



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

외부형질로 본 한국산 청개구리
*Hyla japonica*의 생물지리학적 다양성

제주대학교 교육대학원

생물교육전공

구 교 성

2014년 8월

외부형질로 본 한국산 청개구리
*Hyla japonica*의 생물지리학적 다양성

지도교수 오 홍 식

구 교 성

이 논문을 교육학 석사학위 논문으로 제출함

2014년 8월

구교성의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____ ㉠

위 원 _____ ㉠

위 원 _____ ㉠

제주대학교 교육대학원

2014년 8월

Biogeographical Variation of Korean Tree Frog (*Hyla japonica*) Based on External Characteristics

Kyo-Soung Koo
(Supervised by Professor HongShik Oh)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of Master of Biology Education

August, 2014

This thesis has been examined and approved.

.....
Chairperson of the Committee
.....
.....

.....
Date

Biology Education
GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

외부형질로 본 한국산 청개구리 *Hyla japonica*의 생물지리학적 다양성

구 교 성

제주대학교 교육대학원 생물교육전공

서식지 환경이 한국산 청개구리(*Hyla japonica*)의 몸 크기에 어떠한 영향을 미치는지 밝히기 위해 2012년 4월부터 2013년 9월까지 전라북도 부안군, 임실군, 경상남도 함양군, 거제시, 울산광역시, 전라남도 완도군 및 제주도 집단을 대상으로 연구하였다. 집단의 크기 차이를 비교하기 위해 몸통길이(snout vent length, SVL), 머리폭(head width, HW) 그리고 몸무게(body weight, BW)를 측정하였으며, 환경적인 요소로 서식지의 위도, 고도, 온도, 유형, 면적을 조사하였다. 연구결과, 채집한 수컷 366 마리와 암컷 71마리의 크기는 제주도 집단이 가장 큰 것으로 나타났다(Kruskal wallis test, $P < 0.05$). 수컷과 암컷사이에 성적크기이형현상(sexual size dimorphism, SSD)은 모든 집단과 형질에서 암컷 우성으로 나타났다(Paired samples t-test, $P < 0.05$). 청개구리의 크기와 환경요소들 사이의 상관관계를 분석한 결과(Pearson's correlation analysis, $P < 0.05$), 위도나 온도가 높은 지역일수록 몸의 크기가 작은 것으로 나타났으며, 고도가 높거나 서식지의 면적이 넓은 지역일수록 몸의 크기는 커졌다. 서식지의 유형에 따라 해안에 인접한 지역일수록 큰 청개구리가 나타났다. 이러한 환경요소와 몸 크기의 상관관계는 수컷과 암컷 모두에서 동일했다. 결론적으로 한국산 청개구리의 SSD는 무미류에게 나타나는 일반적인 현상과 일치하였지만, 환경요소와 몸의 크기의 관계는 기존의 연구와는 차이가 있었고, 특히 위도와 몸 크기의 관계에서 나타난 차이는 서식지 환경이 생물에게 끼치는 영향이 지역에 따라 다를 수 있다는 것을 의미하였다. 본 연구를 통해 한국산 청개구리의 서식지 환경이 어떠한 방향으로 몸 크기에 영향을 주는지 파악할 수 있었다. 이 결과는 생물과 환경과의 관계를 이해하는데 유용한 자료로 활용될 것이다.

목 차

I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 연구지역	3
2. 외부 형질 측정	8
3. 환경 요소 조사	11
4. 통계 분석	11
III. 결 과	12
1. 한반도 집단	12
2. 제주도 집단	25
IV. 고 찰	37
1. 성적크기이형	37
2. 위도에 따른 크기의 다양성	38
3. 고도와 기온에 따른 크기의 다양성	38
4. 그 외 환경 요소에 따른 크기의 다양성	39
V. 참고문헌	41
Abstract	49

List of Tables

Table 1. Research areas in the Korean Peninsula	5
Table 2. Research areas in Jeju Island	6
Table 3. Mean \pm SE of the external characteristics on <i>H. japonica</i> in the Korean Peninsula	14
Table 4. Size difference between sexes of <i>H. japonica</i> in the Korean Peninsula	15
Table 5. Relationship between the external characteristics of <i>H. japonica</i> in the Korean Peninsula	15
Table 6. Relationship between the environmental factors of habitats and the external characteristics of <i>H. japonica</i> in the Korean Peninsula ..	17
Table 7. The temperature of habitats in the Korean Peninsula (2007–2013) ..	21, 22
Table 8. Mean \pm SE of external characteristics in the population of <i>H. japonica</i> in Jeju Island	27
Table 9. Size difference between sexes of <i>H. japonica</i> in Jeju Island	28
Table 10. Comparison of the external characteristics among the populations of <i>H. japonica</i> in Jeju Island	28
Table 11. Relationship between the external characteristics of <i>H. japonica</i> in Jeju Island	29
Table 12. Relationship between environmental factors of habitats and the external characteristics of <i>H. japonica</i> in Jeju Island	31

Table 13. The temperature of habitats in Jeju Island (2007-2013) 33

Table 14. The mean temperature of habitats in Jeju Island (2007-2013)
..... 36

List of Figures

Figure 1. Map of the research areas in the Korean Peninsula	4
Figure 2. Map of the research areas in Jeju Island	6
Figure 3. Photographs of the breeding sites in the research areas	7
Figure 4. Amplexus and calling males of <i>H. japonica</i> in the research areas	9
Figure 5. Measured external characteristics of <i>H. japonica</i>	10
Figure 6. Relationship between the external characteristics of <i>H. japonica</i> in the Korean Peninsula	16
Figure 7. Relationship between the latitude of habitats and the external characters of <i>H. japonica</i> in the Korean Peninsula	18
Figure 8. Relationship between the type of habitats and the external characters of <i>H. japonica</i> in the Korean Peninsula	19
Figure 9. Relationship between the size of islands and the external characteristics of <i>H. japonica</i> in the Korean Peninsula	20
Figure 10. The monthly mean temperature of habitats in the Korean Peninsula (2007-2013)	23
Figure 11. Relationship between the temperature of habitats and the external characteristics of <i>H. japonica</i> in the Korean Peninsula	24
Figure 12. Relationship between the external characteristics of <i>H. japonica</i> in Jeju Island	30

Figure 13. Relationship between the altitude of habitats and the external characteristics of *H. japonica* in Jeju Island 32

Figure 14. The monthly mean temperature of habitats in Jeju Island (2007–2013) 34

Figure 15. Relationship between the mean temperature of habitats and the external characters of *H. japonica* in Jeju Island 35

I. 서론

위도(latitude)나 고도(altitude)와 같이 지역에 따라 나타나는 환경적인 차이는 특정지역에 서식하는 생물에게 영향을 주어 크기나 체색과 같은 외적부분에서 서로 다른 적응의 결과를 가져오게 한다(Gloger 1833; Bergmann 1847; Allen 1877; Rensch 1950). 이와 관련된 환경지리학적인 법칙(ecogeographical rule)은 지역 집단에게 다양하고 복합적으로 작용하게 되는데, 그 중 Bergmann's rule과 Island rule 등 이러한 생물과 환경 사이의 생물학적인 현상들을 잘 설명해 주고 있다(Bergmann 1847; Foster 1964). 주로 조류나 포유류 같은 항온동물(endotherm)들에게 국한되는 Bergmann's rule은 위도나 고도에 따라 낮은 온도에 서식하는 동물일수록 몸집을 크게 함으로써 상대적인 체표면적을 줄이고, 열 손실을 줄인다고 설명한다(Bergmann 1847). 최근 많은 연구자들은 포유류뿐만 아니라 양서류(amphibian)나 파충류(reptile)와 같은 변온동물(ectotherm)들에게도 이러한 현상이 나타난다고 보고하였다(Ashton 2000, 2002; Iraeta et al. 2008; Bancilă et al. 2009; Ma et al. 2009; Chen et al. 2011; Gül et al. 2011; Liu et al. 2012a, b; Eweleit and Reinhold 2014). 또한 다른 환경지리학적 현상으로 제안된 Island rule은 섬에 서식하는 종들이 천적의 유무, 먹이의 충분함 그리고 경쟁과 같은 요인으로 작은 동물은 커지고, 큰 동물은 작아지는 경향성을 보인다는 것이다(Foster 1964). 이는 주로 포유류에서 이루어지지만, 양서류와 같은 변온동물에서도 연구되고 있다(Mcclain et al. 2006; Wu et al. 2006). 이처럼 변온동물에 대한 연구 결과들이 환경지리학적인 자연 현상을 설명하는 규칙들과 일치하지만, 이와 반대의 결과들도 나타나고 있어 변온동물에 대한 환경지리학적 법칙의 적용에는 논쟁의 여지가 있다(Ashton 2002; Bancilă et al. 2009; Cvetković et al. 2009).

청개구리과(Hylidae)에 속하는 청개구리(*Hyla japonica*)는 한국, 중국, 일본, 러시아, 몽골 등 동북아시아 지역에 넓게 분포하는 소형 양서류이다(Stejneger 1907; Inukai and Ochiai 1931; IUCN 2014). 주로 습지, 논, 웅덩이, 숲 등에서 서

식하며, 국내에도 유사한 환경에서 쉽게 관찰된다. 한국에 서식하는 청개구리는 해안가에서부터 한라산 정상(해발 1,950m)에 관찰되며, 육지에서 멀리 떨어진 크고 작은 섬에도 서식하는 등 분포 범위가 매우 넓은 종이다(고 등 2009; 김 2009; 송과 이 2009; 송 2010; 장과 서 2010; Chang et al. 2011; 이 등 2012). 이처럼 한국산 청개구리는 지역에 따른 구분 없이 다양한 환경에 적응하여 서식하기 때문에 환경지리학적 범칙들과 같이 환경에 따라 나타나는 개체 혹은 집단 차이를 연구하는데 적합한 종이라 할 수 있다

본 연구에서는 한반도 청개구리 집단 간의 외부형질 비교를 통하여, 서식지 환경에 영향으로 나타나는 몸 크기의 다양성 파악하고, 집단 사이에 이러한 몸 크기의 차이가 환경지리학적인 범칙들과 어떠한 연관성을 보이고 있는지 밝히고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 지역

본 연구는 2012부터 2013년까지 청개구리의 번식이 활발하게 이루어지는 시기(4월-9월)에 한반도 남부 지역에 위치한 전라북도 부안군(Buan-gun), 임실군(Imsil-gun), 경상남도 함양군(Hamyang-gun), 울산시(Ulsan-si), 경상남도 거제시(Geje-si), 전라남도 완도군(Wando-gun), 제주도(Jeju Island)에서 이루어졌다(Fig. 1).

제시된 Table 1은 한반도 남부에서 관찰한 청개구리의 서식지 정보이다. 부안군과 울산시는 바다와 인접해 해양성 기후에 영향을 받는 지역으로 청개구리의 번식 활동은 주로 농경지나 습지 주변에서 이루어졌다(Fig. 3A). 임실군과 함양군의 또한 농경지와 습지를 중심으로 번식활동이 관찰 되었고, 앞선 두 지역(부안군과 울산군)과 비슷한 위도(altitude)에 위치지만, 내륙성 기후의 영향을 받아 비교적 기온이 낮은 지역이다(Fig. 3B). 거제도와 완도군은 섬 지역이지만 다른 지역과 마찬가지로 농경지와 습지 등을 중심으로 번식이 이루어지는 것을 확인하였다(Fig. 3C). 제주도는 화산 활동(volcanic activity)에 의해 형성된 지역으로 해양성 기후의 영향을 받아 고온 다습하다. 좌우로 긴 형태인 제주도는 한라산이 중앙에 위치하고 있으며, 해안에서 산 정상까지 해발 0m에서 1,950m까지의 고도를 보이고 있다. 이러한 기후와 고도는 한라산에 형성된 난대성 식물대(subtropical plants)부터 고산 식물대(alpine plants)까지 다양하고 뚜렷한 식생대의 원인이 된다. 다른 조사지역과는 달리 제주도에선 청개구리의 주요한 번식지인 농경지가 없기 때문에 대부분의 번식 활동은 우천시 임시적으로 형성되는 웅덩이와 습지 등지에서 이루어진다(고 등 2009; 고 2012).

위도에 비하여 고도 변화가 뚜렷한 제주도에 서식하는 집단간의 차이를 분석하기 위하여 조사지역을 고도별로 세분화 하였으며(Fig. 2), 환경적 차이를 줄이기 위해 하천(건천)에 형성된 웅덩이에 번식활동을 하는 집단만 조사하였다(Table

2). 봉개동(Bonggae-dong)은 화산활동에 의해 형성된 화산암 계곡 지역으로 대부분 마른 건천의 형태를 보이나 우천이나 장마시 일시적으로 생긴 현무암(basalt) 위 웅덩이에서 번식이 이루어진다(Fig. 3D). 안덕면 감산리(Gamsan-ri)의 경우 제주도 남부 해안가 갯바위에 빗물이 고여 형성된 지역으로 파도에 의해 바닷물이 지속적으로 첨가되고 있어, 기수역에 서식하는 물고기들이 관찰됨에도 불구하고, 청개구리의 번식이 이루어지는 곳이다(Fig. 3E). 서귀포시 천지동(Cheonji-dong)에 청개구리 서식지는 새섬(Saesum)이라 불리는 작은 무인도에서 확인되었다. “새연교”라 불리는 다리로 연결 되어있으며, 이 지역 또한 바위 위에 형성된 웅덩이에서 번식이 이루어지고 있으며, 파도에 의해 해수가 유입되는 곳이다(Fig. 3F).

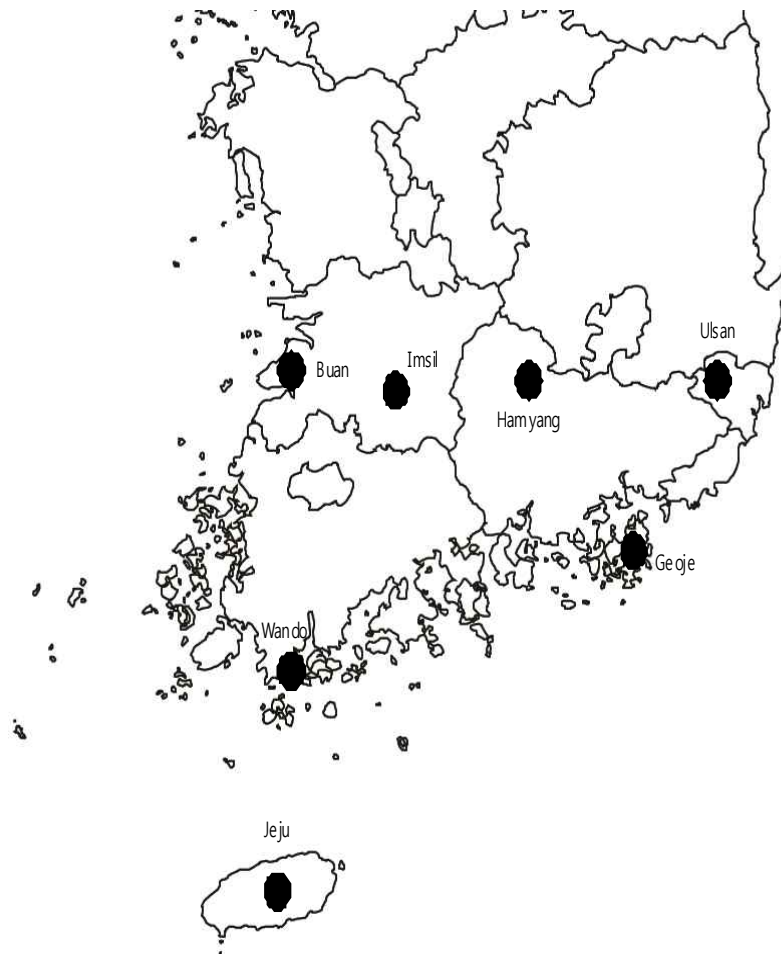


Figure 1. Map of the research areas in the Korean Peninsula.

