

맹꽁이 유생의 성장과 생존에서의 염분영향^{1a}

고상범² · 고영민² · 이정현^{3*}

Effect of Salinity on the Survival and Growth of Larvae of the Boreal Digging Frog (*Kaloula borealis*)^{1a}

Sang-Beom Ko², Young-Min Ko², Jeong-Hyun Lee^{3*}

요 약

우리는 염분농도가 맹꽁이 초기발생과정에 미치는 영향을 알아보고자 실시하였다. 연구는 2013년 6월에 제주지역 해안가에서 산란하는 맹꽁이 포접쌍의 알을 가지고 실시하였다. 염분농도는 0, 1, 3, 5, 7‰로 하여 알에서 외부아가미가 닫힐 때까지 생존여부와 성장을 관찰하였다. 또 다른 실험은 내부아가미 단계인 올챙이를 0, 1, 3, 5, 7‰의 염분농도에 넣어 생존율과 성장률을 관찰하여 두 실험결과를 비교하였다. 실험결과 알 - 외부아가미 단계에서는 3‰에서 대조군과 유의한 차이가 없이 생존하였으나 5‰에서는 생존율이 낮게 나타났다. 또한 7‰에서는 모든 알이 죽는 것으로 나타나 염분농도가 5‰ 이상에서는 맹꽁이 초기발생에 생존 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 내부아가미 단계에서의 유생들은 5‰까지는 대조군과 유의한 차이가 없었으나 7‰에서는 생존율이 감소하였다. 성장률인 경우도 염분의 농도가 높아질수록 생장이 느려지고 있었고 외부아가미 단계 및 내부아가미 단계 모두 5‰에서 성장률이 대조군과 유의하게 감소하는 것으로 나타나고 있었다. 이번 연구 결과 염분의 농도가 높을수록 맹꽁이 유생의 생존과 성장에 영향을 받는다는 것을 알 수 있었으며, 해안지역 개발에 따른 부작용인 맹꽁이의 감소에 대한 중 보존에 대비 할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 양서류, 해수, 무미류, 올챙이

ABSTRACT

This study was conducted to examine the effect of salinity on the early embryonic development stage of boreal digging frogs (*Kaloula borealis*). An experiment was carried out with the eggs of *K. borealis* mating couples laid along the coastal zone of Jeju Island in June 2013. The salinity was set to 0, 1, 3, 5, and 7 ‰, respectively. The survival and growth of the larvae at various stages from the egg phase to the closing of their external gills phase were observed. In another experiment, tadpoles in internal gill stage were placed in solutions with salinity of 0, 1, 3, 5, and 7 ‰, respectively, and their survival rate and growth rate were observed, and then the results of the two experiments above were compared. The results showed that in egg and external gill stage, there was no significant difference in survival rate in 3 ‰ solution, though there was low survival rate in 5 ‰ solution. Further, all the eggs were dead in 7 ‰ solution, so it appeared that solutions with salinity of 5 ‰ or higher affect the survival of *K. borealis* in the early embryonic development. Larvae in the internal gill stage

1 접수 2015년 7월 31일, 수정 (1차: 2015년 8월 16일), 게재확정 2015년 8월 17일

Received 31 July 2015; Revised (1st: 16 August 2015); Accepted 17 August 2015

2 제주양서류생태연구소 Jeju amphibian ecology institute, Jeju 63245, Korea

3 국립생물자원관 National Institute of Biological Resources, Incheon 22755, Korea

a 이 논문은 환경부 환경정책기반 공공기술 개발사업으로부터 지원받았음.

* 교신저자 Corresponding author: E-mail: lee98511@korea.kr

showed no significant difference in survival rate from the control group up to a salinity of 5 ‰, but when placed in a solution of over 7 ‰ salinity, the survival rate decreased. The growth rate also slowed down with the higher salinity. It appeared that in both the external gill stage and the internal gill stage in 5 ‰ solution, the growth rate decreased significantly compared to the control group. From this study it is concluded that higher salinity values have a significant impact on the survival and growth of the *K. borealis* larvae and this finding can be used to conserve *K. borealis* species that are decreasing in number due to the side effects of development in coastal areas.

