

Original article

계절과 서식지 유형에 따른 국내 Eurasian otter (*Lutra lutra*)의 스트레스 반응

이건주 · 조현진¹ · 나정은¹ · 장재민¹ · 장진우¹ · 이학영^{1,*}

전남대학교 생물과학·생명기술학과, ¹전남대학교 생물학과

Stress Responses of Eurasian Otter (*Lutra lutra*) in Relation to Habitats and Season. Gun Joo Lee (0000-0002-0946-0156), Hyun Jin Cho¹ (0000-0003-0591-519X), Jeong Eun Na¹ (0000-0002-7571-5612), Jae Min Jang¹ (0000-0001-8787-252X), Jin Woo Jang¹ (0000-0002-6349-6985) and Hak Young Lee^{1,*} (0000-0001-8591-7568) (Department of Biological Sciences and Biotechnology, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea; ¹Department of Biological Sciences, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea)

Abstract In order to understand the stress responses, we measured the concentration of stress hormones by using the fresh feces of wild otters in the Gwangju stream and Seomjin river during summer and winter in 2018. We compared seasonal and regional number of spraints (= otters' feces), temperature, altitude, water width, land cover, and water quality with stress hormones. The stress hormone levels were higher in summer than in winter, and significantly different to season and region. In addition, the number of feces were different according to the season and region, and showed a negative correlation with stress hormone. This study suggested assessing stress hormones as another promising method for the analysis of status of wild otters and it will contribute to establish the management and conservation policy, especially in urban area.

Key words: Eurasian otter, stress response, habitat, feces, wildlife in urbans

서 론

수달 (*Lutra lutra*)은 반수생동물 (Kruuk, 2006)로, 국내에서는 유라시아 수달 (*Lutra lutra*) 1종이 서식하고 있다 (Won and Smith, 1999). 수달은 유라시아 전 지역에 고루 분포하고 있으며 (Mason and Macdonald, 2009; Nakanishi *et al.*, 2019), IUCN (International Union for Conservation of Nature) Red list에서 준위협종 (Near threatened species),

CITES (The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora)에서 Appendix 1에 등재되어 있다 (Mason and Macdonald, 2009; Jo *et al.*, 2017). 수달의 행동반경은 약 15 km이며, 하천을 따라 이동하기 때문에 다른 야생 포유류와는 달리 직선적인 행동반경을 가진다 (Kruuk, 2006). 또한 어류를 주로 섭취하는 수생태 최상위 포식자이며, 주변 환경에 민감하게 반응하기 때문에 수생태 건강성의 지표종으로 활용되고 있다 (Delibes *et al.*, 2009; Hong *et al.*, 2018).

우리나라에서는 1970~1980년대 급격한 산업화로 인한 서식지 파괴로, 수달의 개체수가 지속적으로 줄어들었으며, 1982년 환경부와 문화재청에서 멸종위기종 1급 및 천연기

Manuscript received 19 October 2019, revised 11 December 2019,

revision accepted 12 December 2019

* Corresponding author: Tel: +82-62-530-3401, Fax: +82-62-530-3409

E-mail: haklee@jnu.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

넘물 330호로 지정하여 (Won and Smith, 1999) 꾸준히 보호 및 관리와 더불어 시민의 개선된 보호 인식 덕분에 1990년대 이후 수달의 분포지역은 많이 확장되었다 (Hong *et al.*, 2017). 최근에 도시에서 수달이 많이 발견되고 있지만, 여전히 많은 개체수는 외딴 산지 지역에 주로 서식하고 있다 (Jo *et al.*, 2017; Hong *et al.*, 2020). 따라서, 수달 개체군의 보전 및 복원을 위해서는 도시 지역 내 서식하는 수달에 대한 연구가 필요하다.

국내외 수달 서식지 연구 대부분은 서식지 이용 및 안정성을 대변할 수 있는 서식 흔적 유무나 micro-satellite marker를 이용한 유전적 다양성 분석을 토대로 이루어지고 있으며 (Macdonald and Mason, 1983; Cho *et al.*, 2009; Park, 2019), 호르몬을 이용한 연구는 주로 성별 및 나이 추정에 제한적으로 사용되고 있다 (Kalz *et al.*, 2006). 하지만 서식 흔적 및 유전자 다양성 연구는 조사지역 내 개체 서식 유무 및 개체군 크기를 확인할 수 있지만, 구체적인 개체의 서식 상태를 확인하기는 어렵다 (Chanin, 2003; Kruuk, 2006). 이에 많은 동물 보전학자들은 스트레스 반응을 통해 야생동물의 건강성을 확인하는 연구들을 진행해 왔다.

다양한 환경에 노출되어 있는 야생동물은 생활하는 데 있어 모든 환경 요소들이 스트레스로 작용할 수 있다 (Baker *et al.*, 2013; Dantzer *et al.*, 2014). 스트레스 요인으로는 성별 (Ahlering *et al.*, 2013), 유전 (Evans *et al.*, 2006), 내적 상태 (George *et al.*, 2014)와 같은 내부적 요인들과 고도 (Addis *et al.*, 2011), 먹이자원 (Malcolm *et al.*, 2014), 포식자 밀도 (Clinchy *et al.*, 2004)와 같은 외부적 요인들이 있으며, 최근에는 서식지 파편화 (Rangel-Negrín *et al.*, 2009), 도시화 (Price *et al.*, 2018), 오염 (Fowler *et al.*, 1995) 등과 같은 인위적인 간섭에 의한 요인들이 야생동물에 스트레스로 작용하고 있다.

스트레스를 받게 되면 HPA Axis (Hypothalamus-Pituitary-Adrenal Axis)를 통해 코티솔이나 코르티코스테론과 같은 스트레스 호르몬이 분비되고 (Sapolsky *et al.*, 2000), 세포질 내 수용기 (GC receptor)와 결합하여 다양한 스트레스 반응을 유도한다 (De Kloet *et al.*, 1993). 스트레스 반응은 지속 기간에 따라 분비된 스트레스 호르몬과 결합하는 수용기 (GC receptor) 종류가 달라지며, 그에 상응하는 반응도 다르게 나타난다 (Romero, 2004). 포식자 발견과 같은 급성 스트레스 상황 시 Type 1 receptor가 작용하여, 개체 생존에 효과적인 체내 에너지원 재배치 과정이 이루어진다 (Ingle, 1952). 하지만 서식지 파괴, 먹이 부족과 같은 장기간 스트레스 상황에 노출되어 스트레스 호르몬 농도가 높아지면 Type 1 receptor가 포화되어 상대적으로 스트레스 호르몬과 친화력이 낮은 Type 2 receptor가 작용하게 되고 (Dallman and

Bhatnagar, 2010), 이는 성장 저해, 생식 능력 및 면역력 억제와 같은 야생동물 생존에 있어 부정적인 영향을 미치게 된다 (Sapolsky *et al.*, 2000; Romero, 2004). 따라서 만성 스트레스 반응은 야생동물의 건강도를 예측할 수 있는 좋은 지표로서 활용할 수 있다 (Wingfield and Romero, 2001).

