

年龄和性别因素对奇台沙蜥食性的影响

刘洋^{①②} 王舒娅^③ 时磊^{①*}

① 新疆农业大学动物科学学院 乌鲁木齐 830052; ② 中国科学院成都生物研究所 成都 610041;

③ 四川大学生命科学学院 成都 610041

摘要:采用胃容物分析法研究年龄和性别因素对奇台沙蜥(*Phrynocephalus grumgrzimai*)食性的影响。共解剖220号浸制标本,取出整胃分离胃容物,鉴别胃容物中的食物种类,统计各种食物组分的数量频率、重量比例、出现频率和相对重要性指数(index of relative importance, IRI)。结果表明,奇台沙蜥的食物大多数是节肢动物,还有少量植物组织;幼体摄入的食物中IRI最高的为体型较小的蚁科物种(雌性幼体:95.91;雄性幼体:69.04),而成体摄入的食物中以鞘翅目昆虫IRI最高(雌性成体:35.49;雄性成体:32.58);雌性成体、雄性成体、雌性幼体和雄性幼体的食物生态位宽度分别为2.15、2.40、1.21和1.47,两性幼体间食物生态位重叠度最大,雄性成体与幼体间食物生态位重叠度最小;雄性成体的头长和头宽显著大于雌性成体,而其食物的最大体积和最大宽度也显著大于雌性成体的食物。奇台沙蜥的食性在个体生长发育过程中发生明显变化,两性的头部异形导致两性个体所食食物的大小差异,有利于减小种内竞争。

关键词:奇台沙蜥;食性;年龄;性别

中图分类号:Q958 **文献标识码:**A **文章编号:**0250-3263(2011)06-111-07

Effects of Age and Sex on Diet Composition of *Phrynocephalus grumgrzimai*

LIU Yang^{①②} WANG Shu-Ya^③ SHI Lei^{①*}

① College of Animal Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052; ② Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041; ③ College of Biological Science, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Abstract: We checked the contents of 220 stomachs of specimens to assess effects of age and sex on diet composition of lizard *Phrynocephalus grumgrzimai*. We weighed each stomach, identified content component, counted individuals of each food item and weighed them, then calculated the index of relative importance (IRI) based on frequency of each food item appeared, percent of each mass weight, frequency of occurrence. We found out those stomachs contain large volume of arthropod and few vegetal items. Formicidae was the most important prey item of juveniles (female: IRI = 95.91; male: IRI = 69.04), while Coleoptera was the most important part in the diet composition of adults (female: IRI = 35.49; male: IRI = 32.58). Food niche breadth of adult female, adult male, juvenile female and juvenile male was 2.15, 2.40, 1.21 and 1.47, respectively. The food niche overlap between male and female juveniles was highest, whereas it was lowest between adult and juvenile male. The head of adult males was longer and wider comparing with adult female, and the food items of adult

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30360014, 30770264), 国家科技支撑项目(No. 2008BAC39B04);

* 通讯作者, E-mail: shileixj@126.com;

第一作者简介 刘洋, 女, 博士研究生; 研究方向: 两栖爬行动物分类学; E-mail: liuyang1986@sina.cn。

收稿日期: 2011-04-13, 修回日期: 2011-07-21

male were also with large volume than adult female. The lizard prey on different food items at different ontogeny stage. The phenomenon of adults of male and female fed on different size of prey might induced by sexual dimorphism in the head size and it could reduce the intraspecific competition.

Key words: *Phrynocephalus grumgrzimailoi*; Dietary composition; Age; Sex

摄食是能量流通中最重要的一环,通过食性分化减少竞争,以获得充足的食物是动物生存和发展的保障^[1]。研究表明,有些蜥蜴,不同的体型大小及形态特征会导致在成幼体和两性间的食性差异。很多蜥蜴的口部大小与其所能捕食的食物体积大小有相关性,这会导致个体生长过程中不同年龄阶段所捕食的食物类型和大小发生变化^[2-4],也会因为头部的两性异形导致食性有所差异^[5-7]。

奇台沙蜥 (*Phrynocephalus grumgrzimailoi*) 是新疆东部地区的沙蜥优势种^[8],也是新疆的特有种^[9]。其个体大小不具有两性异形,但是头部具有显著的两性异形,雄性个体具有较大的头部^[10]。奇台沙蜥个体生长过程中的食性是否有变化、头部大小的不同是否导致两性个体所食食物的大小有所差异尚未见报道。本文对上述问题进行了研究与讨论。

