2001 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

HTO 증기에 피폭된 채소류내 TFWT 및 OBT 농도

TFWT and OBT Concentrations in Vegetables Exposed to HTO Vapor

최용호, 임광묵, 이원윤, 박효국, 최희주, 이한수

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

포트에서 육성한 배추와 무를 생육시기별로 옥외 피폭상자 안에서 1 시간 동안 HTO 증기에 피폭시키고 TFWT 및 OBT 농도를 조사하였다. 피폭 종료 직후(h_0) 잎내 TFWT 농도는 작물 및 피폭시기에 따라 피폭시 공기 수분중 평균 HTO 농도의 10 50% 범위였다. 수확기 때 TFWT 농도는 h_0 시에 비해 최고 수십만 배까지 감소하였다. 감소배수는 대체로 피폭시기가 이를수록 컸고 무의 경우에는 잎에서 뿌리보다 훨씬 컸다. 배추와 무의 수확기 때 OBT 농도는 각각 h_0 시 잎내 TFWT 농도의 0.1 0.5% 및 0.1 0.3% 정도였고 배추의 경우 대체로 피폭시기가 수확기에 가까울수록 증가하는 경향이었으나 무의 경우에는 이러한 경향성이 없었다. HTO 의 사고 방출시 배추와 무의 소비에 따른 내부피폭선량에 대한 기여도는 대부분의 경우 OBT 가 TFWT 보다 훨씬 클 것으로 예상되었다.

Abstract

Potted Chinese cabbage and radish plants at different growth stages were exposed to HTO vapor for 1 hour in an exposure box placed outdoors to investigate TFWT and OBT concentrations. TFWT concentrations in leaves at the end of exposure (h_0) were in the range of 10 50% of 1 hour's mean HTO concentrations in the box air moisture depending on plant species and date of exposure. TFWT concentrations decreased from h_0 to harvest by factors of up to several hundred thousand. The decreasing factor tended to be greater after the earlier exposure and for radish it was much greater in leaves than in the root. OBT concentrations in Chinese cabbage and radish plants at harvest were 0.1 0.5% and 0.1 0.3%, respectively, of leaf TFWT concentrations at h_0. The OBT concentration in Chinese cabbage increased on the whole as the exposure approached harvest whereas this trend did not appear in radish. It was expected that OBT should in most cases contribute much more to internal radiation dose resulting from consumption of Chinese cabbage and radish after an accidental release of HTO.

1. 서 론

H-3(T, tritium)는 중수로형 원자로, 재처리 시설 및 핵융합로 등의 가동에 있어서 문제시되는 핵종으로서[1-4] 생물체의 주요 구성성분인 수소의 동위원소이다. 따라서 H-3의 작물체 내에서의 거동 평가를 위해서는 일반 핵종과는 다른 접근방법이 요구된다[4,5].

원자력 시설로부터 H-3는 주로 HT(tritiated hydrogen gas)와 HTO (tritiated water)의 형태로 방출된다[6]. 이중 HTO는 수증기와 같은 특성을 니지므로 작물체의 기공을 통하여 잘 흡수되나 HT는 환경 중에서 HTO로 전환되기 전에는 거의 흡수되지 않는다[2,6,7].

작물체에 흡수된 HTO 중 일부는 작물체의 대사작용에 의해 OBT(organically bound tritium, 유기결합형 tritium)로 되어 가식부위에 축적되고[8,9] 나머지는 외기로 방출되거나 TFWT(tissue free-water tritium, 조직자유수 tritium)의 형태로 작물체내에 존재하게 된다[10]. 따라서 H-3 방출에 따른 섭취피폭선량 평가를 위해서는 작물체내 TFWT와 OBT의 거동을 이해할 필요가 있다.

본 연구에서는 우리나라의 주요 채소류인 배추와 무를 대상으로 HTO 증기 피폭 실험을 작물의 생육단계별로 실시하여 작물체의 HTO 흡수, TFWT 농도 변화 및 OBT 생산 등에 대해 조사하고 피폭시기의 영향을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험작물 육성

배추(장미배추, VCh-Hy-303)와 무(백자무, VR-Hy-194)를 야외에서 직경이 30 cm인 플라스틱 포트에 육성하였다. 배추와 무의 파종 일자는 각각 1998년 8월 24일 및 1999년 8월 23일이었다. 생육밀도는 배추와 무 모두 포트 당 한 개체로 하였다. 포트내 토양은 pH(1:2.5) 5.1의 사질양토였다.