만성 스트레스 반응은 다양한 방법으로 측정이 가능하지만, 최근에는 분변을 이용한 스트레스 호르몬 측정방법이 선호되는 추세이다 (Millsbaugh *et al.*, 2004). 혈액을 이용한 방법은 정확한 개체 구별이 가능하다는 장점이 있지만, 반복적으로 진행하기 어렵고, 포획에 의한 스트레스가 급성 스트레스로 작용하여 보다 정확한 스트레스 호르몬 측정이 어렵다 (Hemsworth *et al.*, 1981; Moberg, 2000). 하지만 분변을 이용한 방법은 포획을 할 필요가 없기 때문에, 쉽고 반복적으로 샘플링을 진행할 수 있으며, 장기간 축적된 스트레스 호르몬이 장간순환 (Enterohepatic circulation) 과정에서 분변과 섞여져 나오기 때문에, 만성 스트레스 반응을 대변할 수 있다는 장점이 있다 (Whitten *et al.*, 1988; Möstl and Palme, 2002; Millsbaugh and Washburn, 2004; Touma and Palme, 2005).

국내 야생 수달 분포 및 서식처 특징 연구들은 서식 흔적 및 유전자 분석을 활용한 연구가 주를 이루며, 개체 건강성을 대변할 수 있는 스트레스 반응을 확인한 연구는 전무하다. 이에 본 연구에서는 주변 서식환경에 따라 야생 수달의 스트레스 호르몬 농도 차이를 확인하기 위해, 도심형 하천과 산지형 하천 내 수달 분변을 이용하여 계절과 지역에 따른 스트레스 호르몬 농도를 확인하고, 스트레스 반응에 영향을 미칠 수 있는 서식지 요인들을 파악하고자 하였다. 또한 각 지역의 일정 면적당 분변 개수를 통해 서식지 이용 정도를 확인하고, 스트레스 호르몬 농도수치와의 상관성을 통해 개체 건강성과 서식지 이용 정도의 상호관계를 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구 지역 및 서식지 분석 방법

본 연구 지역은 하천 주변 토지피복유형에 따라 도심형 하천인 광주천 전 지역 (GJS)과 산지형 하천인 섬진강 권역 내 보성강과의 합류 지역 5 km 이내 (SJR)에서 진행하였다. 광주천 전 지역 (GJS)은 하천 연장 19.5 km로 광주 도심을 흘러 섬진강 조사지역에 비해 월등히 높은 도시 비율을 나타낸다 (광주천 (GJS): 70.3 ± 19.72%, 섬진강 (SJR): 4.3%). 반대로 섬진강 지역은 광주천에 비해 월등히 높은 산지 비율을 나타낸다 (광주천 (GJS): 21.7 ± 20.28%, 섬진강 (SJR):

88.0%). 또한, 수질은 pH와 DO의 경우, 섬진강(SJR)이 광주천 지역(GJS)보다 높고, COD와 SS는 낮아서 섬진강(SJR)이 광주천(GJS)보다 수질이 양호하다고 할 수 있다(Table 1).

광주천의 경우, 수달의 평균 행동반경 15 km^2 를 고려하여 섬진강 지역(SJR)과 동일한 면적 내 서식처 특징을 확인하고자 발원지부터 중심사천이 합류하는 상류 지역 내 5 km 구간(GSU), 중심사천 합류부부터 용봉천 합류부까지 시내를 관통하는 중류 지역 내 5 km 구간(GSM), 용봉천 합류부부터 영산강과 합류하는 하류 지역 내 5 km 구간(GSD)으로 구분하였다(Fig. 1). 상류 지역(GSU)은 무등산 국립공원 지역으로 산지 비율이 높고(62.2%), 중류 지역(GSM)과 하류 지역(GSD)은 도시 비율(중류(GSM): 92.9%, 하류(GSD): 87.0%)이 높으며, 중류 지역(GSM)에 비해 하류 지역(GSD)이 더 넓은 수공간 비율(중류(GSM): 1.3%, 하류(GSD): 3.6%)을 차지하고 있다. 수질의 경우, 광주천 상류 지역(GSM)과 섬진강 지역(SJR)의 SS가 상대적으로 중류(GSM)와 하류(GSD)보다 낮게 나타났고, COD의 경우, 광주천 하류 지역(GSD)이 가장 높았다.

2. 분변 수거 및 보관

본 연구조사는 2018년 7월(여름)과 12월(겨울)에 4지역(광주천 상류(GSU), 중류(GSM), 하류(GSD) 및 섬진

강(SJR))에서 분변 수거 및 밀도 조사를 수행하였다. 수달 분변의 밀도는 서식처 선호도와 개체 간 상호작용(intraspecific communication)의 정도를 나타내기 때문에, 4지역마다 3 km를 도보로 이동하며 GPS (GPSMAP 64S, Garmin, Korea)를 통해 분변 개수를 세었다(Rostain *et al.*, 2004; Hong *et al.*, 2020). 또한 스트레스 호르몬 측정을 위해서 신선한 분변만을 수거하였는데, 이는 장기간 외부환경에 노출된 분변은 정확성이 떨어지기 때문이다(Millspaugh, 2004). 본 연구에서는 신선한 분변 수거를 위해 수거 전날에 조사지역의 수달 분변 흔적을 모두 제거한 후, 그 다음날 일출 30분 전부터 분변 수거를 진행하였다. 수거한 분변 샘플은 준비한 50 mL tube에 넣어서 실험실로 옮겨와 분석할 때까지 -80°C 에서 냉동보관하였다.

3. 스테로이드 호르몬 추출 및 EIA (Enzyme immunoassay)

냉동보관한 분변 샘플들을 24시간 동안 동결 건조시킨 후, 막대 사발을 이용하여 분변 샘플들을 가루로 만들어 0.2 g씩 15 mL tube에 옮겨 담았다. 95% EtOH 5 mL을 가루가 된 0.2 g 샘플과 섞어 20분 동안 100°C 의 끓는 물에서 가열시켰다. 그리고 20분 동안 $500\times\text{g}$ 로 원심분리한 후, 상층액을 새로운 15 mL tube에 옮겨 담았다. 첫 번째 tube에 남은 분변 샘플을 95% EtOH 5 mL과 재부유(resuspend)시키고,

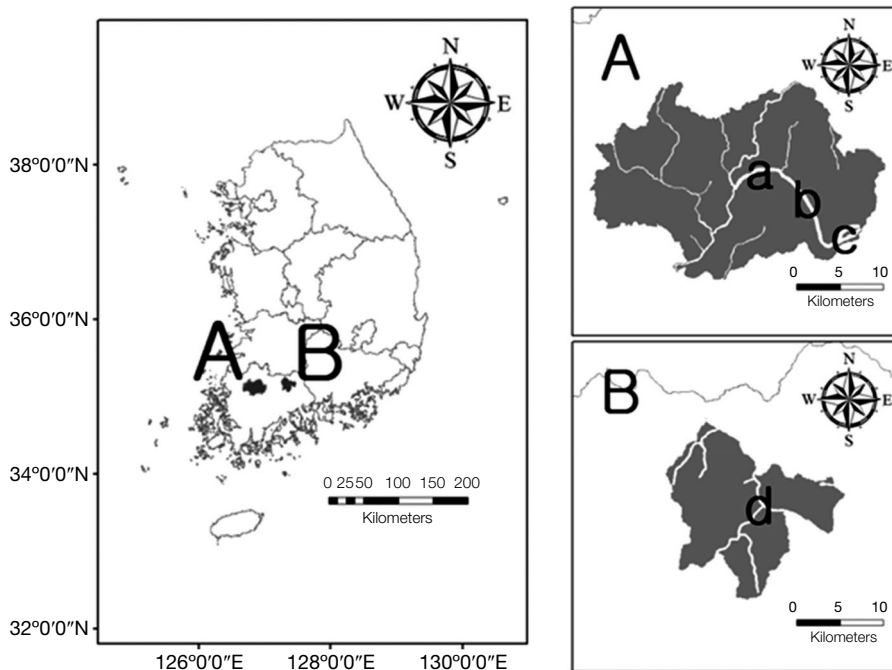


Fig. 1. Study sites in South Korea (A: Gwangju, B: Goksung, a: GSU, b: GSM, c: GSD, d: SJR).

