# 방사선 조사된 국내 야생 등줄쥐 (*Apodemus agrarius coreae*) 장기무게 및 비장세포 세포고사

주현진*, 최훈*, 양광희*, 금동권†, 김희선*
*한국수력원자력(주) 방사선보건원, †한국원자력연구원 원자력환경연구부

2015년 4월 30일 접수 / 2015년 6월 12일 1차 수정 / 2015년 7월 7일 2차 수정 / 2015년 8월 13일 3차 수정 / 2015년 8월 17일 채택

이 연구에서 후쿠시마 원전 폭발과 같은 사고 발생 시 방사선이나 방사성 핵종에 의한 생물학적 영향을 평가할 수 있는 야생 동물지표로서 성축 등줄쥐(*A. a. coreae*) 활용 가능성을 평가하였다. 이 연구를 위하여 야외 채집한 등줄쥐를 실험실에서 교배하고 생산된 새끼가 약 40주령이 되었을 때 털 색깔, 외부형태, 두개골, 치아 특성을 관찰하고 분류학적 특성을 정리하였다. 방사선에 대한 신체 반응도를 평가하기 위하여 방사선 조사(0, 0.5, 1, 2 Gy) 24시간 후에 장기무게를 관찰한 결과 흉선만이 감소하였다. 방사선에 민감한 장기 가운데 하나인 비장 세포고사는 선량에 비례하여 증가하였지만, 0.5 Gy 조사된 개체에서는 감소하였다. 앞으로 야생 등줄쥐 신체 장기별 방사선 민감도 차이를 세포 및 분자생물학적 수준에서 해석함으로써 방사선 피폭 사고시 신체영향을 평가할 수 있는 방법론 도출이 가능할 것이라 생각된다.

중심어 : 환경 방사선 지표, 등줄쥐, 방사선, 장기무게, 비장세포, 세포고사

## 1. 서론

인간을 포함한 지구상의 동식물은 지구탄생 및 인간활동과 더불어 만들어진 방사성물질뿐만 아니라 우주와 의료·산업적 방사선 환경에서 살고 있다. 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)도 이런 방사선이나 방사성물질에 의한 인간피폭을 최소화하기 위하여 권고안 60 (1990)을 발표하였으며 방호정책의 기준이 되어왔다. 그러나 ICRP 권고안 60도 시간이 경과함에 따라서 수정이 불가피하게 되었고, 개정안이 발표되는 단계에 이르렀다. 여기에는 내부피폭량 수정과 평가법 보완, 저선량 영역(200 mGy 이하)에 대한 인체영향 자료보완, 환경보존에 대한 책임이 강화되었는데, [인간이외 동·식물모델을 개발하여 선량·영향을 평가]하자는 것이 핵심내용이다. 국제원자력기구(IAEA)도 방사선시설로부터 유출되는 방사선[1-3]과 방사성물질[4]이 육·해상 동식물에 미치는 영향을 평가할 수 있는 방법론 개발과 활용을 제안하고 있다.

방사선 및 방사성물질이 인간 및 생태계에 미치는 영향 평가 방법론에 대한 보고들을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 물리학적 평가로 공간 방사선량과 음식물, 토양, 물, 나무, 식물에 축적된 방사성핵종 측정이다[5-7]. 둘째, 생물학적 평가로서 자주달개비[8]나 가축[9]등이 활용되고 있으나, 교란변수가 다수 개입되어 있다. 야생 소동물[10-14]을 이용 하려는 시도가 있어왔으나 개체 수 부족뿐만 아니라 선량-반응관계가 분명하지 않았다. 셋째, 원전사고에 의해서 유·방출되는 방사성물질은 피폭원인이 되기 때문에, 먹이사슬을 고려한 거동에 대한 정확한 이해가 요구되지만 미흡했다. 즉, 현재 활용되고 있는 생물학적 지표로는 방사선이나 방사성물질에 의한 영향을 평가하기가 어렵기 때문에 새로운 방법론 개발이 필요하다.