KEY WORDS: AMPHIBIA, SEA WATER, ANURAN, TADPOLE

서론

무미류 유생들은 변태과정에서 연못의 물이 메마르거나 먹이, 온도, 포식자 등 다양한 환경 요인으로 인해 생장에 영향을 받을 수 있는 여러 가지 물리적 스트레스에 노출되어 있다(Alford, 1999; Bruce, 2005; Duellman and Trueb, 1994; Rose, 2005). 해안 가까이 서식 및 산란 하거나 인위적인 작용에 의해 염분에 노출된 무미류 성체와 유생들은 염분농도의 상승으로 성장 및 변태 진행이 늦어지거나 사망률이 증가하는 등의 영향을 받고 있다 (Tyler, 1972; Beebe, 1985; Quincey, 1991; Voigt, 1991; Viertel, 1999). 대부분 양서류는 그들의 생활 대부분을 염분이 없는 습한 환경에서 살고 있고, 물과 이온의 균형을 맞추어야 하는 삼투성이 매우 높은 피부로 되어 있어 이들은 염분이 있는 물에서는 잘 적응하지 못한다(Balinsky, 1981; Boutilier *et al.*, 1992; Duellman and Trueb, 1994).

염분의 영향에 노출된 지역에 사는 무미류들은 여러 지역에 서식한다(Christy and Dickman, 2002; Haramura, 2007; Wu and Kam, 2009). 제주지역 또한 바다로 둘러싸인 섬으로 이루어져 있으며 이 지역에 서식하는 양서류들은 해안에서부터 한라산까지 넓게 분포하고 있다. 멸종위기 II급으로 지정된 맹꽁이인 경우에는 제주지역에서 해안지방에서 해발 400m 까지 서식하고 있다고 보고되고 있다(Ko *et al.*, 2011). 일부 지역에서는 바닷가에서 얼마 떨어져 있지 않은 장소에 산란하는 모습들이 여러 군데 발견되고 있으며 구좌읍 종달리나 김녕리, 제주시 화북동에 있는 산란지는 바닷가 100m이내에 위치하고 있으며 애월읍 애월리에 있는 산란지는 바닷가와 불과 40m 정도에 위치해 있다.

일부 *Rana*나 *Bufo* 종은 높은 염분에 강한 내성을 갖고 있기도 하고(Liggins and Grigg, 1985; Uchiyama and Yoshizawa, 1992; Ferraro and Burgin, 1993), *Rana cancrivora* 유생은 32%의 염분농도를 가진 연못에서도 생존하고 있다고는 (Gordon and Tucker, 1965; Uchiyama and Yoshizawa, 1992)

하나 대부분의 양서류들은 삼투압 조절에 따른 스트레스로 인해 유해한 영향을 받는다(Christy and Dickman, 2002).

제주지역은 관광지로 개발이 많이 이루어지고 있어 개발에 따른 산란지들이 많이 훼손되고 있는 실정이며 개발에 의해 해안지역 산란지가 파괴되기도 하며 일부지역에서는 염분의 유입으로 산란지 염분이 증가하는 경우가 발생하고 있다. 보고에 의하면 인위적으로 염류화에 영향을 받는 지역에서 염분의 증가는 무미류의 성체나 올챙이의 성장에 제한을 받고 사망률 증가와 변태를 감소시키는 원인이 되고 있다(Viertel, 1999; Christy and Dickman, 2002)고 한다. 따라서 제주 지역에서 산란 및 서식하는 맹꽁이들은 생장이나 번식에 영향을 받아 피해를 입을 가능성이 높을 것으로 판단되지만 우리나라에서는 아직까지 염분의 농도에 따른 양서류의 영향에 대해서 연구된 바 없다. 이번 연구는 염분의 농도가 맹꽁이 알 발생에 어떠한 영향을 주는지 알아보고, 섬이나 해안 지역의 맹꽁이 보호를 위한 기준자료로 활용하기 위해 수행되었다.

연구방법

이번 연구는 맹꽁이의 염분농도에 생존하는 정도를 알아보기 위해 2013년 6월 맹꽁이 번식기에 대정읍 하모리에서 포획된 성체 맹꽁이 암수 2쌍을 채집하여 암수 1쌍씩 수조에 넣고 산란된 알을 가지고 실시하였다. 맹꽁이는 멸종위기야생동물 II급으로 보호되고 있으므로 영산강환경유역청에서 포획허가를 받아 채집하였다.