파종 2 3일 전에 포트당 원예용 복합비료(N : P : K = 13% : 8% : 7%) 7.1 g, 소석회 5.9 g, 부숙퇴비 20 g을 살포하여 표층토와 섞어 주었고 생육중에도 2 3 차례에 걸쳐 적당량의 복합비료를 추비로 공급하였다. 적당량의 수돗물을 2 3 일 간격으로 지표에 공급하였고 병충해 방제를 위하여 살충제와 살균제를 수 차례 살포하였다.

나. 작물체 HTO 피폭

배추와 무 각각에 대하여 매회 피폭시 두 개의 포트를 92 cm (L) × 92 cm (W) × 125 cm (H)의 피폭상자에 집어넣고 피폭시켰다. 피폭일자는 배추의 경우 9월 23일, 10월 2일, 10월 15일 및 10월 27일(각각 수확 51일, 42일, 29일, 17일 전), 무의 경우 9월 28일, 10월 8일, 10월 16일, 10월 28일, 11월 5일(각각 수확 45일, 35일, 27일, 15일, 7일 전)이었다.

피폭상자는 투명 합성수지제로서 하부 바닥과 상부의 통으로 되어 있고 통의 천장은 개폐가 가능한 뚜껑이다. 상부의 내벽에 HTO 용액 가열장치, fan(가열장치 바로 밑에) 및 온·습도 센서를 부착하였다. 피폭상자의 틈새기는 모두 실리콘 라버로 덧대어 공기의 출입을 최대한 억제하였다.

두 개의 포트를 피폭상자의 바닥 위에 나란히 올려 놓고 상부의 통을 덮어씌운 후 2 ㎖(㎖당 배추의 경우 18.5 MBq, 무의 경우 12.3 MBq)의 HTO 용액이 담긴 유리병을 가열장치에 넣고 15 20 volt, 1 1.3 amp.의 전기를 가하여 60 분간 가열하였다. 이 때 fan을 작동시켜 증발된 HTO가 상자 내부에 고루 퍼지게 하였다. 가열이 끝난 직후에는 환기를 꾀하기 위하여 상부의 뚜껑을 열고 외부로부터 송풍기를 이용하여 신선한 공기를 5분간 주입하였다.

피폭실험은 오전 9시에서 10시 사이에 시작하였다. 피폭 중에는 펌프를 이용하여 매 5 분 동안 피폭상자 내부의 공기 1.5 리터를 증류수가 담긴 20 ㎖의 scintillation vial에 통과시켜 공기중 수분을 포집하였고 상자 내부의 온도와 습도를 5 분 간격으로 측정, 기록하였다. 조도는 같은 재질의 다른 투명상자 내에서 조도계로 측정하였다.

다. 시료 채취 및 방사능 분석

환기가 종료된 직후 상자의 상부를 들어 내고 한 포트에서 작물체 전체를 취하였다. 나머지 한 포트의 작물체는 수확기(배추의 경우 1998년 11월 13일, 무의 경우 1999년 11월 12일)에 채취하였다. 채취한 시료는 부위별로 나누어 -20℃로 냉동, 보관한 후 동결건조법으로 조직자유수를 추출하여 TFWT 농도를 측정하였다.

동결 건조된 작물체 시료(필요한 경우 42 ℃ 정도에서 2 3일 간 재건조)는 믹서기를 이용하여 분쇄한 후 다습한 공기에 의한 교환과정을 거쳐 잔류 TFWT와 치환성 OBT를 제거하였다. 이렇게 처리된 시료들을 흡수성이 강한 P_2O_5를 이용하여 수일 간 건조시킨 후 압축기를 이용하여 0.1 0.5 g의 펠릿으로 만들었다. 산화연소장치(Oxidizer 306, Canberra-Packard)를 이용하여 펠릿 시료를 연소시키고 이 때 발생된 연소수를 20 ㎖ scintillation vial에 채집하였다.

채집된 연소수 시료내 H-3 농도는 액체섬광계수기(Winspectral 1414, Walac)로 분석하였다. 계측시간은 20 30 분이었고 한 시료를 세 번 계측하여 평균값을 취하였다. OBT 농도는 TFWT 농도와 비교할 수 있도록 식물체 건물 1 g 연소시 0.6 ㎖의 연소수가 생성된다는 가정하에 ㎖ 당으로 환산하였다[8].

3. 결과 및 고찰

가. 피폭상자내 기상조건 및 공기중 HTO 농도

피폭상자 내에서 작물체를 HTO에 피폭시키는 동안 피폭상자 내의 기상조건과 공기수분중 농도를 조사한 결과는 표 1 및 2와 같다.

