

배추의 생육단계별 엽면처리시 ^{85}Sr , ^{103}Ru , ^{134}Cs 의 작물체 오염경로 분석

임광목, 최용호, 김상복, 박효국, 이원운

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

온실내에서 ^{85}Sr , ^{103}Ru , ^{134}Cs 의 혼합용액을 배추의 생육중 다섯 차례에 걸쳐 분무기를 이용하여 엽면 처리하고 오염경로를 해석하였다. 작물체에 의한 차단계수는 핵종간에 차이없이 처리시기가 수확기에 가까울수록 증가하여 최고 약 0.9에 달하였다. 작물체에 침적한 핵종의 수확시 잔류율은 처리시기에 따라 ^{85}Sr 가 16~58%, ^{103}Ru 이 15~73%, ^{134}Cs 가 33~64%의 범위로 생육전기 처리시에는 ^{134}Cs 가, 후기 처리시에는 ^{103}Ru 이 가장 높았다. 강우처리에 의해 수확시 핵종농도가 비교적 크게 감소됨을 확인하였다. 수확된 배추의 겉잎을 제거함으로써 배추내 핵종농도를 효과적으로 낮출 수 있다는 것이 입증되었다. 본 연구결과는 배추의 생육중 사고침적시 배추내 핵종농도 예측 및 대책 수립에 활용될 수 있다.

1. 서 론

원자력시설로부터 방사성 핵종이 방출되어 농경지에 침적되면 농작물의 섭취경로(food chain)를 따라 인체에까지 도달하여 내부피폭을 일으키게 된다^{1,2)}. 원자력시설의 정상가동시에는 이러한 내부피폭 선량은 무시할 수 있을 정도이지만 사고시에는 대책이 필요할 정도로 높아질 수 있다. 따라서 원자력시설의 사고시 환경영향을 평가하고 합리적인 대책을 수립하여 주민과 생태계를 방사능으로부터 보호하기 위해서는 농작물의 방사능 오염경로에 대한 이해가 필요하다.

농작물의 방사능 오염은 방사성 핵종의 엽면침적과 토양으로부터의 뿌리흡수에 의해 이루어진다^{2,3)}. 뿌리흡수에 의한 작물체 오염은 사고후 장기적으로 지속된다는 측면이 있으나 일반적으로 엽면침적에 비해 선량적여 정도가 훨씬 낮다. 따라서 농작물의 생육중에 사고가 발생할 경우에는 엽면침적에 의한 농작물의 오염 정도를 예측하는 것이 매우 중요하다. 구미 각국에서는 1950년대

부터 엽면침적에 관한 실험⁴⁻⁶⁾이 자국의 주요 농작물을 대상으로 활발히 수행되어 왔으나 우리나라에서는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 우리나라의 주요 엽채류인 배추를 대상으로 원전 사고시 주요 방출핵종^{7,8)} 또는 그 동위원소인 ⁸⁵Sr, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁴Cs를 작물생육중 다섯 차례에 걸쳐 엽면처리한 후 작물체에 의한 핵종의 차단계수, 수확시 잔류율 등과 같은 핵종 이동인자를 조사하고 작물체 오염경로를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험작물 육성

'97년 8월 18일에 농우교배에서 생산한 장미배추(VCh-Hy-303)의 종자를 모종용 cup에 파종하고 9월 2일에 어린 작물체를 재배상자에 이식하였다. 재배상자는 가로, 세로, 높이가 각각 60cm, 60cm, 100cm인 철제 상자로서 동위원소 실험온실내에 1.3m 깊이로 건조된 호속에 설치되었다. 이식시 재식밀도는 차단계수(interception factor) 조사상자에서는 상자당 1개체로 하였고 수확시 잔류율 조사상자에서는 상자당 4개체로 하였다. 시비는 관행에 준하여 실시하였고 적당량의 수돗물을 2~3일 간격으로 지표에 공급하였다. 온실의 창문은 최대한 열어놓아 온도상승을 억제하고 통풍을 최대화하였다.

나. 방사성 핵종 처리

⁸⁵Sr, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁴Cs의 무담체 원액을 0.015M HCl용액에 혼합하여 적정농도 ('97년 9월 8일 기준 ml당 각각 100, 137, 18 KBq)로 희석하였다. 이 희석용액을 분무기에 담아 이식후 생육단계에 따라 다섯 차례에 걸쳐 서로 다른 재배상자 위에 설치된 가로, 세로, 높이 각각 90cm, 90cm, 130cm의 피폭상자내에서 공중분사하였다. 분사높이는 작물체 최상부로부터 약 80cm였고 1회 피폭시 상자당 분사횟수는 31회, 총분사량은 14~16ml, 소요시간은 약 15초였다. 피폭일자는 9월 13일, 9월 25일, 10월 6일, 10월 17일, 10월 27일(각각 수확전 51일, 39일, 28일, 17일, 7일)이었다. 매회 피폭은 차단계수 조사상자와 잔류율 조사상자의 두 상자에 대하여 이루어졌고 피폭시 지표면 오염을 방지하기 위하여 흡습지로 상자내 지표면을 피복하였다.