Table 2. Research areas in the Korean Peninsula

Location	Date	Altitud (m)	Size (Km ²)	Coordinate	Type of breeding site
Buan-gun, Jeollabuk-do	June 2013	5	-	35° 39'N 126° 31'E	rice field
Imsil-gun, Jeollabuk-do	May 2013	252	-	35° 41'N 127° 16'E	rice field
Ulsan-si	August 2013	205	-	35° 38'N 129° 09'E	rice field
Hamyang-gun, Gyeongsangnam-do	July 2013	185	-	35° 31'N 127° 42'E	rice field
Geoje-si, Gyeongsangnam-do	August 2013	17	402.0	35° 0'N 128° 42'E	rice field (island)
Wando-gun, Jeollanam-do	June 2012	10	97.0	34° 18'N 126° 43'E	rice field (island)
Jeju-do	2012 - 2013	250	1849.2	33° 20'N 126° 31'E	temporal pond on volcanic rock (island)

Table 2. Research areas in Jeju Island

Location	Date	Altitude (m)	Coordinate	Type of breeding site
Bonggae-dong, Jeju-si	May 2012	497	33° 25'N 126° 38'E	temporal pond on volcanic rock
Gamsan-ri, Seogwipo-si	June to July 2012	11	33° 14'N 126° 21'E	temporal pond on volcanic rock (coast)
Cheonji-dong, Seogwipo-si	April to June 2012 June 2013	7	33° 14'N 126° 33'E	temporal pond on volcanic rock (island)

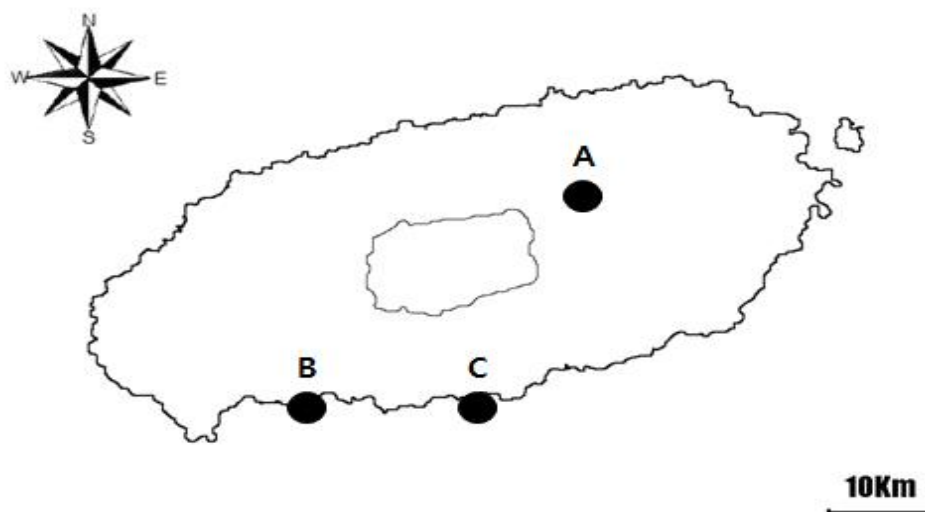


Figure 2. Map of the research areas in Jeju Island. A) Bonggae, B) Gamsan (coast) and C) Cheonji (= Saesum, island).

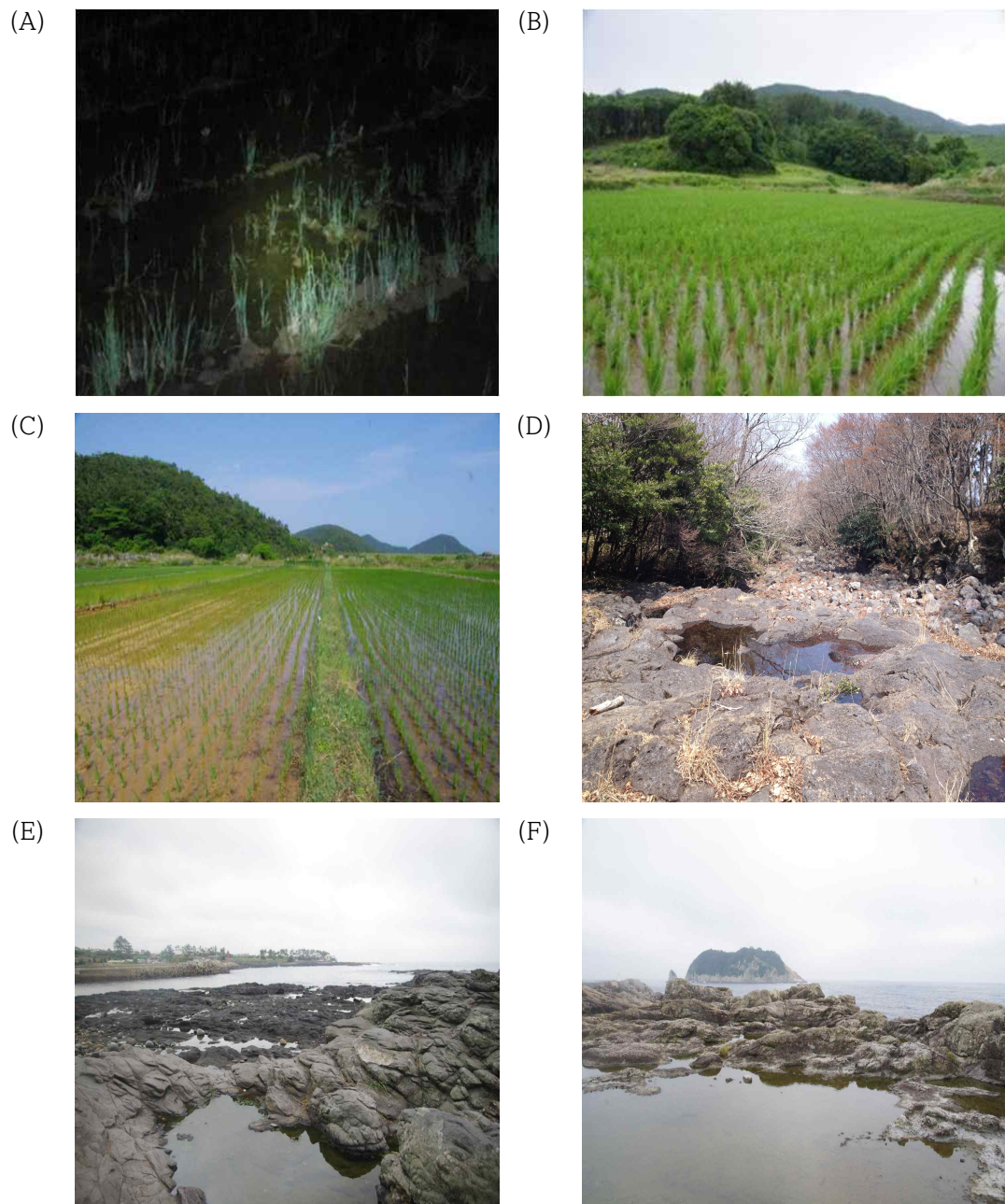


Figure 3. Photographs of the breeding sites in the research areas. A) Buan, B) Imsil, C) Wando, D) Bonggae, E) Gamsan, F) Cheonji.

2. 외부 형질 측정

청개구리는 채색, 크기, 발가락의 형태 등으로 동정하였고, Stejneger(1907)과 이 등 (2012)을 참고하였다. 일반적으로 청개구리는 쉽게 동정이 가능하지만 수원청개구리 (*H. suwonensis*)와 동일한 지역에 서식한 경우는 외형적 차이만으로 동정하는 것이 어렵기 때문에 울음소리를 통하여 구별하였다(Yang et al. 1981; Yang and Park 1988; Kim et al. 2012a, b). 수컷과 암컷의 판별은 울음소리, 목 밑에 울음주머니, 발가락의 생식 혹, 암컷 배 속의 알 등의 유무로 판단하였으며, 번식기간 중 번식활동에 참여하는 성체를 대상으로 채집하였다(Fig. 4).

일반적으로 양서류에게 적용되는 외부형태측정은 다양한 부위에서 이루어진다(Stejneger 1907; Kim et al. 2003; Laugen et al. 2003; Bancilă et al. 2009; Cvetkovic et al. 2009). 본 연구에서는 크기 비교를 위한 형질로 코끝부터 몸통까지의 길이(snout-ventral length, SVL)와 머리 폭(head width, HW), 몸무게(body weight, BW)를 측정하였다(Fig. 5). 길이는 디지털 캘리퍼스(digital caliper, Mitutoyo, Japan)를 이용하여 0.01 cm 단위까지 몸무게는 외부 수분을 제거한 후 휴대용 저울(FX-300i, AND KOREA, Korea)을 이용하여 0.01 g 단위까지 측정하였다. 정밀한 측정을 위해 MS-222 마취제(0.5%)를 사용하였고(Park et al. 2003; Cakir and Strauch 2005; Cecala et al. 2007), 개체의 움직임에서 둔화가 나타나는 시간(약 1-5분)까지 담가두었다. 측정이 끝난 후 뼈를 이용한 나이분석을 위하여 발가락을 하나씩 절단하였고, 감염을 막기 위하여 소독약과 연고를 발라 주었다. 수집된 발가락은 이후 집단의 연령구조 분석을 위한 연구를 위해 70% alcohol에 보관하였다. 마취에서 깬 개체들은 처음 채집한 장소에 풀어주었다.



Figure 4. Amplexus (top) and calling males (bottom) of *H. japonica* in the research areas.

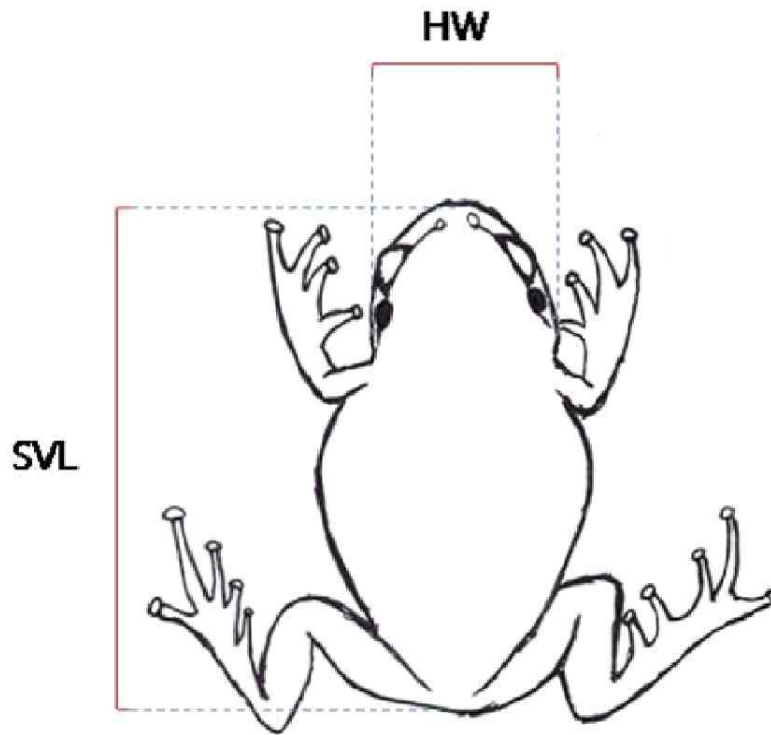


Figure 5. Measured external characteristics of *H. japonica*. Snout-vent length (SVL), head width (HW), body weight (BW).

3. 환경 요소 조사

모든 조사한 서식지에 위도와 고도를 휴대용 GPS(oregon 550, garmin)로 기록하였고, 각 지역의 온도자료는 기상청(Korea Meteorological Administration, KMA)에서 제공하는 기상청 연·월보(부안군, 임실군, 울산시, 거제시, 완도군, 제주도; 2007 - 2013)와 방재기상 연·월보(함양군, 봉개동, 감산리, 천지동; 2007 - 2013) 자료를 활용하였다(기상청 2007-2013). 서식지의 유형(type of habitats)은 크게 내륙(inland)과 해안(coast) 그리고 섬(island)으로 나누었고, 서식지의 면적(size of habitats)은 지역 집단이 섬에 위치하는 경우에만 대상으로 하였다.

4. 통계 분석

현장 조사를 통해 수집된 자료들은 SPSS ver. 18(Statistical Package for the Social Sciences, version 18.0)을 이용하여 분석하였다. 측정된 형질들 간의 관계 및 환경 요소(고도, 위도, 유형, 면적, 기온)와 집단의 크기와의 관계는 Person's correlation analysis를 이용하여 분석하였다. 집단별 형질의 차이 분석은 one way ANOVA(analysis of variation, with Turkey test, post hoc)와 Kruskal wallis test를 사용하였고, 성별에 대한 크기의 차이는 대응 표본 검정(paired samples t-test)과 비모수 독립 2-표본 검정(Mann-whitney u-test)을 사용하여 분석하였다.

III. 결 과

1. 한반도 집단

총 442마리(수컷 366, 암컷 71)의 청개구리를 채집하여, 외부 형질을 측정하였다(Table 3). 지역별 개체의 크기는 제주도 집단의 수컷(SVL: 43.02mm; HW: 16.66mm; BW: 6.50g)과 암컷(SVL: 51.28mm; HW: 18.41mm; BW: 14.36g)이 가장 컸고, 임실의 수컷과 울산의 암컷이 측정한 형질에 따라 작았다(Table 3). 집단의 평균 또한 제주도의 수컷(SVL: 37.38 ± 2.90 mm; HW: 13.39 ± 1.10 mm; BW: 4.27 ± 0.93 g)과 암컷(SVL: 44.64 ± 0.62 mm; HW: 15.53 ± 0.22 mm; BW: 8.69 ± 0.89 g) 모두에서 다른 지역에 비해 큰 것으로 나타났다(Kruskal wallis test, $P < 0.05$). 반면, 가장 작은 집단의 크기는 수컷의 경우 임실(SVL, BW)과 부안(HW)에서 나타났고, 암컷의 경우 울산(SVL)과 함양(HW, BW)에서 나타났다(Kruskal wallis test, $P < 0.05$).

암컷과 수컷의 크기를 비교한 결과(Table 4), 암컷이 모든 형질이 수컷보다 컸으며(paired samples t-test, SVL: $t = -12.415$, $n = 72$; HW: $t = -8.320$, $n = 72$; BW: $t = -7.274$, $n = 55$), 집단별 암컷과 수컷의 크기 차이는 지역에 따라 다르게 나타났다 (Mann whitney u-test, $P < 0.05$).

