

맹꽁이(*Kaloula borealis*)의 나이구조 분석¹

고상범² · 이정현³ · 오홍식^{2*}

Age Structure Analysis of *Kaloula borealis*¹

Sang-Beom Ko², Jung-Hyun Lee³, Hong-Shik Oh^{2*}

요 약

우리는 제주도 대정읍에서 뼈나이테법(skeletochronology)을 사용하여 맹꽁이(*Kaloula borealis*)의 나이구조를 알아 보았다. 조사는 번식기인 2009년 6월에 실시하였다. 측정된 개체수는 수컷이 38개체, 암컷이 58개체로 각 개체의 SVL(snout-vent length)과 체중을 측정하고 나이구조를 분석하였다. 수컷의 평균 SVL은 43.69±3.44 mm이며, 암컷은 46.32±4.23 mm로 나타나고 있다. 첫 번식에 참여하는 수컷은 2살이고, 암컷은 3살로 나타났다. 가장 나이든 수컷은 8살이며 암컷은 10살이다. 그러므로 이 종의 수명은 수컷에서는 8살, 암컷에서는 10살 이상으로 볼 수 있으며 암수의 수명에서 암컷이 더 오래살고 있다. 또한 이 값은 통계적으로도 유의미하게 나타나고 있다. 성장곡선은 von Bertalanffy growth model을 사용하였으며, 성장계수(K)는 수컷이 0.56이며 암컷은 0.41이다. 최대성장크기는 수컷이 46.41 mm이며 암컷은 50.22 mm로 나타났다.

주요어: 뼈나이테법, 멸종위기종, 성장곡선

ABSTRACT

Using skeletochronology in the Daejung-eup, Jeju, we determined the age structure of *Kaloula borealis*. The study was performed during the breed season in June 2009. We measured the snout-vent length(SVL) and body weight(BW) and analyzed the age structure of 38 male and 58 female frogs. The mean value of SVL is 43.69±3.44 mm in males and 46.32±4.23mm in females. The age at first reproduction was estimated to be 2 years of age in males and 3 years in females. The oldest males and females were 8 and 10 years of age, respectively. Therefore, the longevity in this species was estimated to be more than 8 years for males and 10 years for females. So, females live longer than males. Also, this difference between the male and the female in age structure was significant. We estimated the growth curve for *Kaloula borealis* using von Bertalanffy growth model. The growth coefficient (K) was 0.56 in male and 0.41 in female. The asymptotic size was 46.41 mm in male and 50.22 mm in female.

KEY WORDS: SKELETOCHRONOLOGY, ENDANGERED SPECIES, GROWTH CURVE

1 접수 2011년 10월 9일, 수정(1차: 2011년 11월 23일), 게재확정 2011년 11월 24일

Received 9 October 2011; Revised(1st: 23 November 2011); Accepted 24 November 2011

2 제주대학교 과학교육학과 Dept. of Science Education, Jeju Univ., Jeju(690-756), Korea

3 국립환경과학원 National Institute of Environmental Research., Incheon(404-708), Korea

* 교신저자 Corresponding author(sciedu@jejunu.ac.kr)

서론

양서류 개체의 연령 확인은 성장, 수명, 성적성숙을 포함하여 개체군 전체의 연령구조와 변화를 예측할 수 있다. 양서류의 연령을 확인할 수 있는 방법으로 뼈나이테법(skeletochronology)이 널리 이용되고 있다. 뼈나이테법은 양서류의 장골(femur) 혹은 지골(phalanx)의 단면에 형성된 성장층에서 LAG(line of arrested growth) 수를 세어 개체의 나이를 알아내는 방법이다(Halliday and Verrell, 1988). LAG는 양서류의 거의 모든 뼈에서 확인되고 있으며, 최근에는 개체에 큰 상처를 내거나 죽이지 않기 위하여 지골을 이용하여 분석하고 있다. 지골을 이용한 뼈나이테법은 자연상태의 양서류 개체군의 연령구조를 조사하는데 매우 편리하고 안정적인 방법이다(Francillon-Vieillot *et al.*, 1990).

