



•研究报告•

# 阿尔泰山前荒漠两种沙蜥体况指数特征 及其与生态因子的关系

陶夏秋<sup>1,2,3</sup> 蒋志刚<sup>1,4</sup> 吉晟男<sup>5</sup> 初红军<sup>6</sup>  
李娜<sup>1,4</sup> 杨道德<sup>3\*</sup> 李春旺<sup>1,4\*</sup>

1 (中国科学院动物研究所动物生态与保护生物学重点实验室, 北京 100101)

2 (南京师范大学生命科学学院江苏省生物多样性与生物技术重点实验室, 南京 210023)

3 (中南林业科技大学野生动植物保护研究所, 长沙 410004)

4 (中国科学院大学, 北京 100049)

5 (中国环境科学研究院生物多样性研究中心, 北京 100012)

6 (新疆卡拉麦里山有蹄类自然保护区阿勒泰管理站, 新疆阿勒泰 836500)

**摘要:** 为明确奇台沙蜥(*Phrynocephalus grumgrzimailoi*)和旱地沙蜥(*P. helioscopus*)体况指数的年龄性别特征, 及其与海拔、年均温、年降水量、平均日较差之间的关系, 我们测量了阿勒泰地区84只奇台沙蜥与176只旱地沙蜥的体况数据, 用log体重/log头体长表示体况指数。结果显示: (1)旱地沙蜥与奇台沙蜥间体况指数差异显著。(2)旱地沙蜥体况指数雌雄两性差异不显著, 奇台沙蜥体况指数雌雄两性差异显著。(3)两种蜥蜴成体与亚成体间体况指数均差异明显。(4)以月份为单位, 奇台沙蜥体况指数月份差异明显, 旱地沙蜥体况指数月份差异不明显。(5)年均温对奇台沙蜥体况指数有重要影响, 而年降水量为补充因子, 主要通过与其他生态因子组合发挥作用, 海拔对旱地沙蜥体况指数有影响。这些结果表明两种沙蜥对不同环境因子的反应不同, 在不同环境的适应度也不同。

**关键词:** 阿勒泰地区; 沙蜥属; 体况指数; 生态因子

## The relationship between body condition index and ecological factors in two *Phrynocephalus* species in the piedmont desert of Altai Mountains

Xiaqiu Tao<sup>1,2,3</sup>, Zhigang Jiang<sup>1,4</sup>, Shengnan Ji<sup>5</sup>, Hongjun Chu<sup>6</sup>, Na Li<sup>1,4</sup>, Daode Yang<sup>3\*</sup>, Chunwang Li<sup>1,4\*</sup>

1 CAS Key Laboratory of Animal Ecology and Conservation Biology, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

2 Jiangsu Key Laboratory for Biodiversity and Biotechnology, College of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210023

3 Wildlife Protection Research Institute, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004

4 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

5 Biodiversity Research Center, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012

6 Altay Management Station of Mt. Kalamaili Ungulate Nature Reserve, Altay, Xinjiang 836500

**Abstract:** We investigated the age-related and sexual characteristics in *Phrynocephalus helioscopus* and *P. grumgrzimailoi* using the body condition index and its relationship to annual mean temperature, annual precipitation, altitude, and mean diurnal range. We collected body measurement data for 176 individuals of *P. helioscopus* and 84 individuals of *P. grumgrzimailoi*. The body condition index is comprised of the ratio of log body mass to log snout-vent length. There were significant differences of the body condition index between *P. helioscopus* and *P. grumgrzimailoi*. In *P. grumgrzimailoi*, body condition indices between the sexes were significantly different but were not in *P. helioscopus*. Differences between sub-adults and adults were significant in both species. Body condition index of *P. grumgrzimailoi* differed significantly through time but remained unchanged in *P. helioscopus*. Annual mean temperature is a significant predictor for body

收稿日期: 2019-08-26; 接受日期: 2019-11-12

基金项目: 国家科技基础性工作专项(2013FY110300)、国家重点研发计划(2016YFC0503304)和国家自然科学基金(31472021)

\* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: csfuyydd@126.com; licw@ioz.ac.cn

condition index of *P. grumgrzimaloi* and interacts with annual precipitation in our models. Meanwhile, altitude had significant effects on body condition index in *P. helioscopus*. These results suggest that these two species respond differently to various environmental factors, and their adaptability to different environmental conditions are not the same.

**Key words:** Altai Mountains; *Phrynocephalus*; body condition index; ecological factors

体况指数(body condition index)是衡量动物身体比重的一个指标,通常被用作脂质储备或动物健康相关性状的代表,同时也可以反映动物在生境中的食物获取能力及对生态环境的适应程度(Hellgren et al, 1993; Stirling et al, 1999; Wilder et al, 2016)。从早期的Fulton状态指数 $K$ (1911)开始,Juliano(1986)、Cavallini(1996)、Lunn和Boyd(1993)等先后提出不同的体况指数。夏武平和孙崇潞(1963)在国内首次将体况指数引入到啮齿类,而后越来越多的学者开始对陆生脊椎动物的体况指数开展研究(吴云龙,1965;房继明和孙儒泳,1995;王寿兵等,1999;欧永跃,2004;范尊龙等,2013)。体况指数将动物的质量与体积联系起来,在很多情况下具有重要作用:(1)可以提供动物在面对入侵动物威胁时的初步评估,如欧洲泽龟(*Emys orbicularis*)、红腹彩龟(*Pseudemys rubriventris*)在面对幼年巴西红耳龟(*Trachemys scripta elegans*)的竞争时,体况指数均明显降低(Cadi & Joly, 2003; Pearson et al, 2015);(2)指导哪些物种应该接受更详细的研究(Stevenson & Woods, 2006),如雄性螳螂喜欢接近并选择具有相对较大腹部(即较大体况指数)的雌性,因为较高体况指数的雌性螳螂能产出更多的卵,且产卵的潜伏期更短,对雄性的攻击性也更小(Lelito & Brown, 2006; Maxwell et al, 2010);(3)可以反映周围环境因子的变化,因为这些因子会影响动物对于资源的获取、分类和使用(Boggs, 2009)。较低的食物获取率通常会导致低脂质储备,如生活在更高城市化水平栖息地的麻雀(*Passer domesticus*)的体况指数总是比农村栖息地的差;而随着海冰的减少,北极熊(*Ursus maritimus*)的体况指数也越来越差(Liker et al, 2008; Rode et al, 2010)。

一般认为,人为干扰会对动物个体的体况指数产生负面影响,会增加个体被捕食的几率,或导致寄生虫病的传播(Allan et al, 2003; Rode et al, 2006; Lomas et al, 2015)。对于一些杂食动物来说,人为干扰强度对其体况指数的影响弱于季节、性别和年龄