측정한 형질간의 상관관계(Pearson's correlation analysis, $P < 0.05$)를 분석한 결과(Table 5), 수컷의 모든 형질은 다른 형질들과 상관관계가 있었으며(Fig. 6), 특히 SVL과 HW사이에 연관성이 가장 큰 것으로 나타났다($r = 0.945$, $n = 364$, $P < 0.001$). 암컷도 형질 간의 상관관계가 있었으며, SVL과 HW사이에서 가장 큰 연관성이 나타났다($r = 0.966$, $n = 76$, $P < 0.001$).

서식지별 환경 요소(위도, 유형, 면적)와 청개구리 크기의 상관관계(Pearson's correlation analysis)를 분석한 결과는 Table 6에 제시하였다. 청개구리의 크기와 위도사이에 관계는 수컷(SVL: $r = -0.728$, $n = 364$; HW: $r = -0.729$, $n = 364$; BW: $r = -0.766$, $n = 330$)과 암컷(SVL: $r = -0.783$, $n = 76$; HW: $r = -0.791$, $n = 71$) 모두에서 강한 음의 상관관계가 나타났다($P < 0.001$).

= 76; BW: $r = -0.793$, $n = 68$) 모두 높은 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다($P < 0.001$)(Fig. 7). 서식 지역을 유형별로 내륙(임실, 함양), 반도 혹은 해안(부안, 울산) 및 섬 지역(거제도, 완도, 제주도)으로 구분하여 서식지 유형과 청개구리 크기의 상관관계를 분석한 결과(Fig. 8), 수컷(SVL : $r = 0.621$, $n = 364$; HW : $r = 0.615$, $n = 364$; BW: $r = 0.558$, $n = 330$)과 암컷(SVL : $r = 0.759$, $n = 76$; HW : $r = 0.765$, $n = 76$; BW : $r = 0.729$, $n = 68$) 모두에서 바다와 많이 접하고 있는 지역일수록 청개구리의 크기가 커지는 경향성이 나타났다($P < 0.001$). 또한 섬 지역의 면적(거제도, 완도, 제주도)과 크기와의 관계는 수컷(SVL: $r = 0.544$, $n = 211$; HW: $r = 0.544$, $n = 211$; BW: $r = 0.647$, $n = 177$)과 암컷(SVL: $r = 0.348$, $n = 45$; HW: $r = 0.388$, $n = 45$; BW: $r = 0.374$, $n = 37$) 모두 유의수준 내에서 양의 상관관계를 보였다(Fig. 9).

Table 7에 제시한 바와 같이 2007년부터 2013년까지 지역별 평균 기온은 제주도가 연중 가장 높은 온도를 유지한 반면, 임실은 같은 기간 동안 가장 낮은 기온을 기록하였다(Fig. 10). 이를 바탕으로 기온과 청개구리 크기의 관계를 분석한 결과(Table 6), 수컷(Pearson's correlation analysis, SVL: $r = 0.702$, $n = 364$; HW: $r = 0.701$, $n = 364$; BW: $r = 0.651$, $n = 330$)과 암컷(SVL: $r = 0.808$, $n = 76$; HW: $r = 0.817$, $n = 76$; BW: $r = 0.789$, $n = 68$) 모두에서 기온과 높은 양의 상관관계를 보였다($P < 0.001$)(Fig. 11).

Table 3. Mean \pm SE of the external characteristics on *H. japonica* in the Korean Peninsula

Population (n = male / female)	Mean \pm SE (range)					
	Male (n = 366)			Female (n = 76)		
	SVL (mm)	HW (mm)	BW (g)	SVL (mm)	HW (mm)	BW (g)
Buan (n = 57 / 3)	31.40 \pm 2.40 (27.01 - 36.88)	10.88 \pm 0.92 (8.86 - 12.80)	2.59 \pm 0.50 (1.60 - 3.50)	36.21 \pm 1.85 (34.97 - 38.34)	12.23 \pm 0.37 (11.81 - 12.51)	3.73 \pm 0.35 (3.40 - 4.10)
Imsil (n = 57 / 0)	30.98 \pm 0.30 (27.00 - 37.38)	10.95 \pm 0.12 (9.40 - 13.25)	2.43 \pm 0.07 (1.70 - 4.00)	-	-	-
Hamyang (n = 17 / 19)	31.67 \pm 0.50 (28.40 - 36.53)	11.27 \pm 0.15 (10.05 - 12.37)	2.20 \pm 0.11 (1.73 - 3.38)	34.51 \pm 0.49 (30.96 - 38.88)	11.74 \pm 0.20 (9.90 - 13.47)	2.91 \pm 0.14 (1.70 - 3.78)
Ulsan (n = 23 / 9)	32.08 \pm 0.36 (28.77 - 36.76)	11.43 \pm 0.16 (10.38 - 13.26)	2.30 \pm 0.10 (1.41 - 3.45)	34.25 \pm 0.81 (29.62 - 37.12)	12.00 \pm 0.31 (10.71 - 13.17)	3.09 \pm 0.30 (1.93 - 4.84)
Geoje (n = 36 / 1)	34.06 \pm 0.31 (30.27 - 38.00)	12.18 \pm 0.13 (10.85 - 13.82)	2.61 \pm 0.07 (1.69 - 3.51)	39.41	13.56	4.88
Wando (n = 33 / 3)	33.31 \pm 0.37 (27.31 - 36.91)	11.82 \pm 0.14 (10.05 - 13.25)	2.99 \pm 0.11 (1.66 - 4.28)	39.73 \pm 1.76 (37.25 - 43.14)	13.47 \pm 0.72 (12.36 - 14.83)	5.38 \pm 0.47 (4.79 - 6.30)
Jeju (n = 143 / 41)	37.38 \pm 2.90 (30.03 - 43.02)	13.39 \pm 1.10 (10.90 - 16.66)	4.27 \pm 0.93 (2.46 - 6.50)	44.64 \pm 0.62 (35.24 - 51.28)	15.53 \pm 0.22 (12.45 - 18.41)	8.69 \pm 0.89 (3.58 - 14.36)

* note : snout-vent length (SVL), head width (HW), body weight (BW)

Table 4. Size difference between sexes of *H. japonica* in the Korean Peninsula ($P < 0.05$)

Paired samples t-test, male - female				
Population		SVL	HW	BW
Korean Peninsula (n = 366 / 76)	t	-12.415	-8.320	-7.274
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001
	df	72	72	55
Mann-whitney u-test, male - female				
Buan (n = 57 / 3)	P	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Imsil (n = 57 / 0)	P	-	-	-
Hamyang (n = 17 / 19)	P	< 0.05	0.102	< 0.05
Ulsan (n = 23 / 9)	P	0.152	0.257	0.113
Geoje (n = 36 / 1)	P	-	-	-
Wando (n = 33 / 3)	P	< 0.05	0.113	< 0.05
JeJu (n = 143 / 41)	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Table 5. Relationship between the external characteristics of *H. japonica* in the Korean Peninsula (Pearson's correlation analysis, $P < 0.05$)

External traits		Male		Female	
		HW	BW	HW	BW
SVL	r	0.945	0.926	0.966	0.933
	P	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
	n	364	330	76	68
BW	r	0.884		0.918	
	P	$P < 0.001$		$P < 0.001$	
	n	330		68	

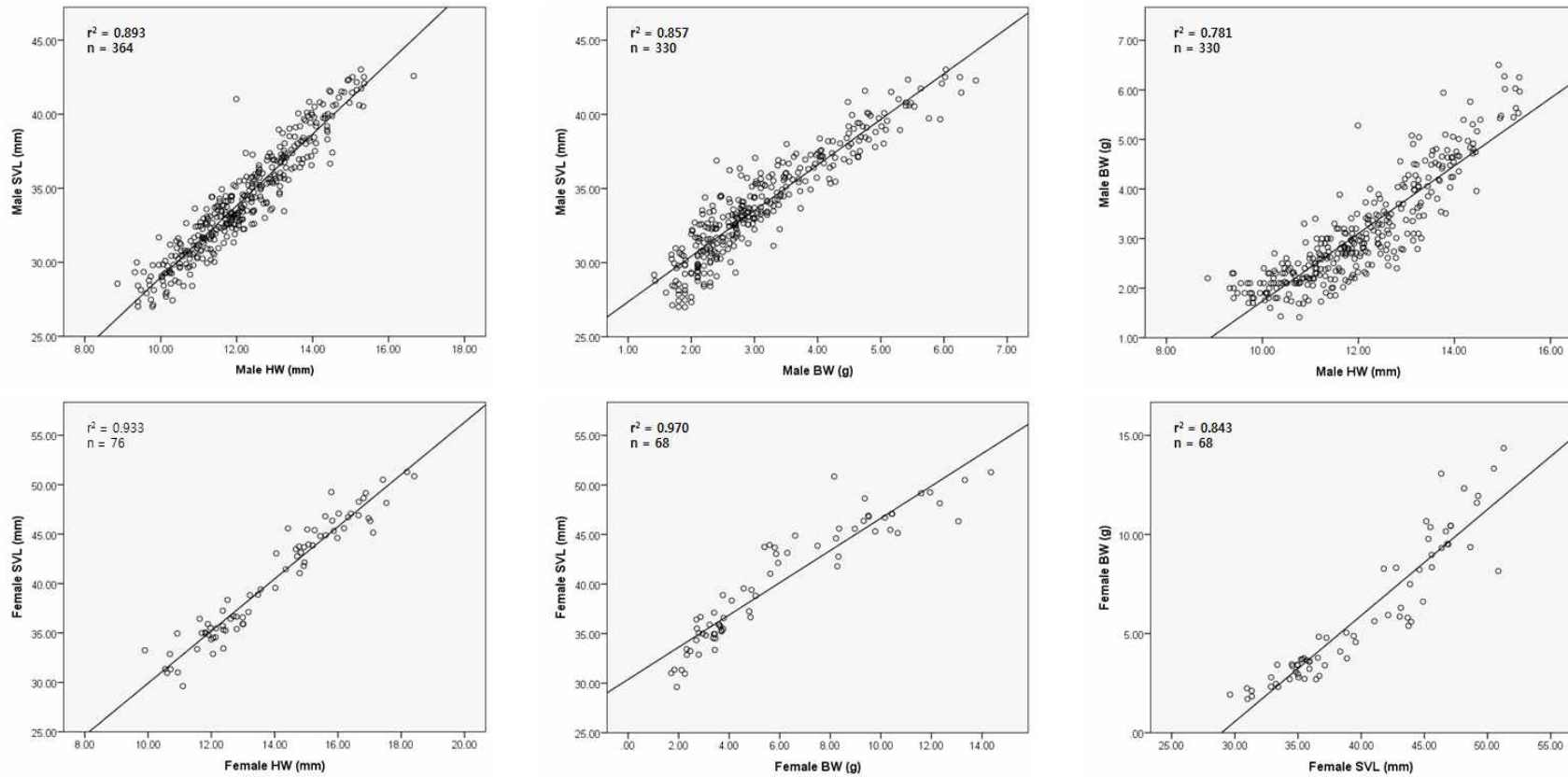


Figure 6. Relationship between the external characteristics of *H. japonica* in the Korean Peninsula.

Table 6. Relationship between the environmental factors and the external characteristics of *H. japonica* in the Korean Peninsula (Pearson's correlation analysis, $P < 0.05$)

Environmental factors		Male			Female		
		SVL	HW	BW	SVL	HW	BW
Latitude	r	-0.728	-0.729	-0.766	-0.783	-0.791	-0.793
	P	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
	n	364	364	330	76	76	68
Type of habitat	r	0.621	0.615	0.558	0.759	0.765	0.729
	P	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
	n	364	364	330	76	76	68
Size of habitat (island only)	r	0.544	0.544	0.647	0.348	0.388	0.374
	P	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
	n	211	211	177	45	45	37
Temperature	r	0.702	0.701	0.651	0.808	0.817	0.789
	P	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
	n	364	364	330	76	76	68

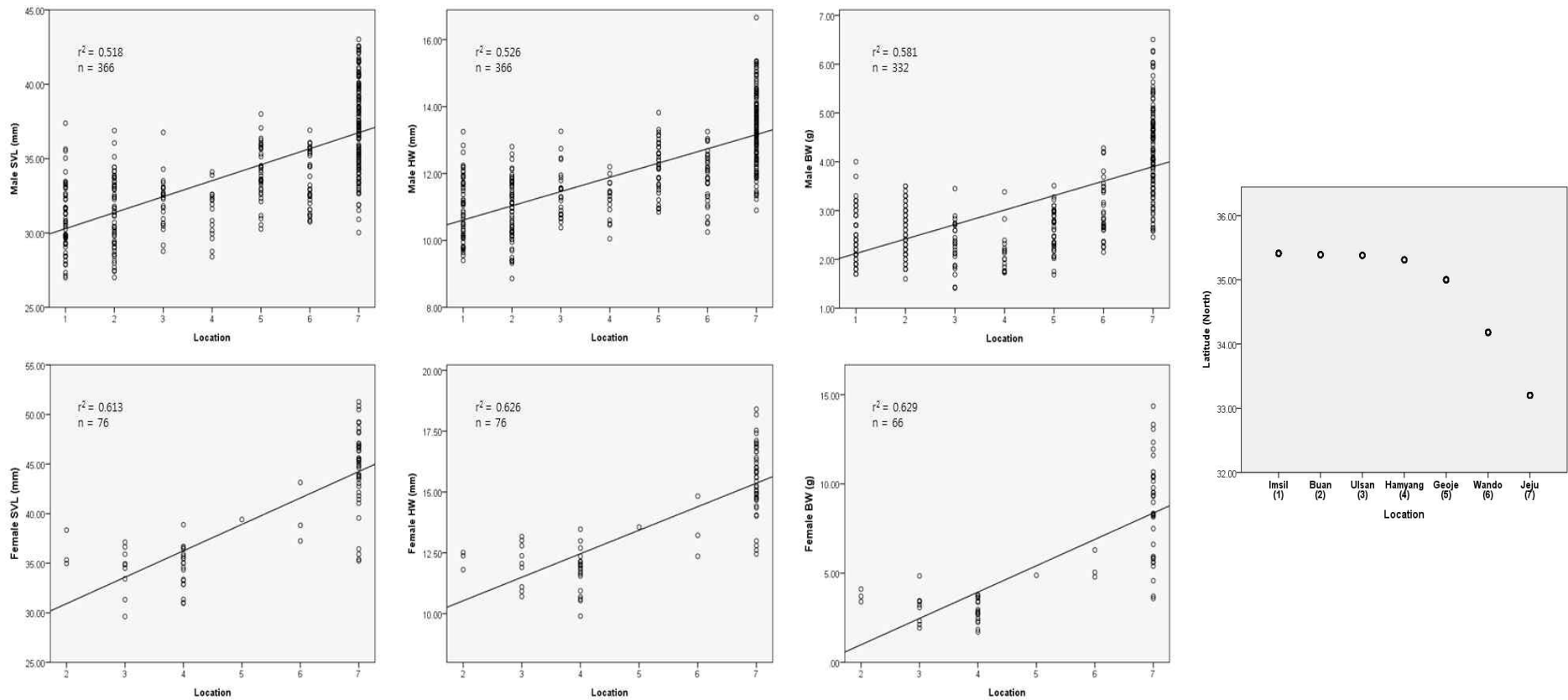


Figure 7. Relationship between the latitude of habitats and the external characters of *H. japonica* in the Korean Peninsula. 1) Imsil, 2) Buan, 3) Ulsan, 4) Hamyang, 5) Geoje, 6) Wando, 7) Jeju.