여기에는 동물과 식물이 평가모델로서 제안될 수 있으나 식물은 특성상 인간이나 동물 신체반응을 반영하지 못한다. 동물을 이용하여 방사선 선량 및 영향평가를 수행하기 위해서는 다음 사항들이 충족되어야 한다. (1) 동물이어야 한다. (2) 종이 명확히 구분되어야 하며, (3) 동일한 생태학적 특성을 가져야 하며, (4) 인간과 동일한 생활환경에서 서식해야 하며, (5) 거주지역이 한정되어야 하며, (6) 서식지역의 음식과 물을 섭취하여야 하며, (7) 수명이 길어야 하며, (8) 신체 내 방사성물질 분포 및 농도에 대한 정보가 확보되어야 한다.

이 연구에서는 방사선 영향을 평가할 수 있는 생물학적 지표로서 야생 등줄쥐 활용 가능성을 평가하기 위하여 야외에서 채집한 등줄쥐의 분류학적 특성을 조사하였다. 아울러 실험실 교배를 통하여 생산된 새끼(F1)가 성축(40주)에 도달하였을 때 방사선을 조사하고, 몸무게와 장기무게 그리고 비장세포 세포고사를 관찰하였다.

책임저자 : 김희선, hskimdvm1@khnp.co.kr
서울시 도봉구 우이천로 308 (132-033)

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 야생 등줄쥐 포획

이 연구를 위해서 2012년 6월부터 국내 포천지역을 중심으로 사람이 거주하지 않으면서 공장과 같은 환경 오염원이 없는 지역에서 등줄쥐를 포획(평균 포획율: 30%)하였다. 오후 4시에 땅콩버터와 새 먹이를 희석한 유인용 먹이를 넣은 Sherman 덫을 설치하고, 아침에 수거하였다.

### 2.2 야생 등줄쥐 교배 및 관리

이 연구에서는 야외 포획한 등줄쥐 암컷과 수컷을 한 마리씩 케이지에 넣어 사육하면서 출산한 새끼가 완전히 성장(수컷, 40주령)하였을 때 외부형태, 두개골 그리고 치아특성을 관찰하였다. 등줄쥐 방사선 반응도를 평가할 경우, 성별, 연령별 민감도를 고려하여야 하지만 등줄쥐 확보 어려움 때문에 수컷, 성축에 한정하였다. 사료(삼양사)는 방사선 조사하여 멸균한 후 자유 급식하였다. 물은 고압멸균하여 제공하였다. 깔집은 방사선 조사하고 멸균된 상태로 제공하였다. 케이지는 일주일에 1회 교체하였다.

**Table 1.** Taxonomical Characters of *Apodemus agrarius coreae.*

| Characters | Mean ± Standard Error |
|---|---|
| 1. Length of head to tail (Cm) | 19 ± 0.4 |
| 2. Length of tail (Cm) | 8.5 ± 0.3 |
| 3. Length of hind foot (Cm) | 2.2 ± 0.0 |
| 4. Length of ear (Cm) | 1.6 ± 0.1 |
| 5. Body weight (gm) | 43 ± 10 |