우리나라에서, 뼈나이테법을 이용한 양서류의 연구를 살펴보면 유미류에서는 도롱뇽(Lee and Park, 2008)과 고리도롱뇽(Lee, 2006), 꼬리치레도롱뇽(Lee *et al.*, 2008), 제주도롱뇽(Lee *et al.*, 2010)에서 이루어졌고 무미류에서는 움개구리(Lee *et al.*, 2009), 금개구리(Cheong *et al.*, 2007), 참개구리(Yu, 2007)에서 연구가 수행되었으나, 아직까지 맹꽁이에 대해서는 연구가 이루어지지 않았다.

맹꽁이(*Kaloula borealis*)는 Barbour(1908)에 의해 처음으로 *Cacopoides borealis*로 기재 되었으며, Noble(1925)에 의해 *Kaloula borealis*로 속명이 변경되었다. 맹꽁이는 중국 동부, 만주지역에 분포하며 서울, 경기도, 충청도 등 중서부 지역과 추자도, 제주도에서 서식하는 것으로 보고되어 왔으나(Kim, 1971; Yang and Yu, 1978), 그 후에는 전라남도 광주, 영암, 해남지역과 경상도의 안동, 경주, 창원지역 및 전국적으로 서식한다고 보고되었다.(Yang *et al.*, 2001; Sung *et al.*, 2006; National Institute of Biological Resources, 2011). 맹꽁이는 각종 개발과 농약의 사용으로 현재 전국의 개체군의 크기 및 서식지가 크게 감소하고 있으며(Yang *et al.*, 2001; National Institute of Biological Resources, 2011), 현재 환경부 멸종위기야생동물 II 급종으로 지정되어 엄격한 보호가 이루어지고 있다.

본 연구는 멸종위기종인 맹꽁이의 효과적인 보전방안과 나아가 적극적인 복원에 필요한 기초자료를 확보하기 위하여 제주도에 서식하고 있는 개체군을 대상으로 뼈나이테법을 이용하여 맹꽁이의 수명, 성적성숙, 나아가 개체군의 연령구조를 확인하기 위하여 수행되었다.

연구 방법 및 재료

1. 조사지 현황

본 연구는 제주특별자치도 제주시 대정읍에 위치한 하모리에 위치한 습지에서 조사하였다. 조사지는 해발고도 4m이고 주변이 경작지로 둘러 싸여 있으며 북쪽으로는 아스팔트 도로가 위치하고 있다. 습지의 넓이는 15m×5m이며, 수심은 10~20cm인 웅덩이로 산란기에 많은 맹꽁이가 산란하고 있다.

맹꽁이의 연령구조를 조사하기 위하여 2009년 6월에 대정읍 하모리 습지에서 수컷 38마리, 암컷 58마리를 포함하여 총 96마리의 맹꽁이를 포획하였다. 맹꽁이의 포획은 주로 21~23시 사이의 비가 많이 오는 야간에 산란지로 이동하는 개체를 무작위로 포획하였다.

2. 뼈나이테법

채집한 개체는 곧바로 실험실로 옮겨와 1%의 MS-222로 마취하여, 주둥이부터 총 배설강까지의 길이(SVL; snout-vent length)와 몸무게(BW; body weight)를 각각 버니어캘리퍼스 및 전자저울(CAD, MW II 300)을 이용하여 0.01mm, 0.1g 단위로 측정하였다. 개체측정을 마친 개체는 외과용 가위를 이용하여 지골을 약 0.3~0.5mm 정도 절단하여 10% 포르말린 수용액에 고정하였다.

절단된 뼈는 준비한 후에 Guarino등(1995)의 전형적인 조직학 실험법에 따라 뼈나이테의 수를 측정하였다. 절단한 지골은 흐르는 물에 24시간 동안 세척하여 조직의 포르말린을 제거하고, 5%질산에 2시간 동안 담가 석회질을 제거, 다시 흐르는 물에 24시간 세척하였다. 전처리된 끝난 지골은 마이크로톰(Leica, RM2045)을 이용하여 10~14 μ m로 잘라 슬라이드글라스에 부착한 다음 hematoxylin (Mayer's acid hemalum)으로 30분간 염색하였다. 각 개체의 연령은 광학현미경(Leica, DM500)×400 배율에서 LAGs의 수를 세어 측정하였다.