(Boswell et al, 1994; Rakotoniaina et al, 2016)。许多动物能通过扩大其食物范围等手段调整摄取食物的行为,保证储能需求(Nakagawa et al, 2007)。

关于种群数量与个体体况指数之间的关系研究者并未达成一致。一些研究者发现,个体的体况指数可能与种群规模呈负相关(Solberg et al, 1999; Unglaub et al, 2018),推测这是种群数量调节的一种机制,一方面这可能是内部资源竞争的结果(Oldham et al, 2000),另一方面较差的身体状况可能导致动物繁殖力的下降(Reading & Clarke, 1995)。另一部分研究者认为对于受到食物限制的种群,低种群数量与低体况指数应该是相关的(Suorsa et al, 2004)。

沙蜥属(*Phrynocephalus*)属于爬行纲有鳞目鬣蜥科,约有40个物种(赵尔宓等,1999),在中国分布有16种。沙蜥广泛分布于不同底色的生境中,种群体色表现出了丰富的地理差异(Tao et al, 2018)。奇台沙蜥(*Phrynocephalus grumgrzimaloi*)和旱地沙蜥(*P. helioscopus*)均属卵生种,两者在国内均为新疆特有种,分布区有重叠,互为旁系群且海拔分布相近(Jin et al, 2018)。奇台沙蜥,又名东疆沙蜥,是新疆东部地区的优势种。主要栖息于荒漠草原及固定沙丘地带,也在农田附近和风蚀沙丘的盐渍土地上活动,以小型无脊椎动物为食。旱地沙蜥仅分布在新疆天山以北的阿勒泰和塔城地区,是一种分布在沙砾和戈壁的典型物种,并且主要依靠环境来躲避天敌。它们通常以小型无脊椎动物为食,例如甲虫和蚂蚁(Nikol'skii, 1963; Clark et al, 1966; Clark & Clark, 1973)。对于这两个物种的研究多限于行为、繁殖、食性、两性异形、分类地位等方面(Meyer & Zinke, 1992; 吾玛尔·阿布力孜和古丽波斯坦·艾则孜,1999;熊晔,2006<sup>①</sup>;刘洋和时磊,2009;梁涛等,2015;徐峰等,2015),而关于沙蜥属动物的体况指数及相关影响因素未见报道。本文通过研究旱地沙

<sup>①</sup> 熊晔(2006)沙蜥属部分物种分类性状评价. 硕士学位论文,中国科学院研究生院和中国科学院成都生物研究所,成都。

蜥与奇台沙蜥的体况指数及其与周围生态因子之间的关系,解析这两个近缘种对于周围环境中关键因子的敏感性,以及反映在环境上各自的适应度,期望能对这两个物种的生态适应研究有所裨益。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区域概况

实验动物采集于新疆阿勒泰地区卡拉麦里山有蹄类自然保护区(以下简称卡拉麦里保护区)与青河县塔克什肯镇。卡拉麦里保护区位于准噶尔盆地东部,包括山地、沙漠和戈壁,南部为古尔班通古特沙漠和荒漠戈壁,中北部区域分别为卡拉麦里山脉和半荒漠化丘陵地带。海拔600–1,470 m,由东向西海拔逐渐降低。属干旱半干旱地区,区内地下水储量少,且降水量极少,水资源严重匮乏,因此水资源是保护区野生动植物生存的关键影响因子。保护区年均气温4–6℃,7月平均气温20.5℃,1月为–18℃,年均降水量159.1 mm,年均蒸发量2,090 mm,冬季寒冷漫长,春、夏季炎热干旱,秋季温凉(Xu et al, 2012a, b)。

保护区内植物群落组成相对简单,主要由旱生、半旱生的荒漠化植物组成,优势种有碱韭(*Allium polyrhizum*)、盐生假木贼(*Anabasis salsa*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、木蓼(*Atraphaxis frutescens*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)、驼绒藜(*Krascheninnikovia ceratoides*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、红砂(*Reaumuria soongarica*)和沙生针茅(*Stipa glareosa*)等,植被覆盖度一般在10%–20%<sup>①</sup>。

塔克什肯镇为中蒙边境口岸,行政区划隶属阿勒泰地区青河县,为常年性开放口岸。主要为戈壁荒滩,冬季漫长严寒,夏季短暂炎热,年最高温度为36.5℃,极端最低温度可至–53℃,年均温差达70℃,年降水量约160 mm(杨晨光等, 2013)。

### 1.2 研究材料

于2014年6–7月和2015年8–9月,在阿勒泰地区采集奇台沙蜥和旱地沙蜥共260只。其中,奇台沙蜥84只,分别于2014年7月在卡拉麦里保护区(66只)和2015年8月在塔克什肯镇(18只)采集;旱地沙蜥共176只,分别于2014年6–7月在卡拉麦里保护区(47

只)和2015年8–9月在塔克什肯镇(129只)采集。

用数显游标卡尺( $\pm 0.01$  mm)及天平(0.01g)测量体重(body mass)和头体长(snout-vent length),头体长为吻端至泄殖腔孔前缘的距离(赵尔宓等, 1999)。

### 1.3 数据处理

Labocha等(2014)通过对比17种体况指数公式,发现在雌性物种中,体重/头体长和 $\log$ 体重/ $\log$ 头体长要比其他的比值法和残差法更有效,在雄性物种方面, $\log$ 体重/ $\log$ 头体长和骨盆长与头体长之比的线性回归残差是最优的方案。故本文选择 $\log$ 体重/ $\log$ 头体长。

气候因子包括年均温(annual mean temperature, AMT)、年降水量(annual precipitation, AP)和平均日较差(mean diurnal range, MDR),均来自世界气候数据网站(<http://www.worldclim.org>),数据精度为1 km<sup>2</sup>。利用 ArcGIS 10.2软件对所有网格重采样,使每个调查样区都在栅格内(精度为10 km<sup>2</sup>)。

本研究的所有统计分析均在R软件中进行(Wood, 2017)。经检验,沙蜥头体长、体重、体况指数均不符合正态分布(单样本Kolmogorov-Smirnov检验,  $P < 0.05$ ),采用非参数检验(沙蜥雌雄体况指数对比采用Mann-Whitney检验,单因素相关性分析采用Spearman相关)。使用广义相加模型(generalized additive model, GAM)对生态因子(年均温、年降水量、平均日较差、海拔)与体况指数之间的关系进行分析,筛选出最适因子。当显著性概率 $P < 0.05$ 时认为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 奇台沙蜥与旱地沙蜥的体况指数

