干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

doi:10.13866/j.azr.2018.05.20

敏麻蜥的两性异形和雌性繁殖输出[①]

梁 涛[1], 李 叶[1,2], 郑 鹏[1], 时 磊[1]
(1. 新疆农业大学动物科学学院,新疆 乌鲁木齐 830052;
2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,北京 100091)

摘 要: 两性异形在动物界中普遍存在,一般是由于雌雄两性在生活史上所扮演的角色不同所导致,它反映了两性在不同选择压力作用下适应的结果。为研究敏麻蜥的两性异形和雌性繁殖输出,于 2014—2017 年在新疆北部地区捕捉的 152 号活体进行 8 项形态学指标测量,怀卵雌性室内暂养用于收集繁殖数据。结果表明:敏麻蜥的雄性成体具有更大的头部、四肢以及更长的尾部,这是受性选择驱使;两性间局部形态的两性异形与异速增长无关,表明两性之间的差异可能在亚成体阶段乃至幼体阶段就已形成;雌性受繁殖力选择作用而具有更大的腋跨距,雌性通过增加对单个卵的投入,以及增加窝卵数来提高繁殖输出;雌雄两性间的断尾率与咬痕率没有显著差异,表明性选择作用在两性尾部上的选择压力相等,因为性选择作用下的雄性间竞争与雌雄个体的交配过程均有咬尾行为。表明性选择与繁殖力选择的共同作用,导致了敏麻蜥局部形态的两性异形,并使头体长表现为雌雄同型。

关键词: 两性异形; 性选择; 繁殖力选择; 断尾; 咬痕; 敏麻蜥

两性异形(sexual dimorphism)在动物界中普遍存在,是动物生活史研究的热点问题之一[1-2]。两性异形是由于雌雄两性在生活史上承担不同的角色,导致在形态、生理或行为间存在差异的一种现象[3-4]。性选择假说(sexual selection hypothesis)是解释两性异形形成机制最流行的假说之一[5],性选择作用会使两性之间的形态产生差异[6],如体型大小以及局部形态特征(如头部、附肢和尾部等)。

头部大小与个体的咬合力有关,是竞争取胜的决定因素[7-8],雄性具有较大的头部,在性内竞争中占据优势(雄—雄竞争)[9-10],或更容易得到雌性的青睐(雌性选择)[11]。性选择作用在附肢上会引起两性在运动表现上存在差异,频繁的运动需求往往会驱使雄性进化出更大的附肢[12]。尾部对蜥蜴的生存也具有重要影响[13-15]。对于易断尾的蜥蜴而言,尾自断(caudal autotomy)是逃生的重要保证,但断尾会降低蜥蜴运动速度,自身适合度也降低[16]。有研究表明蜥蜴的断尾率因性别而异[17],特别是在争斗明显的蜥蜴类群中,雄性个体的咬痕率和断尾率显著高于雌性,可以作为两性异形的指标之一[18-19]。

繁殖力选择假说(fecundity selection hypothesis)是解释体型大小两性异形形成机制的另一个假说。雌性腹部容积大小是方向性选择的目标,通过增加体型大小,例如一些哺乳类和两栖类动物[20];或体型大小相对比例的局部体征(如雌性的腹部)的增加,例如某些爬行动物物种[21-22],均可实现腹部容积的增大。

敏麻蜥(*Eremias arguta*)隶属于蜥蜴科(Lacertidae)麻蜥属(*Eremias*),是已知分布最为广泛的麻蜥属物种之一,可分为 6 个亚种[23],其中新疆有 2 个亚种,指名亚种(*E. arguta arguta*)分布在伊犁谷地,东方亚种(*E. a. potanini*)分布在塔城额敏至准噶尔盆地一带[24],也有学者依据分子生物学研究的证据认为,东方亚种是指名亚种的同物异名[25]。考虑到敏麻蜥亚种的分类地位存在争议,故本文选用种名。野外观察发现敏麻蜥有明显的领域行为,在争斗过程中存在咬住胯部或尾基以及拖拽等行为,也因此尾部留下咬痕甚至导致断尾(图 1)。这样的现象不仅存在于雄性间的竞争中,也存在于雌雄个体间的交配行为中。笔者推测雄性个体与争夺配偶和保护领域争斗有关的形态特征会优先发展,从而导致明显的两性异形现象。目前,关于敏麻蜥的两性异形

① **收稿日期:** 2018-01-22; **修订日期:** 2018-03-15
基金项目: 国家自然科学基金(31660613)资助
作者简介: 梁涛(1994-),男,在读硕士研究生,研究方向为动物生态学. E-mail: liangtrep@126.com
通讯作者: 时磊. E-mail: shileixj@126.com

