

영산강 수계에서 채집된 황소개구리의 기형 양상 및 체내 중금속 축적¹

이두표² · 고선근²

The Incidence of Abnormalities in Bullfrogs, *Rana catesbeiana*, and Their Heavy Metal Accumulations in the Yeongsan River System¹

Doo-Pyo Lee², Seon-Kun Ko²

요 약

영산강 수계의 습지생태계 모니터링의 일환으로 4개 지역을 선정하여 황소개구리 205개체를 채집하여 이들의 외부기형 출현율 및 양상을 조사하고 그들의 체내 조직에 축적된 중금속 농도를 분석하였다. 황소개구리의 기형 출현율은 6.8%로 다른 척추동물에서의 자연 발생률 3%보다 높았으며, 기형은 모두 앞 또는 뒷발가락에서 나타났다. 유형별로 보면 절손(Ectrodactyly)이 64.3%로 가장 많았고 다음으로 확장(Dilation)이 28.6%, 절단(Truncation) 7.1%의 순이었다. 정상과 기형 개체간에 중금속의 농도를 조직별로 비교해 본 결과 기형개체의 신장에서 Mn은 4배, Zn은 1.5배, Cu는 7배, Pb는 8배, Cd는 7배 정도 높았다. 또한 기형 개체에서는 이들 원소의 조직분포 패턴도 변화한 것으로 나타났다. 이러한 결과들로부터 황소개구리는 습지생태계의 모니터링 시료로서 유용하게 이용될 수 있음을 알 수 있었다.

주요어 : 황소개구리, 기형, 중금속, 모니터링

ABSTRACT

One of the environmental monitoring programs on the Yeongsan river system, 205 bullfrogs were collected at four sites to investigate the incidence of abnormalities and heavy metal levels in their tissues. The overall incidence of abnormality was up to 6.8% exceeding 3%, the natural incidence rate of abnormalities in any population. All specimens of abnormalities exhibited skeletal abnormalities of the limbs. Among them, ectrodactyly (64.3%) was predominant, followed by dilation (28.6%) and then truncation (7.1%). In comparison of normal frogs with abnormal ones for the heavy metal levels of four tissues, kidney levels showed significant difference: Mn, Zn, Cu, Pb and Cd levels in abnormal frogs were 4, 1.5, 7, 8 and 7 times higher than those in normal frogs, respectively. Furthermore, tissue distribution patterns of these elements were changed in abnormal frogs. From these results, we found out that bullfrogs could be used as biological indicators in wetland ecosystem monitoring.

KEY WORDS : BULLFROG, ABNORMALITY, HEAVY METAL, MONITORING

1 접수 5월 24일 Received on May 24, 2001

2 호남대학교 생명과학과 Dept. of Biological Science, Honam Univ., Gwangju, 506-714, Korea

서 론

척추동물 중에서 양서류는 환경오염물질에 비교적 영향을 받기 쉬운 동물에 속한다(Read and Tyler, 1994). 유양막류와는 달리 양서류는 반투성막에 의해 보호되지 않아 쉽게 오염물질에 노출될 수 있으며 유생인 올챙이는 다양한 오염물질이 유입되는 습지에서 발생하기 때문에 더욱 그러하다. 그래서 양서류는 방사능 누출의 지표종으로(Nishimura, 1967; Emery and McShane, 1980; Tyler, 1989; Read and Tyler, 1994), 또는 중금속오염의 지표종으로(Browne and Dumont, 1979; Nebeker *et al.*, 1995; Henle, 1981), 또는 농약오염의 지표종으로(Harri *et al.*, 1979; Anguiano, 1994) 유용한 것으로 알려져 있으며 특히, 서식분포가 넓고 채집이 용이하며 형태적 기형의 판별 또한 용이하여 환경오염물질의 모니터링 시료로 많이 이용되고 있다.