奇台沙蜥的头体长为2.44–6.29 cm,体重为0.63–9.14 g,体况指数为–0.4838至1.2034。2015年雌雄样本的头体长、体重、体况指数均值均小于2014年样本。旱地沙蜥的头体长为2.58–5.93 cm,体重为0.65–6.58 g,体况指数为–0.4650至1.1265。2014年卡拉麦里保护区采集的奇台沙蜥头体长、体重、体况指数均值均大于该地区的旱地沙蜥;2015年塔克什肯镇采集的奇台沙蜥头体长、体重、体况指数均值则小于该地区的旱地沙蜥(表1)。

2014年和2015年旱地沙蜥体况指数在雌雄间无显著差异( $Z = -1.022$ ,  $P = 0.307 > 0.05$ ),亚成体与成体间差异显著( $Z = -10.418$ ,  $P < 0.001$ )。以调查

<sup>①</sup> 古力扎提·艾买提(2017)基于RS和GIS准东荒漠露天煤矿区景观格局变化及生态服务价值分析,硕士学位论文,新疆大学,乌鲁木齐。

表1 奇台沙蜥和旱地沙蜥的头体长、体重及体况指数

Table 1 Snout-vent length, body mass and body condition index of *Phrynocephalus grumgrzimailoi* and *Phrynocephalus helioscopus*

采集时间 Collecting month	采集地点 Area	年龄 Age	性别 Sex	样本量 Sample size	头体长 Snout-vent length (cm) (Mean ± SE)	体重 Body mass (g) (Mean ± SE)	体况指数 Body condition index (Mean ± SE)
奇台沙蜥 <i>Phrynocephalus grumgrzimailoi</i>							
2014.7	卡拉麦里山有蹄类自然保护区 Mt. Kalamaili Ungulate Nature Reserve	成体 Adult	♀	51	4.89 ± 0.46	4.47 ± 1.29	0.9131 ± 0.1339
		成体 Adult	♂	15	5.20 ± 0.48	5.90 ± 1.51	1.0556 ± 0.1120
2015.8	塔克什肯镇 Takeshiken Town	成体 Adult	♀	3	4.25 ± 0.19	3.20 ± 0.63	0.7949 ± 0.1037
		成体 Adult	♂	5	4.22 ± 0.22	3.21 ± 0.38	0.8042 ± 0.0602
		亚成体 Sub-adult		10	2.67 ± 0.14	0.74 ± 0.11	-0.3205 ± 0.1598
旱地沙蜥 <i>Phrynocephalus helioscopus</i>							
2014.6	卡拉麦里山有蹄类自然保护区 Mt. Kalamaili Ungulate Nature Reserve	成体 Adult	♀	9	4.27 ± 0.45	3.42 ± 0.85	0.8264 ± 0.1196
		成体 Adult	♂	6	4.12 ± 0.29	3.33 ± 0.77	0.8317 ± 0.1217
2014.7	卡拉麦里山有蹄类自然保护区 Mt. Kalamaili Ungulate Nature Reserve	成体 Adult	♀	19	4.24 ± 0.50	3.25 ± 1.16	0.7784 ± 0.1431
		成体 Adult	♂	13	4.26 ± 0.33	3.59 ± 0.79	0.8655 ± 0.1166
2015.8	塔克什肯镇 Takeshiken Town	成体 Adult	♀	42	4.43 ± 0.46	4.18 ± 1.01	0.9187 ± 0.2224
		成体 Adult	♂	28	4.48 ± 0.20	4.30 ± 0.48	0.9685 ± 0.0637
		亚成体 Sub-adult		52	2.96 ± 0.21	1.21 ± 0.24	0.1462 ± 0.1902
2015.9	塔克什肯镇 Takeshiken Town	成体 Adult	♀	1	4.32	4.25	0.9895
		成体 Adult	♂	2	4.57 ± 0.57	4.67 ± 0.37	1.0131 ± 0.0600
		亚成体 Sub-adult		4	3.24 ± 0.32	1.58 ± 0.42	0.3479 ± 0.2535

时间为单位区分, 2014年6月、7月; 2015年8月、9月旱地沙蜥体况指数在月份间无显著差异(2014年:  $Z = -0.342$ ,  $P = 0.732 > 0.05$ ; 2015年:  $Z = -0.769$ ,  $P = 0.442 > 0.05$ ); 以性别区分, 雌性旱地沙蜥2014年6月、7月体况指数差异不显著( $Z = -1.058$ ,  $P = 0.290 > 0.05$ ), 雄性旱地沙蜥2014年6月、7月体况指数差异也不显著( $Z = -0.614$ ,  $P = 0.539 > 0.05$ ); 以年龄区分, 成体旱地沙蜥2014年6月、7月体况指数差异不显著( $Z = -0.342$ ,  $P = 0.732 > 0.05$ )。2015年旱地沙蜥体况指数雌雄两性差异不显著( $Z = -0.123$ ,  $P = 0.902 > 0.05$ ), 同时亚成体、成体体况指数差异显著( $Z = -9.278$ ,  $P < 0.001$ ), 2015年8月的数据显示, 该月的旱地沙蜥雌雄两性差异同样显示不显著( $Z = -0.042$ ,  $P = 0.967 > 0.05$ ), 亚成体、成体间体况指数差异显著( $Z = -9.055$ ,  $P < 0.001$ )。

2014年、2015年雌雄奇台沙蜥体况指数两性差异显著( $Z = -2.264$ ,  $P = 0.024 < 0.05$ ), 亚成体、成体

奇台沙蜥体况指数差异显著( $Z = -5.111$ ,  $P < 0.001$ )。以调查地区为单位区分, 2014年卡拉麦里、2015年塔克什肯镇奇台沙蜥体况指数差异显著( $Z = -5.418$ ,  $P < 0.001$ )。2014年, 奇台沙蜥体况指数两性差异显著( $Z = -3.634$ ,  $P < 0.001$ )。

2014年, 卡拉麦里保护区的奇台沙蜥与旱地沙蜥体况指数差异显著( $Z = -4.48$ ,  $P < 0.001$ )。2014年成体奇台沙蜥与2015年成体旱地沙蜥体况指数差异不显著( $Z = -0.477$ ,  $P > 0.05$ )。

Spearman相关分析显示, 奇台沙蜥体况指数与4种环境因子均显著相关, 除与海拔呈负相关外, 与另外3种因子呈正相关(表2), 而旱地沙蜥体况指数与4种环境因子相关性均不显著。考虑到旱地沙蜥体况指数两性差异并不显著( $Z = -1.022$ ,  $P = 0.307 > 0.05$ ), 第二次相关性分析以年龄来划分, 结果显示成体旱地沙蜥与年均温与平均日较差有显著性相关(表3); 亚成体旱地沙蜥则仅与年均温呈