1분 동안 섞어준 후, 다시 500×g로 20분 원심분리하여, 상층액을 전 과정에서 옮겨 담은 15 mL tube에 옮겨 담았다. 스테로이드 호르몬만 확인하기 위해 Centrifugal evaporator CVE-3100 (Tokyo Rikakikai CO., LTD)을 사용하여, EtOH를 증발시켰다. 추출이 끝난 샘플에서 수달의 스트레스 호르몬인 코르티코스테론의 농도를 측정하기 위해 효소면역측정법(Enzyme immunoassay)을 이용한 Kit (Assay Designs, Inc., Ann Arbor, MI)를 사용하였다. 본 연구에서는 모든 분변샘플들을 1:320으로 희석시킨 후, Kit 실험을 진행하였다 (Rothschild *et al.*, 2008). 측정된 표준 시료의 농도를 이용하여 표준 곡선을 그리고 난 후, 본 실험에서 사용된 분변 샘플의 스트레스 호르몬 농도를 확인하였다.

4. 통계분석방법

스트레스 호르몬 농도 수치에 대한 정규성 검정을 위해 Kolmogorov-Smirnov Test을 실시한 결과, 정규분포를 나타냈다. 따라서, 계절과 2지역(광주천(GJS), 섬진강(SJR))에 따른 스트레스 호르몬 농도 차이를 비교하기 위해 각각 T-test를 진행하였다. 또한 계절과 4지역(섬진강(SJR), 광주천 상류(GSU), 중류(GSM), 하류(GSD))에 따른 스트레스 호르몬 농도 차이와 상호 교우 작용을 확인하기 위해 T-test, One-way ANOVA, Two-way ANOVA를 진행하였으며, 사후검정으로는 Bonferroni correction 방법을 사용하였다.

서식지 요인 및 분변 개수와 스트레스 호르몬과의 관계를 알아보기 위해, Spearman correlation analysis를 이용하였다. 이후, 유의한 상관성을 가지는 요인들을 대상으로 Principal component analysis (PCA)를 진행하였다. 기온(Temp.), 고도(Altitude), 수폭(Width), 토지피복(Land cover), 수질을 서식지 요인으로 설정하였으며, 모든 서식지 요인은 분변 수거 조사가 진행된 시기와 지역에 따라 구분하였다. 토지피복 요인은 도시(Urban), 하천(Water), 농경지(Agri.), 나지(Bareland), 산지(Mount.)로 나누었으며, 수질 요인은 pH, 용존 산소량(DO), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS)을 대상으로 하였다. 기상 자료는 국가기후데이터 센터에서 월별평균기온(°C)을, 고도와 수폭은 현장조사와 Google earth 프로그램에서 지역별 평균 고도(m)와 평균 수폭(m)을, 토지피복은 2013년도에 환경부가 제작한 1:25000 토지피복분류도(중분류)에서 하천을 중심으로 반경 300m의 토지피복비율(%)을 구하였고, 수질 요인은 광주보건환경연구원, 광주광역시 상수도 사업본부, 물환경정보시스템에서 제공하는 pH, DO (mg L⁻¹), COD (mg L⁻¹), SS (mg L⁻¹)값을 사용하였다(Table 1).

본 연구에서 모든 통계 분석은 SPSS software (ver. 18.

SPSS Inc. Korea)를 사용하여 수행하였으며, 유의수준은 0.05로 설정하였다.

결 과

1. 스트레스 호르몬 비교

계절에 따른 스트레스 호르몬 수치를 살펴보면, 여름에는 평균 444.9±74.7 ng mL⁻¹ (n=57), 겨울에는 평균 274.5±26.0 ng mL⁻¹ (n=63)으로, T 검정 결과, 여름철에 통계적으로 유의하게 높았다(Fig. 2, t=2.155, P<0.05).

광주천 지역(GJS)과 섬진강 지역(SJR)의 스트레스 호

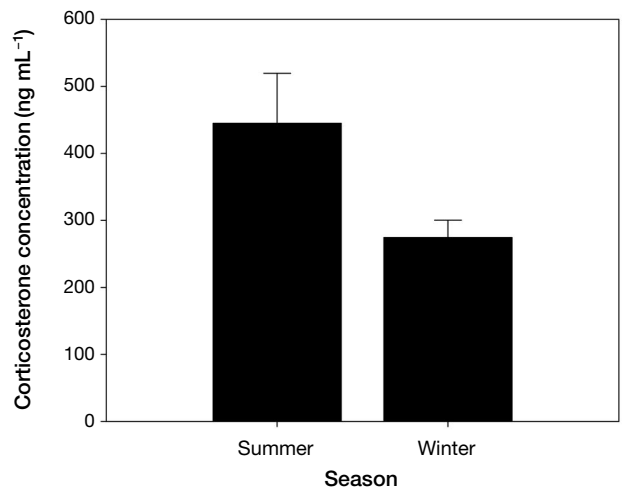


Fig. 2. Concentration of corticosterone (mean ± SE) during summer and winter (t = 2.155, P < 0.05).

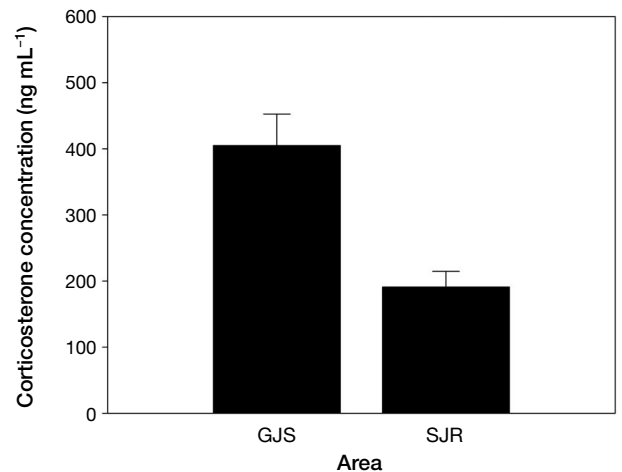


Fig. 3. Concentration of corticosterone (mean ± SE) in GJS and SJR (t = 4.217, P < 0.001).

Table 1. Habitat characteristics in 4 study sites.

Area	Season	Temp. (°C)	Altitude (m)	Width (m)	Land cover (%)				Water quality				
					Urban	Water	Agri.	Bareland	Mount.	pH	DO (mg L ⁻¹)	COD (mg L ⁻¹)	SS (mg L ⁻¹)
GJS (Ave.±S.E)	Summer	26.17±1.99	62.4±27.45	23.97±12.50	70.3±19.72	1.77±0.95	3.50±1.48	2.77±0.58	21.67±20.28	7.83±0.43	7.73±0.32	6.70±1.20	9.13±3.52
	Winter	1.40±2.10								6.77±0.09	9.93±0.33	5.67±1.41	5.00±2.29
GSU	Summer	22.2	113.4	8.0	31.0	0.4	4.4	2.0	62.2	7.0	8.3	5.6	2.3
	Winter	-2.8								6.9	9.5	3.7	1.3
GSM	Summer	28.0	54.5	15.3	92.9	1.3	0.6	2.4	2.8	8.1	7.7	5.4	11.1
	Winter	3.6								6.6	9.7	4.9	4.5
GSD	Summer	28.3	19.3	48.6	87.0	3.6	5.5	3.9	0.0	8.4	7.2	9.1	14.0
	Winter	3.4								6.8	10.6	8.4	9.2
SJR	Summer	26.9	39.3	84.1	4.3	4.5	1.0	2.3	88.0	8.1	9.5	5.7	4.5
	Winter	2.1								8.1	15.0	3.3	1.2

Temp.: temperature, Agri.: agriculture, Mount.: mountain, Ave.: Average, S.E.: Standard Error

Table 2. Correlation between hormone and environment factors.