**Table 2.** External and Tooth Characters of *Apodemus agrarius coreae.*

| Characters | Mean ± Standard Error |
|---|---|
| 1. Greatest length of the skull, length from the anterior margin of the nasal bone to the posteriorly projecting edge of the occiput (mm) | 28 ± 0.2 |
| 2. Condylobasal length from the anterior edge of the alveolus of the upper incisor to the posterior margin of occipital condyles (mm) | 26 ± 0.5 |
| 3. Length between incisor and incisive foramen, length from the anterior edge of the alvelous to the anterior margin of the incisive foramen (mm) | 3.8 ± 0.1 |
| 4. Length of the nasal bones, length between anterior and posterior edges of the nasal bones (mm) | - |
| 5. Zygomatic width, greatest width across the zygomatic arches (mm) | 14 ± 0.1 |
| 6. Mastoid width, width between the external projection of the mastoid processes (mm) | 9.7 ± 0.4 |
| 7. Width of brain case, maximum width of the brain case measured between the posterior margins of the zygomatic arches (mm) | 12 ± 0.1 |
| 8. Height of brain case, height of brain case measured from the posterior margin of the alveolus of the upper third molar to the suture of the frontal and parietal bones (mm) | 8.8 ± 0.2 |
| 9. Width between infraorbital canals, width between the external foramina of each infraorbital canal (mm) | 3.9 ± 0.1 |
| 10. Length of rostrum, length form the anterior edge of orbit to the anterior margin of the alveolus (mm) | 10 ± 0.0 |
| 11. Length of hard palate, length from posterior margin of incisive foramina to posterior edge of palate (mm) | 5.6 ± 0.1 |
| 12. Interorbital constriction, minimum width across the frontal bones (mm) | 4.9 ± 0.4 |
| 13. Width across upper third molars ($M^3$), distance between buccal margins of alveoli of $M^3$ (mm) | 5.2 ± 0.2 |
| 14. Incisor-upper-first-molar ($M^1$) length, distance from the anterior margin of alveolus to anterior alveolus of $M^1$ (mm) | 10 ± 0.6 |
| 15. Width across upper first molars, distance between buccal margins of alveoli of $M^1$ (mm) | 5.5 ± 0.2 |
| 16. Length of incisive foramen, length between anterior and posterior margins of incisive foramen (mm) | 4.9 ± 0.2 |
| 17. Width of the interparietal bone, width across the interparietal bone between the most left and right extensions (mm) | 8.8 ± 0.2 |
| 18. Length of the interparietal bone, length across the interparietal bone between the anterior and posterior margins (mm) | 4.5 ± 0.3 |
| 19. Postpalatine length, length between posterior edge of the palatine bone and the anterior margin of foramen magnum (mm) | 10 ± 0.1 |
| 20. Height of rostrum, height of premaxilla and nasals from the postero-external margin of the alveolus to the most dorsal projection of the nasal bones (mm) | 5.4 ± 0.2 |
| 21. Bullae-brain case height, height of brain case from the most ventral projection of the tympanic bullae to the most dorsal projection of the parietal (mm) | 8.6 ± 0.3 |
| 22. Greatest length of mandible greatest length measured from the anterior edge of the crown of lower incisor to the posterior margin of the condyloid process (mm) | 7.6 ± 0.4 |
| 23. Length of mandibular tooth row, length between the anterior margin of alveolus of the first lower molar to the posterior margin of the alveolus of the third lower molar (mm) | 3.8 ± 0.1 |
| 24. Height of mandible, height measured from the most ventral surface of the mandible to the highest point of the coracoid process (mm) | 7.0 ± 0.5 |
| 25. Length of ramus, distance from anterior margin of posterior projection of the mandible to the anterior margin of the alveolus of $M^1$ (mm) | 8.4 ± 0.3 |
| 26. Length of $M^2$ and $M^3$, distance from the anterior margin of the alveolus of $M^2$ and posterior margin of the alveolus of $M^3$ (mm) | 2.5 ± 0.03 |
| 27. Length of the first upper molar, distance between anterior and posterior rims of the alveolus of $M^1$ (mm) | - |

### 2.3 외부형태 특성

외부형태 특성은 Woon[15]의 기준에 따라서 5가지로 구분하였다. 외부형태는 일상적으로 사용되는 300mm자를 이용하여 계측하였다(Table 1).

### 2.4 두개골 및 치아형태 특성

두개골 특성은 Koh[16]과 Jones와 Johnson[17]의 방법에 따라서 27개로 구분하였다[16, 17]. 두개골 특성은 캘리퍼(Tajima, Japan)를 이용하여 측정하였다. 치아특성으로 상악 제2와 3구치 치아돌기 존재를 중점 확인하였다(Table 2).

### 2.5 방사선 조사

선량-반응 관계를 확인하기 위한 방사선 조사는 방사선보건원에 보유중인 감마선 발생장치($^{137}$Cs, 185 GBq, 선량률: 0.8 Gy · min$^{-1}$)를 이용하였다. 이 연구에서는 실험군당 적어도 5마리 등줄쥐에 대하여 방사선(0, 0.5, 1, 2 Gy)을 조사하였다.

### 2.6 체중 및 장기무게 측정

야외 포획된 등줄쥐를 교배하고 생산된 새끼 가운데 성축에 도달한 개체를 방사선 조사한 24시간 후, 에테르 마취하고 몸무게 및 장기무게를 측정하였다.