**表2 奇台沙蜥、旱地沙蜥体况指数与环境因子的相关性**  
Table 2 Correlation between environmental factors and body condition index of *Phrynocephalus grumgrzimailoi* and *P. helioscopus*

	相关系数 Correlation coefficient (r)	P
奇台沙蜥 <i>Phrynocephalus grumgrzimailoi</i>		
海拔 Altitude	-0.352	0.001**
年均温 Annual mean temperature (AMT)	0.442	<0.001**
年降水量 Annual precipitation (AP)	0.368	0.001**
平均日较差 Mean diurnal range (MDR)	0.433	<0.001**
旱地沙蜥 <i>Phrynocephalus helioscopus</i>		
海拔 Altitude	-0.032	0.672
年均温 Annual mean temperature (AMT)	0.009	0.908
年降水量 Annual precipitation (AP)	0.021	0.778
平均日较差 Mean diurnal range (MDR)	-0.005	0.942

\*\*  $P < 0.01$

**表3 旱地沙蜥成体和亚成体的体况指数与环境因子相关性**  
Table 3 Correlation between environmental factors and body condition index of adult and sub-adult *Phrynocephalus helioscopus*

	相关系数 Correlation coefficient (r)	P
成体旱地沙蜥 Adult <i>Phrynocephalus helioscopus</i>		
海拔 Altitude	0.065	0.478
年均温 Annual mean temperature (AMT)	-0.508	<0.001**
年降水量 Annual precipitation (AP)	-1.3	0.158
平均日较差 Mean diurnal range (MDR)	0.264	0.004**
亚成体旱地沙蜥 Sub-adult <i>Phrynocephalus helioscopus</i>		
海拔 Altitude	-0.053	0.701
年均温 Annual mean temperature (AMT)	0.307	0.021*
年降水量 Annual precipitation (AP)	-0.155	0.255
平均日较差 Mean diurnal range (MDR)	-0.85	0.533

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$

**表4 阿勒泰地区奇台沙蜥与旱地沙蜥体况指数与不同环境因子的广义相加模型**

Table 4 Generalized additive model for the body condition index of *Phrynocephalus grumgrzimailoi*, *P. helioscopus*, and different factors in the Altay Prefecture

	因子 Factors	AIC	模型解释力 Model explanation (%)	P
奇台沙蜥 <i>Phrynocephalus grumgrzimailoi</i>	年均温、平均日较差 Annual mean temperature (AMT) and mean diurnal range (MDR)	7.5878	70.8	$P_{AMT} = 0.0000515^{***}$ $P_{MDR} = 0.287$
	成体 Adult	-92.9955	31	$P_{AMT} = 0.246176$ $P_{AP} = 0.000772^{***}$
	雌性 Female	-69.1677	25.4	$P = 0.0139^*$
	雄性 Male	-39.4951	76.6	$P_{AP} = 0.3253$ $P_{MDR} = 0.0155^*$
旱地沙蜥 <i>Phrynocephalus helioscopus</i>	成体 Adult	161.4543	5.98	$P_{Altitude} = 0.0324^*$
	亚成体 Sub-adult	-101.6001	17.3	$P_{AMT} = 0.0000242^{***}$ $P_{Altitude} = 0.00532^*$
	成体 Adult	-26.59233	22.5	$P = 0.0136^*$

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ , \*\*\*  $P < 0.001$

正相关( $r = 0.307$ ,  $P = 0.021 < 0.05$ ; 表3)。

## 2.2 体况指数的影响因素

最优回归模型筛选结果表明, 温度进入了奇台沙蜥和成体奇台沙蜥类群的最优模型, 且与奇台沙蜥相关度均为显著(表4), 证明温度对奇台沙蜥体况指数起到了重要作用; 年降水量则进入了除奇台沙蜥总体外其余类群的最优模型, 但相关性较差, 解释力也较弱, 表明年降水量作为影响体况指数的辅

助因子, 主要通过与其他生态因子(海拔、温度)组合发挥作用。同时, 海拔进入了旱地沙蜥全部类群的3个最优模型(表4), 表明海拔对旱地沙蜥体况指数起到了作用。

## 3 讨论

### 3.1 体况指数的两性差异

目前研究认为, 蜥蜴两性异形产生的机制主要

有3种, 即性选择-同性选择假说(Intrasexual Selection Hypothesis)、繁殖力优势假说(Fecundity Advantage Hypothesis)和伴性生态位分离假说(Sex-specific Niche Divergence)。其中, 性选择假说是解释两性异形产生机制最流行的假说(Kratochvil & Frynta, 2002)。性选择假说指雄性通常需要激烈的繁殖竞争以获得与雌性交配的机会, 体型较大的个体在斗争中易获胜, 因而性选择是驱使雄性向较大体型方向进化的主要压力(Hedrick & Temeles, 1989); 繁殖力优势假说则认为雌性增大体型以产出更多或更大的后代, 从而提高繁殖输出, 即生育力选择是驱使雌性向较大体型方向进化的主要压力(Williams, 1966; Cooper & Vitt, 1989; Hews, 1990; Shine, 1994); 伴随生态位分离假说主要有两种解释, 一是由于雌雄两性具有不同的繁殖角色导致各自的生态位需求不同, 因而产生了不同的适应性(Hedrick & Temeles, 1989); 二是雌雄两性的生态位分化有利于减轻两性资源(如栖息地和食物等)的竞争, 如果两性的形态特征与资源利用有关, 那么为了避免种内竞争, 在资源的选择方面可能会产生差异, 进而影响两性形态的进化, 导致两性异形出现。但由于不确定作用于哪个性别的个体, 因此生态位分离因素作用下的两性异形没有明确的方向(Shine, 1989)。

以往研究结果表明蜥蜴并无统一的两性异形规律, 有些种类受性选择驱动, 如蓝尾石龙子(*Eumeces elegans*)、中国石龙子(*E. chinensis*)等(林植华和计翔, 2000; 杜卫国和计翔, 2001); 有些种类受繁殖力驱动, 如蝮蜥(*Sphenomorphus indicus*)(计翔和杜卫国, 2000); 还有许多种类两性异形不显著, 如新疆沙虎(*Teratoscincus przewalskii*)、鳄蜥(*Shinisaurus crocodilurus*)、山地麻蜥(*Eremias brenchleyi*)、宁波滑蜥(*Scincella modesta*)(许雪峰和计翔, 2003; 何南等, 2011; 罗来高等, 2012; 廖灏泓等, 2013)。即使是同一物种, 在不同地区也可能会因为不同的压力而产生差异, 例如徐峰等(2015)发现塔城地区托里县城北的旱地沙蜥雌雄头体长两性异形不显著, 梁涛等(2015)则发现阿勒泰地区北屯市西郊戈壁的旱地沙蜥雌性头体长较长; 刘洋和时磊(2009)发现乌鲁木齐市郊乌拉泊的奇台沙蜥两性体型大小差异不显著, 但王征(2011)发现奇台沙蜥雄性头体长较长。