	Temp. (°C)	Altitude (m)	Width (m)	Urban (%)	Water (%)	Agri. (%)	Bareland (%)	Mount. (%)	pH	DO (mg L ⁻¹)	COD (mg L ⁻¹)	SS (mg L ⁻¹)
Hormone	-0.310**	0.239**	-0.175	0.281**	0.009	0.168	0.262**	-0.291**	0.150	-0.195*	0.358**	0.421**

Spraint: number of spraints (otfers' feces), Temp.: temperature, Agri.: agriculture, Mount.: mountain, DO: dissolved oxygen, COD: chemical oxygen demand, SS: suspended solid and corticosterone concentration
*: p<0.05, **: p<0.01

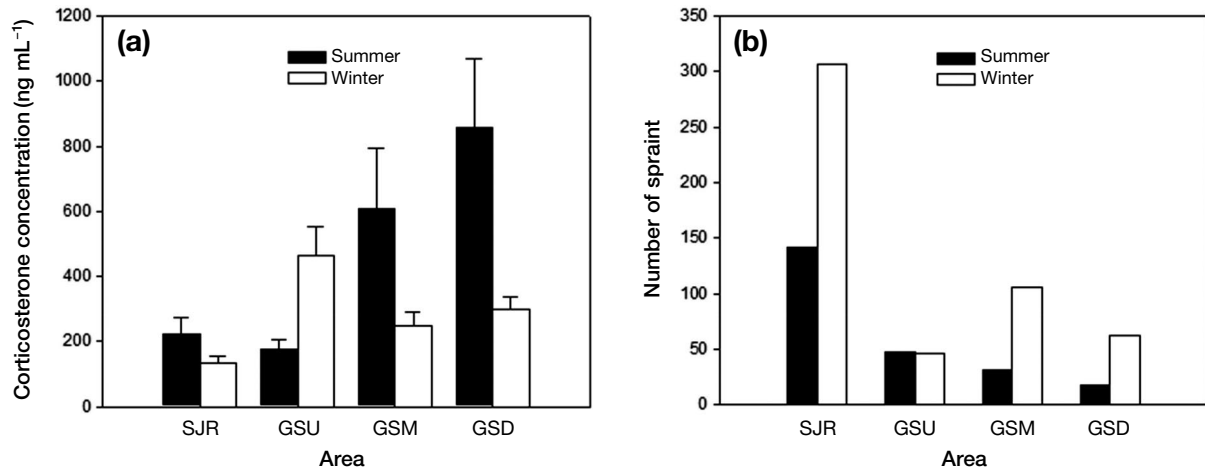


Fig. 4. (a) Concentration of corticosterone (mean \pm SE) in study sites, and (b) number of spraint (otters' feces) in GSU, GSM and GSD during summer (filled) and winter (blank).

르몬 평균값을 살펴보면, 광주천(GJS)에서 405.0 ± 47.6 ng mL⁻¹ (n=94), 섬진강(SJR)에서 176.2 ± 26.0 ng mL⁻¹ (n=26)으로, 섬진강 지역이 현저히 낮았다(Fig. 3, $t=4.217$, $P<0.001$).

계절과 지역에 따라서 스트레스 호르몬은 유의한 차이가 났다(계절, $F=6.793$, $P<0.05$; 지역, $F=6.228$, $P=0.001$; 상호 교호작용, $F=7.132$, $P<0.001$; Fig. 4a). 여름과 겨울에 스트레스 호르몬 평균값을 살펴보면, 여름에는 섬진강 지역(SJR)에서 223.0 ± 50.0 ng mL⁻¹ (n=12), 광주천 상류(GSU)에서 177.2 ± 27.8 ng mL⁻¹ (n=19), 광주천 중류(GSM)에서 606.9 ± 186.0 ng mL⁻¹ (n=12), 광주천 하류(GSD)에서 859.6 ± 209.4 ng mL⁻¹ (n=14)으로 나타나 광주천 상류(GSU)와 섬진강 지역(SJR)이 광주천 중, 하류 지역보다 낮음을 알 수 있었다($F(3, 53)=6.285$, $P=0.001$). 특히 광주천 하류(GSD)의 스트레스 호르몬 양이 광주천 상류(GSU)와 섬진강 지역(SJR)에서의 스트레스 양보다 통계적으로 유의하게 높았다(Bonferroni correction, $P<0.05$). 겨울에는 섬진강 지역(SJR)에서 136.2 ± 18.5 ng mL⁻¹ (n=14), 광주천 상류(GSU)에서 446.0 ± 91.2 ng mL⁻¹ (n=10), 광주천 중류(GSM)에서 248.3 ± 41.0 ng mL⁻¹ (n=18), 광주천 하류(GSD)에서 299.8 ± 39.7 ng mL⁻¹ (n=21)로 나타나 섬진강 지역이 광주천 지역보다 낮게 나타났다($F(3, 59)=6.394$, $P=0.001$; Fig. 4a). 겨울 동안, 광주천 상류(GSU)의 스트레스 호르몬이 광주천 중류(GSM)와 섬진강 지역(SJR)의 호르몬보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났고, 광주천 하류(GSD)의 스트레스 호르몬 양이 섬진강 지역(SJR)의 양보다 유의하게 높게 나타났다(Bonferroni correction, $P<0.05$).

2. GJS 내 분변 개수 비교 및 스트레스 호르몬과의 상관성

각 지역마다 3 km씩 도보로 이동하며 서식지 이용 정도를 대변할 수 있는 분변 개수를 확인한 결과, 여름에는 섬진강 지역(SJR)에서 142개, 광주천 상류(GSU)에서 48개, 중류(GSM)에서 31개, 하류(GSD)에서 18개가 발견되었고, 겨울에는 섬진강 지역(SJR)에서 306개, 광주천 상류(GSU)에서 46개, 중류(GSM)에서 106개, 하류(GSD)에서 62개가 발견되어 섬진강 지역의 배설물 수가 광주천의 수달 배설물 수보다 훨씬 많았다(Fig. 4b). 이를 이용한 광주천(GJS) 내 수달의 분변 개수와 스트레스 호르몬 간의 상관 분석 결과, 서로 음의 상관관계를 나타냈다($r=-0.310$, $P=0.001$).

3. 스트레스 호르몬에 영향을 미치는 서식지 요인

스트레스 호르몬에 영향을 미치는 서식지 요인을 확인하기 위한 상관분석결과, 분변 개수와 산지(%), DO(mg L⁻¹)에서 유의한 음의 상관관계를 기온(°C), 도시(%), 나지(%), COD(mg L⁻¹), SS(mg L⁻¹)에서 유의한 양의 상관성이 나타났다(Table 2, $P<0.05$).

유의한 상관성을 나타낸 서식지 요인들을 대상으로 PCA를 진행한 결과, PC1은 55.63%, PC2는 22.57%, PC3는 14.02%의 설명력을 나타냈다(Fig. 5). PC1에서는 산지(%)와 분변 개수를 제외한 모든 서식지 요인들이 양의 값을 나타냈고(Fig. 5a), 스트레스 호르몬 수치와 양의 상관관계를 나타냈다($r=0.326$, $P<0.001$). PC2에서는 스트레스 호르몬 수치와는 상관성을 보이지 않았으며($r=-0.148$, $P>0.05$), PC3에서는 음의 상관관계를 나타냈다($r=-0.213$, $P<0.05$).