图 1 敏麻蜥交配竞争(刑睿摄)

Fig. 1 Competition for courtship of Eremias arguta (photoed by Xin Rui)

尚未见报道,本研究通过测量形态学指标和收集繁殖数据分析敏麻蜥的两性异形和繁殖输出,意在验证:① 敏麻蜥雌雄个体哪些形态指标存在两性异形,是否与两性间的异速增长有关? ② 由性选择驱使的雄性争斗和雌雄交配时均有咬住尾部的行为,并可潜在地产生咬痕甚至导致断尾,那么雌雄个体间的断尾率、咬痕率是否存在差异? ③ 繁殖力选择是否导致了局部两性异形的形成?

1 材料和方法

1.1 形态数据

2014—2017 年在新疆北部地区采集敏麻蜥共 165 号,以最小怀卵雌性的头体长作为界限,大于该头体长的雌雄个体为成体[2]。本研究中,因雌性最小繁殖个体的头体长为54.54 mm,故将头体长≥54.54 mm 的个体划分为成体,共筛选成体标本 152 号(阿勒泰地区:雌 31,雄 46;伊宁地区:雌 26,雄 49)。触摸挤压蜥蜴尾基处,根据是否含双阴茎来判定雄或雌[24],并记录每条蜥蜴的性别。用数显游标卡尺(±0.01 mm)测量头体长(SVL,snout-vent length,吻端至泄殖腔孔前缘间距)、头长(HL,head length,吻端到颌角的长度)、头宽(HW,head width,取头部最宽处的直线长度)、头高(HD,head depth,取头部最高的直线长度)、腋胯距(AG,axilla-groin length,前肢后缘基部到后肢前缘基部之间的直线距离)、前肢长(FLL,fore limb length,前肢基部到最长指端的长度)、后肢长(HLL,hind limb length,后肢基部最长趾端的长度)和尾长(TL,tail length,泄殖孔至尾部端的距离)[24],由于敏麻蜥个体的尾部易断,筛选未断尾个体(尾部重生的标本被记为断尾)的尾部数据(阿勒泰地区:雌 25,雄 38;伊宁地区:雌 16,雄 37)进行尾长的两性异形分析,同时对断尾以及尾部有咬痕的雌雄个体数进行统计[19]。

1.2 繁殖数据

怀卵的敏麻蜥单独饲养在养殖盒内,每天提供足量的面包虫(*Tenebrio molitor*)以及钙粉和维生素,以确保雌性生长繁殖的营养需求。保持养殖盒内湿润,并 3 h 观察 1 次,以便及时收集卵。测量卵长径(EL,egg length)、卵短径(EW,egg width),记录每个雌性母体产后重记为体重(BM,body mass)、窝卵数(CS,clutch mass)、卵重(EM,egg mass),计算窝卵重(CM,clutch mass)和雌性繁殖输出,包括相对窝卵重 1(RCM1,Relative clutch mass 1):CM/BM[26],相对窝卵重 2(RCM2,Relative clutch mass 2):CM/(BM+CM)[27]。

1.3 数据处理

对两个地理种群的两性异形分别进行了分析,两性异形相关的结果相同,且与合并之后的结果也相同,故将两个地区的数据进行合并。所获得的数据用 Excel 2003 对数据进行记录整理,并存为 TXT 格式,首先变量进行 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验以及 Levene's 方差同质性检验,数据进行 $\log_{10}$ 转化,以增加正态性;用 t-检验比较两性头体长均值的差异性,对于两性之间其余局部形态差异用协方差分析(ANCOVA),将头体长作为协变量,以消除体型对于局部形态的影响;对于雌雄个体间的异速增长,分别将两性局部形态指标作为因变量,头体长为自变量,用 smatr 包中的 sma 函数进行压轴回归分析(RMA,reduced major axis regression)[28-29],并进行斜率差异性检验,若斜率存在差异性,则表示存在异速增长;用 Fisher 精确卡方检验(Fisher's exact tests)比较雌、雄个体的断尾率和咬痕率的差异;对于繁殖力选择假说的检验,分别以窝卵数、窝卵重、卵重、RCM1、RCM2 与雌性腋跨距进行相关分析,对存在显著相关的指标进一步做回归分析。显著性水平设置为 $\alpha=0.05$。描述性统计值用平均值±标准误(Mean±SE)表示,所有操作在 Rv 3.4.1(R 软件 2017)软件中进行。