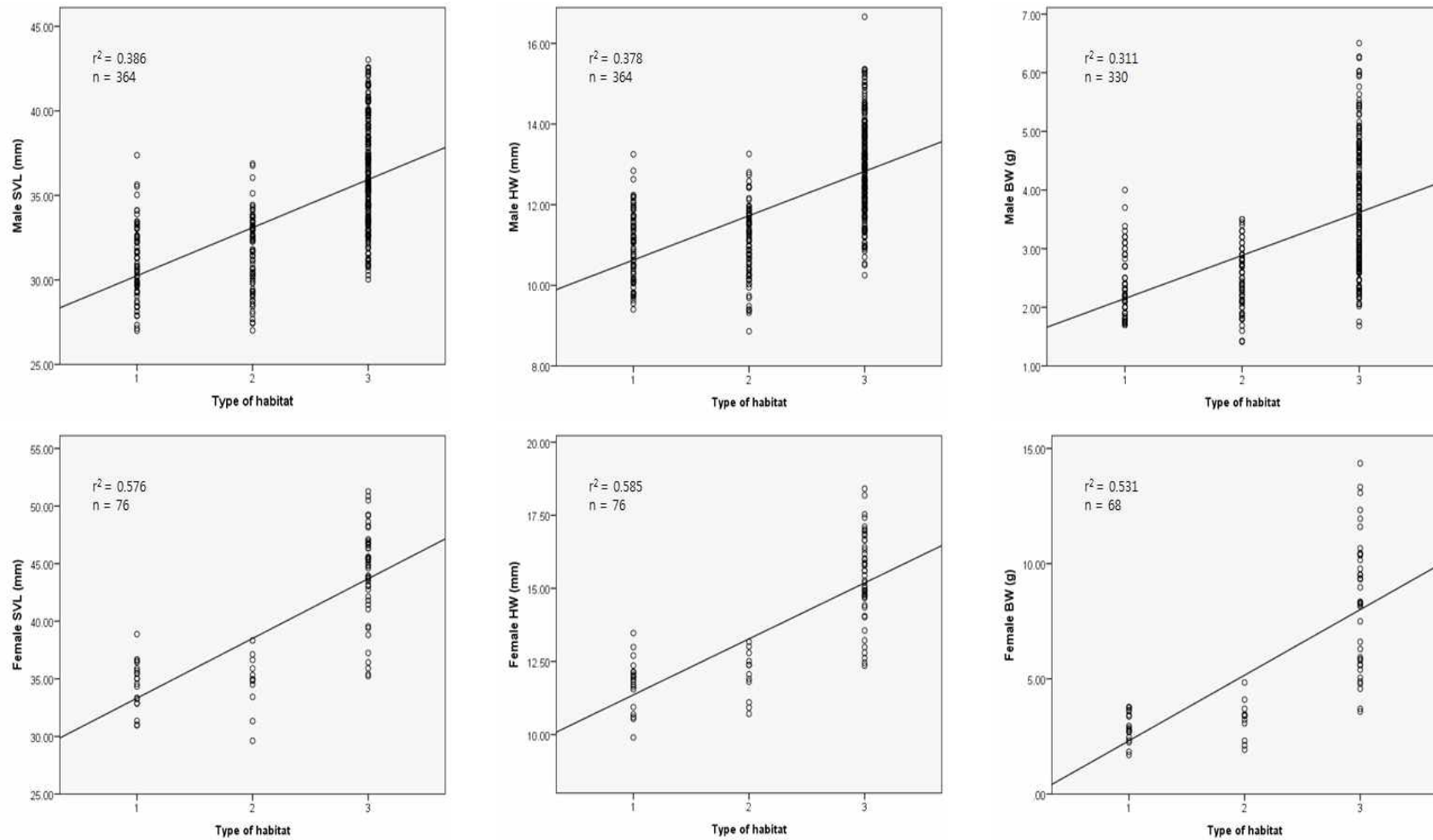


Figure 8. Relationship between the type of habitats and the external characteristics of *H. japonica* in the Korean Peninsula. 1) Inland, 2) coast, 3) island.

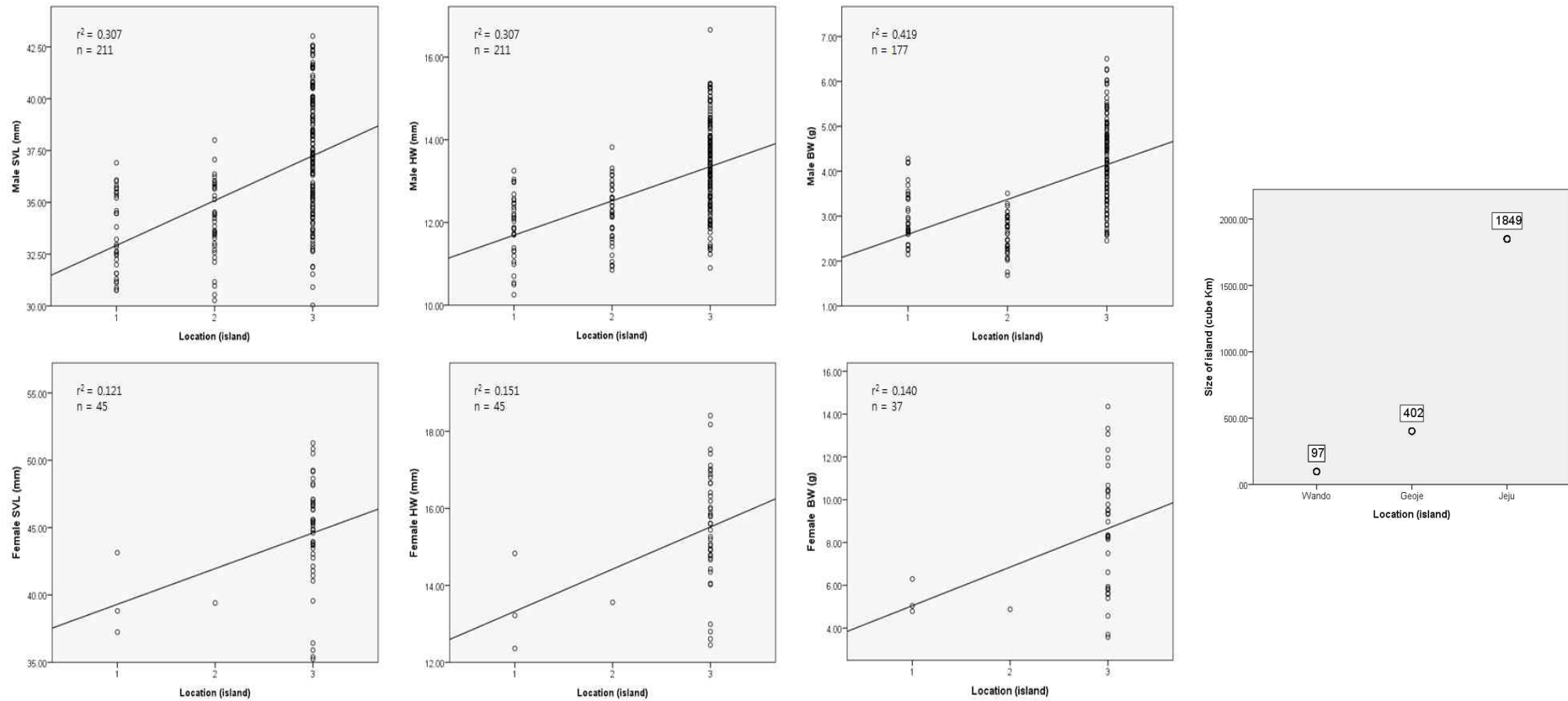


Figure 9. Relationship between the size of islands and the external characteristics of *H. japonica* in the Korean Peninsula. 1) Wando, 2) Geoje, 3) Jeju.

Table 7. The temperature of habitats in the Korean Peninsula (2007-2013)

(°C)

Location	Year	January	February	March	April	May	June	July	August	October	September	November	December
Buan	2007	2.9	4.7	7	10.9	17.3	21.5	24.3	27.4	22.4	16.9	9.7	5.1
	2008	1.3	0.9	6.6	11.8	16.5	20.3	25.8	25.9	23.1	17.8	10.7	4.8
	2009	1.4	3.8	6.1	10.6	16.8	21.4	24.2	25.5	22.2	18	9.9	3
	2010	0.2	2.8	5.6	8.9	15.9	20.7	25.6	27.8	23.4	15.8	9.4	2.9
	2011	-2.8	1.3	3.9	9.3	16.5	20.8	24.7	24.6	20.8	14.9	12.3	2.6
	2012	0.1	-0.4	4.3	11	16.5	20.6	24.5	26.5	20.6	15.8	8.5	0.2
	2013	-1.7	0.6	5.3	9.5	17.0	22.4	26.7	27.7	21.5	15.5	8.0	2.3
	Mean	0.2	2.0	5.5	10.3	16.6	21.1	25.1	26.5	22.0	16.4	9.8	3.0
Imsil	2007	-1.2	2.5	5.5	9.3	16.1	21.1	23.7	25.6	20.8	12.9	4.1	0.9
	2008	-2	-2.9	5.3	11.6	16.1	20.3	25.4	23.7	21.1	14.3	6.1	0.3
	2009	-3.1	2.8	5.7	11	17.3	21.2	23.5	24.3	20.2	13.5	6.4	-0.5
	2010	-2.8	1.7	4.9	8.9	16.7	22.3	25.1	25.8	20.7	12.4	4.3	-1.6
	2011	-8.2	-0.4	1.9	9.4	16.4	21.6	24.4	24.1	19.8	11.6	9.5	-1.3
	2012	-3.5	-2.8	3.8	10.9	17.4	21.1	24.1	25.3	18.5	11.6	4.4	-3.8
	2013	-4.4	-1.2	4.8	8.4	16.4	22.0	25.2	25.9	19.8	13.5	5.1	-0.6
	Mean	-3.6	0.0	4.6	9.9	16.6	21.4	24.5	25.0	20.1	12.8	5.7	-0.9
Wando	2007	4.9	7.3	9	12.8	17.3	20.6	23.8	26.8	23.5	18.3	11.1	7
	2008	3.8	3	8.9	13.6	17.1	20.1	25.6	25.6	23.8	18.8	11.5	6.3
	2009	3.5	7	8.7	12.9	17.7	20.7	23.9	25.4	22.8	18.4	11	5.3
	2010	2.9	5.3	7.9	11.1	16.4	20.8	24	26.8	23.9	17.6	10.3	4
	2011	-1.3	3.4	5.2	10.6	16.4	20	24.2	24.3	21.5	15.4	13.3	3.6
	2012	2.1	1.7	6.8	12.2	17.1	20.5	23.7	26.8	21.1	16.5	9.7	3.2
	2013	1.3	2.9	7.8	11.7	18.1	22.3	27.2	28.3	23.2	17.9	9.8	4.5
	Mean	2.5	4.4	7.8	12.1	17.2	20.7	24.6	26.3	22.8	17.6	11.0	4.8
Hamyang	2007	1.8	5	8.2	12.9	19.1	23.2	25.3	27.5	21.3	14.7	6.8	2.9
	2008	0.6	0.2	7.5	13.5	18.2	20.7	27.3	24.8	21	14.6	6.6	0.7
	2009	-1.9	3.6	6.6	12.9	18.1	22.3	23.7	24.1	20.6	13.9	7.2	0.8
	2010	-1.2	2.4	5.4	9.6	17.1	22.8	25.2	26.7	21.3	13.5	5.7	0.4
	2011	-3.9	1.5	4.8	11.8	17.6	23	25.5	25	20.9	12.9	10.5	0.8
	2012	-1	-0.5	6	12.8	18.8	22.3	26.1	26.1	19.7	13	6.1	-1.9
	2013	-2.8	0.3	6.6	9.4	17.6	22.5	25.5	26.3	19.4	13.7	5.8	0.6
	Mean	-1.2	1.8	6.4	11.8	18.1	22.4	25.5	25.8	20.6	13.8	7.0	0.6

Table 7. The temperature of habitats in the Korean Peninsula (2007–2013)

(°C)

Location	Year	January	February	March	April	May	June	July	August	October	September	November	December
Geoje	2007	5.8	8.2	9.2	13.4	18.3	21	24	27.2	23.6	18.9	11.9	7.1
	2008	2.7	2.4	8.9	13.8	18	20.7	27.1	26.2	23.6	19.1	11.4	5.8
	2009	4.2	8.7	10.4	14.8	18.9	22	24.5	25.9	23.7	19.7	12	6.5
	2010	4.1	6.4	8.6	11.9	17.7	20.6	24.5	27.2	23.8	18	11.1	5.9
	2011	0.3	5.8	7.1	12.4	16.1	19.9	23.8	24.5	22.2	16.9	13.6	4.9
	2012	3.2	3.1	8.3	13.1	17.2	19.9	24	26	21.1	17	10.1	3.5
	2013	1.7	3.7	9.7	12.3	18.4	22.2	26.7	28.2	23.2	18.1	10.0	5.0
	Mean	3.1	5.5	8.9	13.1	17.8	20.9	24.9	26.5	23.0	18.2	11.4	5.5
Ulsan	2007	3.6	6.1	8.6	13.3	19	21.6	23.9	27	21.7	16.4	9	5
	2008	2.1	1.9	8.3	13.9	18.3	20	27.2	25.1	21.9	16.9	9.6	4
	2009	1.1	6.4	8.8	13.9	19.4	22.4	23.8	24.4	21.4	16.7	8.7	2.7
	2010	0.5	3.5	6.3	10	17.2	21.9	25	27.1	21.9	15.5	7.6	2.4
	2011	-2.5	3.2	5.8	11.9	16.9	21.9	25.2	24.7	21.2	14.7	11.3	2.3
	2012	0.7	0.4	6.6	13.4	18.4	21.1	25.9	25.9	20.2	14.7	7.7	0.2
	2013	0.9	3.4	9.4	12.1	18.4	22.0	27.8	29.0	22.8	17.7	9.8	4.3
	Mean	0.9	3.6	7.7	12.6	18.2	21.6	25.5	26.2	21.6	16.1	9.1	3.0
Jeju	2007	7.2	9.1	10.8	13.9	18.9	21.5	24.8	28.1	23.3	18.3	12.0	9.6
	2008	6.4	5.1	10.0	14.2	17.2	20.8	27.2	26.7	23.9	19.3	13.0	8.4
	2009	5.5	8.7	9.8	13.7	18.6	22.6	25.8	25.6	22.9	19.0	12.4	7.3
	2010	5.3	7.3	9.3	11.8	17.3	21.2	25.9	28.8	24.2	17.6	11.7	7.1
	2011	2.3	7.0	7.8	13.2	18.2	21.7	27.3	26.0	23.1	17.9	15.7	7.1
	2012	5.4	4.8	9.0	14.5	19.0	22.3	26.6	27.8	22.0	18.4	12.0	6.6
	2013	5.6	6.2	10.0	13.5	18.6	21.7	28.7	29.1	24.0	19.2	12.9	8.1
	Mean	5.4	6.9	9.5	13.5	18.3	21.7	26.6	27.4	23.3	18.5	12.8	7.7