本次研究表明, 卡拉麦里地区奇台沙蜥雌性头

体长小于雄性, 受性选择驱动, 与王征(2011)的结论相似。这可能与卡拉麦里保护区白天日照时间长, 繁殖季节长, 可用于繁殖输出的能量较多, 因而生育力选择并未变成驱动力; 同时奇台沙蜥在卡拉麦里地区属于优势种, 食物充足, 加上较高的光照强度, 雄性沙蜥行为活跃, 反而使性选择成为驱动压力。而旱地沙蜥两性异形不明显, 推测是在卡拉麦里地区, 由于奇台沙蜥的竞争限制了旱地沙蜥的食物可得性, 且雌性减少分配用于繁殖的资源有利于降低因繁殖负重带来的生存风险, 因而旱地沙蜥降低生育力和繁殖输出是对卡拉麦里沙漠环境的适应性反应; 而在塔克什肯镇, 旱地沙蜥可能是受天敌的影响, 所以这几种压力表现不明显。

根据表1, 2014年7月奇台沙蜥雌性的体况指数( $0.9131 \pm 0.1339$ )小于雄性( $1.0556 \pm 0.1120$ ), 2014年6月旱地沙蜥雌性的体况指数( $0.8264 \pm 0.1381$ )略小于雄性( $0.8317 \pm 0.1217$ ), 但不具备统计意义( $P = 0.964 > 0.05$ ), 而同年7月旱地沙蜥雌性的体况指数( $0.7784 \pm 0.1431$ )同样小于雄性( $0.8655 \pm 0.1166$ ), 且具有统计意义( $P = 0.017 < 0.05$ )。考虑到旱地沙蜥与奇台沙蜥的交配期多在4-6月, 产卵期集中在5-7月(张鹏和袁国映, 2005), 7月份雌性沙蜥由于卵的发育而消耗的大量物质除了来自食物外, 还需要动用自身储存的能量; 而雄性则由于觅偶、交配、竞争等行为的减少, 减少了能量的消耗, 造成雌性沙蜥体况指数低于雄性。2015年8月, 塔克什肯镇雌性旱地沙蜥体况指数( $0.9187 \pm 0.2224$ )虽然小于雄性( $0.9685 \pm 0.0637$ ), 但差异不显著( $P = 0.967 > 0.05$ ), 可能是由于塔克什肯镇旱地沙蜥为优势种, 食物丰富, 有利于雌性旱地沙蜥在繁殖期后育肥, 体况指数回升。

### 3.2 体况指数的年龄、月份差异

两种沙蜥的亚成体与成体体况指数、头体长、体重比较结果显示(表1), 随着沙蜥的生长发育, 成体的体况指数、头体长、体重均显著增长, 而其中体重的增长速度大于头体长, 或者说蜥蜴横向生长大于纵向生长, 所以成体的体况指数均大于亚成体。

以往的研究表明, 不同动物体况指数的季节性变化方式也不同。对于迁徙鸟来说, 为了给春季迁徙做准备, 积累和维持足够的能量是必须的, 因此冬季的体况指数反而较高(Johnson et al, 2006; Studds & Marra, 2011)。对于两栖爬行类等外温动物

而言,体况指数一般在冬眠后苏醒的季节最低,而后开始增长,到达最高点后开始下降,直到开始冬眠。在北半球,体况指数一般在秋季达到最高(卢欣, 1993; Milne et al, 2003; 金晨晨等, 2014)。同时环境的季节性变化也与体况指数相关。例如,加拉帕戈斯海鬣蜥(*Mblyrhynchus cristatus*)由于觅食效率的降低,在季节变化剧烈时体况指数会有明显下降(Wikelski et al, 1997)。本次研究采集样品的时间跨度较小,环境变化也不剧烈,这可能是沙蜥体况指数虽然有所增加但不显著的原因。

### 3.3 体况指数的影响因素

旱地沙蜥亚成体、奇台沙蜥的体况指数均与年均温呈正相关,即随着温度的升高,旱地沙蜥亚成体倾向于横向生长,使自己拥有更大的体型和体重,这与Bergmann法则相反,而成体旱地沙蜥则与该法则相同。Bergmann法则最早适用于内温动物,而外温动物中的部分类群遵循相同(Blanckenhorn & Demont, 2004),另一部分则相反(Mousseau, 1997)。可能原因在于较高的温度对于植食性昆虫的生长、发育和繁殖有帮助,使沙蜥可获取食物的多样性增多,导致温度较高的地区体型较大;而成体旱地沙蜥由于同地区奇台沙蜥竞争限制了食物可得性,导致体型与温度反而成为了负相关。

不同样地间的旱地沙蜥与奇台沙蜥的体况指数差异显著,说明沙蜥的身体状况与生存环境之间有密切的关系。我们发现年降水量虽然进入了4个奇台沙蜥体况指数模型中的3个,但却没有进入总体的最优模型中。通常认为食性是影响动物生理状况的主要因子,考虑到奇台沙蜥在个体生长发育过程中食性会发生明显变化(刘洋等, 2011),年降水量与奇台沙蜥的食物资源间的关系有待进一步研究。另一方面,海拔因子进入了旱地沙蜥全部类群的3个最优模型,且都具有较强的相关性,但模型解释力较弱,推测海拔为补充因子,通过影响其他环境因子(例如植被、食物丰富度等),或与其他环境因子结合在一起影响旱地沙蜥的生理状况。在多样性方面占据优势的沙蜥(卡拉麦里保护区:奇台沙蜥,塔克什肯镇:旱地沙蜥)体况指数也较高,这也表明奇台沙蜥与旱地沙蜥的种群增长可能偏向于食物限制的种群。

在本研究中,两种占有优势地位的沙蜥并没有表现出因受到更强的人为干扰所致的体况指数明

显下降的现象。与其他一些物种类似,人为干扰强度对沙蜥体况指数的影响弱于季节、性别和年龄(Boswell et al, 1994; Rakotoniaina et al, 2016)。推测可能是因为塔克什肯镇及周边村落的居民活动使得周围的小型无脊椎动物多样性高于沙漠地区,使当地的旱地沙蜥可以通过增加对节肢动物的取食,以保证自身的能量需求。因为不同营养级的节肢动物对城市化的反应不同(Vilisics et al, 2007)。例如,蜘蛛在不同地区的形态特征和生态特征变化不大,而农村地区的甲虫多样性则显著高于郊区和城市地区(Nagy et al, 2018)。