3. 성장곡선 및 통계분석

맹꽁이의 개체군의 성장곡선은 von Bertalanffy의 방정식을 이용하여 산출하였다. von Bertalanffy의 방정식은 다음과 같다.

$$S_t = S_m - (S_m - S_0)e^{-k(t-t_0)}$$

방정식에서 S_t (average body length at age t) 값은 t 년생 일 때의 개체크기 평균값, S_m (asymptotic body length) 값은 최대성장값, S_0 (body length at metamorphosis)는 변태 후 개체크기 값, t (age) 값은 판별된 개체의 연령, t_0 (age at metamorphosis) 값은 변태시 연령을 의미하며, k (growth coefficient) 값은 성장계수를 의미한다. 맹꽁이의 경우, 사전 실험에서 산란 후, 변태까지 걸린 시간은 평균 30일이었으

며, 변태 직후 개체의 SVL은 13.4mm(n=6)이었다.

맹꽂이 수컷과 암컷 사이의 SVL, BW, 연령의 차이는 t-test를 이용하여 비교하였으며, 각 연령대별 수컷과 암컷의 출현빈도의 차이는 Chi-square test를 이용하여 분석하였다.

모든 기술통계 자료는 평균±표준편차(mean±SD)로 제시하였으며, 통계분석은 SPSS(statistical package for the social sciences, ver. 12.0) 프로그램을 이용하였다.

결 과

맹꽂이의 지골은 hematoxylin에 의하여 모두 보라색으로 염색되었는데 활동기 빠른 성장을 보인 부분은 연하게 나타났으며, 동면기 느린 성장을 보인 부분의 LAGs는 짙은 보라색으로 차등 염색되었다(Figure 1). 이에 따라 맹꽂이 각 개체의 연령은 진하게 염색된 LAGs의 수를 세어 측정하였다.

포획한 96(수컷 38, 암컷 58)개체의 나이측정에서 성체의 나이구조는 Table 1에서 보는 것과 같다. 수컷인 경우는

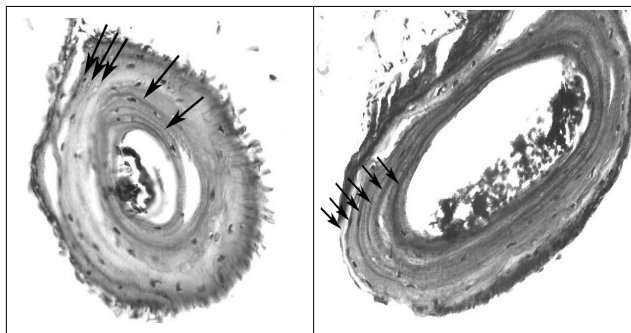


Figure 1. Cross-section of the phalanges of *Kaloula borealis*, 5 year old male(left), 6 year old female(right)

2살에서 8살까지 관찰되었으며, 암컷인 경우는 3살부터 10살까지로 수명은 10년 이상으로 보이고 있다.

맹꽂이의 신체특징을 측정한 결과, 수컷의 SVL은 43.69±3.44mm(n=38, range=38.53~52.55), BW는 11.64±2.90g (n=38, range=7.10~21.29)로 나타났으며, 암컷의 SVL은 46.32±4.23mm(n=58, range=36.04~55.29), BW는 12.83±4.01g (n=58, range=6.80~21.49)로 확인되었다. 맹꽂이 수컷과 암컷의 SVL은 유의미한 차이를 보여(t=-3.20, df=94, p <0.05), 암컷이 수컷에 비하여 더 긴 SVL를 가지고 있는 것으로 확인되었다. 하지만 BW는 암컷이 평균적으로 더 크게 나오지만 수컷과 암컷 사이에 유의미한 차이는 보이지 않았다(t=-1.68, df=94, p=0.10).

