에서 Sr-90 흡수율이 가장 높았다는 사실에 크게 기인하는 것으로 본다.

늘쌀보리의 잎에서는 석회 처리시 1.6Bq 처리에서 40.0Bq 처리보다 유의하게 낮은 전이계수를 보였는데 이것은 일반적인 예상과는 다른 것으로 그 결과를 환경내 저준위에 대하여 적용할 경우 적어도 과소평가의 위험성은 없다고 볼 수 있으므로 고려의 필요성은 그리 크지 않다고 본다.

각 부위간 전이계수를 비교해 보면 울보리의 경우 잎 3.78, 줄기 1.17, 영과 0.36, 늘쌀보리의 경우 잎 4.86, 줄기 1.48, 영과 0.59로 두 품종 모두 잎>줄기>영과의 순이고 늘쌀보리에 있어서 영과를 다시 종실과 껍질로 구분해 보면 잎>줄기>껍질(1.23)>종실(0.32)의 순으로 종실부위가 경엽부에 비해 대체로 1 order 정도 낮은 값을 보였다. Evans와 Dekker(17), Romney등(18)의 연구 결과를 종합하면 경엽부에 대한 종실의 Sr-90 농도비는 0.07~0.28의 범위인 것으로 볼 수 있어 위 결과와 대체로 일치한다고 하겠다.

한편 울보리의 영과도 종실과 껍질로 구분하여 보면 영과에서의 전이계수가 늘쌀보리에 비해 약 40% 가량 낮았다는 점을 고려할 때 울보리 종실에서의 Sr-90 전이계수는 0.2, 껍질에서의 그것은 0.7 정도로 볼 수 있겠으나 피맥은 껍질이 종실에 유착되어 있는 등 영과의 특성이 과맥과 다르므로 피맥 영과를 종실과 껍질로 효과적으로 분리할 수 있는 방법을 강구하여 직접 조사해 볼 필요가 있다고 본다.

Ng 등(5)이 여러 연구자들(8,9,10)의 보고를 정리하여 발표한 바에 따르면 건조중 기준으로 보리 종실에서의 Sr-90 전이계수는 0.08~1.89의 범위를, 경엽부에서의 그것은 0.23~5.0의 범위를 보이고 있는데 본 실험의 측정치들은 늘쌀보리의 잎에 대한 값들만 제외하면 전부 이 범위에 속하고 있다. 늘쌀보리의 잎에 대한 값도 잎과 줄기를 모두 포함하는 경엽부에 대한 값으로 나타내면 전부 위의 범위에 속할 것으로 본다.

보리는 부위별로 다양한 용도를 가지고 있으므로(6) 선량평가시에는 소비패턴에 맞는 전이계수치를 적절히 취해서 사용해야 할 것이다. 즉 보리를 사료로 쓸 경우에는 예취시기에 따라 경엽부 또는 전지상부에 대한 값을, 혼식이나 양조용 등으로 쓸 경우에는 종실에 대한 값을, 보리차로 쓸 경우에는 영과에 대한 값을, 보릿짚을 퇴비로 쓸 경우에는 경엽부에 대한 값을 사용해야 한다.

이상과 같은 실험결과와 고찰을 토대로 보리 일반에 대한 Sr-90 전이계수치를 제안코자 한다면 부위별로 울보리와 늘쌀보리에 대한 값의 평균치를 사용하는 것이 바람직하며 이때 울보리에 대한 값으로는 가장 저농도인 1.6Bq 처리에서의 값을, 늘쌀보리에 대한 값으로는 종실 이외의 부위에 있어서는 세농도에 대한 평균치를, 종실에 있어서는 1.6Bq 처리에서의 값을 사용하는 것이 과소평가의 가능성을 낮추기 위하여 적당할 것이고 일반적으로 토양조건을 향상시키기 위하여 석회를 시용하는 것이 권장되고 있으나 모든 농가에서 다 시행되고 있다고는 볼 수 없으므로 위와 같은 값들을 구할 때 석회 처리와 무처리간 평균치로 하는 것이 타당할 것으로 본다.

이렇게 하면 건조중 기준으로 울보리의 경우 전지상부 1.09, 줄기 1.53, 잎 4.04, 영과 0.42가 되고 늘쌀보리의 경우 전지상부 1.51, 줄기 1.48, 잎 4.86, 영과 0.59, 종실 0.35, 껍질 1.23이 되며 따라서 보리 일반에 대한 제안치는 전지상부 1.30, 줄기 1.51, 잎 4.45, 영과 0.51, 종실 0.35, 껍질 1.23이 된다.