염분의 농도는 하루정도 방치하여 염화성분을 제거시킨 수돗물에 해수염(Red sea, coral pro salt)을 용해시켰다. 정확한 염분농도를 얻기 위해서 염도계(EUTECH, PCD-659)를 가지고 염분농도를 조절하였다. Uchiyama와 Yoshizawa (1992)에 의하면 유생은 내부아가마 단계와 외부아가미 단계일 때 염분에 대한 생존율이 다르다고 보고하고 있으므로 두 가지로 나누어 실시하였다.

실험 1은 금방 산란된 맹꽁이 알을 염분의 농도를 1%,

3‰, 5‰, 7‰(해수농도 2.58‰, 8.57‰, 14.29‰, 20‰; 해수농도 100‰=35‰, 염분 35g/L)로 만든 수조에 2L씩 넣었고, 대조군은 염분을 넣지 않은 수돗물을 사용하였다. 산란된 맹꽁이 알은 20개씩 나누어 수조에 넣어 12시간 간격으로 관찰하였다. 시간이 지나면서 물이 자연증발하면 각 수조의 염분의 농도가 높아지므로 염도계를 사용하여 염분의 농도를 측정하였고 이때 물을 보충하여 농도를 조절하였다. 물의 오염을 피하기 위해 4일째 되는 날에 수조의 물을 교체하였으며 관찰은 알에서 부화되어 외부아가미가 없어지는 기간을 포함하여 8일간 관찰하였다.

실험 2는 외부아가미가 사라지고 내부아가미만 있는 단계 중 27단계(Gosner, 1960)에서 시작하여 8일간 관찰하였으며, 실험방법은 실험 1과 같다. 유생단계에서 먹이가 필요하므로 먹이는 시중에 파는 담수어류 사료를 사용하였다.

통계는 SPSS V.12로 분산분석(analysis of variance, ANOVA)을 이용하여 95% 신뢰한계에서 유의성을 검정하였다. 분산분석 결과 유의한 차이를 나타내는 경우, 다중검정(multiple comparison test)을 실시하여 각 요인 내 두 가지 평균값 사이에 유의한 차이 여부를 조사하였으며 검정방법은 성장정도는 Bonferroni test를 사용하였고 생존율은 Tukey HSD test를 사용하였다.

결 과

실험결과 알에서 부화하여 외부아가미 단계를 거친 유생들은 염분농도 5‰까지 생존이 가능했으며 7‰염분농도에서는 전부 죽었다. 그리고 내부아가미 단계에서 염분에서 성장한 유생들은 7‰까지 생존이 가능했으나 생존율은 40%로 낮아졌다.

알에서 외부아가미 단계를 거치는 유생의 염분농도에 대한 각 집단 간에는 생존율은 유의한 차이(ANOVA: $F=28.40$ $p<0.001$)가 있는 것으로 나타났다. 대조군과 비교해서 1‰에서는 95%, 3‰에서는 85%로 대조군과 생존율에 큰 차이가 없었으나 5‰에서는 40%로 차이($p<0.001$)가 있는 것으로 나타났다. 또한 7‰에서는 2일 만에 모든 개체가 사멸하

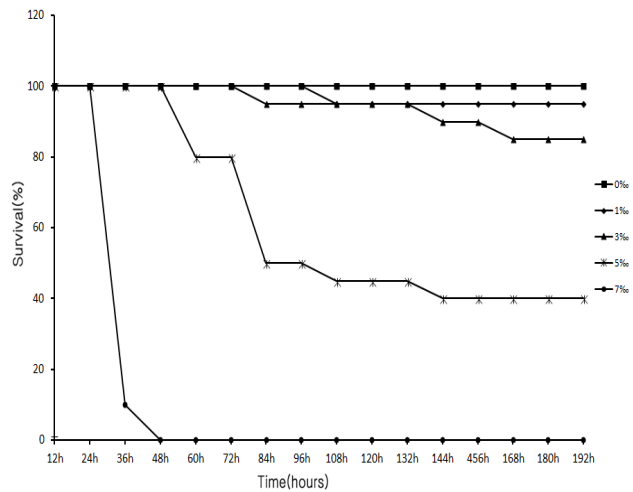


Figure 1. Survival rate affected by the salinity from eggs to the external gill stage