피폭상자내 기온은 대체로 피폭이 진행될수록 상승하여 피폭 종료시에는 시작할 때보다 배추 피폭실험에서는 5 12 ℃, 무 피폭실험에서는 3 15 ℃ 정도 높았다. 이것은 온실효과의 결과로서 날씨가 맑아 조도가 높은 경우 온도차가 보다 심하였다. 피폭시간 동안의 평균기온은 피폭시기에 따라 배추의 경우 19.4 30.4 ℃, 무의 경우 15.2 34.5 ℃의 범위였다.

상대습도는 대부분의 경우 피폭 시작과 함께 약간 상승하다가 점점 감소하는 경향을 나타내

었다.

Table 1. Meteorological conditions and HTO concentration in the exposure box during each exposure of Chinese cabbage plants to HTO

Code of exposure	Date of exposure	Temperature(℃)		Rel. humidity(%)		Radiation(klux)		HTO in air humidity(Bq/ml)		Leaf TFWT at h_0(Bq/ml)
		Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	
C1	23-Sep-98	23.6-31.9	26.8	76.1-88.6	85.9	27.6-71.1	42.4	5818-127931	86241	34035
C2	02-Oct-98	22.3-34.6	29.1	74.5-87.3	83.1	43.5-62.4	52.5	2672-55407	39332	18794
C3	15-Oct-98	24.1-34.5	30.4	51.3-87.2	77.4	52.8-70.4	60.5	6278-103266	62115	12269
C4	27-Oct-98	17.4-22.3	19.4	84.0-91.9	89.0	4.8-51.6	22.9	21415-289728	167081	13521

Table 2. Meteorological conditions and HTO concentration in the exposure box during each exposure of radish plants to HTO

Code of exposure	Date of exposure	Temperature(℃)		Rel. humidity(%)		Radiation(klux)		HTO in air humidity(Bq/ml)		Leaf TFWT at h_0(Bq/ml)
		Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	
R1	28-Sep-99	28.2-39.8	34.5	70.1-77.0	73.8	39.2-63.2	54.4	2095-95036	58842	21341
R2	08-Oct-99	22.4-33.7	28.5	72.9-83.3	78.0	25.3-68.6	48.2	9496-109353	77635	24863
R3	16-Oct-99	14.0-17.4	15.2	31.9-79.2	67.9	23.5-40.8	30.2	54328-772106	272353	39929
R4	28-Oct-99	22.6-31.0	26.9	65.2-71.5	69.8	33.3-47.0	40.1	14998-213151	167470	36739
R5	06-Nov-99	11.1-25.6	19.8	69.4-86.6	77.5	32.7-42.2	37.7	9280-187647	130368	42224

피폭시간 동안의 평균습도는 피폭시기에 따라 배추의 경우 77.4 89.0%, 무의 경우 67.9 78.0%였다. 조도는 구름이 많은 날을 제외하고는 피폭이 진행됨에 따라 점점 증가하는 경향이었다.

피폭상자내 공기수분중 HTO 평균농도는 증발된 HTO의 양이 같은 경우에도 증발속도, 상자내

기상조건, 외부로의 HTO 누출량, 작물체의 HTO 흡수량 등에 따라 비교적 큰 차이를 나타내었다.

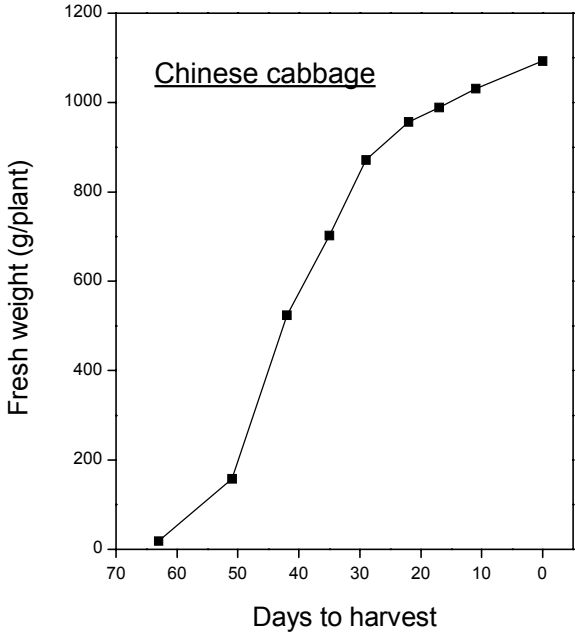

Fig. 1. Growth curve of the Chinese cabbage Plant.