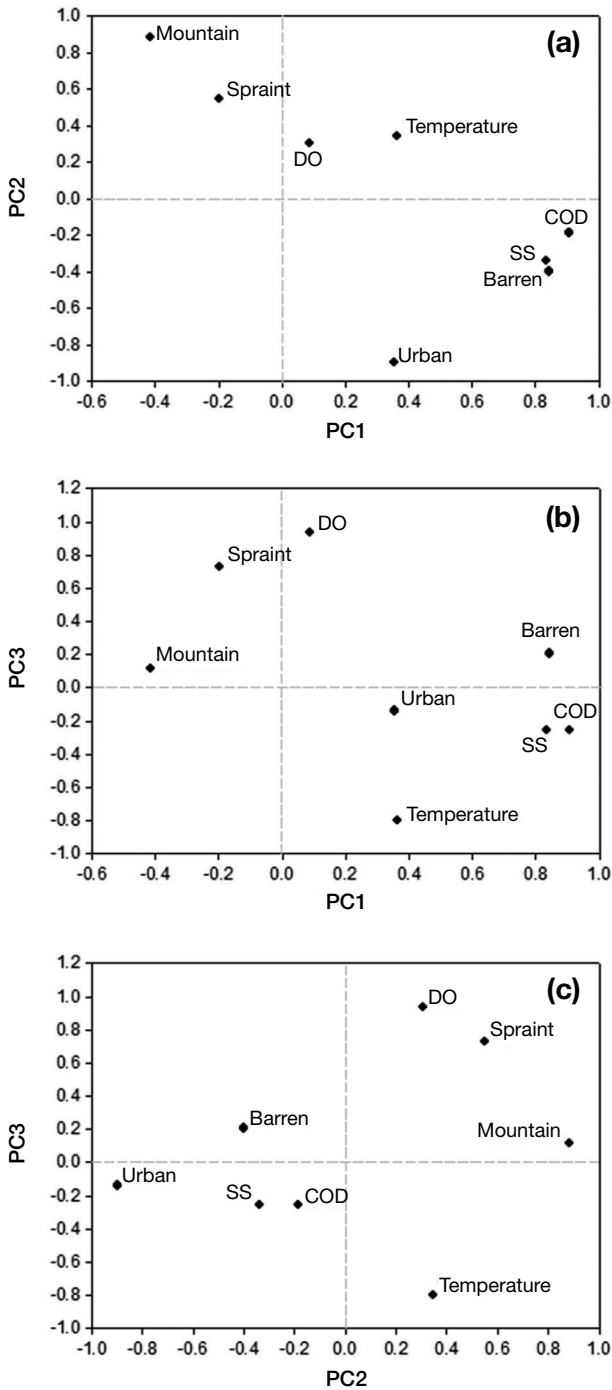


Fig. 5. Result of principle component analysis on habitat factors. (a) PC1 and PC2, Eigenvalue: 3.935, Variance explained: 56.209%, (b) PC1 and PC3, Eigenvalue: 1.600, Variance explained: 22.852%, (c) PC2 and PC3, Eigenvalue: 1.031, Variance explained: 14.727%.

고찰

스트레스 반응은 야생동물의 건강성을 대변할 수 있는데

(Bonier *et al.*, 2009), 수달의 경우 토지피복, 기온, 고도, 수질 등 많은 환경 변수에 영향을 받는다(Hong *et al.*, 2018). 최근에 도심지역에 수달이 자주 나타남에 따라 도시 지역 내 수달의 서식 상태를 파악하는 것은 보전 관리에 있어 매우 중요해졌다(Park *et al.*, 2011; Jo *et al.*, 2017). 따라서 본 연구에서는 도심 하천인 광주천(GJS)과 비교적 자연형 하천인 섬진강(SJR)에 서식하는 야생 수달을 대상으로 계절과 지역에 따른 서식지 이용도와 스트레스 호르몬을 비교분석하고, 스트레스 반응에 영향을 미치는 서식지 요인들과 각 요인들의 영향력을 확인하였다.

계절에 따른 스트레스 반응 차이는 많은 야생동물에서 나타난다(Romero, 2002). 이는 계절에 따라 먹이자원(Chapman *et al.*, 2007), 번식주기(Foley *et al.*, 2001), 활동성(Muller and Wrangham, 2004) 등에 차이를 보이기 때문이다. 본 연구결과, 겨울보다 여름에 더 높은 스트레스 호르몬 수치를 나타냈는데, 여름에 더 높은 스트레스 호르몬 수치를 보인 것은 높은 기온에 적응하기 위한 수달의 반응과 먹이 자원과 이용에 영향을 미치는 수질 때문으로 생각된다. 수달은 상대적으로 온도가 낮은 물에서 주로 생활을 하며 먹이 활동을 하지만, 해양 포유류와는 달리 체온 유지를 위한 두꺼운 지방층이 없다. 그러나 원활한 수중 생활과 먹이활동을 위한 방수 처리와 공기 트랩핑 기능을 갖춘 촘촘한 모피 층을 갖고 있어(Kruuk, 2006), 낮은 기온에 적응하기 위한 생존 전략을 잘 갖추고 있는데, 이것이 상대적으로 높은 기온에서는 보다 많은 스트레스를 받게 하는 것으로 생각된다. 또한 수질 악화는 수생동물의 내분비계에 직접적인 영향을 미칠 수 있으며(Fossi and Marsili, 2003), 간접적으로는 수달의 주요 먹이원인 어류 자원과 시야 방해로 인한 사냥 능력이 감소될 수 있기 때문에(Prigioni *et al.*, 2006; Zalewski, 2011; Acharya and Rajbhandari, 2014), 상대적으로 수질의 나쁨을 나타내는 DO는 낮고 COD와 SS가 높은 여름에 더 높은 스트레스 호르몬 수치를 보인 것으로 해석된다(Wang *et al.*, 2007).

수질 악화는 광주천(GJS)과 섬진강(SJR) 간 유의한 스트레스 호르몬 농도 차이를 보인 것과도 관련이 있는데, 섬진강(SJR)에 비해 광주천(GJS)은 DO가 낮고 COD와 SS는 높기 때문에, 직간접적으로 수달의 스트레스 반응에 영향을 미친 것으로 보인다(Fossi and Marsili 2003; Prigioni *et al.*, 2006; Zalewski, 2011; Acharya and Rajbhandari, 2014). 또한 두 지역 간 도시화 정도의 차이가 스트레스 반응에 영향을 미친 것으로 생각된다. 2007년 도시화로 인한 야생동물 질병에 관한 연구에서는 수달을 포함한 많은 야생동물들이 도시화로 인해 병원균에 보다 쉽게 노출되어 질병 및 스트레스를 유발시킬 수 있다고 서술하고 있다(Bradley and

Altizer, 2007). 따라서 도시 비율이 높은 광주천(GJS)에서 자연형 하천인 섬진강(SJR)보다 더 높은 스트레스 호르몬 수치를 보인 것은 도시 지역의 개체들이 시골 하천에 비해 더 스트레스를 심하게 받는다고 볼 수 있다.