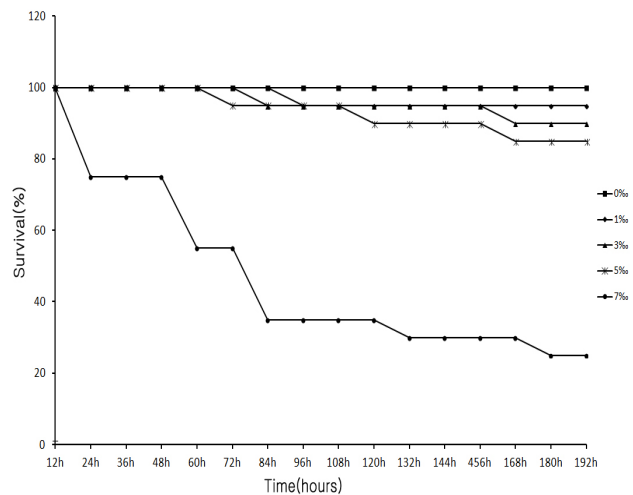


Figure 2. Survival rate affected by the salinity in the internal gill stage

였다(Figure 2)

내부아가미 단계에서 염분에 노출된 각 집단의 유생 생존율도 유의한 차이(ANOVA: $F=69.30$ $p<0.001$)가 있는 것으

Table 1. Growth(SVL) on internal and external gills by salinity effect

External gill stage			Internal gill stage		
Salinity(‰)	N	Mean±SD(mm)	Salinity(‰)	N	Mean±SD(mm)
0	20	17.68±0.55	0	20	21.91±0.75
1	19	17.34±0.45	1	19	21.84±0.82
3	17	16.41±2.41	3	18	21.30±0.53
5	8	15.84±0.43	5	17	20.51±0.82
-	-	-	7	5	20.12±1.25

로 나타났다. 대조군과 비교하여 1%에서는 95%, 3%에서는 90%, 5%에서는 85%로 생존율이 큰 차이가 없으나 7%에서는 25%로 생존율이 급격히 떨어지고 있어 대조군과 유의한 차이(Tukey HSD test $p < 0.001$) 나타나고 있다. 7%의 염분농도에서 외부아가미 단계를 거치는 유생들은 전부 사멸하였지만 내부아가미 단계에서 노출된 유생들은 일부는 살아남은 것을 관찰할 수 있었다(Figure 2).

염분농도에 따른 맹꽁이 유생의 생장은 분석결과 외부아가미 단계에서 각 집단은 모두 염분의 농도가 높을수록 성장률이 떨어지고 있으며 유의성이 있는 것으로 나타나고 있으며(ANOVA: $F=5.45$ $p < 0.05$). 내부아가미 단계에서도 각 집단은 모두 염분의 농도가 높을수록 성장율이 유의성 있게 낮아지고(ANOVA: $F=12.64$ $p < 0.01$) 있는 것으로 나타나고 있다(Table 1).

대조군과 각 염분농도별 성장정도를 보면 외부아가미단계에서는 1%에서는 대조군과 차이가 나타나지 않으나($p=1.00$) 3% 염분농도에서와($p < 0.5$), 5%의 염분농도에서는($p < 0.05$) 성장저하가 유의성 있게 나타나고 있다. 내부아가미 단계에서는 대조군과 비교하여 1% 염분농도($p=1.00$)와 3%의 염분농도($p=0.21$)에서는 성장률 저하에 유의성이 없으나, 5% 염분농도($p < 0.001$)와 7%의 염분농도($p < 0.001$)에서는 유의성 있게 생장이 저하되고 있는 것으로 나타났다.