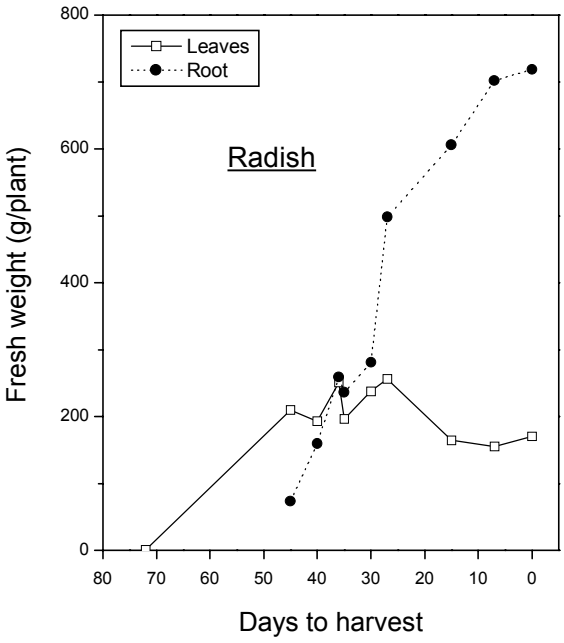

Fig. 2. Growth curves of the radish plant.

나. 작물체의 생육

시간경과에 따라 배추와 무의 발육 정도를 조사한 것은 각각 그림 1 및 2에서 보는 바와 같다.

배추의 경우 생육 초기에는 생체중이 천천히 증가하다가 수확 약 50 일 전부터 급속한 증가를 보인 다음 생육 후기로 갈수록 증가속도가 늦어지는 전형적인 시그마 곡선형 생장을 나타내었다. 무의 경우에도 뿌리는 대체로 시그마 곡선형 생장을 나타내었으나 잎은 수확 약 25 일 전까지 생체중이 증가하다가 그 이후 조금씩 감소하는 경향이었다. 무의 근부 생체중은 생육 전반기 이후 뿌리의 급속한 비대로 인하여 수확 약 35 일 전부터는 잎보다 무거워지기 시작하여 수확기에는 잎보다 4 배 정도나 무거웠다.

다. 작물체내 TFWT 농도

1) 배 추

배추의 생육중 네 차례에 걸쳐 HTO 증기 피폭실험을 수행하고 피폭상자내 공기 수분중 H-3 농도에 대한 피폭 종료 직후 및 수확시 작물체 TFWT 농도의 백분율(상대농도)을 피폭시기별로 조사한 것은 각각 그림 3 및 4에서 보는 바와 같다.

피폭 종료 직후 TFWT 상대농도는 생육 전반기 피폭시에는 40 50% 정도였다가 피폭시기가 수확기에 가까울수록 감소하여 수확 17일 전인 마지막 피폭에서는 겉잎(최외부 6장의 잎), 중간잎(중

간 부위 6장의 잎), 속잎에서 각각 12.0%, 12.4%, 5.4%에 불과하였다. 속잎의 경우 공기에 대한

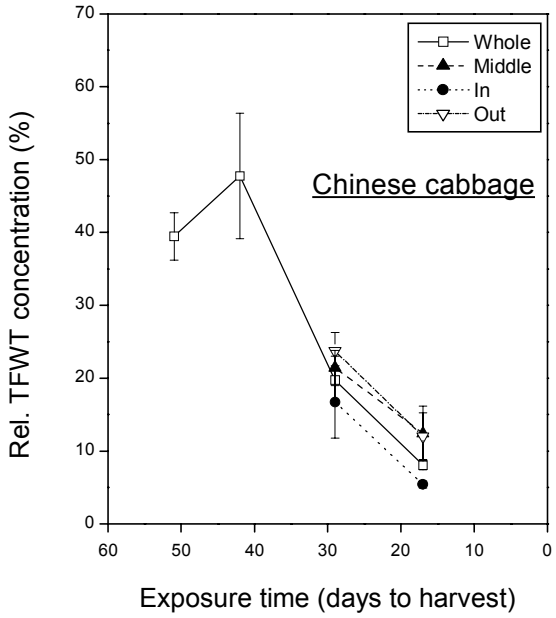

Fig. 3. TFWT concentrations in the Chinese cabbage plant at the end of its exposure to atmospheric HTO at different growth stages.