먹이자원은 스트레스 호르몬에 많은 영향을 미칠 수 있는데, 과거 연구 자료에 따르면, 먹이자원이 적을수록 스트레스 호르몬 수치는 높아지는 것을 확인할 수 있으며(Kitaysky *et al.*, 1999; Buck *et al.*, 2007), 2007년 바다오리(*Uria aalge*)를 대상으로 한 연구에서는 스트레스 호르몬 수치가 그 지역의 먹이자원의 양을 예측할 수 있는 지표로도 활용될 수 있다고 설명하였다(Kitaysky *et al.*, 2007). 본 연구종인 수달을 대상으로 먹이자원과 스트레스 호르몬과의 상관성을 확인한 과거 연구 자료에서는 다른 분류군보다 어류를 주로 섭취한 그룹에서 더 낮은 스트레스 호르몬 수치를 나타냈는데, 이는 어류가 체내 에너지를 비축하는 데 더 효율적이라고 설명하였다(Watt, 1991; Kruuk, 1995). 이와 같이, 어류 개체수는 국내 야생 수달의 스트레스 반응에 많은 영향을 미칠 수 있다. 국내 담수성 어류의 이동성 관련 연구를 살펴보면, Park *et al.* (2014)은 여름철에 가장 높은 어류 이동성을 확인하였으며, 2016~17년 광주천 및 섬진강 어류 조사 결과를 살펴보면, 섬진강 지역(SJR; B섬진강18)에서 가장 많은 개체수가 확인되었다(MOE/NIER, 2016~2017). 이를 통해, 섬진강 지역(SJR)이 광주천 전 지역(GJS)에 비해 어류 먹이자원이 풍부하기 때문에 스트레스 호르몬이 비교적 낮다고 할 수 있다.

광주천 세 지역(GJS)에 서식하는 수달의 스트레스를 비교해 보면, 상대적으로 수폭이 좁고 하천 비율이 낮은 광주천 상류(GSU)의 수달의 경우 겨울이 되면 결빙과 유량 감소로 인해, 먹이 활동을 할 수 있는 지역이 제한된다(Hong *et al.*, 2019). 따라서 자원의 부족으로 인해 스트레스가 증가할 것으로 생각된다. 또한 광주천 하류의 경우, 도심지와 나지의 밀도가 높아 사람이 하천 주변에 많이 이동하며 다른 지역에 비해 여름에 기온이 상대적으로 높아 스트레스를 더 받을 것으로 보인다. 따라서 광주천 상류(GSU)와 하류(GSD)에서 계절에 따른 유의한 스트레스 호르몬 차이를 나타내며, 광주천 상류(GSU)는 겨울에, 하류(GSD)는 여름에 더 높은 스트레스 호르몬 수치를 나타낸 것으로 해석된다(Fig. 4a).

서식지 이용 정도를 대변할 수 있는 일정 면적당 분변 개수와 스트레스 호르몬 양의 관계는 음의 상관관계를 나타냈는데, 이는 본 연구 지역에 서식하는 야생 수달은 종 내 경쟁보다 외부 환경에 대한 스트레스를 더 받는 것으로 생각되어진다(Table 2). 두 계절 모두 섬진강(SJR)에서 배설물 밀도가 가장 높은 수치를 보였는데, 수달은 보다 자연적인 수변 환경을 선호하기 때문인 것으로 생각된다(Scorpio *et al.*, 2016).

광주천(GJS)의 경우, 여름에는 상류(GSU), 중류(GSM), 하류(GSD) 순으로, 겨울에는 중류(GSM), 하류(GSD), 상류(GSU) 순으로 많은 분변 개수가 확인되었는데, 여름에는 사람들을 피해 고도가 높은 상류 지역에 주로 머무르며(Weinberger *et al.*, 2016; Hong *et al.*, 2019), 겨울에는 먹이 자원이 풍부하고, 체온 유지를 위해 기온이 높은 중, 하류 지역에서 주로 활동하기 때문이다(Merritt and Merritt, 1978; Tester and Figala, 1990; Ruiz *et al.*, 2001). 지역별 배설물 밀도 변화와 스트레스 호르몬 양이 음의 관계로 나타나 광주천(GJS) 내 먹이자원이나 서식 공간에 대한 종 내 경쟁이 스트레스 호르몬에 영향을 미치지 않을 것으로 해석된다.

스트레스 호르몬에 영향을 미칠 수 있는 서식지 요인들에 대한 PCA를 진행한 결과, 56%의 설명력을 가지는 PC1에서 기온, 도시 비율, 나지 비율, DO, COD, SS 값은 양의 값을, 분변 개수와 산지 비율은 음의 값을 나타냈으며, 스트레스 호르몬과 양의 상관관계를 나타냈다. 그중에서 COD, 나지 비율, SS 값은 상대적으로 더 높은 수치를 보였는데, 이는 광주천과 섬진강에 서식하는 야생 수달의 스트레스 반응은 서식 환경의 질과 먹이자원 그리고 몸을 숨길 수 있는 지형 구조에 더 민감한 것으로 해석된다. 따라서, 도심지역 수달의 수달 보전에 있어, 먹이자원의 풍부도와 몸을 숨길 수 있는 지형 구조를 마련할 필요가 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 계절 및 지역에 따라 야생 수달의 스트레스 호르몬과 서식지 이용도를 비교하고, 스트레스 반응에 영향을 미칠 수 있는 서식지 요인들에 대해 분석하였다. 이외에도 많은 요인들이 스트레스 반응에 영향을 미칠 수 있는데, 그중에서 성별 차이는 스트레스 반응에 많은 영향을 미친다(Wasser *et al.*, 1988; Barrett *et al.*, 2002). 스트레스 호르몬을 분비하는 HPA 축과 생식호르몬을 분비하는 HPG 축은 상호 영향을 미치며, 스트레스 호르몬은 암컷의 생식계에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Brann and Mahesh, 1991; Oyola and Handa, 2017). 따라서 추후 연구에서는 분변을 활용한 성별 구별과 성숙 정도를 측정하여 야생 수달의 스트레스 반응에 영향을 미칠 수 있는 요인들에 대해 보다 정확한 결과를 제시하고자 한다.

국내 야생 수달 서식지 연구에서 주로 사용하는 흔적 조사를 통한 분석방법과 분변을 활용한 스트레스 호르몬 분석 방법은 비침습적인 방법으로 야생 수달에게 피해를 입히지 않는다는 공통점이 있다. 흔적 조사를 통해 서식지 내 개체 유무를 확인할 수 있으며, 더 나아가 스트레스 호르몬 분석 방법은 개체의 건강 정도를 가늠할 수 있기 때문에 서식지의 질적인 측면까지 확인할 수 있는 지표로 활용할 수 있다. 이에 분변을 활용한 스트레스 호르몬 분석방법을 새로운 야생 수달 서식지 연구방법으로 제안하며, 본 연구결과는 특히

도심지역 내 야생 수달의 보전 정책 및 관리방안의 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

저자정보 이진주(전남대학교 생물과학·생명기술학과 박사과정), 조현진(전남대학교 생물학과 박사후연구원), 나정은(전남대학교 생물학과 박사후연구원), 장재민(전남대학교 생물학과 학사), 장진우(전남대학교 생물학과 학사과정), 이학영(전남대학교 생물학과 교수)

저자기도 연구 개념 및 설계: 이진주, 조현진, 나정은, 이학영, 데이터 수집: 이진주, 장재민, 장진우, 데이터 분석과 해석: 이진주, 조현진, 나정은, 이학영, 논문 초고 작성: 이진주, 논문의 비판적 수정: 이진주, 조현진, 나정은, 이학영, 논문 검토: 이진주, 이학영

이해관계 본 연구에 참여한 모든 저자들은 학술출판에 있어서 어떠한 이해충돌의 여지가 없습니다.