뼈나이테법을 이용하여 맹꽂이의 연령을 확인한 결과, 수컷은 평균 4.9±1.23살(n=38, range=2~8), 암컷은 평균 5.9±1.48살(n=58, range=3~10)로 확인되었다. 맹꽂이 수컷은 최소 2살부터 최대 8살까지의 출현하였으며, 이 가운데 5살 개체가 58마리 가운데 12마리가 출현하여 20.6%로 가장 높은 빈도를 보였다. 반면, 암컷은 최소 3살부터 최대 10살까지 출현하였으며, 수컷과 같이 5살 개체가 38마리 가운데 19마리가 출현하여 50.0%로 가장 높은 출현 빈도를 보였다(Figure 2). 맹꽂이 수컷과 암컷의 각 연령대별 출현 빈도는 유의한 차이를 보이지 않아 연령별에 따른 출현빈도에는 차이가 없는 것으로 나타났다($\chi^2=12.96$, df=8, p=0.11, Figure 2).

von Bertalanffy의 방정식을 이용하여 맹꽂이 수컷과 암컷의 성장곡선을 도식화한 결과, 성장계수는 0.56±0.09, 0.41±0.06, 최대성장점은 46.41±1.26mm, 50.22±1.51mm로 산출되었다(Table 2).

맹꽂이 수컷은 2살까지 빠른 성장을 보였으며, 2살 이후부터는 최대성장점에 도달한 이후에는 거의 성장하지 않았으며, 암컷은 3살까지는 빠른 성장을 보이다가 3살 이후에 최대성장점에 도달하는 것으로 확인되었다(Figure 3).

Table 1. Age distribution of male and female *Kaloula borealis* populations, SVL Mean values±standard deviation and SVL range

Age	Male(n=38)			Female(n=58)		
	N	Mean±SD	Range	N	Mean±SD	Range
2.00	1	40.74	-			
3.00	3	40.29±1.76	38.53~42.04	1	36.04	-
4.00	10	41.66±2.71	37.63~46.51	7	43.66±3.87	36.04~47.76
5.00	12	44.33±3.21	39.38~51.66	19	45.44±3.84	38.14~51.99
6.00	9	45.60±2.11	42.54~49.89	12	46.27±4.56	37.19~51.24
7.00	2	43.61±3.99	40.79~46.43	11	48.41±3.42	43.10~55.29
8.00	1	52.55±0	52.55~52.55	4	49.74±2.62	47.35~52.01
9.00	-	-	-	3	49.43±1.51	47.74~50.65
10.00	-	-	-	1	47.06±0	47.06~47.06

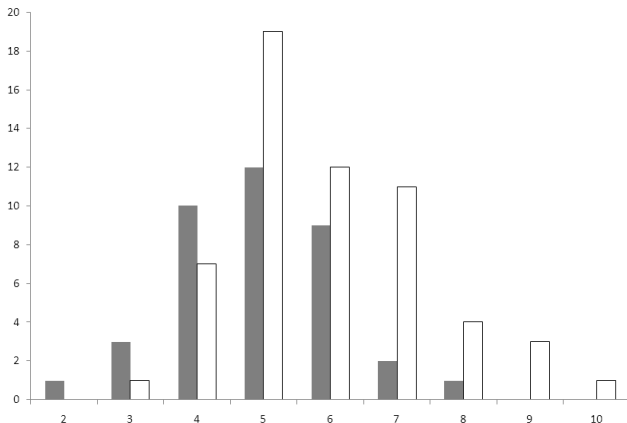


Figure 2. Age composition distribution of males (closed bars) and females (open bars) from *Kaloula borealis*

Table 2. Asymptotic size and growth coefficient of *Kaloula borealis*

Sex	N	Asymptotic size (mm) (mean±SD)	growth coefficient (K) (mean±SD)
Male	58	46.41±9.57	0.56±4.25
Female	38	50.22±9.21	0.41±0.36