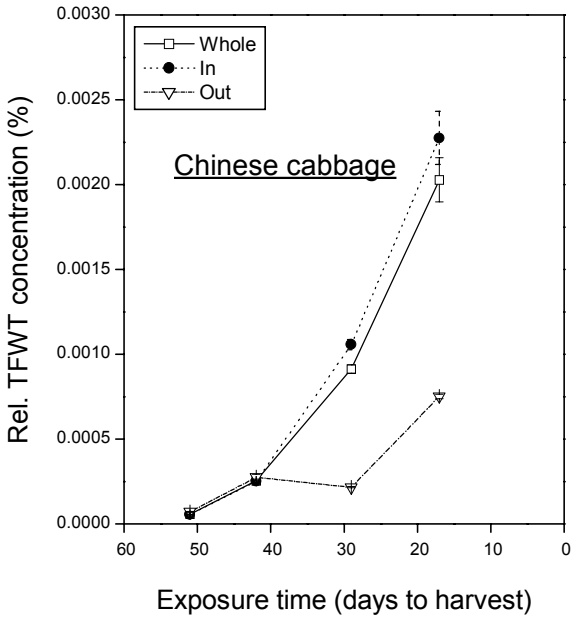

Fig. 4. TFWT concentrations in the Chinese cabbage plant at harvest after its exposure to atmospheric HTO at different growth stages.

노출 정도가 낮아 겉잎이나 중간잎에 비해 상대농도가 낮았다.

생육 전반기 피폭시 TFWT 상대농도가 비교적 높았던 것은 작물체가 왜소하여 외기와의 수분 교환이 빠르게 진행되었기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 마지막 피폭에서 상대농도가 가장 낮았던 것은 생육후기 작물체의 비대 및 가스교환 능력 감퇴, 낮은 조도 및 온도 등 여러 요인들이 복합적으로 작용한 결과인 것으로 사료된다.

수확시 TFWT 농도는 피폭시에 비해 대체로 수천 수십만 배(표 3 참조) 감소하였는데 속잎에 비해 겉잎에서, 그리고 피폭에서부터 수확까지의 기간이 길수록 크게 감소하였다. 속잎과 겉잎에서 모두 수확시 TFWT 농도는 피폭시기가 수확기에 가까울수록 증가하였으나 증가 정도는 속잎에서 훨씬 현저하였다. 이로 인해 생육 전반기 피폭에서는 수확시 속잎과 겉잎의 농도가 거의 같았으나 생육 후반기 처리에서는 속잎이 겉잎보다 수 배 높았다.

2) 무

피폭 종료 직후 TFWT 농도는 잎에서 윗뿌리(지상에 노출된 부분)에 비해 10 100 배 정도 높았고 윗뿌리에서는 밑뿌리에 비해 수십 수백 배 정도 높았다(그림 5). 잎내 TFWT 상대농도는 피폭시기에 따라 16 36%의 범위로 뿌리에 비해 변이가 작았다. 잎과 윗뿌리에서의 상대농도는 모두 9월 28일(수확 45일 전) 피폭시 가장 높았고 10월 16일(수확 27일 전) 피폭시 가장 낮았다가 생육후기 피폭시 다시 증가하였다. 밑뿌리에서의 TFWT 상대농도는 윗뿌리에 비해 피폭시기에 따른 변이가 컸고 변이의 양상도 잎이나 윗뿌리와는 다소 차이가 있었다. 이것은 주로 윗뿌리와

밑뿌리를 구분하는 데 있어서 발생하는 오차에 기인한 것으로 판단된다.

Table 3. Dilution factors of TFWT in different parts of the Chinese cabbage plant exposed to HTO at different growth stages

Date of exposure	TFWT dilution factor [a]		
	Outer leaves [b]	Inner leaves	Whole leaves
Sep. 23	-	-	6.92×10^5
Oct. 2	-	-	1.87×10^5
Oct. 15	1.10×10^5	1.73×10^4	2.16×10^4
Oct. 27	1.60×10^4	3.15×10^3	3.99×10^3

[a] $\frac{\text{TFWT concentration at } h_0}{\text{TFWT concentration at harvest}}$

[b] 6 outmost leaves.

위와 같은 피폭시기에 따른 차이는 작물체의 생육 상태 및 온도, 습도, 조도와 같은 피폭시 기상조건 등의 차이에 의한 것으로 볼 수 있다. 특히 10월 16일 피폭에서 TFWT 상대농도가 가장 낮았던 것은 온·습도 및 조도가 가장 낮았기 때문인 것으로 보인다.