REFERENCES

- Acharya, P.M. and S.L. Rajbhandari. 2014. Habitats of *Lutrogale perspicillata* in the Narayani River, Chitwan National Park, Nepal: assessment of water quality. *Journal of Indian Research* **2**: 67-76
- Addis, E.A., J.E. Davis, B.E. Miner and J.C. Wingfield. 2011. Variation in circulating corticosterone levels is associated with altitudinal range expansion in a passerine bird. *Oecologia* **167**(2): 369-378.
- Ahlering, M.A., J.E. Maldonado, L.S. Eggert, R.C. Fleischer, D. Western and J.L. Brown. 2013. Conservation outside Protected Areas and the Effect of Human-Dominated Landscapes on Stress Hormones in Savannah Elephants. *Conservation Biology* **27**(3): 569-575.
- Baker, M.R., K.S. Gobush and C.H. Vynne. 2013. Review of factors influencing stress hormones in fish and wildlife. *Journal for Nature Conservation* **21**(5): 309-318.
- Barrett, G.M., K. Shimizu, M. Bardi, S. Asaba and A. Mori. 2002. Endocrine correlates of rank, reproduction, and female-directed aggression in male Japanese macaques (*Macaca fuscata*). *Hormones and Behavior* **42**(1): 85-96.
- Bonier, F., P.R. Martin, I.T. Moore and J.C. Wingfield. 2009. Do baseline glucocorticoids predict fitness?. *Trends in Ecology & Evolution* **24**(11): 634-642.
- Bradley, C.A. and S. Altizer. 2007. Urbanization and the ecology of wildlife diseases. *Trends in Ecology & Evolution* **22**(2): 95-102.
- Brann, D.W. and V.B. Mahesh. 1991. Role of corticosteroids in female reproduction. *The FASEB Journal* **5**(12): 2691-2698.
- Buck, C.L., K.M. O'Reilly and S.D. Kildaw. 2007. Interannual variability of Black-legged Kittiwake productivity is reflected in baseline plasma corticosterone. *General and Comparative Endocrinology* **150**(3): 430-436.
- Chanin, P. 2003. Monitoring the Otter *Lutra lutra*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 10. English Nature, Peterborough.
- Chapman, C.A., T.L. Saj and T.V. Snaith. 2007. Temporal dynamics of nutrition, parasitism, and stress in colobus monkeys: implications for population regulation and conservation. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists* **134**(2): 240-250.
- Cho, H.S., K.H. Choi, S.D. Lee and Y.S. Park. 2009. Characterizing habitat preference of Eurasian river otter (*Lutra lutra*) in streams using a self-organizing map. *Limnology* **10**(3): 203-213.
- Clinchy, M., L. Zanette, R. Boonstra, J.C. Wingfield and J.N. Smith. 2004. Balancing food and predator pressure induces chronic stress in songbirds. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* **271**(1556): 2473-2479.
- Dallman, M.F. and S. Bhatnagar. 2010. Chronic Stress and Energy Balance: Role of the Hypothalamo-Pituitary-Adrenal Axis. *Comprehensive Physiology*: 179-210.
- Dantzer, B., Q.E. Fletcher, R. Boonstra and M.J. Sheriff. 2014. Measures of physiological stress: a transparent or opaque window into the status, management and conservation of species?. *Conservation Physiology* **2**(1): cou023.
- Delibes, M., S. Cabezas, B. Jiménez and M.J. González. 2009. Animal decisions and conservation: the recolonization of a severely polluted river by the Eurasian otter. *Animal Conservation* **12**(5): 400-407.
- De Kloet, E.R., M.S. Oitzl and M. Joëls. 1993. Functional implications of brain corticosteroid receptor diversity. *Cellular and Molecular Neurobiology* **13**(4): 433-455.
- Erlinge, S. 1967. Home range of the otter *Lutra lutra* L. in southern Sweden. *Oikos* **18**: 186-209.
- Evans, M.R., M.L. Roberts, K.L. Buchanan and A.R. Goldsmith. 2006. Heritability of corticosterone response and changes in life history traits during selection in the zebra finch. *Journal of Evolutionary Biology* **19**(2): 343-352.
- Foley, C.A.H., S. Papageorge and S.K. Wasser. 2001. Noninvasive stress and reproductive measures of social and ecological pressures in free-ranging African elephants. *Conservation Biology* **15**(4): 1134-1142.
- Fossi, M.C. and L. Marsili. (2003). Effects of endocrine disruptors in aquatic mammals. *Pure and applied chemistry* **75**(11-12): 2235-2247.
- Fowler, G.S., J.C. Wingfield and P.D. Boersma. 1995. Hormonal and reproductive effects of low levels of petroleum fouling in Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*). *The Auk* **112**(2): 382-389.