황소개구리는 원산지가 미국으로 우리 나라에는 1959년 일본에서 식물을 목적으로 도입하여 사육되기 시작하였으나 큰 효과를 보지 못하자 사육을 포기하게 되면서 야생화된 것으로 알려져 있다(김현규, 1972). 황소개구리는 우리 나라에 서식하고 있는 개구리류 중에서 가장 대형 종으로 주로 물웅덩이, 저수지, 호수 등 고여 있는 물과 하천의 경우는 물의 흐름이 비교적 완만한 중하류역을 중심으로 서식하고 있다. 최근 대부분의 양서류는 서식지의 파괴, 오염물질의 증가 등으로 인해 전세계적으로 개체수가 급격히 감소추세에 있다(McCarthy and Shugart, 1990). 반면, 우리 나라에 도입된 황소개구리는 천적이 거의 없고, 식성도 곤충, 어류, 양서류, 파충류, 조류, 포유류 등 습지에 서식하고 있는 다양한 야생동물을 포식하는 잡식성으로 개체수가 급격히 증가하고 있으며 그 서식지도 전국으로 확산되고 있어 습지 생태계에 큰 위협이 되고 있다(김혜숙과 고선근, 1998). 황소개구리는 이러한 식성 및 서식특성으로 인해 체내에 각종 오염물질을 축적하고 있을 것으로 예상되며 또한 그들에 의한 악영향이 발현될 것으로 예상된다. 그러나 국내에서 이에 대한 연구는 전혀 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 전라남도 일대의 습지생태계 모니터링의 일환으로 우선, 황소개구리에 대하여 자연상태에서의 기형 출현율과 기형 양상을 조사하고 기형발생의 원인 중 하나로 예상되는 방사능과 중금속에 대하여 알아보기 위해, 영광 원자력발전소로부터의 거리와 기형 출현율과의 관계를 조사하고 정상

개체와 기형 개체의 체내 중금속 축적레벨을 비교하였다.

재료 및 방법

황소개구리는 1997년 5월부터 7월 사이에 투망 또는 낚시도구를 이용하여 전라남도 일대의 습지에서 총 205개체의 성체(200g 이상)를 채집하였다. 채집 장소는 영광 원자력발전소로부터의 거리를 고려하여 반경 10km 이내의 영광군 일대와, 반경 30km 이상 떨어진 광주광역시 일대, 나주시 일대 및 함평군 일대의 4개 지역으로 구분하였다.

채집된 황소개구리는 면밀한 외부형태 조사를 통하여 기형 양상을 Read and Tyler(1994)의 방법에 의거하여 판정하였으며 지역별로 기형 출현율을 산출하였다.

중금속 분석을 위하여 채집된 황소개구리 중에서 무작위로 정상 개구리 13개체, 기형 개구리 5개체를 선정한 후, 이들을 해부하여 간, 신장, 근육 및 뼈(대퇴골) 등 4개 부분의 조직을 적출하였다. 각 조직은 잘게 잘라 균질화시킨 다음 3~5g을 켈달 플라스크에 넣고 질산, 황산, 과염소산에 의해 가열 분해한 후 분해액을 100ml로 희석하였다. 희석된 용액은 원자흡광광도법에 의해 Fe, Mn, Zn, Cu를 정량하였으며, Pb와 Cd은 분해액을 DDTC-MIBK에 의해 추출한 후 AA-6401(Shimadzu 제작)을 이용하여 원자흡광광도법에 의하여 농도를 측정하였다(Lee, 1989). 중금속 농도의 평균치 비교는 t-test를 이용하였다.

결 과

황소개구리의 기형 출현율을 조사한 결과 기형 개체는 총 205개체 중 14개체로 6.8%를 나타내었다(Table 1). 기형 출현율을 지역별로 보면 영광 원자력발전소를 중심으로 반경 10km 이내의 영광군 일대에서는 6.9%였고 반경 30km 밖의 광주광역시, 나주시 및 함평군 일대에서는 각기 6.1%, 5.7% 및 9.7%로 나타나 영광 원자력발전소의 영향은 없는 것으로 나타났다.