잔류율 조사상자에서는 강우효과를 모사하기 위하여 피폭처리후 수확전까지 3~5일 간격으로 작물체당 500ml의 수돗물을 물뿌리개를 이용하여 약 30cm 높이에서 뿌려 주었다. 수확전 28일 처리에서는 강우무처리 실험도 실시하여 강우처리시와 비교하였다.

다. 시료채취 및 방사능 분석

피폭 3시간 후 차단계수 조사상자에서 작물체 지상부를 채취하고 흡습지를 제거하였으며 잔류율 조사상자에서는 4개체중 대각선상에 있는 2개체의 지상부를 따로따로 채취하고 흡습지를 제거하였다. 잔류율 조사상자에서의 나머지 2개체는 11월 3일 최종 수확하였다. 채취된 작물체 시료는 신선중을 측정하고 온실내에서 2주 이상 자연건조한 후 잘게 잘라 110℃로 조절된 전열기 내에서 16시간 건조시켜 계측용기에 담아 건조중을 측정하였다. 차단계수 조사상자에서 제거된 흡습지는 온실내에서 건조시킨 후 잘게 잘라 계측용기에 담았다.

시료내 방사능 분석은 고순도 Ge 검출기를 이용한 γ -spectrometry법으로 실시하였다. 사용된 hardware와 software는 EG&G ORTEC사 제품이었고 계측시간은 시료에 따라 1~2시간 정도였다.

라. 조사항목의 계산

핵종의 총침적량에 대한 작물체 침적량의 비로 정의되는 차단계수(I)는 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$I = \frac{\text{작물체 침적량 (Bq)}}{\text{작물체 침적량과 흡습지 침적량의 합 (Bq)}}$$

피폭시 작물체 침적량에 대한 수확시 잔류량으로 정의되는 잔류율(R, %)은 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$R = \frac{\text{수확시 작물체당 핵종 잔류량 (Bq/plant)}}{\text{수확시로 붕괴보정한 피폭시 작물체당 침적량 (Bq/plant)}} \times 100$$

3. 결과 및 고찰

차단계수는 핵종간에 차이없이 수확전 51일 처리에서는 0.16, 수확전 7일 처리에서는 0.87로 처리시기가 수확기에 가까울수록 점점 증가하였다(그림 1). 이것은 수확기에 가까울수록 작물의 생육이 증가하여 작물체에 의한 지표면 피복정도가 높아지는 데 따른 결과⁶⁾인 것으로 사료된다. 수확전 28일 처리 이후부터는 증가속도가 매우 느려 수확직전 처리에서도 차단계수는 0.9를 넘지 않을 것으로 추정된다.

잔류율도 전체잎에 있어서나 속잎(최외부 6장을 제거한 나머지)에 있어서나 세 핵종 모두 처리시기가 늦어질수록 증가하는 경향이였다(그림 2, 3). 전체잎 잔류율은 처리시기에 따라 ^{85}Sr 가 16~58%, ^{103}Ru 이 15~73%, ^{134}Cs 가 33~64%의 범위였고 속잎 잔류율은 처리시기에 따라 각각 2~35%, 0.4~46%, 14~40%의 범위로 생육초·중기 처리시에는 ^{134}Cs 의 잔류율이 타핵종보다 대체로

크게 높았으나 마지막 처리에서는 ^{103}Ru 의 잔류율이 가장 높았다.

수확전 28일 피폭에서 강우처리시 잔류율은 강우 무처리에 비해 핵종에 따라 25~65% 정도 낮았다(표 1). 강우에 의한 방사능 제거 정도는 핵종의 용해도 및 잎의 성장과 부착형태 등에 따른 빗물의 작물체 잔류 정도와 같은 요인들에 의해서 결정될 것으로 판단된다. 또한 강우의 세기, 빈도 및 강우량 등에 따라서도 차이가 있을 것⁹⁾으로 사료된다.