고 찰

이번 실험을 통해 알에서 외부아가미 단계를 거친 맹꽁이 유생들은 3% 염분농도 까지는 생존율이 높아, 이 농도에서는 삼투에 대한 큰 스트레스 없이 생존할 수 있음을 보여주고 있다. 하지만 5%의 염분농도에서는 사망률이 급격히 증가하여 6일 후에는 생존율이 40%로 낮아졌다. 맹꽁이 알이 부화하여 발생이 진행되는 동안 염분농도가 높을수록 많은 스트레스를 받고 있음을 알 수 있었고 이러한 이유로 생존에 큰 영향을 받고 있다. 염분의 농도가 높을수록 알이나 올챙이들은 삼투조절에 스트레스를 가져오며 이러한 이유로 사망률이 높아지고 있고 또한 사망에 이르는 시간이 빨라지고 있다는 것은 연구에서도 많이 찾아볼 수 있다. *Lithobates pipiens*인 경우 3.8-4.6%의 염분농도에서는 배 발생 과정에서 절반이 사멸하였고 5%이상의 염분농도에서는 모두 사멸하였다(Ruibal, 1959). 호수에 서식하는 *Litoria aurea*는 해수염분 농도의 4.41%일 때 72일 이내에, 8.82%일 때 4일 이내에 사멸하였다(Christy and Dickman, 2002). 북반구에 서식하는 *Bufo calamita* 올챙이들은 해수 염분농도의 30%에서는 1주일 생존했으며(Beebee, 1985), 20%의 염분농도에서는 그보다 더 오래 생존했었다(Mathias, 1971). 따라서 염분농도가 높을수록 양서류의 생존율은 낮아지고

있으며 시간이 진행될수록 점점 더 생존율이 줄어들고 있는 것을 볼 수 있다. 맹꽁이의 경우에도 변태과정이 완전히 끝나 성체가 될 때까지 어느 정도 염분농도에서 생존이 가능할지는 추가적인 실험이 진행되어야만 알 수 있을 것으로 판단된다.

7%에서는 알들이 부화에는 성공하였지만 부화 후에는 48시간 이내에 모두 사멸하였다. 이는 부화 이전 단계에서 알 주변을 둘러싸고 있는 난막이 염분에 대한 침투를 막아 준 결과로 보인다. 양서류의 난막에 있는 젤리층은 특성에 따라 삼투 스트레스 및 무기 질소에 내성에 관여하는 메카니즘이 있으며, 이 젤리층을 통한 물의 확산은 알의 안과 밖의 삼투압 조건뿐만 아니라 난막의 두께 및 구조에도 의존되고 있는 것으로 알려져 있다(Ortiz-Santaliestra *et al.*, 2010). 맹꽁이인 경우는 산란 후 부화까지 1-2일밖에 걸리지 않으므로 난막에 있는 젤리층이 부화가 가능하도록 해준 것으로 보인다. 이번 실험으로 맹꽁이 올챙이인 경우 외부아가미를 갖고 있는 단계에서 사망에 이르는 염분의 농도는 5%에서 증가하기 시작하여 7% 이상이 되면 전부 사멸한다고 볼 수 있다. 하지만 외부아가미가 사라지고 내부아가미 단계에서 염분에 노출된 경우에는 외부아가미 단계에서 노출된 올챙이보다 염분농도에 더 견디는 것으로 관찰되었다. 내부아가미 단계에서는 5%까지는 생존율이 높게 나타나고 있으며 염분농도 7%에서 생존율이 감소하고 있었다. Uchiyama와 Yoshizawa(1992)의 연구에서 보면 발생과정 중 외부 아가미 단계에서보다 내부아가미를 가지는 단계에서가 더 높은 염분에서 생존하고 있다고 보고되었다. 그 이유는 내부아가미에는 담수와 해수에 적응 가능한 mitochondria rich cell이 다수 분포되어 있기 때문이며 이는 외부아가미 단계에서보다 해수농도의 10%이상 염분에서 생존할 수 있다고 보고된 바 있다. 맹꽁이인 경우도 내부아가미 단계가 외부아가미 단계보다 더 높은 해수농도에 적응하는 것으로 보아 mitochondria rich cell이 더 풍부할 것으로 추측된다.