1 材料与方法

用于食性分析的 220 号奇台沙蜥标本为 1984 年 4~8 月份采集于乌鲁木齐市郊乌拉泊,现保存在新疆农业大学动物科学学院标本室。比较两性成体与幼体的食性差异时,为了避免食性的季节性变化,只分析 4 月下旬至 6 月上旬所采集的样本。用游标卡尺(精度为 0.02 mm)测量标本头体长(吻端至泄殖腔孔前缘间距, snout-vent length, SVL)、头长(吻端到颌角的长度, head length, HL)、头宽(左右颌关节间距, head width, HW)数据。将标本解剖以鉴定性别,具有精巢的判断为雄性,具有卵泡的判断为雌性。SVL \geq 47.7 mm 的判断为成体^[10]。

将奇台沙蜥的胃容物用清水溶解,用放大镜和解剖镜鉴别胃容物中的食物种类,统计各种食物在每个胃中出现的次数。食物的鉴别根

据研究地点采集的动物标本及文献记载^[11]。在标本采集地尽可能多地捕捉当地的节肢动物,用电子天平(精度为 0.000 1 g)称重后计算每种动物重量的平均值。用游标卡尺(精度为 0.02 mm)测量较完整食物的长和宽,根据椭球体体积公式来计算每个食物的体积^[12]: $V = 4/3\pi(L/2)(W/2)^2$, 式中, L 为食物的长度, W 为食物的宽度。

食物种类的数量频率(numeric frequency of each component, N), $N =$ 该类食物在所有个体的胃中出现的总次数/各类食物的总数 $\times 100\%$ 。

食物生态位(food niche)宽度用 Simpson 多样性指数(B)表示^[13]: $B = 1/\sum P_i^2$, P_i 为实际利用的第 i 种食物在所有被利用的食物中所占的数量频率比例。

食物生态位重叠度用 Levins (O_{jk} 或 O_{kj}) 指数表示^[14]: $O_{jk} = O_{kj} = \sum P_{ij} P_{ik} / (\sum P_{ij}^2 \sum P_{ik}^2)^{1/2}$, P_{ij} 和 P_{ik} 分别为被 j 和 k 种类或性别组动物利用的第 i 种食物在所有被利用的食物中所占的数量频率比例。

食物种类的重量比例(percent mass of each component, W), $W =$ 该类食物重量/各类食物的总重量 $\times 100\%$ 。

食物种类的出现频率(frequency of occurrence of each component, FO), $FO =$ 该类食物出现的胃的个数/解剖的胃数 $\times 100\%$ 。

相对重要性指数(index of relative importance, IRI) 参考 Bjørndal 等^[15]的方法计算,但是用重量代替了体积: $IRI = 100(F_i W_i) / \sum(F_i W_i)$, 其中, F_i 为第 i 种食物的出现频率, W_i 为第 i 种食物在所有被利用的食物重量中所占的比例。

所有数据用 SPSS 11.5 统计软件处理,用 Chi-Square 检验、方差分析(ANOVA)、Post Hoc

检验和线性回归处理相应的数据,描述性统计值用平均值 \pm 标准误表示,显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结 果

2.1 两性成体与幼体的食性差异 雌性成体、雄性成体、雌性幼体和雄性幼体的空胃率分别为 5.77% (3/52)、7.32% (3/41)、6.45% (2/31) 和 7.69% (2/26), Chi-Square 检验显示两性成体和幼体的空胃率没有显著差异 ($\chi^2 = 0.29, df=3, P=0.963$)。奇台沙蜥摄入的食物中大多数是昆虫,还有少量无法鉴别的植物组织。

雌性成体、雄性成体、雌性幼体和雄性幼体的食物生态位宽度分别为 2.15、2.40、1.21 和 1.47。异性幼体间食物生态位重叠度最大,异性成体间食物生态位重叠度次之,同性成体与幼体间食物生态位重叠度最小(表 1)。

表 1 奇台沙蜥食物生态位重叠度

Table 1 Food niche overlap of *Phrynocephalus grumgrzimailoi*

	雄性成体 Male adults	雌性幼体 Female juveniles	雄性幼体 Male juveniles
雌性成体 Female adults	0.97	0.88	0.91
雄性成体 Male adults		0.81	0.80
雌性幼体 Female juveniles			0.99