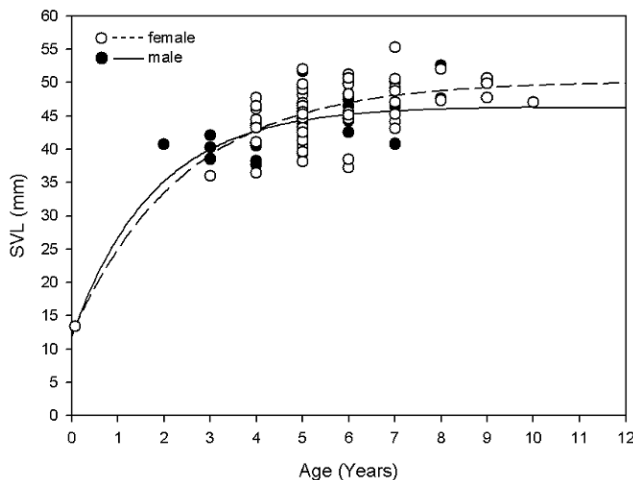


Figure 3. Growth curves of *Kaloula borealis*

고찰

이번 연구를 통해 조사된 성체 맹꽂이의 SVL을 비교해 보면 암컷이 수컷보다 SVL이 더 크게 나타났다. Shine(1979)에 보고에 의하면 연구한 589종의 무미류에서 90%이상의 종에서 암컷이 수컷보다 크기가 크다고 하였으

며, 우리나라에서 조사된 *R. rugosa*, *R. chosonica*인 경우도 암컷이 더 크게 나타난다고 하였다(Lee et al., 2008; Cheong et al., 2007). 맹꽂이의 BW인 경우는 암컷이 수컷보다 평균적으로는 크게 나오고 있으나 통계적으로 유의미하지는 않고 있다. 옴개구리에서는 암컷이 수컷보다 유의미하게 크게 나오고 있으며(Lee et al., 2008), *Kaloula verrucosa*의 연구에서도 mating된 개체들 사이에서 암컷이 크게 나오고 있다(Zhou et al., 2006). 이번에 연구된 맹꽂이에서는 암수의 크기 차이에서 유의성이 나타나지 않는 것으로 보아 다른 종에 비해 암수의 몸무게 차이가 많이 나지 않는다고 볼 수도 있다. 하지만 *Kaloula verrucosa*와 같이 mating된 개체들 사이에서는 암컷이 수컷보다 유의미하게 나오고 있어(unpublished data), 더 많은 개체수를 조사하면 정확한 차이점을 알 수 있을 것으로 보여진다.

무미류인 경우는 개체가 성장함에 따라 골수강(marrow cavity)이 넓어져 재흡수선(resorption line)이 형성되고 골내 재흡수가 일어나 나이측정에서 재흡수된 line을 포함시켜 나이를 측정하여야 한다. 맹꽂이인 경우도 골내 재흡수가 일어남을 볼 수 있고, 이러한 재흡수선을 포함시켜 정확한 나이를 계산해 넣었다.

빠나이테법을 이용하여 맹꽂이 수컷과 암컷의 연령을 측정한 결과, 수컷은 2~8살, 암컷은 3~10살의 연령구조를 보였으며, 평균 연령도 암컷이 높은 것으로 확인되었다. 일반적으로 많은 양서류 수컷은 암컷에 비하여 사망률이 높으며(Shirose et al., 1993), 이와 같은 수컷의 높은 사망률은 암컷을 차지하기 위한 수컷간의 경쟁과 싸움, 울음소리로 인하여 포식자에게 노출될 확률이 높기 때문인 것으로 알려져 있다(Kyriakopoulou-Sklavounou et al., 2008). 맹꽂이 또한 번식기 암컷을 차지하기 위하여 수컷 간에 잦은 경쟁이 일어나고 큰 울음소리를 내는 특징으로 인하여 수컷의 평균 연령이 암컷보다 낮은 것으로 생각된다.

맹꽂이 수컷은 암컷에 비하여 1년 빠른 2살부터 첫 번식에 참여하고 있으며, 대부분의 무미류 양서류 수컷들은 암컷에 비하여 약 1년 정도 성적성숙이 빠르게 일어나는 것으로 보고되어 있다(Ento and Matsui, 2002; Lee et al., 2008). 또한 수컷과 암컷 모두 5살 개체가 가장 많은 출현 빈도를 보였다. 맹꽂이가 속한 Microhylidae의 몇몇 종을 보면, *Dyscophus guineti* 수컷은 3~6살, 암컷은 3~7살의 연령구조를 가지고 있으며, 성적성숙까지 수컷과 암컷 모두 2~4년이 소요되는 것으로 보고되었다(Giulia et al., 2011). *Cophixalus ornatus* 수컷은 4~14살의 연령구조를 가지고 있으며, 이 가운데 4~7살이 개체군내에서 가장 많은 출현 빈도를 보인 것으로 확인되었다(Felton et al., 2006).