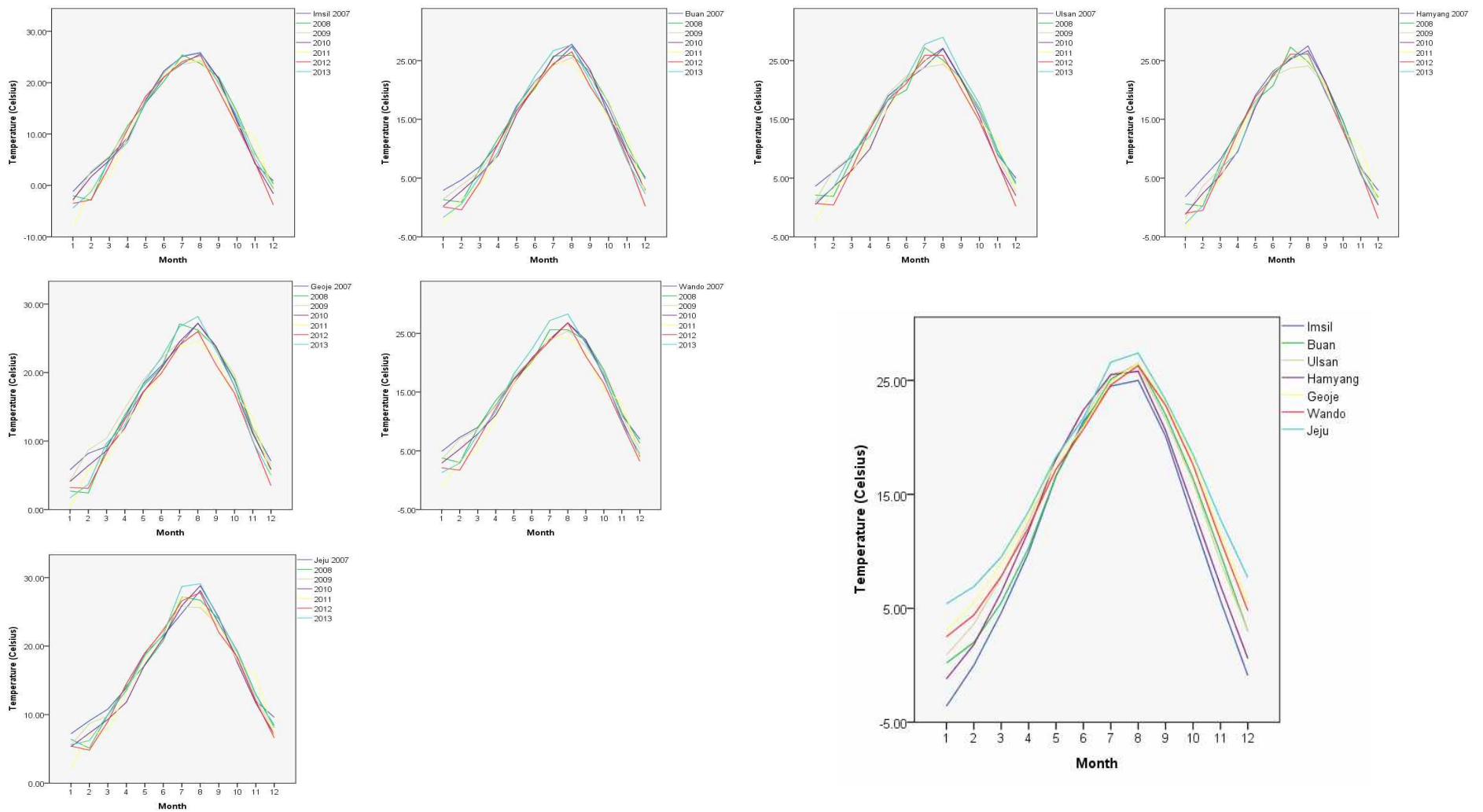


Figure 10. The monthly mean temperature of habitats in the Korean Peninsula (2007-2013).

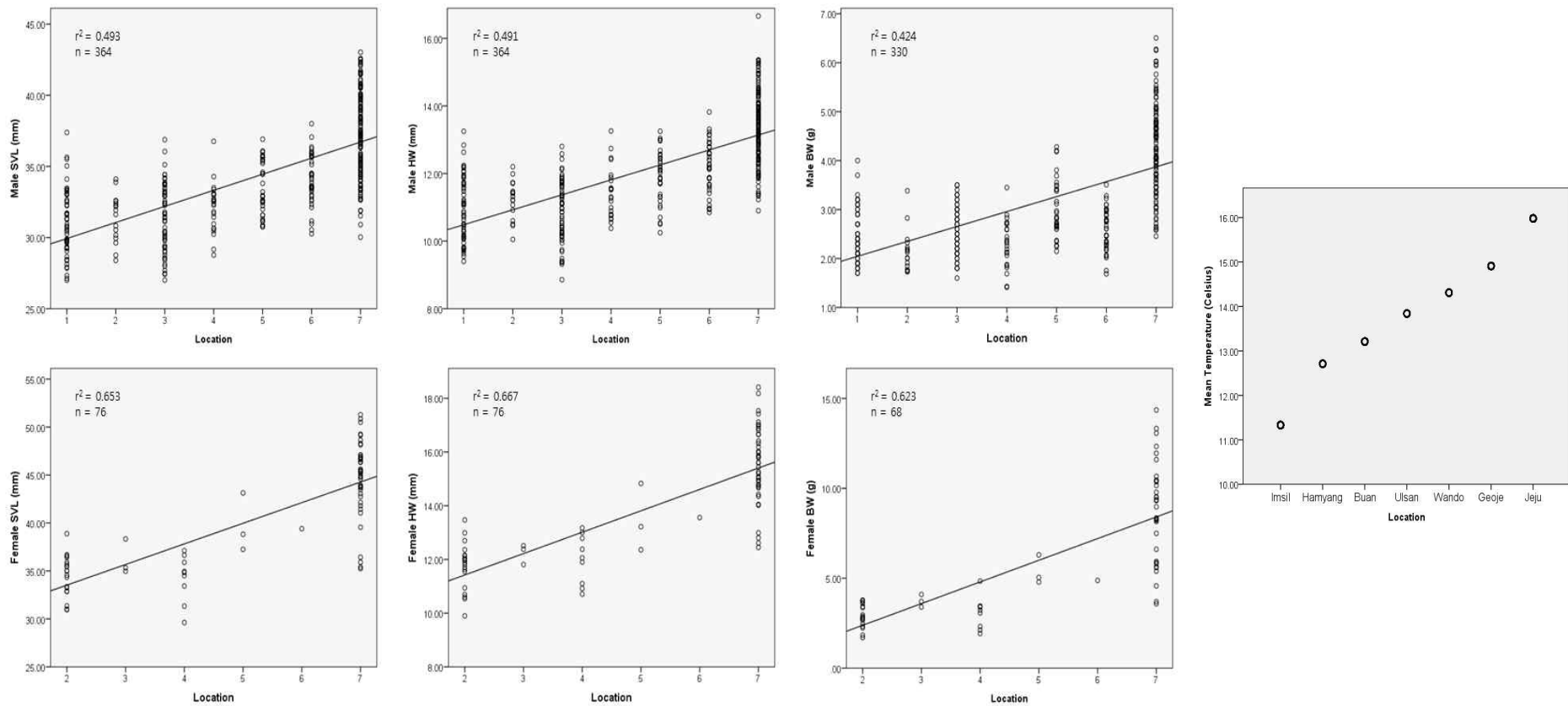


Figure 11. Relationship between the temperature of habitats and the external characteristics of *H. japonica* in the Korean Peninsula. 1) Imsil, 2) Hamyang, 3) Buan, 4) Ulsan, 5) Wando, 6) Geoje, 7) Jeju.

2. 제주도 집단

제주도 지역 서식지에서 총 184(수컷 143, 암컷 41)개체를 채집하여, 외부형질을 측정하였다(Table 8). 봉개에서 가장 큰 청개구리 수컷(SVL: 43.02mm, HW: 16.66mm, BW: 6.50g, n = 60)과 암컷(SVL: 51.28mm, HW: 18.41mm, BW: 14.36g, n = 29)이 나타났으며, 집단의 크기 또한 수컷(SVL: 39.51 ± 0.28 mm, HW: 14.07 ± 0.13 mm, BW: 4.84 ± 0.13 g, n = 60)과 암컷(SVL: 46.50 ± 0.43 mm, HW: 16.17 ± 0.19 mm, BW: 10.19 ± 0.4 g, n = 29)이 다른 지역에 비해 컸다(one way ANOVA, $P < 0.05$). 반면, 천지의 수컷과 암컷의 크기는 모든 형질에서 그 값이 작게 나타났고, 집단의 평균 크기 또한 수컷(SVL: 34.67 ± 0.25 mm, HW: 12.48 ± 0.09 mm, BW: 3.45 ± 0.1 g, n = 52)과 암컷(SVL: 36.88 ± 1.16 mm, HW: 13.04 ± 0.34 mm, BW: 3.64 ± 0.41 g, n = 5)이 가장 작은 것으로 나타났다($P < 0.05$).

제주도 청개구리 수컷과 암컷의 크기를 비교한 결과(Table 9), 모든 형질에서 암컷 우성의 성적크기이형성(sexual size dimorphism, SSD)이 나타났다(paired samples t-test, SVL: $t = -12.952$, n = 41; HW: $t = -8.962$, n = 41; BW: $t = -8.343$, n = 24, $P < 0.05$). 또한 수컷과 암컷의 크기를 서식지별로 비교한 결과(Table 9), 대부분의 지역에서 암컷의 크기가 큰 것으로 나타났다(Mann-Whitney U-test, $P < 0.05$). 지역 개체군간의 크기 차이를 분석한 결과(Table 10), 세 지역 개체군이 모두 다른 집단으로 구분되었다(One way ANOVA with post hoc, Turkey test, $P < 0.05$).

측정한 형질간의 상관관계($P < 0.05$)를 분석한 결과(Table 11), 수컷의 형질간에 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 특히 SVL과 BW($r = 0.922$, $P < 0.001$, n = 109)에서 높은 연관성을 보였다. 암컷 또한 형질간의 양의 상관관계를 나타냈고, SVL과 HW($r = 0.917$, $P < 0.001$, n = 109)에서 높은 상관성을 보여 주었다(Fig. 12).

각 서식지별 청개구리의 크기와 고도와의 상관관계(Pearson's correlation analysis, $P < 0.05$)를 분석한 결과(Table 12), 수컷(SVL: $r = 0.597$, n = 143; HW: $r = 0.507$, n = 143; BW: $r = 0.466$, n = 109, $P < 0.001$)의 크기와 고도사

이에는 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 수컷과 유사하게 암컷(SVL: $r = 0.701$, $n = 41$; HW: $r = 0.679$, $n = 41$; BW: $r = 0.733$, $n = 33$, $P < 0.001$)에서도 고도에 따라 몸이 커지는 경향성이 보였고, 수컷보다 비교적 높게 나타났다(Fig. 13).

2007년부터 2013년 사이에 제주도 서식지별 기온 자료는 Table 13에 제시하였다. 서식지별 기온을 분석한 결과(Table 14), 7년간 평균 온도는 천지(17.03 °C)가 가장 높았고, 이어서 감산(15.24 °C), 봉개(10.87 °C)순 나타났다, 계절별(봄 : 3-5월, 여름 : 6-8월, 가을 : 9-11월, 겨울 : 12-2월) 평균 기온 또한 천지지역이 가장 높았으며, 봉개지역이 가장 낮았다(Fig. 14).

서식지의 기온과 청개구리 크기의 상관관계를 분석한 결과(Fig. 15), 수컷(SVL: $r = -0.706$, $n = 143$; HW: $r = -0.616$, $n = 143$; BW: $r = -0.597$, $n = 109$, $P < 0.001$)과 암컷(SVL: $r = -0.800$, $n = 41$; HW: $r = -0.753$, $n = 41$; BW: $r = -0.805$, $n = 33$) 모두에서 음의 상관관계를 보여주었다($P < 0.001$).

Table 8. Mean \pm SE of external characteristics in the population of *H. japonica* in Jeju Island

Population (n = male/ female)	Mean \pm SE (range)					
	Male (n = 143)			Female (n = 41)		
	SVL (mm)	HW (mm)	BW (g)	SVL (mm)	HW (mm)	BW (g)
Bonggae (n = 60/29)	39.51 \pm 0.28 (33.63 - 43.02)	14.30 \pm 0.13 (10.90 - 16.66)	4.84 \pm 0.13 (2.92 - 6.50)	46.50 \pm 0.43 (41.79 - 51.28)	16.17 \pm 0.19 (14.42 - 18.41)	10.02 \pm 0.40 (6.61 - 14.36)
Gamsan (n = 31/7)	37.77 \pm 0.31 (33.15 - 41.59)	13.63 \pm 0.11 (11.92 - 14.46)	4.28 \pm 0.11 (2.59 - 5.08)	42.45 \pm 0.62 (39.56 - 43.95)	14.65 \pm 0.16 (14.02 - 15.07)	5.54 \pm 0.18 (4.57 - 5.94)
Cheonji (n = 52/5)	34.67 \pm 0.25 (30.03 - 38.51)	12.48 \pm 0.96 (11.23 - 13.97)	3.45 \pm 0.07 (2.46 - 4.56)	36.88 \pm 1.16 (35.24 - 41.44)	13.04 \pm 0.34 (12.45 - 14.35)	3.64 \pm 0.06 (3.58 - 3.70)
Total	37.38 \pm 2.90 (30.03 - 43.02)	13.39 \pm 1.10 (10.90 - 16.66)	4.27 \pm 0.93 (2.46 - 6.50)	44.64 \pm 0.62 (35.24 - 51.28)	15.53 \pm 0.22 (12.45 - 18.41)	8.69 \pm 0.89 (3.58 - 14.36)

Table 9. Size difference between sexes of *H. japonica* in Jeju Island ($P < 0.05$)

Paired samples T-test, male - female				
Population		SVL	HW	BW
Jeju Island (n = 143 / 41)	t	-12.952	-8.962	-8.343
	P	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
	df	40	40	23
Mann-Whitney U-test, male - female				
Bonggae (n = 60/29)	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Gamsan (n = 31/7)	P	< 0.01	0.001	0.001
Cheonji (n = 52/5)	P	0.088	0.088	-

Table 10. Comparison of the external characteristics among the populations of *H. japonica* in Jeju Island (One way ANOVA, with post hoc, Turkey test, $P < 0.05$), B = Bonggae, G = Gamsan, C = Cheonji

	Male			Female		
			P			P
SVL	B	G C	< 0.05	B	G C	< 0.05
	G	B C	< 0.05	G	B C	< 0.05
	C	B G	< 0.05	C	B G	< 0.05
HW	B	G C	< 0.05	B	G C	< 0.05
	G	B C	< 0.05	G	B C	< 0.05
	C	B G	< 0.001	C	B G	< 0.05
BW	B	G C	< 0.05	B	G C	< 0.05
	G	B C	< 0.05	G	B C	< 0.05 0.365
	C	B G	< 0.05	C	B G	< 0.05 0.365

Table 11. Relationship between the external characteristics of *H. japonica* in Jeju Island (Pearson's correlation analysis, $P < 0.05$)

		Male		Female	
		HW	BW	HW	BW
SVL	r	0.894	0.922	0.917	0.830
	P	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
	n	143	109	41	33
BW	r	0.846		0.798	
	P	$P < 0.001$		$P < 0.001$	
	n	109		33	