### 2.7 비장세포 세포고사

적출한 비장은 주사기 뒷면으로 짓이긴 후 세포 여과기(BD Falcon, REF 352340, USA)를 통과시켜 단일 세포만을 분리하였다. 낱개로 분리된 비장세포는 Annexin V-FITC 킷 (PN IM3546, BECKMAN COULTER, France)을 이용하여 세포고사를 관찰하였다. 간단히 설명하면 다음과 같다. 냉장 인산완충액 (70011, Ivitrogen, USA)로 세척한 비장세포는 원심분리(230×g, 5분, 4℃) 후 상층액을 제거하였다. 세포 수를 $5\times10^5$~$1\times10^6$ cell/ml가 되도록 1× 결합완충액으로 희석하였다. 희석된 비장세포 100 uL에 Annexin V-FITC 용액 1 uL와 프로피디움 아이오다이드 용액 5 uL를 혼합한 후 어두운 환경에서 15분간 방치하였다. 냉장 1× 결합완충액을 400 uL 첨가한 후 유세포(BECKMAN COULTER, France) 분석하였다.

### 2.8 통계

방사선 조사된 등줄쥐 장기무게 변화와 비장세포 세포고사는 SAS 8.0 (SAS Institute, USA)을 이용하여 t-test 하였다.

## 3. 결과

### 3.1 야생 등줄쥐 출산율

야생 등줄쥐는 성장이나 신체조건이 일정하지 않기 때문에 교란변수가 많이 개입되어 있어 종을 한정할 필요가 있다. 이 연구에서 야외 포획한 등줄쥐 암컷과 수컷 한 마리씩 케이지에 넣어 사육한 결과, 태어난 새끼 수(평균 출산율: 30% 이하, 평균 출산 새끼 수: 4.5 마리)가 작아서 실험군당 제공 할 수 있는 마리 수를 제한할 수밖에 없었다.

### 3.2 외부형태 특성

야외 포획된 등줄쥐를 교배하여 출산한 새끼가 성축에 도달한 개체 가운데 등에 검정색 줄을 갖는 갈색피모와 눈에 까지 도달하지 못하는 귀 길이, 몸길이에 대한 꼬리의 상대적 비율이 0.46이하인 개체를 선별하여 방사선 조사하였다(Fig. 1, Table 1).

### 3.3 두개골 및 치아형태 특성

야외 포획된 등줄쥐를 교배하여 출산한 새끼가 성축에 도달한 개체에 대하여 방사선 조사하였다. 방사선 조사 24시간 후 부검한 사체를 10% 포르말린 용액에 보관하면서 약 한달 후 두개골을 분리하여 두개골 및 하악골 특성을 계측하였다. 두개골 및 하악골 특성이 Woon[15]이 제시한 *Apodemus agrarius* 분류기준과 유사하였다. 특히, 상악골 3번 구치 안쪽에 치아돌기가 존재한 반면, 2번 구치 바깥 치아돌기가 결여되어서(Fig. 2) Jones과 Johnson[17]이 제시한 *Apodemus agrarius coreae* 특성을 만족하고 있었다.

**Fig. 1.** External characters of field collected *Apodemus agrarius coreae*.

**Fig. 2.** Mandibula tooth of *Apodemus agrarius coreae*. Third moral with internal lobe (white arrow) and second moral lacking antero external cusp (black arrow) of *Apodemus agrarius coreae*.

**Table 3.** Relative Organ Weights to Body Weight at 24hrs after Irradiation.

| Dose(Gy) | Thymus | Heart | Liver | Spleen | Lung | Kidney |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.0013 ± 0.0002 | 0.0039 ± 0.0001 | 0.06 ± 0.003 | 0.001 ± 0.0002 | 0.0048 ± 0.0007 | 0.0043 ± 0.0002 |
| 0.5 | 0.0013 ± 0.0006 | 0.0037 ± 0.0007 | 0.06 ± 0.001 | 0.0009 ± 0.0001 | 0.0049 ± 0.0002 | 0.0042 ± 0.0004 |
| 1 | 0.0007 ± 0.0002* | 0.0039 ± 0.0001 | 0.04 ± 0.015 | 0.0009 ± 0.0003 | 0.0046 ± 0.0005 | 0.0041 ± 0.0001 |
| 2 | 0.0007 ± 0.0002* | 0.0043 ± 0.0002 | 0.06 ± 0.007 | 0.0008 ± 0.0003 | 0.0045 ± 0.001 | 0.0051 ± 0.0008 |