2 结 果

2.1 两性异形

独立样本 t-检验的结果表明,敏麻蜥雄性的头

体长(67.13 ± 2.98)mm 大于雌性(66.07 ± 1.12)mm,但差异不显著(t = −0.718, df = 122.6, P = 0.474)。以头体长为协变量进行协方差分析表明,雄性的头长、头宽、头高、前肢长、后肢长和尾长显著大于雌性(头长:$F_{1,152}$ = 72.61, P = 0.000;头宽 $F_{1,152}$ = 82.15, P = 0.000;头高 $F_{1,152}$ = 132.9, P = 0.000;前肢长:$F_{1,152}$ = 4.88, P = 0.029;后肢长:$F_{1,152}$ = 17.9, P = 0.000;尾长:$F_{1,126}$ = 59.48, P = 0.000),而雌性的腋跨距更长($F_{1,152}$ = 21.61, P = 0.000)(表1)。

表1　敏麻蜥形态的描述性统计

Tab. 1　Descriptive statistics of morphological traits of *Eremias arguta*　/mm

指标	头体长	头长	头宽	头高	腋跨距	前肢长	后肢长	尾长*
雌性(n=57)	66.07 ±1.12	16.12 ±0.3	10.75 ±0.25	8.02 ±0.13	34.05 ±0.61	22.00 ±0.55	31.12 ±0.64	64.62 ±1.31
范围	54.54 ~81.62	10.59 ~21.13	7.96 ~18.19	6.17 ~10.25	27.06 ~43.68	15.6 ~28.77	23.97 ~39.61	49.69 ~84.95
雄性(n=95)	67.13 ±2.98	18.72 ±1.74	12.5 ±1.36	9.49 ±1.13	32.95 ±2.16	23.45 ±2.17	33.88 ±2.4	72.07 ±1.19
范围	54.73 ~86.17	12.56 ~24.83	8.63 ~18.01	6.87 ~12.27	25.9 ~46.93	15.64 ~38.79	21.76 ~47.35	53.1 ~93.4
显著性	0.370	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000

注:* 雌性 n = 41,雄性 n = 75

2.2　异速增长

敏麻蜥的雌雄两性个体的局部形态不存在异速增长,表现为两性之间所有指标的增长速度均没有显著差异(头长 P = 0.535;头宽 P = 0.148;头高 P = 0.383;腋跨距 P = 0.764;前肢长 P = 0.969;后肢长 P = 0.586;尾长 P = 0.158,)。

2.3　断尾率与咬痕率

敏麻蜥雌雄两性个体间的咬痕率与断尾率均没有显著差异(表2)。

2.4　繁殖输出

敏麻蜥雌性个体的卵重(r = 0.59, P = 0.001)、窝卵数(r = 0.79, P = 0.000)以及窝卵重(r = 0.80, P = 0.000)与雌性腋跨距之间存在显著正相关关系(图2),但是RCM1(r = −0.23, P = 0.259)和RCM2(r = −0.23, P = 0.268)与雌性腋跨距不存在显著相关(表3)。

表2　敏麻蜥尾部断尾以及咬痕描述性统计

Tab. 2　Descriptive statistics of caudal autotomy and bitescarson tail of *Eremias arguta*

特征	断尾	比例/%	咬痕	比例/%
雌性(总数)	16(57)	28.10	7(57)	12.28
雄性(总数)	20(95)	21.10	7(95)	7.37
卡方	0.621	0.431		
显著性	0.525	0.387		

表3　敏麻蜥雌性形态指标与繁殖参数

Tab. 3　Morphological traits and reproductive parameters of *Eremias arguta*

指标	腋跨距/mm	头体长/mm	体重/g	窝卵数	窝卵重/g
样本数	25	25	25	25	25
均值 ± 标准误	35.04 ±1.05	67.60 ±2.00	6.15 ±0.59	4.96 ±0.27	3.04 ±0.25
范围	27.37 ~43.68	54.54 ~81.62	2.95 ~12.45	2 ~8	0.98 ~5.62
指标	相对窝卵重1	相对窝卵重2	卵长径/mm	卵短径/mm	卵重/g
样本数	25	25	124	124	124
均值 ± 标准误	0.53 ±0.03	0.34 ±0.01	14.05 ±0.10	8.75 ±0.06	0.61 ±0.01
范围	0.22 ~0.72	0.18 ~0.42	11.49 ~16.61	6.73 ~10.43	0.34 ~0.94

3　讨论

3.1　两性异形与异速增长

麻蜥属物种的两性异形有多种类型,丽斑麻蜥(*E. argus*)[30]以及快步麻蜥(*E. velox*)[31]为雄性的头体长大于雌性;密点麻蜥(*E. multiocellata*)[32]和山地麻蜥(*E. brenchleyi*)[33]的雌雄两性之间的头体长没有显著差异。本研究中,敏麻蜥雌雄两性之间的头体长没有显著差异。