기형의 유형을 조사해 본 결과(Table 1), 기형발생 부위는 모두 발가락으로 나타났으며 기형의 유형은 3가지로 앞 또는 뒷발가락의 부분 또는 전부 결손(ectrodactyly)이 9개체(64.3%)로 가장 많았고 다

음은 확장(dilation)이 4개체(28.6%), 절단(truncation)이 1개체(7.1%)의 순이었다.

황소개구리의 중금속 분석 결과를 정상 개체와 기형 개체로 구분하여 Table 2에 나타내었다. 정상 개체의 체내 조직 중 원소농도의 분포패턴을 보면 Fe와 Cu는 간에서, Mn, Zn 및 Pb는 뼈에서, Cd는 신장에서 가장 높았으며, 이들 원소는 모두 근육에서 가장 낮은 경향을 보였다. 그러나 기형의 경우 정상 개체와는 달리 Mn은 신장에서도 뼈에서 많음 높았고, Cu와 Zn은 신장에서 간보다 높았으며 Pb는 신장에서 뼈보다 높은 경향을 보였다.

각 조직별로 Fe, Mn, Zn, Cu, Pb 및 Cd 등 6개 원소에 대하여 정상 개체와 기형 개체의 농도를 비교해 본 결과(Table 2), 간에서는 6개 원소 모두 양자간에 유의한 차이가 없었으나(p>0.05) 신장에서는 Fe를 제외한 5개 원소가, 근육에서는 Mn이 기형 개체에서 유의적으로 높았으며 뼈에서는 Fe가 기형 개체에서 유의적으로 낮았다(p<0.05). 특히, 신장에서는 Mn의 경우 평균농도가 정상 6.28µg/g에 비해 기형 24.7µg/g으로 약 4배, Zn의 경우 정상 16.7µg/g에 비해 기형 25.4µg/g으로 약 1.5배, Cu의 경우 정상 2.23µg/g에 비해 기형 15.9µg/g으로 약 7배, Pb의 경우 정상 3.13µg/g에 비해 기형 24.8µg/g으로 약 8배, Cd의 경우 정상 0.09µg/g에 비해 기형

0.61µg/g으로 약 7배 정도 높은 것으로 나타났다. 또한 근육에서는 Mn의 경우 정상 1.30µg/g에 비해 기형 2.66µg/g으로 약 2배 정도 높았고 뼈에서는 Fe의 경우 정상 20.5µg/g에 비해 기형 10.5µg/g으로 약 1/2 정도 낮았다.

고 찰

대부분의 척추동물에서는 자연적 혹은 우발적으로 기형이 나타날 수 있으며 또한 종의 진화과정에서 자연도태에 의해 유전적으로도 발생될 수 있다. 그러나 이러한 기형의 출현 빈도는 여러 가지 환경요인에 의해 증가될 수 있다(Read and Tyler, 1994). 따라서 기형출현의 정도는 서식환경의 질을 평가하는 방법의 한 가지로 이용될 수 있으며 이를 위해서는 우선 인간의 간섭이 적은 곳이나 오염되지 않은 지역에 대한 기초자료가 필요하게 된다.

본 조사지역인 전라남도 영광군, 광주광역시 광산군, 나주시 및 함평군 일대는 모두 농촌형 소도시를 중심으로 하는 농경지대로 주변에 대규모 공업단지나 광산 등 중금속이나 기타 유해 화학물질을 대량으로 배출하는 곳은 거의 없는 지역이다. 다만, 영광군의 경우, 원자력발전소 4기가 현재 가동 중에 있어 방사

Table 1. Details of abnormalities detected

Site	Number of Sample	Number of Abnormality	Incidence(%)	Abnormality
Yonggwang	72	5	6.9	A. Gross truncation in bones of right and left hand B. Partial ectrodactyly T III left foot C. Partial ectrodactyly T II right foot D. Dilation F I left hand
Gwangju	49	3	6.1	A. Partial ectrodactyly T I left foot B. Dilation F II, III left hand C. Gross ectrodactyly of left hand
Naju	53	3	5.7	A. Partial ectrodactyly T III left foot B. Gross ectrodactyly of left foot C. Partial ectrodactyly F II left hand
Hampyong	31	3	9.7	A. Partial dilation left foot B. Partial ectrodactyly T IV right foot C. Ectrodactyly F I right hand, cyndactyly right hand
Total	205	14	6.8	