높은 염분농도는 유생들에게 사망률을 높이는 원인이 될 뿐 아니라 성장율에도 영향을 주고 있다. 외부아가미 단계에서 보면 염분농도가 높을수록 3%까지는 약간의 성장률 저하가 일어나지만 유의한 수준은 아니다. 하지만 그 이상에서는 의미가 있을 정도로 생장이 늦어지고 있다. 내부아가미단계에서도 염분에 노출된 유생들은 5% 염분농도부터는 대조군과 차이가 나타나고 있으며 7%의 염분농도에서는 생장이 더 느려져 염분에 영향을 많이 받는 것으로 나타나고 있다. *Litoria ewingii*인 경우는 5.6% 이하의 염분농도에서 생존율과 성장률이 저조하게 나타나고 있으며(Chinathamby *et al.*, 2006), *Epidalea calamita*인 경우도 담수에 서식하는 유생보다도 염분에 노출된 개체군에서 생장이 늦춰지는 것

으로 보고되었다(Gomez-Mestre and Tejedo, 2003). 한 가지 흥미로운 연구는 염분에 노출되어 성장이 느려진 *Litoria ewingii* 올챙이인 경우 다시 담수에 넣었을 때는 급격히 성장하여 담수에서 자란 대조군과 크기에서 차이가 없어진다는 것이다(Squires *et al.*, 2010). 스트레스가 사라지면 이들을 원래의 상태로 복귀하려는 능력을 갖고 있는 것으로 판단되고 있으며 맹꽁이 유생에게도 이와 같은 결과를 갖는지는 알아볼 필요가 있다.

고농도의 염분은 양서류 유생의 사망률과 성장률에도 영향을 미치지만 때로는 변태가 늦게 진행되거나 아예 되지 않는 경우도 발생한다. *Lithobates sylvaticus*는 염분농도가 높을수록 낮은 염분농도보다 변태기간이 길어지고 있으며(Sanzo and Hecnar, 2006), *Fejervarya limnocharis*인 경우는 9% 정도에서 변태가 일어나도 크기가 작으며, 그 이상의 농도에서는 변태가 일어나지 않았다(Wu and Kam, 2009).