무 수확(11월 12일)시 TFWT 농도는 처음 네 번째 피폭까지는 대체로 윗뿌리, 밑뿌리, 잎의 순

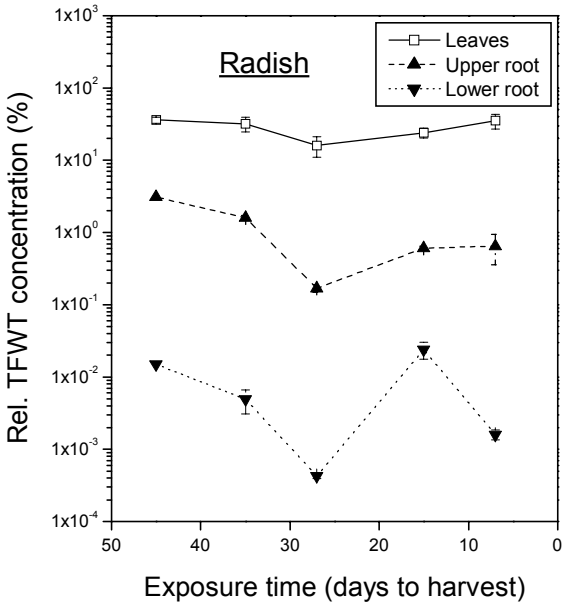

Fig. 5. TFWT concentrations in the radish plant at the end of its exposure to atmospheric

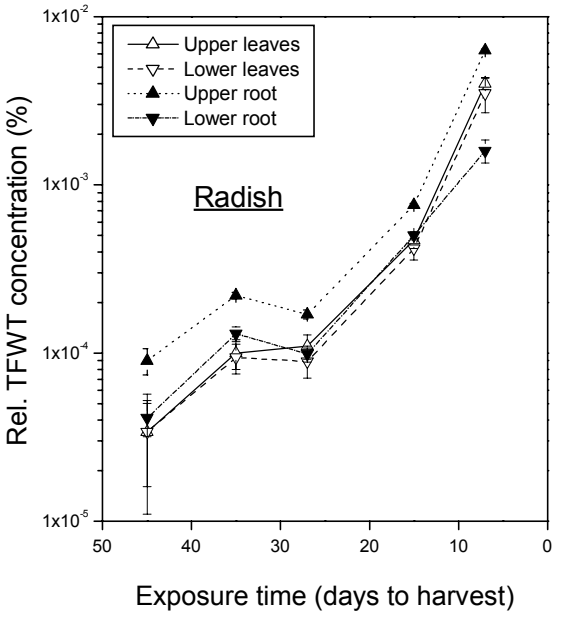

Fig. 6. TFWT concentrations in the radish plant at harvest after its exposure to atmospheric

HTO at different growth stages HTO at different growth stages

으로 높았으나 마지막 처리에서는 윗뿌리, 잎, 밑뿌리의 순이었다(그림 6). 수확시 잎과 뿌리간 농도차는 대체로 3 배 이내로 피폭 종료 직후에 비해 차이가 현저히 감소하였다. 이것은 아래에서 보는 바와 같이 잎의 TFWT 농도 감소 정도가 뿌리보다 훨씬 높았기 때문이다. 한편, 배추와는 달리 수확시 잎의 위치에 따른 농도차는 거의 없었다.

수확시 TFWT 농도는 대체로 피폭시기가 수확기에 가까울수록 증가하였는데 11월 5일 피폭에서는 9월 28일 피폭에 비해 부위에 따라 40 120 배 정도 높았다. 수확시 TFWT 농도는 피폭 종료 직후에 비해 잎에서는 대체로 수천 수십만 배, 윗뿌리에서는 수백 수만 배 정도 감소하였으나 대기에 직접 노출되지 않는 밑뿌리에서의 감소 정도는 최고 수백 배에 불과하였다(표 4 참조). 이러한 감소배수는 배추에서와 같이 피폭시기가 이를수록 큰 경향이었다.

Table 4. Dilution factors of TFWT in different parts of the radish plant exposed to HTO at different growth stages

Date of exposure	TFWT dilution factor [a]			
	Upper leaves [b]	Lower leaves [b]	Upper root	Lower root
Sep. 28	1.06×10^{6}	1.06×10^{6}	3.44×10^{4}	3.66×10^{2}
Oct. 8	3.20×10^{5}	3.40×10^{5}	7.27×10^{3}	3.77×10^{1}
Oct. 16	1.45×10^{5}	1.80×10^{5}	1.00×10^{3}	4.30×10^{0}
Oct. 28	5.11×10^{4}	5.71×10^{4}	8.03×10^{2}	4.80×10^{1}
Nov. 5	8.75×10^{3}	1.00×10^{4}	1.03×10^{2}	1.00×10^{0}

[a] $\dfrac{\text{TFWT concentration at } h_0}{\text{TFWT concentration at harvest}}$

[b] 1. based on the TFWT concentration in whole leaves at h_0
2. Lower leaves are 6 downmost leaves.