* T: tarsal bone, F: finger

Table 2. Heavy metal concentrations(Mean \pm S.D, range, $\mu\text{g/wet. g}$) in tissues of normal(n=13) and abnormal bullfrogs(n=5)

Element	Liver	Kidney	Muscle	Bone
Fe	Normal (82.9-553)	94.2 \pm 23.7 (76.9-121)	12.0 \pm 8.08 (4.62-29.8)	20.5 \pm 7.26 a (10.9-33.8)
	Abnormal (87.3-444)	191 \pm 153 (57.9-107)	79.5 \pm 18.7 (3.72-12.03)	10.5 \pm 5.48 b (5.83-18.4)
Mn	Normal (2.11-7.85)	6.28 \pm 2.08 a (4.43-8.53)	1.30 \pm 0.80 a (0.10-2.50)	18.5 \pm 5.78 (9.39-29.3)
	Abnormal (3.53-6.34)	4.59 \pm 1.20 (12.2-24.1)	2.66 \pm 0.58 b (2.07-3.60)	21.6 \pm 4.07 (17.0-26.7)
Zn	Normal (16.1-37.1)	27.1 \pm 7.17 (13.0-20.4)	16.7 \pm 3.69 a (5.68-10.0)	51.4 \pm 8.14 (36.9-71.3)
	Abnormal (16.6-24.9)	20.7 \pm 4.17 (17.5-38.0)	25.4 \pm 8.48 b (3.78-15.0)	44.3 \pm 11.2 (30.1-56.5)
Cu	Normal (2.79-23.4)	8.48 \pm 6.08 (1.91-2.50)	2.23 \pm 0.30 a (0.36-2.64)	1.91 \pm 1.58 (0.49-5.19)
	Abnormal (5.28-17.6)	10.3 \pm 5.34 (5.26-26.8)	15.9 \pm 9.86 b (0.26-3.30)	1.45 \pm 1.15 (0.58-2.90)
Pb	Normal (0.50-4.50)	2.20 \pm 1.20 (1.02-5.70)	3.13 \pm 2.37 a (1.60-3.40)	2.33 \pm 0.66 (1.24-7.93)
	Abnormal (ND-4.76)	3.45 \pm 1.52 (9.3-42.0)	24.8 \pm 15.4 b (0.60-4.60)	2.10 \pm 1.61 (ND-5.50)
Cd	Normal (ND-0.31)	0.08 \pm 0.07 (0.01-0.17)	0.15 \pm 0.08 a (ND-0.10)	0.11 \pm 0.06 (ND-0.21)
	Abnormal (0.04-0.20)	0.10 \pm 0.07 (0.20-1.17)	0.61 \pm 0.43 b (0.02-0.17)	0.15 \pm 0.09 (0.05-0.25)

* a, b = Means not followed by the same letter are significantly different(p<0.05)

능에 의한 영향이 우려될 뿐이다.

이들 지역에서 채집된 황소개구리의 기형 비율을 조사한 결과, 원자력발전소로부터 반경 10km 이내의 지역에서는 6.9%, 반경 30km 밖에서는 평균 6.8%(5.7~9.7%)를 나타내어 양 지역간에 큰 차이가 없어 원자력발전소의 가동이 인근에 서식 중인 황소개구리의 기형발생에 영향을 미치지 않은 것으로 보인다. 그러나, 이 지역 일대에 서식하는 황소개구리에 대한 방사능 측정 자료가 없어 앞으로 이에 대한 구체적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

Tyler(1989)는 척추동물의 경우 어떠한 집단에서든 자연적으로 또는 우발적으로 나타나는 사지 배의 기형 출현율은 3% 이내이며, 오스트레일리아의 경우 인간에 의한 간섭이 적은 6개 지역에서 채집된 7종의 개구리에서 기형 출현율은 0~3.09%이었고

그중 물리적인 외상에 의한 것은 0.19~0.99%이었다고 보고하고 있다. 또한 Read and Tyler(1994)는 남부 오스트레일리아의 10개 지역에서 Trilling Frog(*Neobatrachus centralis*)의 기형 발생률을 조사한 결과 0~3.1%로 자연 발생률에 해당하였으며 기형의 유형 중 앞 또는 뒷발가락의 결손증(ectrodactyly)이 가장 많았다(56%)고 보고한 바 있다.