이번 연구는 맹꽁이의 유생이 해수염분농도에서 어느 정도까지 생존이 가능한지를 알아보았다. 제주지역은 관광지로서 현재 중산간과 더불어 해안지역도 많은 개발이 일어나고 있어 해안지역 생물상에 많은 변화를 주고 있다. 따라서 이번 연구 결과를 바탕으로 해안가 산란지 주변을 개발할 경우 산란지에 해수의 유입이 맹꽁이 유생에게 어느 정도의 영향을 주는지를 파악할 수 있고, 이를 바탕으로 개발에 따른 부작용인 양서류 및 맹꽁이의 감소에 대한 중 보존에 대비 할 수 있으며 해안지역 산란지 복원 및 대체서식지 조성에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Alford, R.A.(1999) Ecology: resource use, competition, and predation. In " Tadpoles: The Biology of Anuran Larvae" Ed by RW McDiarmid, R Altig, University of Chicago Press, Chicago, pp. 240-278
- Balinsky, J.B.(1981) Adaptation of nitrogen metabolism to hyperosmotic environments in amphibia. *Journal of Experimental Zoology*. 215(3): 335-350.
- Beebee, T.J.C.(1985) Salt tolerances of natterjack toad (*Bufo calamita*) eggs and larvae from coastal and inland populations in Britain. *Journal of Herpetology* 1: 14-16.
- Boutilier, R.G., D.F. Stiffler and D.P. Toews(1992) Exchange of respiratory gases, ions, and water in amphibious and aquatic amphibians. In: *Environmental Physiology of the Amphibians*, (ed. M. E. Feder and W. W. Burggren), University of Chicago Press, Chicago, Illinois. pp. 81-124.
- Bruce, R.C.(2005) Theory of complex life cycles: application in Plethodontid salamanders. *Herpetological Monographs* 19: 180-207.
- Chinathamby, K.A., R.D. Reina, P.C.E. Bailey and B.K. Lees(2006) Effects of salinity on the survival, growth and development of tadpoles of the brown tree frog, *Litoria ewingii*. *Australian Journal of Zoology* 54:97-105.
- Christy, M.T. and C.R. Dickman(2002) Effects of salinity on tadpoles of the green and golden bell frog (*Litoria aurea*). *Amphibia-Reptilia* 23: 1-11.
- Duellman, W.E. and L. Trueb(1994): *Biology of Amphibians*, 2nd Edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
- Ferraro, T.J. and S. Burgin(1993) Review of environmental factors influencing the decline of Australian frogs. In: *Herpetology in Australia: A Diverse Discipline*, Royal Zoological Society of NSW, pp. 197-204.
- Gosner, K.L.(1960) A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica* 16:183-190.
- Gomez-Mestre, I. and M. Tejedo(2005) Adaptation or exaptation? An experimental test of hypotheses on the origin of salinity tolerance in *Bufo calamita*. *Journal of Evolutionary Biology* 18:847-855.
- Gordon, M.S. and V.A. Tucker(1965) Osmotic regulation in the tadpoles of the crab-eating frog (*Rana cancrivora*). *The Journal of Experimental Biology* 42: 437-445.
- Haramura, T.(2007) Salinity tolerance of eggs of *Buergeria japonica* (Amphibia, Anura) inhabiting coastal areas. *Zoological Science* 24:820-823.
- Ko, S.B., Y.M. Ko. and H.S. Oh(2011) Distribution of Spawning Sites of *Kaolula borealis* in Jeju Island. *Korean Society of Environment and Ecology* 25(6): 846-852. (in Korean with English abstract)
- Liggins, G.W. and G.C. Grigg(1985) Osmoregulation of the cane toad, *Bufo marinus*, in salt water. *Comparative Biochemistry and Physiology* 82A: 613-619.
- Mathias, J.H.(1971) The Comparative Ecologies of Two Species of Amphibia (*Bufo bufo* and *Bufo calamita*) on the Ainsdale Sand Dunes National Nature Reserve. Ph.D. Thesis, University of Manchester.
- Ortiz-Santaliestra, M.E., M.J. Fernandez-Beneitez, M. Lizana. and A. Marco(2010) Adaptation to osmotic stress provides protection against ammonium nitrate in *Pelophylax perezi* embryos. *Environmental Pollution* 158: 934-940.
- Quincey, L.M.(1991) The Effect of High Salinities on Growth and Development of the Spawn and Larvae of the Spotted Grass Frog (*Lymnodynastes tasmaniensis*). Honours Thesis, University of Adelaide.
- Rose C.S.(2005) Integrating ecology and developmental biology to explain the timing of frog metamorphosis. *Trends in Ecology & Evolution* 20: 129-135
- Ruibal, R. 1959. The ecology of a brackish water population of *Rana pipiens*. *Copeia* 1959:315-322.
- Sanzo, D. and S.J. Hecnar(2006) Effects of road deicing salt (NaCl) on larval wood frogs (*Rana sylvatica*). *Environmental Pollution* 140: 247-256.

- Squires, Z.E., P.C.E. Bailey, R.D. Reina. and B.B.B.M. Wong(2010) Compensatory growth in tadpoles after transient salinity stress. *Marine and Freshwater Research* 61:219-222.
- Tyler, M.J.(1972) An analysis of the lower vertebral faunal relationships of Australia and New Guinea. In: *Bridge and Barrier: The Natural and Cultural History of Torres Strait*, pp. 132-147. Walker, D., Ed., Canberra, Australian National University.
- Uchiyama, M. and H. Yoshizawa(1992) Salinity tolerance and structure of external and internal gills in tadpoles of the crab-eating frog, *Rana cancrivora*. *Cell and Tissue Research* 267: 35-44.
- Viertel, B.(1999) Salt tolerance of *Rana temporaria*: spawning site selection and survival during embryonic development(Amphibia, Anura). *Amphibia-Reptilia* 20: 161-171.
- Voigt, M.(1991) On the effects of crowding and pollution in tadpoles of the brown-striped marsh frog (*Limnodynastes peroni*). *Herpetofauna* 21: 25-34.
- Wu, C.S. and Y.C. Kam(2009) Effects of salinity on the survival, growth, development, and metamorphosis of *Fejervarya limnocharis* tadpoles living in brackish water. *Zoological Science* 26: 476-482.