**致谢:** 感谢新疆阿勒泰地区林业局对野外工作的大力支持。感谢两位匿名审稿人提出的建议。中国科学院动物研究所崔绍朋、吴文卉,四川农业大学刘旒,新疆布尔根河狸国家级自然保护区陈刚参与了野外工作,在此一并致谢!

### 参考文献

- Allan BF, Keesing F, Ostfeld RS (2003) Effect of forest fragmentation on Lyme disease risk. *Conservation Biology*, 17, 267–272.
- Blanckenhorn WU, Demont M (2004) Bergmann and converse Bergmann latitudinal clines in arthropods: Two ends of a continuum? *Integrative and Comparative Biology*, 44, 413–424.
- Boggs CL (2009) Understanding insect life histories and senescence through a resource allocation lens. *Functional Ecology*, 23, 27–37.
- Boswell T, Woods SC, Kenagy GJ (1994) Seasonal changes in body mass, insulin, and glucocorticoids of free-living golden-mantled ground squirrels. *General and Comparative Endocrinology*, 96, 339–346.
- Cadi A, Joly P (2003) Competition for basking places between the endangered European pond turtle (*Emys orbicularis galloitalica*) and the introduced red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*). *Canadian Journal of Zoology*, 81, 1392–1398.
- Cavallini P (1996) Comparison of body condition indices in the red fox (*Fissipedia*, Canidae). *Mammalia*, 60, 449–462.
- Clark RJ, Clark E (1973) Report on a Collection of Amphibians and Reptiles from Turkey. California Academy of Sciences, San Francisco.
- Clark RJ, Clark E, Anderson SC (1966) Report on Two Small Collections of Reptiles from Iran. California Academy of Sciences, San Francisco.
- Cooper WE, Vitt LJ (1989) Sexual dimorphism of head and

- body size in an iguanid lizard: Paradoxical results. *The American Naturalist*, 133, 729–735.
- Du WG, Ji X (2001) Growth, sexual size dimorphism and female reproduction of blue-tailed skinks, *Eumeces elegans*. *Zoological Research*, 22, 279–286. (in Chinese with English abstract) [杜卫国, 计翔 (2001) 蓝尾石龙子的生长, 两性异形及雌性繁殖. *动物学研究*, 22, 279–286.]
- Fan ZL, Wang Y, Du SY, Wang J (2013) Fatness degree of striped hairy-footed hamster (*Phodopus sungorus*) in Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Ecology*, 32, 3250–3254. (in Chinese with English abstract) [范尊龙, 王勇, 杜森云, 王军 (2013) 内蒙古黑线毛足鼠肥满度. *生态学杂志*, 32, 3250–3254.]
- Fang JM, Sun RY (1995) Analysis of body condition index of Brandt's voles and a comparison between relative fatness K and  $K_{WL}$  (weight/length index) in small mammals. *Acta Zoologica Sinica*, 41, 141–148. (in Chinese with English abstract) [房继明, 孙儒泳 (1995) 布氏田鼠肥满度分析和小型兽类肥满度指标K与 $K_{WL}$  (重长指标)的比较. *动物学报*, 41, 141–148.]
- He N, Wu ZJ, Cai FJ, Wang ZX, Yu H, Huang CM (2011) Sexual dimorphism of *Shinisaurus crocodilurus*. *Chinese Journal of Ecology*, 30, 7–11. (in Chinese with English abstract) [何南, 武正军, 蔡凤金, 王振兴, 于海, 黄乘明 (2011) 鳄蜥的两性异形. *生态学杂志*, 30, 7–11.]
- Hedrick AV, Temeles EJ (1989) The evolution of sexual dimorphism in animals: Hypotheses and tests. *Trends in Ecology & Evolution*, 4, 136–138.
- Hellgren EC, Rogers LL, Seal US (1993) Serum chemistry and hematology of black bears: Physiological indices of habitat quality or seasonal patterns? *Journal of Mammalogy*, 74, 304–315.
- Hews DK (1990) Examining hypotheses generated by field measures of sexual selection on male lizards, *Uta palmeri*. *Evolution*, 44, 1956–1966.
- Ji X, Du WG (2000) Sexual dimorphism in body size and head size and female reproduction in a viviparous skink, *Sphenomorphus indicus*. *Zoological Research*, 21, 349–354. (in Chinese with English abstract) [计翔, 杜卫国 (2000) 蝮蜓头、体大小的两性异形和雌体繁殖. *动物学研究*, 21, 349–354.]
- Jin CC, Qu KS, Zhang ZQ (2014) Sexual and seasonal differences of the relative fatness and organ mass of *Pelodytes nigromaculata*. *Sichuan Journal of Zoology*, 33, 106–112. (in Chinese with English abstract) [金晨晨, 瞿康山, 张志强 (2014) 黑斑侧褶蛙肥满度及脏器重量的性别和季节差异. *四川动物*, 33, 106–112.]
- Jin YT, Wo YB, Tong HJ, Song S, Zhang LX, Brown RP (2018) Evolutionary analysis of mitochondrially encoded proteins of toad-headed lizards, *Phrynocephalus*, along an altitudinal gradient. *BMC Genomics*, 19, 185.
- Johnson MD, Sherry TW, Holmes RT, Marra PP (2006) Assessing habitat quality for a migratory songbird wintering in natural and agricultural habitats. *Conservation Biology*, 20, 1433–1444.
- Juliano SA (1986) Food limitation of reproduction and survival for populations of *Brachinus* (Coleoptera: Carabidae). *Ecology*, 67, 1036–1045.
- Liao HH, Xu F, Yang WK (2013) The sexual size dimorphism of *Teratoscincus przewalskii*. *Sichuan Journal of Zoology*, 32, 808–811. (in Chinese with English abstract) [廖灏泓, 徐峰, 杨维康 (2013) 新疆沙虎的两性异形. *四川动物*, 32, 808–811.]
- Kratochvil L, Frynta D (2002) Body size, male combat and the evolution of sexual dimorphism in eublepharid geckos (Squamata: Eublepharidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 76, 303–314.
- Labocha MK, Schutz H, Hayes JP (2014) Which body condition index is best? *Oikos*, 123, 111–119.
- Lelito JP, Brown WD (2006) Complicity or conflict over sexual cannibalism? Male risk taking in the praying mantis *Tenodera aridifolia sinensis*. *The American Naturalist*, 168, 263–269.
- Liang T, Lü SP, Wu KL, Shi L (2015) Sexual dimorphism and female reproduction of *Phrynocephalus helioscopus* (Agamidae). *Chinese Journal of Ecology*, 34, 1602–1606. (in Chinese with English abstract) [梁涛, 吕士鹏, 武开乐, 时磊 (2015) 旱地沙蜥的两性异形和雌性繁殖投入. *生态学杂志*, 34, 1602–1606.]
- Liker A, Papp Z, Bókony V, Lendvai AZ (2008) Lean birds in the city: Body size and condition of house sparrows along the urbanization gradient. *Journal of Animal Ecology*, 77, 789–795.
- Lin ZH, Ji X (2000) Food habits, sexual dimorphism and female reproduction of the skink (*Eumeces chinensis*) from a Lishui population in Zhejiang. *Acta Ecologica Sinica*, 20, 304–310. (in Chinese with English abstract) [林植华, 计翔 (2000) 浙江丽水中国石龙子的食性、两性异形和雌性繁殖. *生态学报*, 20, 304–310.]
- Liu Y, Shi L (2009) Ontogenetic shifts of sexual dimorphism in *Phrynocephalus grumgrzimailoi* (Agamidae). *Sichuan Journal of Zoology*, 28, 710–713. (in Chinese with English abstract) [刘洋, 时磊 (2009) 奇台沙蜥生长过程中的两性异形. *四川动物*, 28, 710–713.]
- Liu Y, Wang SY, Shi L (2011) Effects of age and sex on diet composition of *Phrynocephalus grumgrzimailoi*. *Chinese Journal of Zoology*, 46, 111–117. (in Chinese with English abstract) [刘洋, 王舒娅, 时磊 (2011) 年龄和性别因素对奇台沙蜥食性的影响. *动物学杂志*, 46, 111–117.]
- Lomas E, Larsen KW, Bishop CA (2015) Persistence of northern pacific rattlesnakes masks the impact of human disturbance on weight and body condition. *Animal Conservation*, 18, 548–556.
- Lu X (1993) Seasonal variations of adult's corpulence degree and other organs' indices of common frogs in Taiyue Mountain hilly lands. *Chinese Journal of Ecology*, 12(4),