본 연구 결과 황소개구리에서의 기형 출현율은 평균 6.8%로 자연 발생률 3%보다 2배 정도 높은 것으로 나타났다. 본 연구의 기형 개체에서는 외상에 의한 것으로 추정되는 단서는 발견되지 않았다. 황소개구리의 이러한 높은 기형 발생률은 황소개구리가 기존 토착 개구리류와는 달리 하천의 중하류, 저수지 등 오염물질이 비교적 많이 유입되는 곳을 주 서식지로 하고 있다는 사실과 잡식성으로 영양단계가 높다

는 점, 도입 이후 새로운 생태계에 적응하는 과정에서 다양한 환경적 스트레스를 받고 있을 것이라는 점, 등을 고려해 볼 수 있겠다(강언종과 윤창호, 1994; 김혜숙과 고선근, 1998). 본 연구의 중금속 분석 결과는 이와 같은 설명을 뒷받침해 준다고 하겠다.

황소개구리의 조직 중 중금속 농도에 관해서는 국내의적으로 연구가 미비하여 농도 비교가 어려우나 서울 근교에서 채집된 무당개구리, 참개구리, 북방산개구리 등에서(Whole body) Cd가 0.01~0.03 $\mu\text{g/g}$, Pb가 0.03~0.08 $\mu\text{g/g}$ 검출된 바 있어(이두표, 1993), 이와 비교하면 본 연구의 황소개구리에서의 농도는 매우 높게 나타났다. 이러한 차이는 종간에 영양단계의 차이, 주 서식지의 차이 등에 의한 것으로 해석해 볼 수 있다. 그러나, Niethammer *et al.*(1985)이 미국의 미조리주에서 채집된 황소개구리(Whole body)에 대하여 보고한 Pb 0.97~109 $\mu\text{g/g}$, Cd < 0.1~0.28 $\mu\text{g/g}$ 과 비교하면 국내에 서식 중인 황소개구리의 체내 중금속 축적량은 비교적 낮은 편에 속한다.

한편, 본 연구 결과 정상 개체의 중금속 조직분포 패턴은 조류, 육상포유류 등 다른 척추동물과 비슷한 양상을 보이고 있는 것으로 나타났으나(Nicholson, 1981; Honda *et al.*, 1982; Honda *et al.*, 1985; Yamamoto *et al.*, 1987; Lee *et al.*, 1987), 기형 개체에서는 일부 원소, 즉 Mn, Zn, Cu 및 Pb의 조직분포 패턴이 달라지는 것으로 나타나 중금속의 조직분포 패턴이 환경 모니터링에 유용하게 이용될 수 있음을 확인해 준다.

황소개구리의 정상 개체와 기형 개체의 원소농도 수준을 비교해 본 결과, 기형개체가 오염원소인 Pb와 Cd 농도가 신장에서 7~8배 높았고, 필수원소인 Mn, Zn 및 Cu 농도도 1.5~7배 정도 높은 것으로 나타나 신장의 기능이 기형의 발생과 어떤 연관이 있음을 암시하고 있다. 그러나 이러한 중금속의 축적이 개구리의 사지기형 발생과 어떤 관련이 있는지는 아직까지 밝혀진 바 없다. 따라서 중금속 투여실험을 통한 중금속과 기형발생에 관한 연구가 시급하게 요청된다.

이상의 결과를 종합해 보면 본 연구에서 나타난 황소개구리의 기형 발생률과 체내 중금속 농도는 우리나라에서 비교적 인위적 간섭 및 오염이 적은 습지생태계를 대표하는 기초자료로 판단되며, 앞으로 환경 모니터링과 관련하여 양서류의 종간 비교, 지역간 비교, 환경의 질 평가 등에 유용한 자료로 이용될 수 있을 것이다.