그런데 전이계수는 앞에서 본 바와 같이 토양 및 재배 조건에 따라 큰 변이를 나타내고 또한 동일 작물의 품종간에도 다소의 차이가 인정되므로 위와 같은 값들은 잠정적이고 제한적인 사용에 그쳐야 하며 앞으로 다양한 종류의 토양 및 재배종 등에 대하여 실험을 실시하여 평가지역에 대한 특성치 나아가 우리나라의 대표치를 구하기 위한 노력을 계속해야 할 것으로 본다. 한편 표 4에서 보는 바와 같이 어느 경우에도 Sr-90 처리구에서 무처리구보다 유의하게 낮은 건물중은 보이고 있지 않으므로 Sr-90 흡수에 따른 작물체의 생육장해나 수량감소는 없었다고 하겠다.

Table 4. Dry weights of the plant parts of two barley cultivars grown in the soil treated with lime and Sr-90.

Cultivar	Lime ^a addi- tion	Sr-90 treatment (Bq/g-s.)	Dry weight (g/plant) ^b		
			Stem	Leaf	Caryopsis ^c
Olbori	Yes	0.0	0.133	0.147	0.781
		1.6	0.106	0.165	0.726
		8.0	0.123	0.161	0.821
		40.0	0.116	0.139	0.805
		LSD(5%)	NS	NS	NS
	Mean	0.120	0.153	0.783	
	No	0.0	0.109	0.176	0.756
		1.6	0.114	0.147	0.821
		8.0	0.134	0.169	0.884
		40.0	0.116	0.147	0.761
		LSD(5%)	NS	NS	NS
	Mean	0.118	0.159	0.805	
	Mean		0.119	0.156	0.794
	Neolssal- bori	Yes	0.0	0.133	0.247
1.6			0.119	0.218	0.754
8.0			0.154	0.249	0.969
40.0			0.131	0.240	0.903
LSD(5%)			0.029*	NS	0.191
Mean		0.134	0.238	0.856	
No		0.0	0.114	0.212	0.665
		1.6	0.113	0.230	0.759
		8.0	0.140	0.242	0.892
		40.0	0.141	0.232	0.838
		LSD(5%)	NS	NS	0.221
Mean		0.127	0.229	0.788	
Mean			0.131	0.234	0.822

LSD(x%) : least significant difference at the significance level of x%.

* : LSD(1%)=0.033 NS : statistically not significant.

a : 6.0g of slaked lime per pot.

b : Average of 3 replicates.

c : Seed + Glume.

결 론

석회와 Sr-90을 처리한 pH 6.05의 양질사토에 있어서 피맥인 올보리와 과맥인 늘쌀보리에 의한 Sr-90 흡수실험을 온실내에서 포트 재배를 통하여 실시하고 수확기에 토양으로부터 보리 지상부로의

Sr-90 흡수율과 부위별 Sr-90 전이계수를 조사한 결과 늘쌀보리가 올보리에 비해 대체로 흡수율은 2배 정도의 값을, 전이계수는 수십% 정도 큰 값을 보여 품종간에 비교적 큰 차이가 있었으나 포트당 6.0g(10a당 약 94kg)의 소석회 처리와 무처리간에는 석회 처리에 의한 Sr-90 흡수억제 및 전이

계수 감소 효과를 인정할 만큼 큰 차이는 없었다. Sr-90 처리 농도간에도 대체로 직선성의 가정이 부적절하다고 볼만한 유의한 경향성은 없었다.

실제 포장에서 보리 작물체에 의한 Sr-90의 흡수율은 단기적인 평가에서는 토양중 농도 평가시 무시해도 좋을 정도이나 장기적인 평가에서는 불필요한 과대평가를 방지하기 위해 고려해 줄 필요가 있는 것으로 본다.

본 연구로부터 보리 일반에 대하여 부위별로 Sr-90 전이계수치를 제안한다면 건조중 기준으로 전지상부 1.30, 줄기 1.51, 잎 4.45, 영과 0.51, 종실 0.35, 껍질 1.23이 된다. 그러나 전이계수는 토양 및 재배 조건에 따라 큰 변이를 나타내고 또한 품종간에도 다소의 차이가 인정되므로 이러한 값들은 잠정적이고 제한적인 사용에 그쳐야 하며 앞으로 다양한 조건에 대하여 실험을 수행하여 데이터를 축적하고 보다 대표성이 높은 값을 도입하기 위한 노력을 계속해야 할 것이다.

석회 처리에 의해 효과적으로 Sr-90의 흡수율을 억제하기 위해서는 본 처리수준보다 상당히 높은 수준으로 처리해야 될 것으로 판단되며 이때 작물체의 생육에는 영향을 미치지 않아야 할 것이다. 여기에 대해서도 차후 세밀한 조사를 수행할 것이 요망된다.