* $P < 0.05$ : 0, 0.5 Gy vs 1, 2 Gy

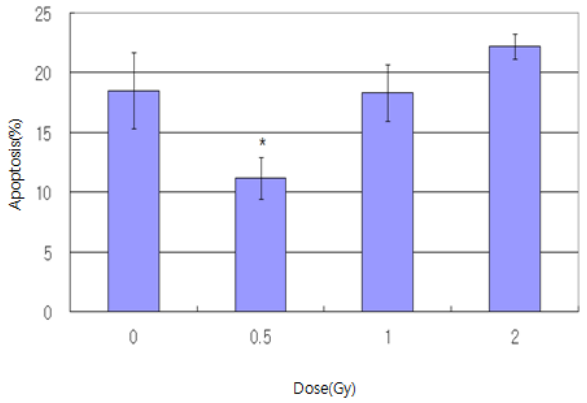


**Fig. 3.** Splenocytic apoptosis in high-dose-rate irradiated *Apodemus agrarius coreae*.
* $P < 0.05$ : 0.5 Gy vs 0, 1, 2 Gy (n=5/dose group)

### 3.4 장기 무게

방사선에 대한 신체 반응을 평가하기 위하여, 방사선 조사 24시간 후 몸무게에 대한 장기의 상대적 무게변화를 관찰하였는데(Table 3), 흉선을 제외하고 차이가 없었다. 흉선 경우, 0.5 Gy를 초과하면서 무게가 약 50% 감소하였다.

### 3.5 비장세포 세포고사

방사선에 대한 장기세포 반응도를 비장세포를 이용하여 평가하였다. 방사선 조사 24 시간 후 등줄쥐 비장세포를 분리하여 아폽토시스 출현정도를 관찰하였는데, 선량에 비례하여 증가하였다(Fig. 3). 그러나, 0.5 Gy 조사된 등줄쥐 비장세포 아폽토시스가 방사선 조사하지 않은 등줄쥐에 비교하여 낮았다 ($P < 0.05$).

## 4. 논의

이 연구에서는 후쿠시마 원전폭발과 같은 사고 발생시 방사선이나 방사성물질 영향을 평가할 수 야생 동물 모델로서 등줄쥐 활용 가능성을 조사하였다. 지금까지 야생 등줄쥐를 대상으로 방사선에 대한 신체 영향을 연구한 선례가 없었기 때문에 방사선 반응 특성만을 관찰하기 위해서 개입할 수 있는 교란변수를 제거할 필요가 있다. 방사선 반응 특성을 해석할 때 개입되는 교란변수를 제거하기 위해서 야외 채집된 등줄쥐를 실험실에서 교배하고 생산되는 새끼를 이용하였다. 교란변수 가운데 연령에 따른 반응도 중요하기 때문에 먼저 성축을 대상으로 방사선 반응도를 평가하기로 했다. 실험실 교배를 통하여 출생 후 40 주령이 경과된 개체 가운데 외형, 두개골, 치아형태를 바탕으로 *Apodemus agrarius coreae* 특성을 보유한 개체만을 대상으로 방사선 조사하였다. 저준위 방사선 영향을 평가하기 위해서는 국내 우점종이면서 가능한 많은 개체를 확보하는 것도 중요하기 때문이다. 이 연구에서는 야외 포획한 등줄쥐 가운데 등 부위에 검은색 등줄이 분명한 개체만을 선별하여 교배하였는데 출산율이 30%를 넘지 못해 실험을 위하여 5마리로 개체 수를 제한 할 수밖에 없었다. 교배를 통하여 태어난 새끼들이 40 주를 경과하면서 외부형태가 Woon[15]이 제시한 성축기준을 만족하였을 때 방사선을 조사하였다. 외부형태 특성 가운데 꼬리길이가 몸통길이보다 작고, 귀 길이가 짧아서 접었을 때 눈에 도달하지 않아 Woon[15]이 제시한 *Apodemus agrarius* 분류기준을 만족하였다. 특히 제 3 구치 안쪽 치아돌기가 관찰되어 Cobert[18]이 제시한 *Apodemus agrarius coreae* 분류기준과 일치하였다. 즉, 원자력발전소가 없고 사람이 거주하지 않은 지역에서 포획한 등줄쥐를 실험실에서 교배하여 출생한 새끼들이 성축에 도달한 상태에서 외부형태와 두개골 그리고 치아형태를 바탕으로 종을 분류함으로써 아종 사이에 발생할 수 있는 방사선 반응도 차이를 제거하였다.