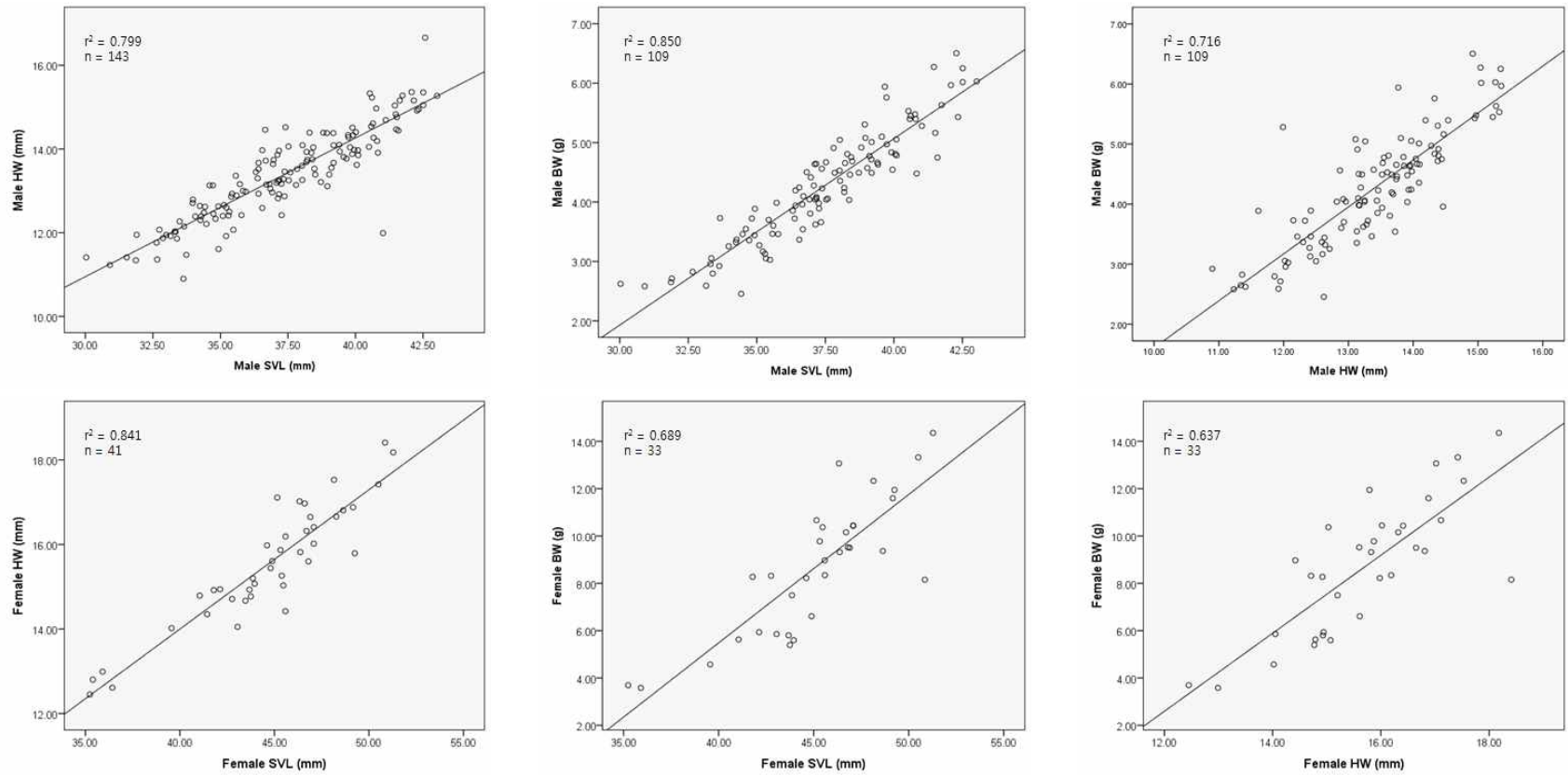


Figure 12. Relationship between the external characteristics of *H. japonica* in Jeju Island.

Table 12. Relationship between environmental factors of habitats and the external characteristics of *H. japonica* in Jeju Island
(Pearson's correlation analysis, $P < 0.05$)

Environmental factors of habitats		Male			Female		
		SVL	HW	BW	SVL	HW	BW
Altitude	r	0.597	0.507	0.466	0.701	0.679	0.733
	P	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
	n	43	43	109	41	41	33
Temperature	r	-0.706	-0.616	-0.597	-0.800	-0.753	-0.805
	P	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
	n	143	143	109	41	41	33

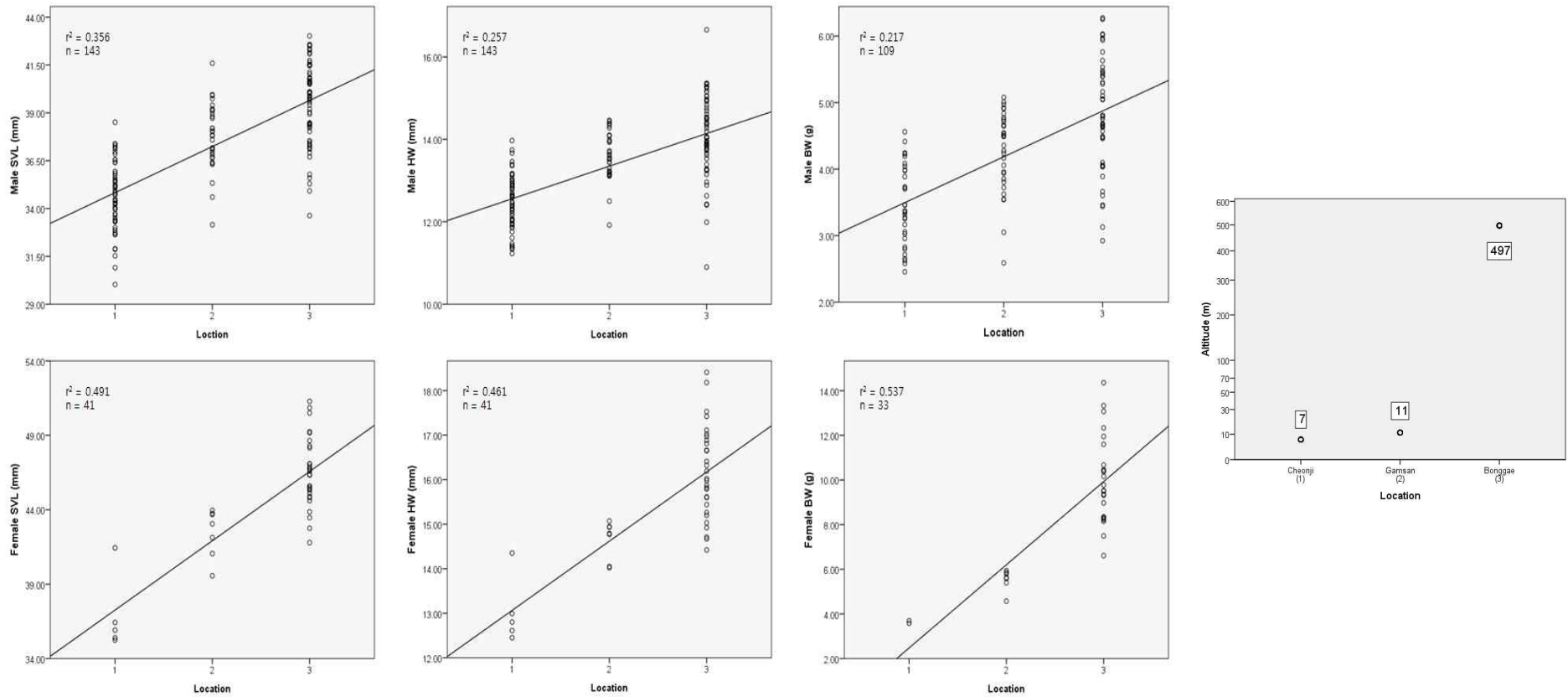


Figure 13. Relationship between the altitude of habitats and the external characteristics of *H. japonica* in Jeju Island

Table 13. The temperature of habitats in Jeju Island (2007-2013)

(°C)

Area	Year	January	February	March	April	May	June	July	August	October	September	November	December
Bonggae	2007	0.2	3.5	5.5	9.0	15.0	17.5	21.2	22.4	19.2	13.0	6.2	2.9
	2008	-0.2	-2.1	4.5	9.9	13.9	16.6	22.4	20.9	18.1	13.5	6.8	2.2
	2009	-0.9	3.8	5.1	10.0	15.3	18.4	20.6	20.6	17.6	13.4	6.3	1.2
	2010	-0.3	2.1	4.2	7.1	13.9	17.7	21.6	22.9	19.0	12.0	6.3	1.3
	2011	-4.7	1.6	1.9	9.1	14.6	18.2	22.0	21.6	18.3	12.5	10.5	0.5
	2012	-1.3	-1.4	4.3	10.9	15.3	17.2	21.9	22.2	16.6	12.3	5.7	0.3
	2013	0.6	1.2	6.7	9.5	15.7	18.4	24.3	23.9	18.6	14.0	6.9	1.5
	Mean	-0.9	1.2	4.6	9.4	14.8	17.7	22.0	22.1	18.2	13.0	7.0	1.4
Gamsan	2007	5.2	7.8	9.3	12.4	17.8	21.2	25.0	27.4	23.7	17.7	10.9	7.9
	2008	4.7	3.1	8.7	13.5	17.5	20.3	26.5	26.0	23.4	18.6	12.0	7.2
	2009	4.4	8.0	9.0	13.3	18.7	21.7	24.8	26.0	23.1	18.5	11.8	6.5
	2010	4.8	6.9	8.6	11.5	17.4	21.6	25.5	27.6	24.0	17.4	11.3	6.4
	2011	1.1	6.3	6.7	12.0	17.9	21.1	26.0	25.6	23.3	17.2	15.2	5.8
	2012	4.2	3.9	8.2	13.8	18.7	22.0	25.7	27.4	21.5	17.6	11.1	5.4
	2013	4.2	5.3	8.9	12.1	18.4	21.7	26.4	28.0	23.5	18.7	11.7	7.3
	Mean	4.1	5.9	8.5	12.7	18.1	21.4	25.7	26.9	23.2	18.0	12.0	6.6
Cheonji	2007	7.9	10.2	11.5	14.9	19.4	21.8	25.4	28.2	25.1	20.1	13.9	10.3
	2008	7.9	6.0	11.1	15.2	18.6	20.8	27.2	27.1	24.7	20.7	14.0	9.8
	2009	6.7	10.8	11.7	15.2	20.0	22.1	25.5	26.6	24.5	20.6	13.8	8.9
	2010	7.5	9.3	10.8	13.3	18.3	22.0	25.9	28.3	25.5	19.5	14.0	8.9
	2011	4.0	9.0	9.3	14.2	18.7	21.7	26.7	26.3	25.1	19.9	17.2	8.3
	2012	6.8	6.6	10.8	15.5	19.9	22.4	26.1	27.9	23.0	19.7	13.2	7.9
	2013	7.0	8.5	12.2	14.3	19.2	22.2	27.3	29.1	25.4	21.1	13.9	8.7
	Mean	6.8	8.6	11.1	14.7	19.2	21.9	26.3	27.6	24.8	20.2	14.3	9.0

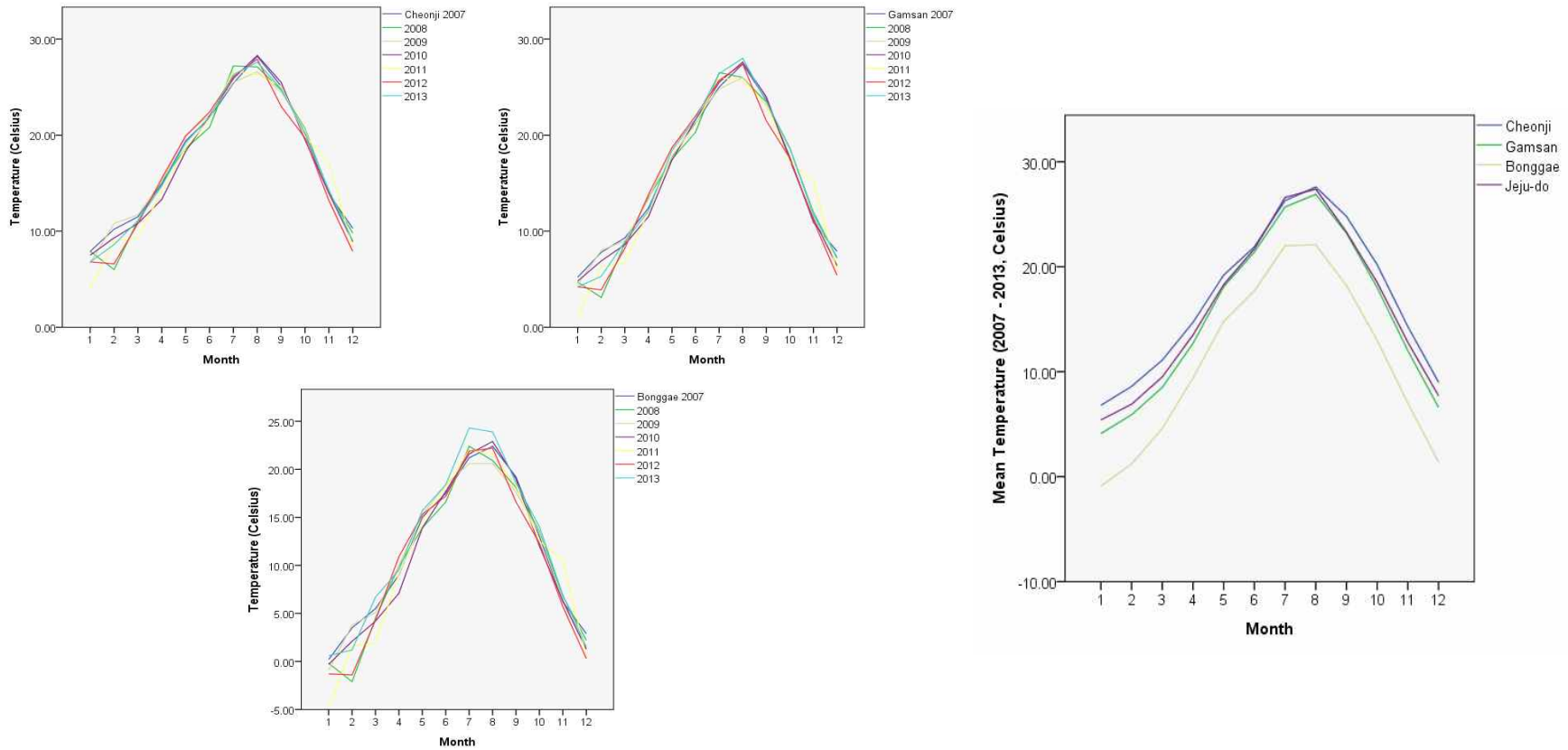


Figure 14. The monthly mean temperature of habitats in Jeju Island (2007-2013).