- George, S.C., T.E. Smith, P.S. Mac Cana, R. Coleman and W.I. Montgomery. 2014. Physiological stress in the Eurasian badger (*Meles meles*): effects of host, disease and environment. *General and Comparative Endocrinology* **200**: 54-60.
- Hemsworth, P.H., J.L. Barnett and C. Hansen. 1981. The influence of handling by humans on the behavior, growth, and corticosteroids in the juvenile female pig. *Hormones and Behavior* **15**(4): 396-403.
- Hong, S., Y. Do, J.Y. Kim, P. Cowan and G.J. Joo. 2017. Conservation activities for the Eurasian otter (*Lutra lutra*) in South Korea traced from newspapers during 1962-2010. *Biological Conservation* **210**: 157-162.
- Hong, S., D.K. Kim, Y. Do, J.Y. Kim, Y.M. Kim, P. Cowan and G.J. Joo. 2018. Stream health, topography, and land use influences on the distribution of the Eurasian otter *Lutra lutra* in the Nakdong River basin, South Korea. *Ecological Indicators* **88**: 241-249.
- Hong, S., J.S. Gim, H.G. Kim, P.E. Cowan and G.J. Joo. 2019. A molecular approach to identifying the relationship between resource use and availability in Eurasian otters (*Lutra lutra*). *Canadian Journal of Zoology* **97**(9): 797-804.
- Hong, S., M. Di Febbraro, A. Loy, P. Cowan and G.J. Joo. 2020. Large scale faecal (spraint) counts indicate the population status of endangered Eurasian otters (*Lutra lutra*). *Ecological Indicators* **109**:105844.
- Ingle, D.J. 1952. The role of the adrenal cortex in homeostasis. *The Journal of Endocrinology* **8**(4): xxiii-xxxvii.
- Jenkins, D. and G.O. Burrows. 1980. Ecology of otters in northern Scotland. III. The use of faeces as indicators of otter (*Lutra lutra*) density and distribution. *The Journal of Animal Ecology* **49**(3): 755-774.
- Jo, Y.S., C.M. Won, S.R. Fritts, M.C. Wallace and J.T. Baccus. 2017. Distribution and habitat models of the Eurasian otter, *Lutra lutra*, in South Korea. *Journal of Mammalogy* **98**(4): 1105-1117.
- Kalz, B., K. Jewgenow and J. Fickel. 2006. Structure of an otter (*Lutra lutra*) population in Germany - results of DNA and hormone analyses from faecal samples. *Mammalian Biology* **71**(6): 321-335.
- Kitaysky, A.S., J.F. Piatt, J.C. Wingfield and M. Romano. 1999. The adrenocortical stress-response of black-legged kittiwake chicks in relation to dietary restrictions. *Journal of Comparative Physiology B* **169**(4-5): 303-310.
- Kitaysky, A.S., J.F. Piatt and J.C. Wingfield. 2007. Stress hormones link food availability and population processes in seabirds. *Marine Ecology Progress Series* **352**: 245-258.
- Kruuk, H. 1995. Wild otters: predation and populations. Oxford University Press, New York.
- Kruuk, H. 2006. Otters: ecology, behaviour and conservation. Oxford University Press, New York.
- Lenton, E.J., P.R. Chanin and B.J. Jefferies. 1980. Otter survey of England 1977-79. Nature Conservancy Council.
- Macdonald, S.M. and C.F. Mason. 1983. Some factors influencing the distribution of otters *Lutra lutra*. *Mammal Review* **13**: 1-10.
- Malcolm, K.D., W.J. McShea, D.L. Garshelis, S.J. Luo, T.R. Van Deelen, F. Liu, S. M. Li, Lin, D. Wang and J.L. Brown. 2014. Increased stress in Asiatic black bears relates to food limitation, crop raiding, and foraging beyond nature reserve boundaries in China. *Global Ecology and Conservation* **2**: 267-276.
- Mason, C.F. and S.M. Macdonald. 2009. Otters: ecology and conservation. Cambridge University Press, Cambridge.
- Merritt, J.F. and J.M. Merritt. 1978. Seasonal home ranges and activity of small mammals of a Colorado subalpine forest. *Acta Theriologica* **23**(9): 195-202.
- Millsbaugh, J.J. and B.E. Washburn. 2004. Use of fecal glucocorticoid metabolite measures in conservation biology research: considerations for application and interpretation. *General and Comparative Endocrinology* **138**(3): 189-199.
- Moberg, G.P. 2000. The biology of animal stress: basic principles and implications for animal welfare. CABI Publishing, New York.
- MOE/NIER. 2016-2017. The Survey and Evaluation of Aquatic Ecosystem Health in Korea, The Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research, Korea.
- Möstl, E. and R. Palme. 2002. Hormones as indicators of stress. *Domestic Animal Endocrinology* **23**(1-2): 67-74.
- Muller, M.N. and R.W. Wrangham. 2004. Dominance, cortisol and stress in wild chimpanzees (*Pan troglodytes schweinfurthii*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* **55**(4): 332-340.
- Nakanishi, N. and M. Izawa. 2019. Rediscovery of otters on the Tsushima Islands, Japan by trail cameras. *Mammal Study* **44**(3): 215-220.
- Oyola, M.G. and R.J. Handa. 2017. Hypothalamic-pituitary-adrenal and hypothalamic-pituitary-gonadal axes: sex differences in regulation of stress responsivity. *Stress* **20**(5): 476-494.
- Park, C.S. and K.G. An. 2014. Fish passage assessments in the fishway of Juksan weir constructed in the downstream area of Youngsan-river watershed. *Journal of Environmental Science International* **23**(8): 1513-1522.
- Park, H.C., T.Y. Han, D.C. Kim, M.S. Min, S.Y. Han, K.S. Kim and H. Lee. 2011. Individual identification and sex determination of Eurasian otters (*Lutra lutra*) in Daegu city based on genetic analysis of otter spraint. *Genes & Genomics* **33**(6): 653-657.
- Park, H.C. 2019. Conservation Genetics of Eurasian Otter in South Korea. Ph.D thesis. Seoul National University, Seoul.
- Price, K., C. Kittridge, Z. Damby, S.G. Hayes and E.A. Addis. 2018. Relaxing life of the city? Allostatic load in yellow-bellied marmots along a rural-urban continuum. *Conservation Physiology* **6**(1): coy070.

- Prigioni, C., A. Balestrieri, L. Remonti, A. Gargaro and G. Priore. 2006. Diet of the Eurasian otter (*Lutra lutra*) in relation to freshwater habitats and alien fish species in southern Italy. *Ethology Ecology & Evolution* **18**(4): 307-320.
- Rangel-Negrín, A., J.L. Alfaro, R.A. Valdez, M.C. Romano and J.C. Serio-Silva. 2009. Stress in Yucatan spider monkeys: effects of environmental conditions on fecal cortisol levels in wild and captive populations. *Animal Conservation* **12**(5): 496-502.
- Robitaille, J.F. and S. Laurence. 2002. Otter, *Lutra lutra*, occurrence in Europe and in France in relation to landscape characteristics. *Animal Conservation* **5**(4): 337-344.
- Romanowski, J., M. Brzeziński and M. Zmihorski. 2013. Habitat correlates of the Eurasian otter *Lutra lutra* recolonizing central Poland. *Acta Theriologica* **58**(2): 149-155.
- Romero, L.M. 2002. Seasonal changes in plasma glucocorticoid concentrations in free-living vertebrates. *General and Comparative Endocrinology* **128**(1): 1-24.
- Romero, L.M. 2004. Physiological stress in ecology: lessons from biomedical research. *Trends in Ecology & Evolution* **19**(5): 249-255.
- Rostain, R.R., M. Ben-David, P. Groves and J.A. Randall. 2004. Why do river otters scent-mark? An experimental test of several hypotheses. *Animal Behaviour* **68**(4): 703-711.
- Rothschild, D.M., T.L. Serfass, W.L. Seddon, L. Hegde and R.S. Fritz. 2008. Using fecal glucocorticoids to assess stress levels in captive river otters. *The Journal of Wildlife Management* **72**(1): 138-142.
- Ruiz-Olmo, J., J.M. López-Martín and S. Palazón. 2001. The influence of fish abundance on the otter (*Lutra lutra*) populations in Iberian Mediterranean habitats. *Journal of Zoology* **254**(3): 325-336.
- Sapolsky, R.M., L.M. Romero and A.U. Munck. 2000. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocrine Reviews* **21**(1): 55-89.
- Scorpio, V., A. Loy, M. Di Febbraro, A. Rizzo and P. Aucelli. 2016. Hydromorphology meets mammal ecology: river morphological quality, recent channel adjustments and otter resilience. *River Research and Applications* **32**(3): 267-279.
- Tester, J.R. and J. Figala. 1990. Effects of biological and environmental factors on activity rhythms of wild animals. *Cronobiology: Its Role in Clinical Medicine, General Biology, and Agriculture*: 809-819.
- Touma, C. and R. Palme. 2005. Measuring fecal glucocorticoid metabolites in mammals and birds: the importance of validation. *Annals of the New York Academy of Sciences* **1046**(1): 54-74.
- Wang, X.L., Y.L. Lu, J.Y. Han, G.Z. He and T.Y. Wang. 2007. Identification of anthropogenic influences on water quality of rivers in Taihu watershed. *Journal of Environmental Sciences* **19**(4): 475-481.
- Wasser, S.K., L. Risler and R.A. Steiner. 1988. Excreted steroids in primate feces over the menstrual cycle and pregnancy. *Biology of Reproduction* **39**(4): 862-872.
- Watt, J. 1991. Prey selection by coastal otters (*Lutra lutra* L.). Doctoral dissertation, University of Aberdeen.
- Weinberger, I.C., S. Muff, A. de Jongh, A. Kranz and F. Bontadina. 2016. Flexible habitat selection paves the way for a recovery of otter populations in the European Alps. *Biological Conservation* **199**: 88-95.
- Whitten, P.L., D.K. Brockman and R.C. Stavisky. 1998. Recent advances in noninvasive techniques to monitor hormone-behavior interactions. *American Journal of Physical Anthropology* **107**(S27): 1-23.
- Wingfield, J.C. and L.M. Romero. 2001. Adrenocortical responses to stress and their modulation in free-living vertebrates. *Handbook of Physiology, Section 7*: 211-236.
- Won, C. and K.G. Smith. 1999. History and current status of mammals of the Korean Peninsula. *Mammal Review* **29**(1): 3-36.
- Zalewski, J.T. 2011. Ecological factors influencing stress in northern river otters (*Lontra canadensis*). Doctoral dissertation, Humboldt State University.