이 연구에서 등줄쥐 방사선 반응도를 평가하기 위해서 먼저 방사선 조사 24시간 후 장기무게를 측정하였는데, 0.5 Gy를 초과하면서 흉선무게만이 약 50% 감소하였다. 이것은 흉선을 구성하는 T-세포가 0.5 Gy를 시작으로 방사선에 민감하게 반응[19]한 결과라고 볼 수 있다. 또 다른 면역장기인 비장에서는 무게변화가 관찰되지 않았는데, 비장을 구성하는 주된 세포인 B-세포에서 방사선 민감도[19]와 반응[20]이 표현되는 시간 차이와 관련이 있는 듯하다. 향후 더 낮은 선량영역에 대한 두 장기 구성세포의 방사선 반응도를 비교해 볼 필요가 있다.

이 연구에서 방사선 조사 후 방사선에 민감한 장기인 비장에서 세포를 분리하여 DNA 손상정도를 평가할 수 있는 지표 가운데 하나인 세포고사를 관찰한 결과, 0.5 Gy를 초과하면서 출현율이 증가하였다. 흥미롭게도, 0.5 Gy 조사된 등줄쥐에서 세포고사가 방사선 조사하지 않은 등줄쥐에 비교하여 약 30% 감소하였는데, 낮은 선량(0.5 Gy) 방사선이 세포고사 기전을 활성시켜 손상된 세포를 제거한 결과일 수 있다[21]. 비록 이 연구에서 흉선세포를 대상으로 세포고사를 관찰하지 않았지만, 향후

확대하여 방사선에 대한 두 장기의 분자 및 세포 생물학적 특성을 해석할 필요가 있다.

## 5. 결론

이 연구에서 후쿠시마 원전 폭발과 같은 사고 발생 시 방사선이나 방사성 핵종에 의한 생물학적 영향을 평가할 수 있는 동물지표로서 등줄쥐(*A. a. coreae*)의 방사선 반응특성을 관찰하였다. 이 연구를 위하여 야외에서 채집한 등줄쥐를 실험실에서 교배하고 생산된 새끼가 성숙(약 40 주령)이 되었을 때 털 색깔과 외부형태, 두개골, 치아형태를 바탕으로 우점종으로서 (*A. a. coreae*) 특징을 정리하였다. 등줄쥐 방사선 반응특성을 조사하기 위하여 방사선 조사(0, 0.5, 1, 2 Gy) 24시간 후에 장기무게를 관찰한 결과 흉선만이 감소하였다. 방사선에 민감한 비장을 구성하는 세포에 대하여 세포고사를 관찰한 결과, 선량에 비례하여 증가하였지만 0.5 Gy 조사된 개체에서 감소하였다. 향후, 흉선을 포함한 장기별 방사선 반응도를 세포 및 분자학적 측면에서 평가해 볼 필요가 있다.

## 감사의 글

이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2012M2A8A4025913).