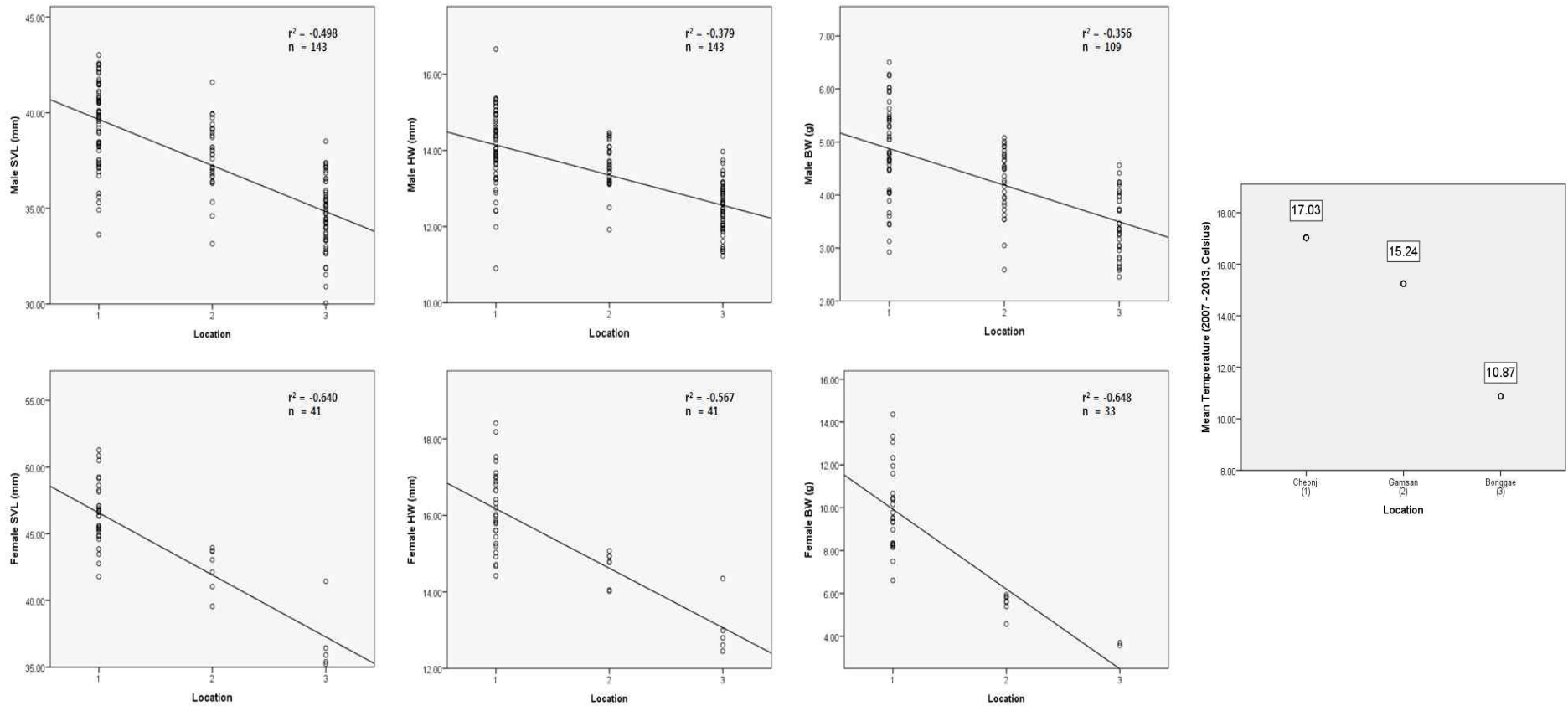


Figure 15. Relationship between the mean temperature of habitats and the external characters of *H. japonica* in Jeju Island. 1) Cheonji, 2) Gamsan, 3) Bonggae.

Table 14. The mean temperature of habitats in Jeju Island (2007-2013)

Location	Season Mean temperature (°C)	Seasonal mean temperature (°C)			
		Spring (March - May)	Summer (June - August)	Autumn (September - November)	Winter (December - February)
Bonggae	10.87	0.57	9.59	20.60	12.70
Gamsan	15.24	5.54	13.07	24.64	17.72
Cheonje	17.03	8.14	14.96	25.27	19.76

IV. 고찰

1. 성적크기이형

일반적으로 야생생물에게서 나타나는 성적이형(Sexual dimorphism, SD)은 종 내에서 일어나는 번식과 경쟁에 따라 크기와 모양, 색깔 혹은 행동 등이 성별에 따라 다르게 나타난다(Darwin 1859; Shine 1978, 1989). 그 중에서도 성적크기이형현상(SSD)은 다양한 생물 분류군에서 나타나며, 양서류의 경우 대부분의 종에서 암컷이 수컷에 비하여 큰 크기를 가지는 암컷 우성의 SSD가 나타난다(Shine 1979). 암컷 우성의 SSD는 암컷이 가지는 번식 기작, 즉 몸집을 늘려 번식력을 증가시키기 위한 것에 기인하는 것으로 알려져 있다(Kraus 2008; Liao et al. 2013; Han and Fu 2013; Liao et al. 2012). 또한 Woolbright(1983)는 수컷의 경우, 번식기간 내에 먹이 활동을 하지 않을 뿐만 아니라, 대부분의 에너지는 번식 활동에 사용하기 때문에 비교적 작은 크기를 갖는 것이라고 한다. 본 연구와 마찬가지로 *Hyla* 속의 *H. japonica* (Inukai and Ochiai 1931; Hirai and Matsui 2000)와 *H. ussuriensis* (Liu et al. 2012a)를 대상으로 한 연구 결과 또한 암컷의 크기가 수컷보다 컸고, 일반적으로 양서류에서 나타나는 암컷 우성의 SSD 패턴과 다르지 않았다. 이와는 대조적으로 북한(North Korea)에서 기록된 청개구리의 크기는 본 연구와는 반대로 수컷 우성의 SSD(수컷: mean 35.3 mm, n = 20, 암컷: mean 32.0 mm, n = 20)가 나타났다(김과 한 2009). 또한 Gül et al.(2011)의 연구에서는 두 지역에 서식하는 *Pelophylax ridibundus*의 SSD 패턴이 정반대로 나타났다. 이와 같이 같은 종에서도 상반되게 나타나는 연구의 결과들은 수컷과 암컷 사이에 SSD가 지역이나 환경에 따라 다르게 나타날 수 있다는 것을 보여준다.

2. 위도에 따른 몸 크기의 다양성

Bergmann's rule을 적용한 양서류의 연구는 다양한 종을 대상으로 진행 중인데, 일반적인 현상과 반대의 결과가 여러 연구에서 보고되었다; *Bufo bufo*(Cvetković et al. 2009), *Rana temporaria*(Bancilă et al. 2009), several species of amphibians (Ashton 2002). Bancilă et al.(2009)는 위도에 따른 *R. temporaria*의 크기 패턴이 아성체의 경우 Bergmann's rule을 따랐지만, 성체는 따르지 않는 결과를 나타내었고, 이러한 반대의 패턴은 생물의 크기가 성장하는 과정에서 환경에 영향으로 달라질 수 있다는 것을 의미한다. Ashton(2002)은 위도가 높아짐에 따라 양서류 종의 크기가 커지는 연구 결과들을 보여주었지만, 상당수의 반대 결과 또한 나타났기 때문에 양서류에게 Bergmann's의 rule을 완전하게 적용하기에는 아직 부족하다. Laugen et al.(2005)는 위도에 따른 개체군의 크기의 또 다른 패턴으로 위도가 증가함에 따라 개체의 크기가 증가하다가 일정 위도(65° N)에서 다시 작아지는 경향성을 확인하였다. Cvetković et al.(2009)의 연구결과는 본 연구의 결과와 동일하게 고위도로 갈수록 개체들의 크기는 작아지는 경향성을 보였으며, 온도가 높아짐에 따라 개체의 크기가 커지는 패턴을 보고하였다.

3. 고도와 기온에 따른 크기의 다양성

같은 종임에도 불구하고 서로 다른 환경에 적응하여, 나타나는 생물의 다양한 패턴을 연구하는 것은 상당히 흥미 있는 주제이다. 양서류를 대상으로 환경에 따라 지역 집단들의 크기가 다르게 나타나는 양상은 크게 3가지로 분류할 수 있다; 1) 고도가 높아짐(온도가 낮아짐)에 따라 커짐, 2) 고도가 낮아짐(온도가 높아짐)에 따라 크기가 작아짐, 3) 고도에 따라 개체의 크기가 달라짐. 첫 번째로 고도가 높아짐에 따라 개체의 크기가 커지는 패턴은 낮은 온도에 의하여 성숙되는 속도가 늦어짐과 동시에 보다 길어진 성장기간(delayed growing period)에 의한 영향의 결과로 제주도 지역 집단에서도 동일하게 나타났다(Liao and Lu 2012; Liu et al. 2012). 두 번째 패턴은 고도가 낮은 지역의 형성된 높은 온도에 의하여 긴 성

장기간(long growing period)과 높은 성장률(high growth rate)에 영향 받아 상대적으로 높은 고도에 사는 집단이 보다 큰 크기를 갖는 것이다(Howard and Wallace 1985; Liao et al. 2010; Chen et al. 2011). 세 번째 패턴으로 Ma et al.(2009)는 고도가 높아짐에 따라 *Nanorana parkeri*의 크기와 연령이 증가하지만, 일정한 고도(4,700m) 부근에서는 크기가 다시 작아지는 것을 확인하였다. 이 결과는 4700m까지는 낮은 온도 의한 인한 성적 성숙의 지연과 성장을 위한 기간의 연장으로 *N. parkeri*의 크기가 증가하지만, 4,700m 이상부터는 더욱 낮아진 온도에 의하여 크기에 영향을 주는 충분한 성장률을 확보하지 못하여 다시 작아지는 크기를 갖는 것이라 설명하고 있다. 이러한 설명은 개체의 작은 크기는 고도(온도)가 높아짐에 따라 줄어드는 성장률에 의한 결과라는 주장과 일치한다(Cvetković et al. 2009). 이와 같은 개체 크기 패턴의 터닝 포인트(turning point)는 고도 혹은 온도에 따른 성장기간, 성숙기간 그리고 성장률의 조합에 의한 결과로 볼 수 있다. 추운지역에서도 지속적인 생활과 성장이 가능한 포유류의 경우와는 달리 변온동물인 양서류는 추운지방에서 서식하게 될 경우 일정온도 이하에서는 동면을 취해야 한다. 따라서 동면이 이루어지는 기간 동안에는 성장을 멈추거나 낮은 성장을 하게 되고, 동면의 기간이 긴 지방(추운지방)일수록 줄어드는 성장률과 성장기간에 비례하여 더 작은 크기를 가지게 된다. 이와는 대조적으로 작은 크기는 상대적으로 빠른 체온 조절과 열 획득이 가능하기 때문에 오히려 이러한 전략이 추운지역에서 효과적으로 작용 할 수 있다는 주장도 있다(Ashton 2002).

4. 그 외 환경 요소에 따른 크기의 다양성

한반도 내에 서식지를 유형별로 구분하여 분석한 결과, 청개구리의 몸 크기는 섬에 있는 개체들이 가장 컸는데, 이는 서식지가 해안가에 접착해 있을수록, 다시 말해 상대적인 지역의 평균 온도가 높을수록 개체의 크기가 커지는 것을 의미하였다. 높은 온도에 따른 빠른 성장률이 청개구리의 크기에 영향을 준다는 연구 결과가 이를 뒷받침해 준다(Howard and Wallace 1985; Liao et al. 2010;

Chen et al. 2011).

서식지(섬 지역)의 면적이 넓을수록 청개구리의 크기가 큰 것은 먹이, 번식 그리고 서식지 등을 위한 경쟁의 압박이 좁은 지역에 비해 상대적으로 낮았기 때문으로 생각된다. 하지만 서식지의 면적이 큰 곳일수록 평균 기온 또한 높았기 때문에 실질적으로 서식지의 면적과 온도 중 어떠한 요소가 더 강하게 작용했는지에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

제주도 지역 중 해안에 위치한 감산(해발 11 m)과 섬에 안에 위치한 천지(해발 7 m)는 고도의 차이가 거의 없고, 번식지의 형태 또한 갯바위에 형성된 물에 산란하는 것으로 동일했다. 하지만 천지에 청개구리가 해안지역인 감산에 개체들보다 크기가 훨씬 작았다. 이러한 결과는 제주도와 제주도 부속섬에 서식하는 *Gloydius ussuriensis*를 대상으로 수행한 김(2011)의 연구결과에 잘 부합된다. 그러나 이러한 결과들은 생물이 섬 혹은 한정된 지역에 고립된 결과로 보여주는 크기 변화를 설명하는 Island rule과는 상반된 것이다(Foster 1964). Montesinos et al.(2012)는 섬에 사는 개체들이 작아지는 현상은 한정된 번식지와 증가된 개체간의 경쟁을 들었다. 또한 Lomolino(2005)는 작아진 개체의 크기는 에너지의 소모를 낮추고, 생존하는데 필요한 자원을 줄일 수 있기 때문에 섬에 서식하는 생물로써 유리한 점이라고 하였고, 이는 생물들이 환경에 몸 크기를 맞추는 현상인 바우 플랜(bau plan)과 생태학적 전략(ecological strategy)이라 하였다.

환경에 영향을 받으며 적응하고 살아가는 생물에게서 나타나는 모습은 생물의 행동 양식뿐만 아니라 서식지와 주변의 환경을 여과 없이 보여준다. 따라서 지리적으로 나타나는 생물의 다양성 연구는 그 생물과 환경사이에 관계를 이해하는데 있어서 매우 중요하다. 환경이 청개구리의 크기에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위한 본 연구에서도 생물이 환경에 어떻게 적응하며 살아가는지 단편적이지만 확인해 볼 수 있었다. 또한 여러 연구들의 결과를 통해 알려진 환경지리학적 법칙들을 따르는 현상을 확인하였지만, 그 반대의 경우도 있었다. 이는 생물이 환경으로부터 받는 요인의 종류와 크기가 지역에 따라 다를 뿐만 아니라 가변적이라는 것을 다시 한 번 확인해 주고 있다. 이 연구의 결과는 환경에 영향을 받는 생물을 연구하고 이해하기 위한 첫 걸음으로의 역할을 할 수 있을 것이다.

V. 참고문헌

- 고상범. 2012. 제주지역에서 맹꽁이(*Kaloula borealis*)의 생태에 관한 연구. 제주대학교박사학위논문.
- 고영민, 고상범, 장민호, 오홍식. 2009. 제주도의 양서류 현황. *Korean Journal of Herpetology*, 1: 61-70.
- 기상청. 2007-2013. 지상관측자료. 방재기상연·월보 자료.
- 기상청. 2007-2013. 지상관측자료. 연·월보자료.
- 김리태, 한근홍. 2009. 조선 동물지(양서·과충류편). 과학기술출판사, pp. 37-45.
- 김병수. 2011. 쇠살모사 *Gloydius ussuriensis*의 생태에 관한 연구. 제주대학교 교육대학원 박사학위 청구 논문.
- 김중범. 2009. Taxonomic list and distribution of Korean amphibians. *Korean Journal of Herpetology*, 1: 1-13.
- 송재영, 이인수. 2009. 한국산 양서류의 고도별 분포. *한국양서·과충류학회지*, 1: 15-19.
- 송재영. 2010. 백두대간 내 국립공원의 양서·과충류상. *Journal of National Park Research*, 1: 216-219.