맹꽂이 수컷과 암컷은 변태한 이후, 2~3살까지는 높은 성장률을 보였지만 3~4살 이후에는 각각 성장률이 급격히

낮아지는 경향을 보였다. 이와 같은 성장률의 변화는 맹꽁이를 포함한 양서류 대부분의 종에서 관찰되는데 변태 후, 성적성숙 이전까지는 먹이를 통해 확보한 에너지의 대부분을 성장에 이용하고 성적성숙 이후에는 번식에 대부분의 에너지를 소모하기 때문이다(Hemelaar, 1988). 맹꽁이 수컷과 암컷의 최대성장점의 경우, 암컷이 수컷에 비하여 더 크게 성장하는 것으로 확인되었다. 대부분의 양서류 암컷은 수컷과 비교하여 번식에 보다 많은 에너지를 사용하기 때문에 수컷보다 성적 성숙에 좀 더 많은 시간이 필요한 것으로 알려져 있으며(Tilley, 1980; Kusano, 1982), 수컷보다 번식에 더 많은 노력을 필요하기 때문인 것으로 받아들여지고 있다(Misawa and Matsui, 1999). 맹꽁이 암컷 역시, 한 번의 산란에 약 2000여개의 많은 수의 알을 산란하는 습성(unpublished data)으로 인해 많은 에너지의 저장이 필요하고, 위와 같은 이유로 인하여 성적 성숙에 많은 시간이 걸리고 수컷보다 더 크게 성장하는 것으로 판단된다.

이번 연구에서 뼈나이테법과 von Bertalanffy의 방정식을 이용하여 제주도에 서식하고 있는 맹꽁이 수컷과 암컷의 수명, 성적성숙, 개체군의 연령구조, 성장곡선의 특징에 대한 기초생태자료를 확인할 수 있었다. 본 연구결과 얻어진 자료는 맹꽁이 개체군에 대한 이해를 높이고 급격히 감소되어 가는 맹꽁이의 보호와 보존에 대한 여러 가지 대안을 마련하는데 유용하게 활용될 것으로 예상된다.