**REFERENCES**

1. International Atomic Energy Agency. A methodology for assessing impacts of radioactivity on aquatic ecosystems. IAEA Technical Reports Series No 190. 1979.
2. International Atomic Energy Agency. Assessing the effect of deep sea disposal of low level radioactive waste on living organisms. IAEA Technical Reports Series No 288. 1988.
3. International Atomic Energy Agency. Effects of ionizing radiation on plants and animals at levels implied by current radiation protection standards. IAEA Technical Reports Series No 322. 1992.
4. International Atomic Energy Agency. Ethical considerations in protecting the environment from the effects of ionizing radiation. IAEA. 2002.
5. Shirashi K, Yamamoto M. Internal dose from ingestion for Japanese adult males. Health Phys. 1996;71(5):700-704.
6. Tagami K, Uchiyama S. Analysis of Technetium-99 in soil and deposition samples by inductively coupled plasma mass spectrometry. Appl Radiat Isotopes. 1996;47:1057-1060.
7. Yukawa M, Watanabe Y, Nishimura Y, Guo Y, Yongru Z, Lu H, Wei L, Tao Z. Determination of U and Th in soil and plants obtained from a high natural radiation area in China using ICP-MS and $\gamma$-counting. Fresenius J Anal Chem. 1999;363:760-777.
8. Kim JK, Lee YK, Kim JS, Shin HS, Hyun HS. Effects of combined irradiation of neutrons and gamma rays on the pink mutation frequencies in *Tradescantia.* J Radiat Prot. 2000;25(2):67-73.
9. Kim R, Han DU, Lim JT, Jo SK, Kim TH. Induction of micronuclei in human, goat, rabbit peripheral blood lymphocytes and mouse splenic lymphocytes irradiated in vitro with gamma radiation. Mutat Res. 1997;393(3):207-214.
10. Roderick T. The response of twenty-seven inbred strains of mice to dairy doses of whole-body X-irradiation. Radiation Res. 1963;20:631-639.
11. Yonezawa M, Misonoh J, Hosokawa Y. Two types of X-ray-induced radioresistance in mice: Presence of 4 dose ranges with distinct biological effects. Mutat Res. 1996;358:237-243.
12. Wickliffe JK, Chesser RK, Rodgers BE, Baker RJ. Assessing the genotoxicity of chronic environmental irradiation by using mitochondria DNA heteroplasmy in the bank vole (Clethrionomys glareolus) at Chornobyl. Ukraine Environ Toxicol Chem. 2005;21(6):1249-1254.
13. Abramsson-Zetterberg LJG, Zetterberg G. Spontaneous and radiation-induced micronuclei in erythrocytes from four species of wild rodents: a comparison with CBA mice. Mutat Res. 1997;393(1-2):55-71.
14. Tsiperson VP, Soloviev MY. The impact of chronic radioactive stress on the immuno- physiological condition of small mammals. Sci Total Environ. 1997;203(2):105-113.
15. Woon BO. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 7. Mammals. 1967:214-222.
16. Koh HS. A study on age variation and secondary sexual dimorphism in morphometric characters of korean rodents: I. An analysis on striped field mice, *Apodemus agrarius coreae* Thomas, from Cheongju. Korean J Zool. 1983;26(2):125-134.
17. Jones JK, Johnson DH. Synopsis of the lagomorphs and rodents of Korea. University of Kansas Publications, Museum of Natural History. 1965;16(2):357-407.
18. Cobet GB. The mammals of the palaearctic region: a taxonomic review. British Museum (Natural History), Cornell University Press. 1978:130-137.
19. Choi JM, Kim HS, Yang KH, Kim CS, Lim YK, Kim CS, Woon JH. Acridine orange stained micro-

nucleus assay in human B and T-lymphocytes after low dose γ-irradiation. J Radiat Prot. 2004; 29(1):9-15.
20. Vral A, Louagie H, Thierens H, Philippe M, Ridder L. Micronucleus frequences in cytokinesis-blocked human B lymphocytes after low dose gamma-irradiation. Int J Radiat Biol. 1998;73: 549-555.
21. Bong JJ, Kang YM, Shin SC, Choi SJ, Lee KM, Kim HS. Differential expression on thymic DNA repair genes in low-dose-rate irradiated AKR/J mice. J Vet Sci. 2013;14(3):271-279.

# Organ Weights and Splenocytic Apoptosis in γ-irradiated Korean Dark-Striped Field Mice, *Apodemus Agrarius Coreae*

Hyunjin Joo [*], Hoon Choi [*], Kwang-hee Yang [*], Dong-kwon Keum [†], Hee sun Kim [*]
[*] Radiation Health Research Institute, Korea Hydro & Nuclear Power Co. Ltd, Republic of Korea
[†] Nuclear Environment Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Republic of Korea

**Abstract** - The present investigation was planned to estimate potential possibility of striped field mice, *Apodemus agrarius coreae* (*A. a. coreae*), as a biological dosimeter in radio-environmental ecology. We bred captured wild *A. a. coreae* at laboratory and classified taxonomically based on external, cranial and tooth characters. Organ weights and splenocytic apoptosis were observed in order to establish a basic data on radiation biology of *A. a. coreae* (male, 40 weeks old). The biological effects was observed at 24hrs following irradiation (doses : 0, 0.5, 1, 2 Gy, dose rate : 0.8 $Gymin^{-1}$, $^{137}Cs$). Only thymus weights was significantly decreased. Splenocytic apoptosis was increased after irradiation. But splenocytic apoptosis was decreased in 0.5 Gy γ-irradiated mice compared to those of 0, 1, 2 Gy ($P < 0.05$). These data suggested that events in thymus and spleen of Korean dark-striped field mice, *A. a. coreae* THOMAS, could be a potential radio-biological indicator in human environments.

**Keywords** : Radio-environmental indicator, Apodemus, Radiation, Organ weights, Spleenocytes, Apoptosis