蜥蜴的头部普遍存在两性异形[34],雄性在求偶时通过咬住雌性后肢或尾部以控制雌性[7,35]。野外观察发现敏麻蜥求偶期间的打斗非常激烈(图1),

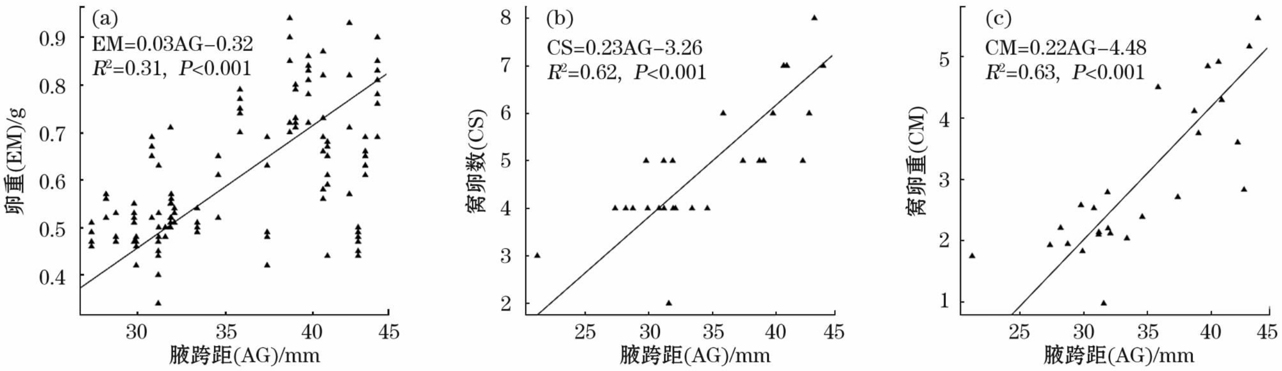

图 2 敏麻蜥的卵重(a)、窝卵数(b)、窝卵重(c)和雌性腋跨距之间的回归

Fig. 2 Regressions between the axillary spanand the EM (a), CS (b) and CM (c) of female of *Eremias arguta*

这种性内竞争驱使敏麻蜥的雄性个体获得较发达的头部,以提高其咬合力来提高求偶成功率;较大的头部可以在性内竞争(雄—雄竞争)中占据优势[3,36]。敏麻蜥雌雄两性头部之间不存在异速增长现象,表明两性间头部差异可能在亚成体甚至幼体之间就已经存在。两性头部大小差异可以减缓种内雌雄两性个体之间对食物资源的竞争[37],敏麻蜥两性个体的食性是否有差异,是否与头部的两性异形有关还有待于进一步研究。

雌性可以通过减缓头部的发育获得较大的腋跨距,这种现象在蜥蜴类群中普遍存在[22,38-39]。雌性的繁殖输出受腹腔容积限制[40],更大的腹部可产更大或更多的卵[41-42]。敏麻蜥雌性个体的窝卵重、窝卵数和卵重均随着腋跨距增加而显著增加,表明雌性的腋跨距受繁殖力选择驱使。

蜥蜴的附肢与逃避天敌、捕食和生境利用有关[43]。雄性在运动能力[44]甚至在交配[45]上的优势均与附肢有关,一般而言,雄性个体具有相对较长的附肢。敏麻蜥生活在以低矮灌木为主的斑块生境中,并且有领域行为(笔者观察),且敏麻蜥的捕食模式属于主动搜寻型(active foraging),需要长时间在外活动,这也增加了暴露于捕食者的风险,具有显著长的附肢,潜在地保证了雄性巡视领域的运动能力需求。

3.2 咬痕和尾部自断比例

尾自断在爬行动物中普遍存在,研究表明,蜥蜴中尾自断现象存在两性差异[17],雄性蜥蜴咬痕和尾部自断比例率较高,反映了激烈的雄性性内竞争[19]。雄—雄竞争中,攻击对手的尾部可能是性内竞争中占据优势的一种策略,因为断尾后运动速度下降(如:石龙子科蜥蜴[46]),潜在的降低了交配的可能性[47]。此外,根据 Lin 等[16]对台湾草蜥(*Takydromus formosanus*)多年的跟踪调查发现,断尾的个体因生存适合度的降低,而具有更高的死亡率。野外观察发现敏麻蜥雄性个体之间的争斗比较激烈,个体之间的打斗多表现为攻击对手的尾部。此外,对敏麻蜥野外繁殖交配行为的观察发现,雄性个体首先咬住雌性的尾基部,并且从尾部逐步向上,最后咬住腹部(图 1),拒绝交配的雌性会不断挣扎,导致在雌性尾部留下咬痕甚至断尾。对不同性别个体的同一性状施加的反向平衡选择(counter-balancing selection)会减小两性异形的程度[48],笔者认为敏麻蜥两性个体之间的断尾以及咬痕率差异之所以不显著,是因为雄性之间竞争压力与雌雄之间的交配压力共同作用所致,即性选择的压力同等作用于雌雄两性尾部的结果。