REFERENCES

- 1) R. Zach, FOOD II : *An Interactive Code for Calculating Concentrations of Radionuclides in Food Products*, AECL-6305, WNRE(1978).
- 2) 이정호 등, 섭취경로 및 호흡에 의한 방사선 내부피폭선량 평가코드개발, KAERI/RR-820/89, 과학기술처 (1989).
- 3) R. Zach, *Transfer Coefficients to Terrestrial Food Products in Equilibrium Assessment Models for Nuclear Installations*, AECL-6449, WNRE(1980).
- 4) U. S. NRC, Radiological Assessment : *A Textbook on Environmental Dose Analysis*, NUREG/CR-3332, ORNL-5968(1983).
- 5) Y. C. Ng, C.S. Colsher, and S.E. Thompson, *Soil-to-Plant Concentration Factors for Radiological Assessments*, Report NUREG/CR-2975, UCID-19463, Lawrence Livermore Lab. (1982).
- 6) 조재영 등, 전작(4정), 향문사, 서울(1989).
- 7) S. Glasstone and W. H. Jordan, *Nuclear Power and its Environmental Effects*, American Nuclear Society, La Grange Park, Illinois(1980).
- 8) J. W. Neel, J. H. Olafson and A. J. Steen, *Soil-Plant Interrelationships with respect to the Uptake of Fission Products : I. The Uptake of Sr-90, Cs-137, Ru-166, Ce-144, and Y-91*, UCLA-247, University of California at LA, Ca. (1953).
- 9) E. M. Romney, J. W. Neel, H. Nishita, J. H. Olafson, and K. H. Larson, "Plant uptake of Sr-90, Y-91, Ru-106, Cs-137 and Ce-144 from soils", *Soil Sci.*, 83, 369-376(1957).
- 10) W. Steffens, W. Mittelstaedt, and F. Fuehr, "The Transfer of Sr-90, Cs-137, Co-60 and Mn-54 from soils to plants-results from lysimeter experiments", In : *Radiation Protection, a Systematic Approach to Safety*, Proc. of the 5th Congress of the International Radiation Protection Society, Jerusalem, March 1980, Vol. 2, pp 1139-1142(1980).
- 11) L. Wiklander, "Uptake, adsorption and leaching of radiostrontium in a lysimeter experiment", *Soil Sci.*, 97, 168-172(1964).
- 12) H. Nishita and R. M. Haug, "Influence of clinoptilolite on Sr-90 and Cs-137 uptakes by plants", *Soil Sci.*, 114, 149-157(1971).
- 13) H. Foerstel, W. Goeres, and W. Steffens, "Variation of the transfer factor soil/plant during the time of equilibration after contamination with Sr-90, Cs-137, Co-60 and Mn-54", In : *Radiological Protection-Advances in Theory and Practice*, Proc. of the 3rd International

Symposium of the Society for Radiological Protection, Inverness-Scotland, June 1982, Vol. 1, pp 144-149(1982).

- 14) M. I. Sheppard, *The Environmental Behavior of Uranium and Thorium*, AECL-6795, WNRE, 1980.
- 15) T. Yamamoto and K. Masuda, "Studies on environmental contamination by uranium 4 : Uranium absorption by Chinese cabbage", *J. Radiat. Res.*, 15, 1-6(1974).
- 16) R.E.Wildung and T. R. Garland, "Influence of soil plutonium concentration on plutonium uptake and distribution in shoots and roots of barley", *J. Agr. Food Chem.*, 22, 836-838 (1974).
- 17) E. J. Evans and A. J. Dekker, "Comparative Sr-90 content of agricultural crops grown in a contaminated soil", *Can. J. Plant Sci.*, 42, 252-258(1962).
- 18) E.M. Romney, G. V. Alexander, G. M. Le Roy, and K. M. Larson, "Influence of stable strontium on plant uptake of Sr-90 from soils", *Soil Sci.*, 87, 42-45(1959).
- 19) NRPB and CEA, *Methodology for Evaluating the Radiological Consequences of Radioactive Effluents Released in Normal Operations*, CEC, No. V/3865/79-EN, FR, 1979.

Sr-90 Uptake by the Barley (*Hordeum vulgare* L. emend. Lamark) and Soil-to-Plant Transfer Coefficient

Yong Ho Choi¹, Kyu Hoi Chung², Ki Jung Chun¹,
Sam Rang Kim¹, Jeong Ho Lee¹

¹*Environmental Research Division, KAERI*

²*Department of Biology, Kyonggi University*

ABSTRACT

A pot experiment on the Sr-90 uptake by the barley from a loamy-sandy soil of pH 6.05 treated with Sr-90 and slaked lime was carried out in a green house. The rate of Sr-90 uptake at maturity was, on an average, 0.41% for a naked barley Neolssalbori and 0.23% for a covered one Olbori. Transfer coefficients of Sr-90 for the former were higher than those for the latter by about 30-60% depending on the plant parts. There were, on the whole, not significant differences in the rate and in the coefficient among Sr-90 concentration treatments. Slaked lime addition equivalent to about 94kg/10a was not effective for lessening Sr-90 uptake or diminishing Sr-90 transfer coefficient. As transfer coefficients, 1.51, 4.45, 0.35, and 1.30, on the dry weight basis, could be proposed for the stem, leaf, seed, and whole top of the barley, respectively. Growth inhibition or yield decrease due to Sr-90 uptake was not observed.

Key words : barley, Sr-90, Soil, Uptake, Transfer coefficient, Lime, Sr-90 concentration.