인용문헌

- 강언종, 윤창호(1994) 도입종 황소개구리의 국내 정착과 분포. 한국자연보존협회 연구보고서 13: 231-250.
- 김혜숙, 고선근(1998) 도입종 황소개구리(*Rana catesbeiana*)의 분포, 식성과 생식세포 형성 주기에 관한 연구. 산림과학논문집 57: 165-177.
- 김현규(1972) 황소개구리 양식에 관한 연구. 한국생물과학연구원 논총 10: 173-200.
- 이두표(1993) 서울 근교에 서식하는 어류 및 양서류의 체내 중금속 축적. 한국자연보존협회 연구보고서 12: 151-156.
- Anguiano, O. L., C. M. Montagna, M. Chifflet de Llamas, L. Gauna and A. M. Pechende D'Angelo(1994) Comparative toxicity of parathion in early embryos and larvae of the toad, *Bufo arenarum* Hensel. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 52: 649-655.
- Browne, C. L. and J. N. Dumont(1979) Toxicity of selenium to developing *Xenopus laevis* embryos. J. Toxicol. Environ. Health. 5: 699-709.
- Emergy, R. M. and M. C. McShane(1980) Nuclear waste ponds and streams on the Hanford site: an ecological search for radiation effects. Health Phys. 38: 787-809.
- Harri, M. N. E., J. Laitinen and E. L. Valkama(1979) Toxicity and retention of DDT in adult frogs(*Rana temporaria* L). Environ. Pollut. 20: 45-53.
- Henle, K.(1981) A unique case of malformations in a natural population of the green toad(*Bufo viridis*) and its meaning for environmental politics. Brit. Herpet. Soc. Bull. 4: 48-49.
- Honda, K., B. Y. Min and R. Tatsukawa(1985) Heavy metal distribution in organs and tissues of the eastern great white egret, *Egretta alba modesta*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 35: 781-789.
- Honda, K., R. Tatsukawa and T. Fujiyama(1982) Distribution characteristics of the heavy metals in the organs and tissues of striped dolphin, *Stenella coeruleoalba*. Agri. Biol. Chem. 46: 3011-3021.
- Lee, D. P., K. Honda and R. Tatsukawa(1987) Comparison of tissue distribution of heavy metals in birds in Japan and Korea. J. Yamashina Inst. Ornith. 19: 103-116.
- Lee, D. P.(1989) Heavy metal accumulation in birds -

- use of feathers as monitoring without killing. Ph. D. Thesis. Ehime Univ., Matsuyama, Japan. 122pp.
- McCarthy, J. F. and L. R. Shugart(1990) Biomarkers environmental contamination. Lewis Publishers FL.
- Nebeker, A. V., G. S. Schuytema and S. L. Ott(1995) Effects of cadmium on growth and bioaccumulation in the northwestern salamander *Ambystoma gracile*. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 29: 492-499.
- Nicholson, J. K.(1981) The comparative distribution of zinc, cadmium and mercury in selected tissues of the herring gull(*Larus argentatus*). Comp. Biocam. Physiol. 68C: 91-94.
- Niethammer, K. R., R. D. Atkinson, T. S. Baskett and F. B. Samson(1985) Metals in riparian wildlife of the lead mining district of Southeastern Missouri. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 14: 213-223.
- Nishimura, K.(1967) Abnormal formation of visual organs of amphibian larvae induced by radioactive rainwater. Mie Med. J, 16: 263-267.
- Read, J. L. and M. J. Tyler(1994) Natural levels of Abnormalities in the Trilling frog(*Neobatrachus centralis*) at the Olympic dam mine. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 53: 25-31.
- Tyler, M.(1989) Australian frogs. Viking O'Neil. Press. Victoria. Australia.
- Yamamoto, Y., K. Honda and R. Tatsukawa(1987) Tissue distribution of heavy metals in weddell seals(*Leptonychotes weddellii*). Marine Poll. Bull. 18: 164-169.