3.3 繁殖输出

动物的繁殖是一个复杂的生理和生态过程,包括了生长和繁殖阶段能量分配的权衡等方面[49-50]。雌性拥有较大的腋跨距,可容纳更多或更大的卵,这与繁殖力选择相关[51]。与同域分布的旱地沙蜥(*Phrynocephalus helioscopus*)[52]和奇台沙蜥(*P. grumgrzimailoi*)[38]不同,敏麻蜥的窝卵数、窝卵重、卵重与母体腋跨距之间存在显著的正相关($P<0.05$),但是相对窝卵重却保持相对恒定($P>0.05$)。由于随着体型的增大,雌性的体重与窝卵重均随之增大,使雌性的相对窝卵重(RCM1,RCM2)保持相对恒定,不再随着体型增大而增大。此外,由于敏麻蜥属于主动觅食型的类群,长时间在外活动增加了被捕食的风险,运动能力决定着个体逃避天敌的能力。对雌性而言,增加的体重(尤其是孕期的体重)以及较大的腋跨距均会导致运动能

力下降[53-54],相对窝卵重处于相对恒定状态,可能是雌性在自身适合度和繁殖输出之间权衡的结果,以保证自身的适合度。

4 结 论

强烈的性选择驱使敏麻蜥雄性个体拥有较大的头部、附肢及尾部。繁殖力选择驱动敏麻蜥的雌性个体拥有显著更大的腋跨距来提高繁殖输出。性选择与繁殖力选择促使敏麻蜥雌雄个体在局部形态上存在两性异形(即雄性的头部较大,雌性的腋跨距较大),而头体长却表现为两性同形。此外,性选择驱使雄性性内选择和雌雄性间选择同时作用于尾部,使雌雄两性之间的断尾率和咬痕率没有显著差异,敏麻蜥的两性异形受性选择与繁殖力选择压力的共同作用。

致谢:罗东先生参与了部分野外工作,“荒野新疆”的刑睿先生提供了精彩的照片,谨表谢意。

参考文献(References):

〔1〕 Anderson M. Sexual Selection〔M〕. New Jersey:Princeton University Press,1994.

〔2〕 刘洋. 新疆两种荒漠蜥蜴两性异形、食性和繁殖的研究〔D〕. 乌鲁木齐:新疆农业大学. 2010.〔Liu Yang. Sexual Dimorphism, Diet, and Reproduction in Two Desert Lizards of Xinjiang Uygar Autonomous Region〔D〕. Urumqi:Xinjiang Agricultural University,2010.〕

〔3〕 Olsson M,Shine R,Wapstra E,et al. Sexual dimorphism in lizard body shape: the roles of sexual selection and fecundity selection〔J〕. Evolution,2002,56 (7):1 538 -1 542.

〔4〕 刘宁娜,初红军,张钧泳,等. 卡拉麦里山雌雄盘羊行为差异及一致性研究〔J〕. 干旱区研究,2016,33(1):197 -203.〔Liu Ningna,Chu Hongjun,Zhang Junyong,et al. Behavioral differences and synchronization on males and females of *Ovis ammon darwini* in Kalamaili Mountains,Xinjiang〔J〕. Arid Zone Research,2016,33(1):197 -203.〕

〔5〕 Darwin C. The Descent of Man and Selection in Relation to Sex〔M〕. London:John Murray,1871.

〔6〕 Hernandez-Jimenez A,Rios-Cardenas O. Natural versus sexual selection:Predation risk in relation to body size and sexual ornaments in the green swordtail〔J〕. Animal Behaviour,2012,84(4):1 051 -1 059.

〔7〕 Cox R M,Butler M A,John-Alder H B. The evolution of sexual size dimorphism in reptiles〔C〕//Fairbairn D J,Blanckenhorn W U,Szekely T. Sex, Size and Gender Roles: Evolutionary Studies of Sexual Size Dimorphism. Oxford:Oxford University Press,2007.