- 이정현, 장환진, 서재화. 2012. Ecological guide book of herpetofauna in Korea. National Institute of Environmental Research, pp. 78-85.
- 장환진, 서재화. 2010. Distribution of amphibian species in South Korea. Korean Journal of Herpetology, 2: 45-51.
- Allen, J. A. 1877. "The influence of physical conditions in the genesis of species". Radical Review, 1: 108 - 140.
- Ashton, K. G., M. C. Tracy and A. de Queiroz. 2000. Is Bergmann's rule valid for mammals? The American Naturalist, 156: 390 - 415.
- Ashton, K. G. 2002. Do amphibians follow Bergmann's rule?. Canadian Journal of Zoology, 80: 708-716.
- Bancilă, R. I., R. Plăiașu and D. Cogălniceanu. 2009. Effect of latitude on the body size in the common frog (*Rana Temporaria*) populations. Studii și Cercetări, Biologie, Universitatea din Bacău, 17: 43-46.
- Bergmann, C. 1847. Über die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse. Göttinger Studien, 3: 595.
- Cakir, Y. and S. M. Strauch. 2005. Tricaine (MS-222) is a safe anesthetic compound compared to benzocaine and pentobarbital to induce anesthesia in leopard frogs (*Rana pipiens*). Phamacological Reports, 57: 467-474.
- Cecala, K. K., S. J. Price and M. E. Dorcas. 2007. A comparison of the effectiveness of recommended Doses of MS-222 (tricaine methanesulfonate) and Orajel® (benzocaine) for amphibian anesthesia. Herpetological Review, 38: 63 - 66.

- Chang, M. H., K. S. Koo and J. Y. Song. 2011. The list of amphibian Species in 66 Islands in Korea. *Korean Journal of Herpetology*, 3: 19-24.
- Chen, W. T. Lei and X. Lu. 2011. Age and body size of *Rana kukunoris*, a high-elevation frog native to the Tibetan plateau. *Herpetological Journal*, 21: 149 - 151.
- Cvetkovic, D., N. Tomasevic, G. F. Ficetola, C. Isailovic and C. Miaud. 2009. Bergmann's rule in amphibians: combining demographic and ecological parameters to explain body size variation among populations in the common toad *Bufo bufo*. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 47: 171 - 180.
- Darwin, C. 1859. *On the origin of species*. London: Murray.
- Eweleit, L. and K. Reinhold. 2014. Body size and elevation: do Bergmann's and Rensch's rule apply in the polytypic bush cricket *Poecilimon veluchianus*?. *Ecological Entomology*, 39: 133-136.
- Foster, J. B. 1964. "The evolution of mammals on islands". *Nature*, 202: 234 - 235.
- Gloger, C. W. L. 1833. "§. 5. Abänderungsweise der einzelnen, einer Veränderung durch das Klima unterworfenen Farben". *Das Abändern der Vögel durch Einfluss des Klimas [The Evolution of Birds Through the Impact of Climate]* (in German). Breslau: August Schulz, pp. 11 - 24.
- Gül, S., N. Özdemir, N. Üzümlü, K. Olgun and B. Kutrup. 2011. Body size and age structure of *Pelophylax ridibundus* populations from two different altitudes in Turkey. *Amphibia-Reptilia*, 32: 287-292.

- Han, X. and J. Fu. 2013. Does life history shape sexual size dimorphism in anurans? A comparative analysis. *BMC Evolutionary Biology*, 13: 27.
- Hirai, T. and M. Matsui. 2000. Feeding Habits of the Japanese Tree Frog, *Hyla japonica*, in the Reproductive Season. *Zoological Science*, 17: 977 - 982.
- Howard, J. H. and R. L. Wallace. 1985. Life history characteristics of populations of the long-toed salamander (*Ambystoma macrodactylum*) from different altitudes. *American Midland Naturealist*, 113: 361-373.
- Inukai, T. and S. Ochiai. 1931. A study on the breeding habits of *Hyla arborea japonica* Guenther. *Journal of the Faculty of Science Hokkaido Imperial University Series V 1. Zoology*, 1: 111-116.
- Iraeta, P., A. Salvador and J. A. DÍAZ. 2008. A reciprocal transplant study of activity, body size, and winter survivorship in juvenile lizards from two sites at different altitude. *Ecoscience*, 15: 298-304.
- IUCN. 2010. *Hyla Japonica*. In: IUCN 2013. IUCN Red list of threatened species. Version 2013.2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 21 April 2014.
- Kim, I. H., C. H. Ham, S. W. Jang, E. Y. Kim and J. B. Kim. 2012a. Determination of breeding season, and daily pattern of calling behavior of the endangered Suweon-Tree Frog (*Hyla suweonensis*). *Korean Journal of Herpetology*, 4: 23-29.

- Kim, I. H., S. H. Son, S. W. Kang and J. B. Kim. 2012b. Distribution and habitat characteristics of the endangered Suweon-Tree Frog (*Hyla suweonensis*). Korean Journal of Herpetology, 4: 15-22.
- Kim, J. B., M. S. Min and M. Matsui. 2003. A new species of lentic breeding Korean salamander of the Genus *Hynobius* (Amphibia, Urodela). Zoological Science, 20: 1163 - 1169.
- Kraus, F. 2008. Remarkable case of anuran sexual size dimorphism: *Platymantis rhipiphalcus* is a junior synonym of *Platymantis boulengeri*. Journal of Herpetology, 42: 637-644.
- Laugen, A. T., A. Laurila, K. Rasanen and J. Merila. 2003. Latitudinal countergradient variation in the common frog (*Rana temporaria*) development rates - evidence for local adaptation. Journal of Evolutionary Biology Research, 16: 996 - 100.
- Laugen, A. T., A. Laurila, K. I. Jönsson, F. Söderman and J. Merilä. 2005. Do common frogs (*Rana temporaria*) follow Bergmann's rule?. Evolutionary Ecology Research, 7: 717 - 731.
- Liao, W. B. and X. Lu. 2010. Age structure and body size of the Chuanxi tree frog *Hyla annectans chuanxiensis* from two different elevations in Sichuan (China). Zoologischer Anzeiger, 248: 255-263.
- Liao, W. B., C. Q. Zhou, Z. S. Yang, J. C. Hu and X. Lu. 2010. Age, size and growth in two populations of the dark-spotted frog *Rana nigromaculata* at different altitudes in southwestern Chian. Herpetological Journal, 20: 77-82.

- Liao W. B. and X. Lu. 2012. Adult body size = f (initial size + growth rate x age): explaining the proximate cause of Bergman's cline in a toad along altitudinal gradients. *Evolutionary Ecology*, 26(3): 579–590.
- Liao, W. B., Y. M. Liao, W. M. Xiao, W. Chen, Z. P. Mi and C. Li. 2012. Sexual dimorphism in hind limb muscle mass of the Andrew's Toad (*Bufo andrewsi*) in relation to sexual selection. *North-Western Journal of Zoology*, 8: 252–256.
- Liao, W. B., Y. Zeng and J. D. Yang. 2013. Sexual size dimorphism in anurans: roles of mating system and habitat types. *Frontiers in Zoology*, 10: 65.
- Liu, P., Z. Zhang, S. Zhao and W. Zhao. 2012a. Effect of female reproduction and mate choice on sexual size dimorphism in the northeast tree frog *Hyla ussuriensis* (Anura: Hylidae) in China. *Asian Herpetological Research*, 3(4): 273 - 279.
- Liu, Y. H., Y. Zeng, W. B. Liao, C. Q. Zhou, Z. P. Mi, M. Mao and L. Chen. 2012b. Altitudinal variation in body size in the rice frog (*Rana limnocharis*) in southwestern China. *Acta Herpetologica*, 7: 57–68.
- Lomolino, M. V. 2005. Body size evolution in insular vertebrates: generality of the island rule. *Journal of Biogeography*, 32: 1683–1699.
- Ma, X., X. Lu and J. Merilä. 2009. Altitudinal decline of body size in a Tibetan frog. *Journal of Zoology*, 279: 364 - 371.

- Mcclain, C. R., A. G. Boyer and G. Rosenberg. 2006. The island rule and the evolution of body size in the deep sea. *Journal of Biogeography*, 33: 1578 - 1584.
- Montesinos R. H. R. D. Silva and A. L. G. D. Carvalho. 2012. The 'Island Rule' acting on populations (*Bufo* spp.; *Rhinella ornate*) of the Southern Hemisphere. *Biotropica*, 44(4): 506-511.
- Park, I. S., J. H. Jo, S. J. Lee, Y. A. Kim, K. E. Park, J. W. Hur, J. S. Yoo and Y. C. Song. 2003. Anaesthetic effect of lidocaine hydrochloride-sodium bicarbonate and MS-222 on the Greenling(*Hexagrammos otakii*). *Journal of the Korean Fisheries Society*, 36: 449-453.
- Rensch, B. 1950. Die Abhangigkeit der relativen Sexual differenz von der Korpergrosse. *Bonner Zoologische Beitrage*, 1: 58-69.
- Shine, R. 1978. Sexual size dimorphism and Male Combat in Snakes. *Oecologia (Berl.)*, 33: 269-277.
- Shine, R. 1989. Ecological causes for the evolution of sexual dimorphism: a review of the evidence. *The Quarterly Review of Biology*, 64: 419 - 61.
- Stejneger, L. 1907. Herpetology of Japan and adjacent territory. *Bulletin United States National Museum*, 58: 1 - 577.
- Woolbright, L. L. 1983. Sexual selection and size dimorphism in anuran Amphibia. *The American Naturalist*, 121: 110 - 119.

Wu Z., Y. Li and B. R. Murray. 2006. Insular shifts in body size of rice frogs in the Zhoushan Archipelago, China. *Journal of Animal Ecology*, 75(5): 1071-1080.

Yang, S. Y., B. S. Park and H. J. Son. 1981. Species comparison of the genus *Hyla* in Korea. *Bulletin Institute Basic Science, Inha University*, 2: 75-83.

Yang, S. Y. and B. S. Park. 1988. Speciation of the two species of the genus *Hyla* (Anura) in Korea. *The Korean Journal of Zoology*, 31: 11-20.

Biogeographical variation of Korean tree frog *Hyla japonica* based on external characters

Kyo-Soung Koo

Department of Biology Education
Graduate School, Jeju National University

Abstract

In order to determine the effect of environmental factors on the body size of the Korean tree frog, *Hyla japonica*, I surveyed seven populations between April 2012 and October 2013: Buan-gun, Imsil-gun, Hamyang-gun, Geoje-si, Ulsan-si, Wando-gun, and Jeju-do in the southern part of the Korean Peninsula. Snout-vent length (SVL), head width (HW) and body weight (BW) were measured to compare among populations, and environmental factors were studied to confirm the correlation of the body size of *H. japonica* in populations with latitude, altitude, temperature, type, and size of habitat. The results reveal that the Jeju population was the biggest group in body size in both sexes (Kruskal wallis test, $P < 0.05$). However, the population of the smallest in body size was different according to the populations and the external characters. A female bias in sexual size dimorphism (SSD) was shown in all populations and external characters were measured (paired samples t-test, $P < 0.05$). The result of studying the correlation between

body size and environmental factors (Pearson's correlation analysis, $P < 0.05$) revealed that a smaller body size appeared at higher latitudes and temperatures, while a larger body size appeared at higher altitudes and larger habitats. Moreover, the bigger *H. japonica* was discovered in the habitat adjacent to the coastal region. The result of the relationship between body size and environmental factors was identical in both sexes. Consequently, the SSD of *H. japonica* was consistent with the typical phenomenon in anuran. However, the result of the relationship between body size and environmental factors was showed a discrepancy with previous studies, especially in the relationship between body size and latitude. This means that the effect of the environment on body size could be applied differently according to the habitat. The effect of the environment on the body size of *H. japonica* was partly confirmed by this study, and these results could be useful for understanding the relationship between its life and its environment.

감사의 말

2012년 제주대학교에 입학하고 시작한 석사학위 연구가 이제 막 끝이 났습니다. 가장 먼저 의욕만 가지고 시작한 연구를 잘 마무리 지을 수 있도록 이끌어 주신 오홍식 교수님 감사합니다. 처음 일본양서파충류 학회에서 처음 뵈었을 때, 인연이 되어 한 사람의 스승과 한 사람의 제자가 되었습니다. 평소에는 친근하게 때로는 엄하셨던 교수님께서서는 항상 자유롭게 생각하고, 모든 일을 스스로 진행할 수 있게 도와주셨습니다. 양서류와 파충류만 고집하던 저에게 다른 분야도 알아야 한다고 말씀하셨고, 그러한 조언이 더 큰 지금의 저를 만든 것이 아닌가 생각합니다. 또 제가 뜬금없이 결혼한다고 주례를 부탁드렸을 때 주저 없이 승낙해주셨던 것 아마 평생 못 잊을 것 같습니다. 너무나도 큰 은혜 받은 것 같습니다. 감사합니다. 석사학위 과정에서 많은 도움을 주신 과학교육과에 정충덕 교수님, 이순동 교수님, 임평옥 교수님, 안근재 교수님께 정말 감사드립니다. 생물학의 기본을 가르쳐 주시고, 마지막엔 심사까지 맡아 주신 한상현 박사님께도 감사의 인사드립니다. 말씀하신 대로 인연에 끈 놓지 않도록 노력하겠습니다.

지난 석사과정 동안 제주대학교 동물분류형태학실험실에서는 많은 일들이 있었습니다. 즐거운 일도 많았지만 때로는 힘든 일도 많았습니다. 그러한 과정에 함께 했던 김가람 선배님, 김동민 선배님, 김태욱 선배님, 박수곤 선배님, 박선미 선생님께 감사드립니다. 실험실을 졸업하고 열심히 활동하며 좋은 본보기가 되어주신 고영민 박사님, 고상범 박사님, 김병수 박사님께서 감사드립니다. 또한 항상 저의 일을 열심히 도와주었던 주상민, 오아름, 이준원, 송민주 후배님들께도 감사의 말씀드리겠습니다. 모두 잘 돼서 지금보다 더 높은 곳에서 만나길 바랍니다!!

동물이 마냥 좋다고 공부하겠다는 저를 포기하지 않고 이끌어주신 송재영 선배님과 장민호 선배님께서 이 자리에 있는 저를 만들어 주셨습니다. 아직 끝이 아니기에 더 열심히 하겠습니다. 앞으로도 잘 부탁드립니다. 부족한 저에게 항상 좋은 말씀 해주셨던 민미숙 박사님, 박대식 교수님, 라남용 박사님, 이정현 박사님께도 감사드립니다. 길지 않은 기간이었지만 국립생물자원관에서의 기억도 잊을 수가 없습니다. 짧은 시간이었지만 많은 것을 배울 수 있도록 도와주신 한상훈 과장님과 모든 박사님들 그리고 방문할 때 마다 반갑게 맞아 주신 조현근 선배님과 이예슬 님께도 감사의 말씀드립니다.

지금까지 학업을 이어갈 수 있도록 지켜봐 주신 부모님과 동생가족에게 감사의 마음 전합니다. 마지막으로 제주도에 내려와 고민하던 저에게 포기하지 말라고 응원하며, 곁에 있어준 저의 사랑하는 아내와 아직 태어나지 않은 복덩이에게도 감사의 말 전합니다.

석사과정을 이제 막 끝내며, 돌아보니 정말 많은 분들이 저를 도와주셨습니다. 직접 표현하지 못한 분들께도 감사한 마음 전해 드리겠습니다. 아직 많이 부족하지만 선배님들께는 부끄럽지 않은 후배가 되고 후배님들에게는 배우고 싶은 선배가 될 수 있도록 노력하겠습니다.

2014년 7월