33–35. (in Chinese with English abstract) [卢欣 (1993) 太岳山丘陵地带中国林蛙成体的饱满度和某些器官系数的季节变化. 生态学杂志, 12(4), 33–35.]

- Lunn NJ, Boyd IL (1993) Effects of maternal age and condition on parturition and the perinatal period of Antarctic fur seals. *Journal of Zoology*, 229, 55–67.
- Luo LG, Wu YL, Tian XY, Xu XF (2012) Sexual size dimorphism and female reproductive output in slender forest skink, *Scincella modesta*. *Chinese Journal of Zoology*, 47(2), 23–30. (in Chinese with English abstract) [罗来高, 吴义莲, 田贤玉, 许雪峰 (2012) 宁波滑蜥两性异形和雌性繁殖. 动物学杂志, 47(2), 23–30.]
- Maxwell MR, Gallego KM, Barry KL (2010) Effects of female feeding regime in a sexually cannibalistic mantid: Fecundity, cannibalism, and male response in *Stagmomantis limbata* (Mantodea). *Ecological Entomology*, 35, 775–787.
- Meyer F, Zinke O (1992) Zur Ökologie von *Phrynocephalus helioscopus* (Pallas, 1771) in der Dschungarischen Gobi (Reptilia; Agamidae). *Bonner Zoologische Beiträge*, 43, 131–144. (in German with English abstract)
- Milne T, Bull CM, Hutchinson MN (2003) Fitness of the endangered pygmy blue tongue lizard *Tiliqua adelaidensis* in artificial burrows. *Journal of Herpetology*, 37, 762–766.
- Mousseau TA (1997) Ectotherms follow the converse to Bergmann's rule. *Evolution*, 51, 630–632.
- Nagy DD, Magura T, Horváth R, Debnár Z, Tóthmérész B (2018) Arthropod assemblages and functional responses along an urbanization gradient: A trait-based multi-taxa approach. *Urban Forestry & Urban Greening*, 30, 157–168.
- Nakagawa M, Hyodo F, Nakashizuka T (2007) Effect of forest use on trophic levels of small mammals: An analysis using stable isotopes. *Canadian Journal of Zoology*, 85, 472–478.
- Nikol'skii AM (1963) Fauna of Russia and Adjacent Countries: Reptiles, Vol. 1. Chelonia and Sauria. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
- Oldham RS, Keeble J, Swan MJS, Jeffcote M (2000) Evaluating the suitability of habitat for the great crested newt (*Triturus cristatus*). *Herpetological Journal*, 10, 143–155.
- Omar A, Gulbostan E (1999) Analysis on feeding habits of *Phrynocephalus grumgrizmaloi* and *Eremias multiocellata* from Xinjiang. *Arid Zone Research*, 16(4), 12–15. (in Chinese with English abstract) [吾玛尔·阿布力孜, 古丽波斯坦·艾则孜 (1999) 东疆沙蜥和密点麻蜥的食性研究. 干旱区研究, 16(4), 12–15.]
- Ou YY (2004) Comparative research on relative fatness and weight/length index of *Takydromus septentrionalis*. *Journal of Chuzhou University*, 6(3), 110–112. (in Chinese) [欧永跃 (2004) 北草蜥饱满度和重长指标的比较. 滁州学院学报, 6(3), 110–112.]
- Pearson SH, Avery HW, Spotila JR (2015) Juvenile invasive red-eared slider turtles negatively impact the growth of native turtles: Implications for global freshwater turtle populations. *Biological Conservation*, 186, 115–121.
- Rakotoniaina JH, Kappeler PM, Ravoniarimbina P, Pechou-skova E, Hämäläinen AM, Grass J, Kirschbaum C, Kraus C (2016) Does habitat disturbance affect stress, body condition and parasitism in two sympatric lemurs? *Conservation Physiology*, 4(1), cow034.
- Reading CJ, Clarke RT (1995) The effects of density, rainfall and environmental temperature on body condition and fecundity in the common toad, *Bufo bufo*. *Oecologia*, 102, 453–459.
- Rode KD, Amstrup SC, Regehr EV (2010) Reduced body size and cub recruitment in polar bears associated with sea ice decline. *Ecological Applications*, 20, 768–782.
- Rode KD, Chapman CA, McDowell LR, Stickler C (2006) Nutritional correlates of population density across habitats and logging intensities in redbelt monkeys (*Cercopithecus ascanius*). *Biotropica*, 38, 625–634.
- Shine R (1989) Ecological causes for the evolution of sexual dimorphism: A review of the evidence. *Quarterly Review of Biology*, 64, 419–461.
- Shine R (1994) Sexual size dimorphism in snakes revisited. *Copeia*, 1994, 326–346.
- Solberg EJ, Sæther BE, Strand O, Loison A (1999) Dynamics of a harvested moose population in a variable environment. *Journal of Animal Ecology*, 68, 186–204.
- Stevenson RD, Woods WA (2006) Condition indices for conservation: New uses for evolving tools. *Integrative and Comparative Biology*, 46, 1169–1190.
- Stirling I, Lunn NJ, Iacozza J (1999) Long-term trends in the population ecology of polar bears in western Hudson Bay in relation to climatic change. *Arctic*, 52, 294–306.
- Studds CE, Marra PP (2011) Rainfall-induced changes in food availability modify the spring departure programme of a migratory bird. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 278, 3437–3443.
- Suorsa P, Helle H, Koivunen V, Huhta E, Nikula A, Hakkarainen H (2004) Effects of forest patch size on physiological stress and immunocompetence in an area-sensitive passerine, the Eurasian Treecreeper (*Certhia familiaris*): An experiment. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 271, 435–440.
- Tao X, Jiang Z, Ji S, Chu H, Yang D, Li C (2018) Influence of light intensity and substrate color on dorsal gray color change in *Phrynocephalus helioscopus* and *Phrynocephalus grumgrizmailoi*. *Journal of Arid Environments*, 157, 22–26.
- Unglaub B, Steinfartz S, Kühne D, Haas A, Schmidt BR (2018) The relationships between habitat suitability, population size and body condition in a pond-breeding amphibian. *Basic and Applied Ecology*, 27, 20–29.
- Vilicis F, Elek Z, Lövei GL, Hornung E (2007) Composition of terrestrial isopod assemblages along an urbanisation gradient in Denmark. *Pedobiologia*, 51, 45–53.
- Wang SB, Jiang CG, Qu YF, Jing ZQ, Wu QH (1999) Preliminary studies on the body condition index and weight/