〔8〕 Henningsem J P,Irschick D J. An experimental test of the effect of signal size and performance capacity on dominance in the green anole lizard〔J〕. Functional Ecology,2012,26(1):3 -10.

〔9〕 Lappin A K,Hamilton P S,Sullivan B K. Bite-force performance and head shape in a sexually dimorphic crevice-welling lizard,the common chuckwalla〔*Sauromalus ater*(= *obesus*)〕〔J〕. Biological Journal of the Linnean Society,2006,88(2):215 -222.

〔10〕 Guimarães M,Mungía-Steyer R,Doherty Jr P F,et al. No survival costs for sexually selected traits in a polygynous non-territorial lizard〔J〕. Biological Journal of the Linnean Society,2017,122(3):197 -209.

〔11〕 Rudoy A,Ribera I. Evolution of sexual dimorphism and Rensch's rule in the beetle genus *Limnebius*(hydraenidae):Is sexual selection opportunistic?〔J〕Peer Journal,2017,5(3):e3060.

〔12〕 Iraeta P,Monasterio C,Salvador A,et al. Sexual dimorphism and interpopulation differences in lizard hind limb length: locomotor performance or chemical signalling〔J〕. Biological Journal of the Linnean Society,2011,104(2):318 -329.

〔13〕 Gillis G B,Bonvini L A,Irschick D J. Losing stability:Tail loss and jumping in the arboreal lizard *Anolis carolinensis*〔J〕. Journal of Experimental Biology,2009,212(5):604 -609.

〔14〕 Mcelroy E J,Bergmann P J. Tail autotomy,tail size,and locomotor performance in lizards〔J〕. Physiological & Biochemical Zoology,2013,86(6):669 -679.

〔15〕 Libby T,Moore T Y,Chang-Sui E,et al. Tail-assisted pitch control in lizards,robots,and dinosaurs〔J〕. Nature,2012,481(7 380):181 -184.

〔16〕 Lin J W,Chen Y R,Wang Y H,et al. Tail regeneration after autotomy revives survival:A case from a long-term monitored lizard population under avian predation〔J〕. Proceedings of the Royal Society B:Biological Sciences,2017,284(1 847):2 016 -2 538.

〔17〕 Bateman P W,Fleming P A. To cut a long tail short:A review of lizard caudal autotomy studies carried out over the last 20 years〔J〕. Journal of Zoology,2009,277(1):1 -14.

〔18〕 Veiga J P,Salvador A. Individual consistency in emergence date,a trait affecting mating success in the lizard *psammodromus algirus*〔J〕. Herpetologica,2001,57(1):99 -104.

〔19〕 Dashevsky D,Meik J M,Mociño-Deloya E,et al. Patterns of sexual dimorphism in Mexican alligator lizards,*Barisia imbricate*〔J〕. Ecology and Evolution,2013,3(2):255 -261.

〔20〕 Monnet J M,Cherry M I. Sexual size dimorphism in anurans〔J〕. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B,Biological Sciences,2002,269(1 507):2301 -2307.

〔21〕 Schwarzkopf L. Sexual dimorphism in body shape without sexual dimorphism in body size in water skinks(*Eulamprus quoyii*)〔J〕. Herpetologica,2005,61(2):116 -123.

〔22〕 Scharf I,Meiri S. Sexual dimorphism of heads and abdomens:different approaches to 'being large' in female and male lizards〔J〕. Biological Journal of the Linnean Society,2013,110(3):665 -673.

〔23〕 Sczcerbak N N. Taxonomy of the racerunner genus-*Eremias*(Sauria,Reptilia)-in relation with areas of desert-steppe faunal formation in the Palaearctics〔J〕. VestnikZoologii,1971,3 895(2):47 -55.

〔24〕 赵尔宓,赵肯堂,周开亚,等. 中国动物志爬行纲第二卷(有鳞目:蜥蜴亚目)〔M〕. 北京:科学出版社,1999.〔Zhao Ermi,Zhao Kentang,Zhou Kaiya,et al. Fauna Sinica,Reptilia:Vol. 2 (Squamata:Lacertilia)〔M〕. Beijing:Science Press,1999.〕

〔25〕 Poyarkov N A,Orlova V F,Chirikova M A. The mitochondrial phylogeography and intraspecific taxonomy of the Steppe racerunner, *Eremias arguta* (Pallas) (Lacertidae: Sauria, Reptilia), reflects biogeographic patterns in Middle Asia[J]. Zootaxa, 2014, 3 895(2): 208 – 224.