라. 작물체내 OBT 농도

1) 배추

배추의 HTO 피폭시기별로 수확기에 조사한 겉잎과 속잎의 OBT 농도는 그림 7에서 보는 바와 같다. 여기서 OBT 농도는 상대농도로서 피폭 종료 직후 잎의 TFWT 농도(Bq/ml)에 대한 건조시료의 연소수내 H-3 농도(Bq/ml)의 백분율에 해당한다.

배추 겉잎의 OBT 상대농도는 HTO 피폭시기에 따라 0.13 0.35%로 변이가 3 배 정도에 불과하였으나 속잎의 경우 0.02 0.66%로 변이가 30 배 가량 되었다. 이것은 속잎의 경우 피폭시기가 이를수록 수확시에는 피폭 이후 새로 생겨난 잎이 많고 생육 후기 피폭에서는 수확시 대부분의 속잎이 피폭 당시에 존재하던 것이었으므로 피폭시기에 따른 변이가 겉잎에서보다 훨씬 커진 결과

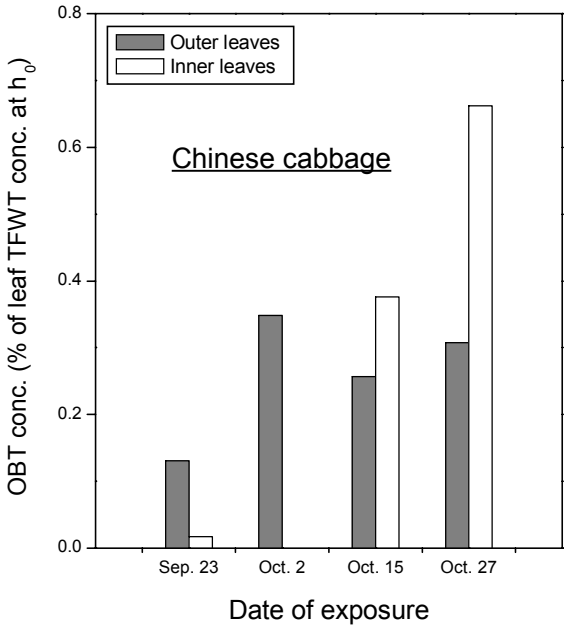

Fig. 7. Relative OBT concentrations in mature Chinese cabbage plants.

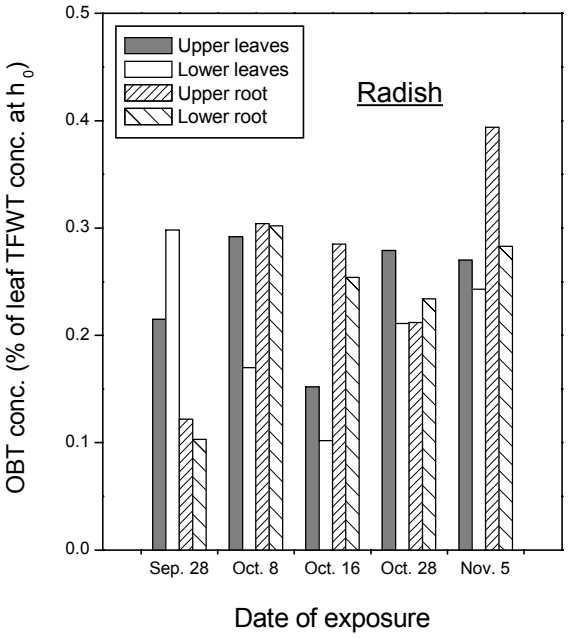

Fig. 8. Relative OBT concentrations in mature radish plants.

인 것으로 판단된다. 또한 같은 이유로 속잎에서의 OBT 상대농도는 피폭시기가 늦을수록 점점 증가하는 경향이 뚜렷이 나타났고 이에 따라 OBT 상대농도는 생육 전반기 피폭에서는 겉잎에서 훨씬 높았으나 생육 후기 피폭에서는 반대로 속잎이 겉잎에 비해 다소 높았다.

OBT는 작물체의 광합성 및 여타 대사작용에 의해 생성되는 것으로 위와 같은 OBT 상대농도는 작물체의 HTO 흡수후 수확까지의 기상조건, 작물체의 생리적 활성 및 건물생산 등과 같은 복합적인 요인에 의해 결정된다.