위에서 구한 각 핵종의 차단계수와 잔류율을 이용하여 배추밭 1m^2 당 1Bq 의 방사능이 침적한 경우 수확시 작물체내 핵종농도를 예측한 결과 (그림 4~6) 속잎내 방사능 농도는 전체잎에 비해 핵종 및 침적시기에 따라 30~97% 정도 낮게 예측되어 사고침적시 배추의 곁잎을 제거하므로써 배추내 핵종농도를 효과적으로 낮출 수 있을 것으로 보인다. 침적시기가 늦어지는 데 따른 농도 증가 양상은 전체잎과 속잎 간에 다소 다른 경향이었는데 속잎의 경우 대체로 ^{134}Cs 는 직선적으로 증가하였으나 나머지 두 핵종은 지수함수적으로 증가하였다. ^{134}Cs 의 경우 반감기가 2년으로 비교적 길어 안정원소와의 차이가 매우 작았으나 ^{85}Sr 나 ^{103}Ru 은 차이가 꽤 컸다.

참 고 문 헌

- 1) IAEA, Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases, Safety Series No. 57, Vienna (1982).
- 2) J. E. Till and H. R. Meyer (Eds.), Radiological Assessment, A Textbook on Environmental Dose Analysis, NUREG/CR-3332, ORNL-5968 (1983).
- 3) R. Zach, FOOD II: An Interactive Code for Calculating Concentrations of Radionuclides in Food Products, WNRE, AECL-6305 (1978).
- 4) A. Aarkrog, Radionuclide levels in mature grain related to radiostrontium content and time of direct contamination, Health Phys. 28, pp. 557-562 (1975).
- 5) P. J. Coughtrey and M. C. Thorne, Radionuclide Distribution and Transport in Terrestrial Ecosystem - A Critical Review of Data, A. A. Balkema, Rotterdam (1983).
- 6) J. E. Pinder III, T. G. Ciravolo and J. W. Bowling, The interrelationships among plant biomass, plant surface area and the interception of particulate deposition by grasses, Health Phys. 55, pp. 51-58 (1988).
- 7) P. Renaud and H. Maubert, Agricultural countermeasures in the management of post-accidental situation, J. of Environ. Radioactivity 35, pp. 53-69 (1997).
- 8) IPSN, The Tchernobyl Accident, Rapport IPSN 2/86, Revision 3 (1986).
- 9) J. Ertel, G. Voigt and H. G. Paretzke, Weathering of $^{134/137}\text{Cs}$ following leaf contamination of grass cultures in an outdoor experiment, Radia. Environ. Biophys. 28, pp. 319-326 (1989).

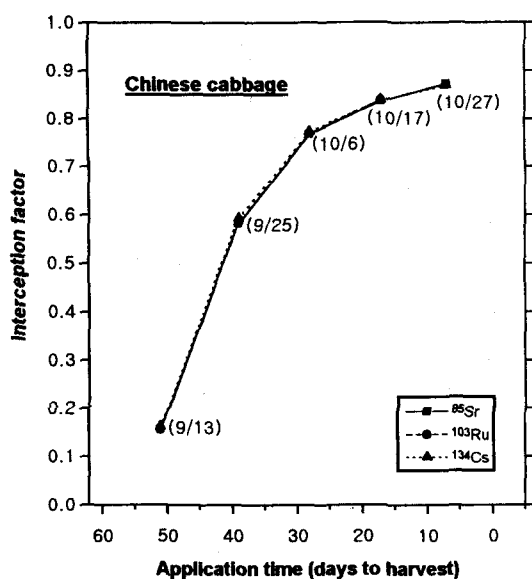


Fig. 1. Variations in interception factors of the radionuclides with time of their application.

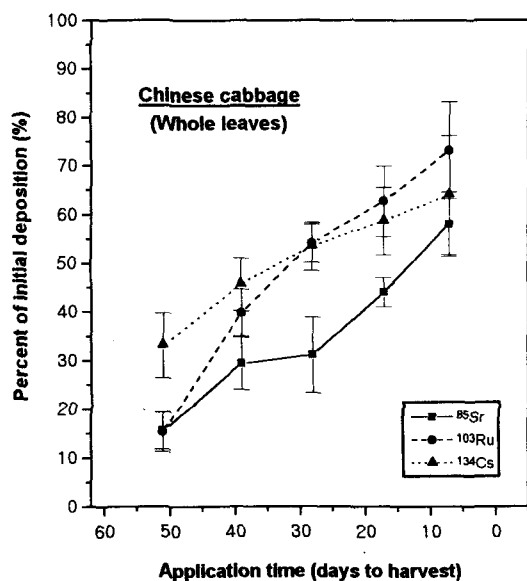


Fig. 2. Percent of initial deposition that remained in whole leaves at harvest.