[26] Shine R. Relative clutch mass and body shape in lizards and snakes: Is reproductive investment constrained or optimized[J]. Evolution, 1992, 46(3): 828 – 833.

[27] Vitt L J, Price H J. Ecological and evolutionary determinants of relative clutch mass in lizards[J]. Herpetologica, 1982, 38(1): 237 – 255.

[28] Warton D I, Duursma R A, Falster D S, et al. smatr 3 – an R package for estimation and inference about allometric lines[J]. Methods in Ecology and Evolution, 2012, 3(2): 257 – 259.

[29] 梁涛,时磊. 旱地沙蜥三个地理种群形态变异与两性异形——Bergmann 法则、Allen 法则和 Rensch 法则的检验[J]. 四川动物, 2017, 36(3): 249 – 257. [Liang Tao, Shi Lei. Sexual dimorphism and morphological variation of the three populations of *Phrynocephalus helioscopus*: Test of Bergmann's rule, Allen's rule, and Rensch's rule[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2017, 36(3): 249 – 257.]

[30] 陈绍勇. 丽斑麻蜥两性异形及两个地理种群繁殖特征的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古师范大学. 2015. [Chen Shaoyong. Study on the Sexual Dimorphism of Racerunners Lizard (*Eremias argus*) and Reproductive Features of the Two Geographical Populations [D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2015.]

[31] 汪洋. 新疆快步麻蜥 5 个地理种群两性异形和地理变异研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2012. [Wang Yang. Sexual Dimorphism and Geographical Variation of Five Populations of Rapid Racerunner (*Eremias velox*) in Xinjiang Uygur Autonomous Region [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2012.]

[32] Li H, Ji X, Qu Y F, et al. Sexual dimorphism and female reproduction in the multi-ocellated racerunner *Eremias multiocellata* (Lacertidae) [J]. Acta Zoologica Sinica, 2006, 52(2): 250 – 255.

[33] 许雪峰,计翔. 山地麻蜥个体发育过程中头部两性异形和食性的变化[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 557 – 561. [Xu Xuefeng, Ji Xiang. Ontogenetic shifts in sexual dimorphism in head size and food habits of *Eremias brenchleyi*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(4): 557 – 561.]

[34] Herrel A, De Grauw E D, Lemos-Espinal J A. Head shape and bite performance in xenosaurid lizards[J]. Journal of Experimental Zoology, 2001, 290(2): 101 – 107.

[35] Lappin A K, Husak J F. Weapon performance, not size, determines mating success and potential reproductive output in the collared lizard (*Crotaphytus collaris*) [J]. The American Naturalist, 2005, 166(3): 426 – 436.

[36] Fabre A C, Cornette R, Huyghe K, et al. Linear versus geometric morphometric approaches for the analysis of head shape dimorphism in lizards[J]. Journal of Morphology, 2014, 275(9): 1 016 – 1 026.

[37] 刘洋,王舒娅,时磊. 年龄和性别因素对奇台沙蜥食性的影响[J]. 动物学杂志, 2011, 46(6): 111 – 117. [Liu Yang, Wang Shuya, Shi Lei. Effects of age and sex on diet composition of *Phrynocephalus grumgrzimailoi*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2011, 46(6): 111 – 117.]

[38] 刘洋,时磊. 奇台沙蜥生长过程中的两性异形[J]. 四川动物, 2009, 28(5): 710 – 713. [Liu Yang, Shi Lei. Ontogenetic shifts of sexual dimorphism in *Phrynocephalus grumgrzimailoi* (Agamidae) [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2009, 28(5): 710 – 713.]

[39] Zhao W, Liu N F. Sexual dimorphism of head size in *Phrynocephalus przewalskii*: Testing the food niche divergence hypothesis[J]. Asian Herpetological Research, 2013, 4(4): 242 – 247.

[40] Du W G, Ji X, Shine R. Does body volume constrain reproductive output in lizards[J]. Biology Letters, 2005, 1(1): 98 – 100.

[41] Kratochvíl L, Frynta D. Body size, male combat and the evolution of sexual dimorphism in eublepharid geckos (Squamata: Eublepharidae) [J]. Biological Journal of the Linnean Society, 2002, 76(2): 303 – 314.

[42] Liu Y, Song Y C, Li W R, et al. Reproductive strategy and cycle of the toad-headed agama *Phrynocephalus grumgrzimailoi* (Agamidae) in Xinjiang, China [J]. Asian Herpetological Research, 2012, 3(3): 198 – 204.

[43] Husak J F. Does speed help you survive? A test with collared lizards of different ages[J]. Functional Ecology, 2006, 20(1): 174 – 179.