배추의 수확시 OBT 농도를 절대농도(연소수 ml당 Bq, Bq/ml)로 나타내면 TFWT 농도(Bq/ml)보다 부위 및 피폭시기에 따라 수십 수백 배 높다. 따라서 OBT의 선량환산인자(Sv/Bq)가 TFWT보다 2 3 배 높다는[10] 점을 고려할 때 수분 함량이 95% 정도로 매우 높은 배추에 있어서도 사고방출시에는 대부분의 경우 TFWT보다 OBT에 의한 내부피폭이 훨씬 더 클 것으로 판단된다.

2) 무

무의 HTO 피폭시기별로 수확기에 조사한 각 부위에서의 OBT 상대농도는 그림 8에 나타나 있다.

무 윗잎의 OBT 상대농도는 HTO 피폭시기에 따라 0.15 0.29%, 아랫잎의 경우 0.10 0.30%로 공히 생육 중기인 10월 16일 피폭에서 가장 낮았고 나머지 피폭에서는 피폭시기간에 큰 차이가 없었다. 무 윗뿌리의 OBT 상대농도는 0.12 0.39%, 아랫뿌리에서는 0.10 0.30%의 범위로 상 하 모두 1차 피폭인 9월 28일 피폭에서 가장 낮았고 나머지 피폭에서는 피폭시기간에 큰 차이가 없었다.

OBT 상대농도는 무 부위간에는 피폭시기에 따라 최고 약 3 배 정도의 차이를 보여 부위간 차이가 비교적 작았다. 한편, 무 잎과 배추의 겉잎간에는 큰 차이가 없었으나 무 잎과 배추의 속잎간에는 생육 전반기 피폭의 경우 무에서 훨씬 높았으나 생육 후기 피폭에서는 배추에서 2 배 정도 높았다.

무의 수확시 OBT 절대농도(Bq/ml)도 TFWT 농도(Bq/ml)보다 부위 및 피폭시기에 따라 수십 수천 배 높은 것으로 역시 OBT의 중요성이 매우 크다고 할 수 있겠다.

4. 결 론

한국인에게 있어서 가장 중요한 채소류인 배추와 무의 생육시기별로 대기중 HTO 증기 피폭실험을 수행하고 작물체내 TFWT 농도의 변화 및 OBT 생산 등을 조사하였다.

피폭 직후 작물체내 TFWT농도는 피폭시기 및 피폭상자내 기상조건에 따라 달랐다. 수확기 때 TFWT 농도는 초기 농도에 비해 부위에 따라 최고 수십만 배까지 감소하였고 감소배수는 피폭에서 수확까지의 기간이 길수록 큰 경향이었다. 수확기 때 OBT 농도(연소수내 HTO 농도, Bq/ml)는 TFWT 농도보다 피폭시기 및 작물 부위에 따라 수십 수천 배 높게 나타나 채소류에 있어서도 OBT의 중요성이 확인되었다.

본 실험 결과는 원자력 시설로부터 대기로 HTO 증기의 일회성 사고방출시 채소류내 TFWT 및 OBT농도를 예측하는 모델을 수립하거나 기존 모델을 검증하기 위한 자료로 활용할 수 있다.

참고 문헌

1. NCRP, Tritium in the environment. NCRP Report No. 62, Washington, D. C. (1979).
2. S. Okada and N. Momoshima, Overview of tritium: characteristics, sources, and problems. Health Physics 65, 595-609 (1993).
3. C. E. Murphy Jr., Tritium transport and cycling in the environment, Health Physics 65(6), 683-697 (1993).
4. W. Raskob and P. Barry, Importance and variability in processes relevant to environmental tritium ingestion dose models, J. Environ. Radioactivity 36, 237-251 (1997).
5. S-R. Peterson and P. A. Davis, Modelling Tritium and ^{14}C in Rice from Chronic Atmospheric Releases, RC-2098, AECL (1998).
6. J. A. Garland and L. C. Cox, The absorption of tritium gas by English soils, plants and the sea, Water, Air and Soil Pollution 14, 103-114 (1980).
7. M. Murata and H. Noguchi, Dose delivered by unit amount of tritium released into the environment, J. Nuc. Sci. Tech., 34, 176- 184 (1997).
8. S. Diabaté and S. Strack, Organically bound tritium in wheat after short-term exposure to atmospheric tritium under laboratory conditions, J. environ. Radioactivity 36, 157-175 (1997).
9. S. Diabaté and S. Strack, Organically bound tritium. Health Physics 65, 698-712 (1993).
10. S. Diabaté and S. Strack, Doses due to Tritium Releases by NET- Data Base and Relevant Parameters on Biological Tritium Behaviour. KfK 4713, Kernforschungszentrum Karlsruhe (1990).