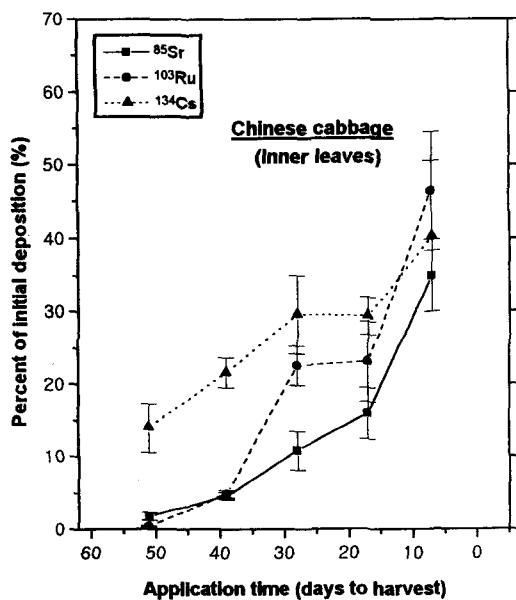


Fig. 3. Percent of initial deposition that remained in inner leaves at harvest.

Table 1. Effects of a simulated precipitation on the radioactivity levels in mature Chinese cabbage.

Plant part	Precipitation	Percent of initial deposition(%)		
		^{85}Sr	^{103}Ru	^{134}Cs
Whole leaves	Simulated	31.1	54.0	53.4
	No	81.8	82.5	80.2
Inner leaves	Simulated	10.8	22.5	29.6
	No	29.4	30.2	41.4

Note : Foliar application of RIs was made 28 days before harvest.

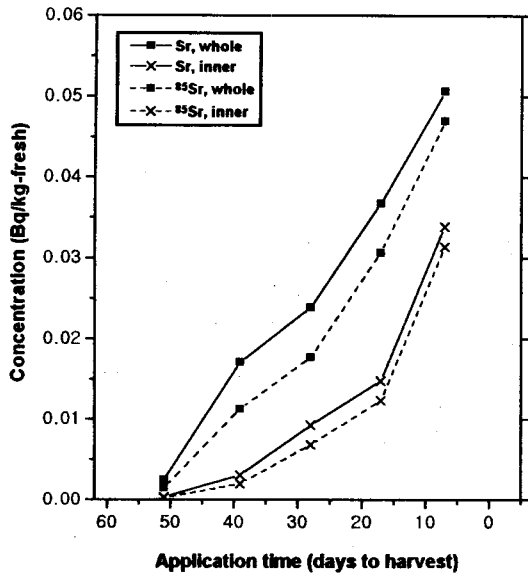


Fig. 4. Concentrations of Sr isotopes in mature Chinese cabbage for the deposition of 1 Bq/m² at different growth stages.

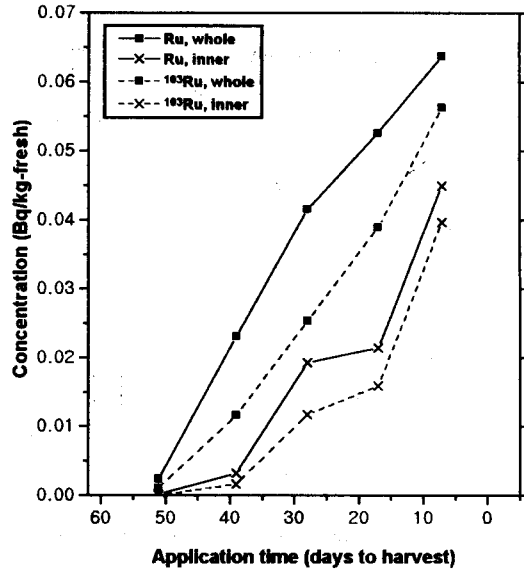


Fig. 5. Concentrations of Ru isotopes in mature Chinese cabbage for the deposition of 1 Bq/m² at different growth stages.

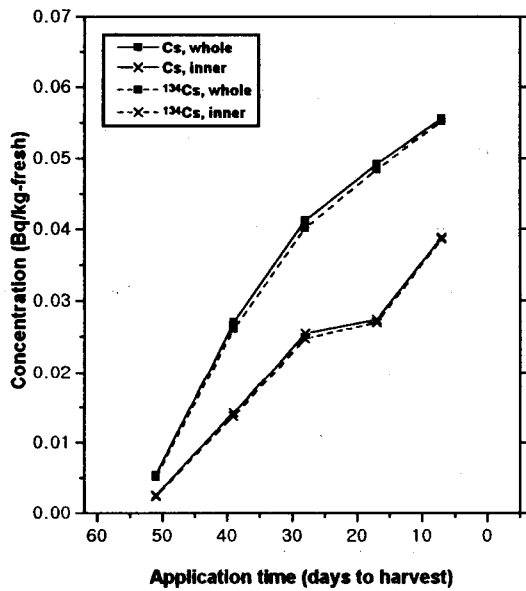


Fig. 6. Concentrations of Cs isotopes in mature Chinese cabbage for the deposition of 1 Bq/m² at different growth stages.