인용문헌

- Barbour, T.(1908) Some New Reptiles and Amphibians. Bulletin of The Museum of Comparative Zoology 51: 315-325.
- Cheong, S.W., D.S. Park, H.C. Sung, J.H. Lee and S.R. Park(2007) Skeletochronological age determination and comparative demographic analysis of two populations of the gold-spotted pond frog (*Rana chosenica*). J. Ecol. Field Biol. 30(1): 57-62.
- Ento, K. and M, Matsui(2002) Estimation of age structure by skel- etochronology of a population of *Hynobius nebulosus* in a breeding season (Amphibia, Urodela). Zoological science 19: 241-247.
- Felton, A., R.A Alford, A.M. Felton and L. Schwarzkopf(2006) Multiple mate choice criteria and importance of age for male mating succes in the microhylid frog, *Cophixalus ornatus*. Behav Ecol Sociobiol. 59: 786-795.
- Francillon-Vieillot, H., J.W. Arntzen and J. Geraudie(1990) Age, growth and longevity of sympatric *Triturus cristatus*, *T. marmoratus* and their hybrids(Amphibia, Urodela): A skel- etochronological comparison. J. Herpetol. 24(1): 13-22.
- Giulia, T., M.G. Fabio, E.R. Jasmin and A. Franco(2011) Age struc- ture in the false tomato frog *Dyscophus guineti* from eastern Madagascar compared to the closely related *D. antongilii* (Anura, Microhylidae). African Journal of Herpetology 60: 84-88.
- Guarino, F.M., F. Angelini and M. Cammarota(1995) A Skeletochronological analysis of three syntopic amphibian species from southern Italy. Amphib. Reptil. 16: 297-302.
- Hallday, T.R. and P.A. Verrell(1988) Body size and age in amphib- ians and reptiles. J. Herpetol. 22: 253-265.
- Hemelaar, A.(1988) Age, growth, and other characteristics of *Bufo bufo* from different latitudes and altitudes. J. Herpetol. 22: 369-388.
- Kim, H.K.(1971) Studies on the classification and distribution of Salientia of Korea. J. Korean Res Inst for Better Living, Ewha Womans Univ. 6: 211-233. (in Korean)
- Kusano, T.(1982) Postmetamorphic growth, survival, and age at first reproduction of the salamander, *Hynobius nebulosus to- kyoensis* Tago in relation to a consideration on the optimal tim- ing of first reproduction. Res. Popu.l Ecol. 24: 329-344.
- Kyriakopoulou-Sklavounou, P., P. Stylianou and A. Tsiora(2008) A skeletochronological study of age, growth and longevity in a population of the frog *Rana ridibunda* from southern Europe. Zoology 111(1): 30-36.
- Lee, H.J., D.S. Park and J.H. Lee(2009) Age Structure and Individual Physical Characteristics of a Wrinkled Frog, *Rana rugosa* (Anura: Ranidae), Population Located at Yangpyeong- gun, Gyeonggi-do. Korea J. Herpetol. 1(1): 35-43.
- Lee, J.H. and D.S. Park(2008) Effects of physical parameters and age on the order of entrance of *Hynobius leechii* to a breeding pond. J. Ecol. Field Biol. 31(3): 183-191.
- Lee, J.H.(2006) Reproductive Ecology and Age Structure of the Gori salamander(*hynobius yangi*). Master thesis. Kangwon National University, Kangwon, Korea. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H., M.S. Min, T.H. Kim, H.J. Baek, H. Lee and D.S. Park(2010) Age structure and growth rates of two Korean sala- mander species (*Hynobius yangi* and *Hynobius quelpaertensis*) from field populations. Animal Cells and Systems. 14(4): 315-322.
- Lee, J.H., N.Y. Ra, J.H. Eom and D.S. Park(2008) Population Dynamics of the Long-Tailed Clawed Salamander Larva, *Onychodactylus fischeri*, and Its Age Structure in Korea. J. Ecol. Field Biol. 31(1): 31-36.
- Misawa, Y. and M. Matsui(1999) Age determination by skel- etochronology of the Japanese salamander *Hynobius kimurae* (Amphibia, Urodela). Zool Sci. 16: 845-851.
- National Institute of Biological Resources(2011) Red Data Book of Endangered Amphibians and Reptiles in Korea. pp. 22-27.
- Noble, G.K.(1925) An outline of the relation of ontogeny to phylog- eny within the Amphibia. I. Amer. Mus. Novit. 165: 1-45.

- Shine, R.(1979) Sexual selection and sexual dimorphism in the amphibia. *Copeia*. 2: 469-474.
- Shirose, L.J., R.J. Brooks, J.R. Barta and S.S. Desser(1993) Inter-sexual difference in growth, mortality, and size at maturity in bullfrogs in central Ontario. *Canadian Journal of Zoology* 71: 2,363-2,369.
- Sung, H.C., S.K. Kim, S.W. Cheong, S.R. Park, D.C. Roh, K.W. Baek, J.H. Lee and D.S. Park(2006) Estimating Detection Probabilities and Site Occupancy Rates of Three Anuran Species Using Call Surveys in Haenam Gun, Korea. *J. Ecol. Field Biol.* 29 (4): 331-335.
- Tilley, S.G.(1980) Life histories and comparative demography of two salamander populations. *Copeia*. 4: 806-821.
- von Bertalanffy, L.(1938) A quantitative theory of organic growth. *Huan biology* 10: 181-213.
- Yang, S.Y. and C.H. Yu(1978) Check list of Korean amphibians. *Bulletin of the Institute for Basic Science, Inha University*. 5: 81-90. (in Korean)
- Yang, S.Y., J.B. Kim, M.S. Min, J.H. Suh and Y.J. Kang(2001) *Monograph of Korean Amphibia*. Academy press, Seoul. (in Korean)
- Yu, J.H.(2007) Age estimation by skeletochronology and The call variation in The three-striped pond frog (*Rana nigromaculata*). Master thesis. Korea National University of Education. (in Korean with English abstract)
- Zhou, W., J.F. He, M.H. Li and W, Li(2006) Behavior and Morphologic Adaptive Selection of Sexual Partnership in a Population of Verrucous Digging Frog(*kaloula verrucosa*) from Kunming. *zoological research*. 27(2): 169-174. (in Chinese with English abstract)