[44] Gifford M E, Herrel A, Mahler D L. The evolution of sprinting performance among populations of *Leiocephalus* lizards from the Dominican Republic[J]. Biological Journal of Linnean Society, 2008, 93(3): 445 – 456.

[45] Lappin A K, Swinney E J. Sexual dimorphism as it relates to natural history of leopard lizards (Crotaphytidae: *Gambelia*) [J]. Copeia, 1999, 3: 649 – 660.

[46] 林植华,计翔. 浙江丽水中国石龙子的食性、两性异型和雌性繁殖[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 304 – 310. [Lin Zhihua, Ji Xiang. Food habits, sexual dimorphism and female reproduction of the skink (*Eumeces chinensis*) from a Lishui population in Zhejiang [J]. ACta ecologica Sinica, 2000, 20(2): 304 – 310.]

[47] Martín J, Salvador A. Tail loss reduces mating success in the Iberian rock-lizard, *Lacerta monticola*[J]. Behavioral Ecology & Sociobiology, 1993, 32(3): 185 – 189.

[48] Massetti F, Gomes V, Perera A, et al. Morphological and functional implications of sexual size dimorphism in the Moorish gecko, *Tarentola mauritanica*[J]. Biological Journal of the Linnean Society, 2017, 122(1): 197 – 209.

[49] 杜卫国,计翔. 蓝尾石龙子的生长、两性异形及雌性繁殖[J]. 动物学研究, 2001, 22(4): 279 – 286. [Du Weiguo, Ji Xiang. Growth, sexual size dimorphism and fermale reproduction of Blue-tailed Skinks, *Eumeces elegans*[J]. Zoological Research, 2001, 22(4): 279 – 286.]

[50] Camargo A, Naya D E, Canavero A, et al. Seasonal activity and the body size-fecundity relationship in a population of *Physalaemus gracilis* (Boulenger, 1883) (Anura, Leptodactylidae) from Uruguay [J]. Annales Zoologici Fennici, 2005, 42(5): 513 – 521.

[51] Mouton P F N, Van Wyk J H. Sexual dimorphism in cordylid lizards: A case study of the Drakensberg crag lizard, *Pseudocordylus melanotus*[J]. Canadian Journal of Zoology, 1993, 71(9): 1 715 – 1 723.

[52] 梁涛,吕士鹏,武开乐,等. 旱地沙蜥的两性异形和雌性繁殖投入[J]. 生态学杂志, 2015, 34(6): 1 602 – 1 606. [Liang Tao, Lv Shipeng, Wu Kaile, et al. Sexual dimorphism and female reproduction of *Phrynocephalus helioscopus* (Agamidae) [J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(6): 1 602 – 1 606.]

[53] Olsson M, Shine R, Bak-Olsson E. Locomotor impairment of gravid

lizards: is the burden physical or physiological[J]. Journal of Evolutionary Biology, 2000, 13(2): 263 - 268.

[54] Zagar A, Carretero M A, Vrezec A, et al. Towards a functional understanding of species coexistence: Ecomorphological variation in relation to whole-organism performance in two sympatric lizards [J]. Functional Ecology, 2017, 31(9): 1 780 - 1 791.

Sexual Dimorphism and Female Reproduction of *Eremias arguta*

LIANG Tao[1], LI Ye[1,2], ZHENG Peng[1], SHI Lei

(1. *College of Animal Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi* 830052, *Xinjiang, China*;
2. *Institute of Forest Ecological Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing* 100091, *China*)

Abstract: Sexual dimorphism (SD) is widespread in animal kingdom, can be the result of different roles in life history between the two sexes, which reflects the different adaptation of male and female under the selection pressure of the environment. During the period from 2014 to 2017, 152 individual specimens of *Eremias arguta* were collected from north Xinjiang to study their sexual dimorphism and female reproduction. Eight morphological traits of adult lizards were measured. Gravid female lizards were used to examine their reproduction. The males have bigger head, longer limbs and longer tails because of their sexual selection. In addition, there is no evidence of linking dimorphism in body size with growth rate, which reveals that the sexual dimorphism of *E. arguta* might have formed during sub-adults or hatchings. While females have longer abdomens because of fecundity selection, and the larger abdomens of females can lay bigger and more eggs. There are no the differences in bite scars and caudal autotomy between the two sexes, because the effects of sexual selection on tail of two sexes are similar. Our results showed that the interplay between sexual and fecundity selection leads to sexual shape dimorphism and sexual size isomorphism in *E. arguta*.

Key words: sexual dimorphism; sexual selection; fecundity selection; caudal autotomy; bite scars; *Eremias arguta*