- length of wild and domestic *Rana chensinensis* from Liaoning. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 10, 91–94. (in Chinese with English abstract) [王寿兵, 蒋朝光, 屈云芳, 经佐琴, 吴千红 (1999) 野生和人工养殖辽宁中国林蛙肥满度和重/长指标的初步研究. *应用生态学报*, 10, 91–94.]
- Wang Z (2011) Adapting to Extreme Climate: The Evolution of Viviparity in *Phrynocephalus* Lizards. PhD dissertation, Nanjing Normal University, Nanjing. (in Chinese with English abstract) [王征 (2011) 对极端气候的适应: 沙蜥属蜥蜴的卵胎生进化. 博士学位论文, 南京师范大学, 南京.]
- Wikelski M, Carrillo V, Trillmich F (1997) Energy limits to body size in a grazing reptile, the Galápagos marine iguana. *Ecology*, 78, 2204–2217.
- Wilder SM, Raubenheimer D, Simpson SJ (2016) Moving beyond body condition indices as an estimate of fitness in ecological and evolutionary studies. *Functional Ecology*, 30, 108–115.
- Williams GC (1966) Natural selection, the costs of reproduction, and a refinement of Lack's principle. *The American Naturalist*, 100, 687–690.
- Wood SN (2017) *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. CRC, London.
- Wu YL (1965) Comparative analysis on body condition index and change in some internal organs of *Pelophylax nigromaculatus* through hibernation. *Chinese Journal of Zoology*, 7(3), 116–119. (in Chinese) [吴云龙 (1965) 黑斑蛙自然冬眠时肥满度与某些内脏器官的变化. *动物学杂志*, 7(3), 116–119.]
- Xia WP, Sun CL (1963) On the body condition index of the red-backed vole, *Clethrionomys rutilus pallas*. *Acta Zoologica Sinica*, 15, 33–43. (in Chinese) [夏武平, 孙崇澍 (1963) 红背鼯肥满度的研究. *动物学报*, 15, 33–43.]
- Xu F, Liao HH, Yang WK (2015) Sexual dimorphism of *Phrynocephalus helioscopus*. *Sichuan Journal of Zoology*, 34, 859–862. (in Chinese with English abstract) [徐峰, 廖灏泓, 杨维康 (2015) 旱地沙蜥的两性异形. *四川动物*, 34, 859–862.]
- Xu W, Xia C, Lin J, Yang W, Blank DA, Qiao J, Liu W (2012a) Diet of *Gazella subgutturosa* (Güldenstaedt, 1780) and food overlap with domestic sheep in Xinjiang, China. *Folia Zoologica*, 61, 54–61.
- Xu W, Xia C, Yang W, Blank DA, Qiao J, Liu W (2012b) Seasonal diet of Khulan (Equidae) in northern Xinjiang, China. *Italian Journal of Zoology*, 79, 92–99.
- Xu XF, Ji X (2003) Ontogenetic shifts in sexual dimorphism in head size and food habits of *Eremias brenchleyi*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14, 557–561. (in Chinese with English abstract) [许雪峰, 计翔 (2003) 山地麻蜥个体发育过程中头部两性异形和食性的变化. *应用生态学报*, 14, 557–561.]
- Yang CG, Chen YY, Tian F, Shi B, Zhu MJ, Chu CH, Shi HT, Ai ZZ (2013) Surveillance report of the mosquitoes at Takeshiken Port and Jeminay Port in Xinjiang. *Chinese Frontier Health Quarantine*, 36, 112–114. (in Chinese with English abstract) [杨晨光, 陈胤瑜, 田锋, 石兵, 朱敏杰, 储成海, 师海涛, 艾则孜 (2013) 新疆塔克什肯、吉木乃口岸成蚊监测报告. *中国国境卫生检疫杂志*, 36, 112–114.]
- Zhang P, Yuan GY (2005) *Amphibia-reptilia of Xinjiang*. Xinjiang Science and Technology Press, Urumqi. (in Chinese) [张鹏, 袁国映 (2005) 新疆两栖爬行动物. 新疆科学技术出版社, 乌鲁木齐.]
- Zhao EM, Zhao KT, Zhou KY (1999) *Fauna Sinica · Reptilia* (Vol. 2): Squamata, Lacertilia. Science Press, Beijing. (in Chinese) [赵尔宓, 赵肯堂, 周开亚 (1999) 中国动物志·爬行纲(第二卷): 有鳞目, 蜥蜴亚目. 科学出版社, 北京.]

(责任编辑: 江建平 责任编辑: 闫文杰)