雌性成体摄入的食物中 IRI 值较高的为瓢甲科(Coccinellidae) (35.49)、蚁科(Formicidae) (32.47)、步甲科(Carabidae) (23.91) 物种。雄性成体摄入食物中 IRI 值较高的为瓢甲科(32.58)、步甲科(30.21)、蚁科(27.39) 物种。而两性幼体摄入的食物中 IRI 值较高的均为体型较小的蚁科物种(雌性:95.91; 雄性:69.04)。经 Chi-Square 检验,蚁科物种在两性成体和幼体食物中的 IRI 值差异显著 ($\chi^2 = 56.89, df=3, P<0.001$) (表 2)。

2.2 两性成体与幼体所食食物大小的差异 ANOVA 检验显示,奇台沙蜥两性成体与幼体

的头长 ($F_{3,216} = 218.61, P<0.001$) 和头宽 ($F_{3,216} = 156.22, P<0.001$) 差异显著。进一步 Post Hoc 检验表明,雄性成体的头长与头宽均显著大于雌性成体和两性幼体 ($P<0.001$), 雌性成体的头长和头宽显著大于两性幼体 ($P<0.001$), 而两性幼体的头长 ($P=0.658$)、头宽 ($P=0.416$) 差异不显著(表 3)。

奇台沙蜥胃容器中食物的最大体积与其头体长、头长和头宽的相关性均不显著(表 4)。ANOVA 检验表明,两性成体与幼体胃容器中食物的最大长度 ($F_{3,216} = 15.91, P<0.001$)、最大宽度 ($F_{3,216} = 30.60, P<0.001$) 和最大体积 ($F_{3,216} = 19.65, P<0.001$) 差异均极显著。进一步的 Post Hoc 检验表明,两性幼体胃容器中食物的最大长度 ($P=0.546$)、最大宽度 ($P=0.146$) 和最大体积 ($P=0.409$) 差异均不显著; 成体捕食食物的最大长度 ($P<0.001$)、最大宽度 ($P<0.001$) 和最大体积 ($P<0.001$) 都显著大于幼体; 两性成体胃容器中食物的最大长度差异不显著 ($P=0.059$), 两性成体胃容器中食物的最大宽度 ($P=0.012$) 和最大体积 ($P=0.001$) 差异均极显著, 雄性成体食物的最大体积和最大宽度比雌性成体的更大(表 3, 图 1)。

3 讨 论

食性和两性异形是爬行动物生态学研究中有密切联系的 2 个方面, 研究的结果有益于论述两性异形在特定种类中发生的选择压力^[16-17]。通常认为, 两性谋求各自最大的繁殖利益导致了两性异形, 因此两性异形是性选择压力作用的结果^[18], 但食性的差异也不同程度的与动物的两性异形有关^[5-7]。本文将以这些理论为框架, 根据本研究的结果展开一些讨论。

3.1 成体与幼体的食性差异 头部大小与奇台沙蜥的食物利用能力有联系, 因此头部大小差异较大的两性成体, 食物生态位重叠度略小于头部大小没有显著差异的两性幼体, 而且头部大小差异更大的成幼体, 食物生态位重叠度小于幼体之间以及成体之间(表 1)。幼体食物中 IRI 较高的均为体型较小的蚁科昆虫, 而成

表 2 奇台沙蜥成、幼体胃内容物中的食物组成
Table 2 Diet composition found in stomach contents of adult and juvenile *Phrynocephalus grumgrizimai*

食物种类 Prey taxa	雄性成体 Male adults (n=41)				雌性成体 Female adults (n=52)				雄性幼体 Male juveniles (n=31)				雌性幼体 Female juveniles (n=26)			
	N (%)	W (%)	FO (%)	IRI	N (%)	W (%)	FO (%)	IRI	N (%)	W (%)	FO (%)	IRI	N (%)	W (%)	FO (%)	IRI
节肢动物门 Arthropoda																
昆虫纲 Insecta																
半翅目 Hemiptera																
蝽科 Pentatomidae	0.92	0.96	4.88	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鞘翅目 Coleoptera																
幼虫 Larvas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	1.29	1.92	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
芫菁科 Meloidae	0.46	2.31	2.44	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
瓢甲科 Coccinellidae	15.14	19.04	48.78	32.58	12.73	29.27	40.38	35.49	2.00	4.57	9.68	1.14	3.01	9.68	11.54	1.86
象甲科 Curculionidae	1.38	16.15	7.32	4.15	0.75	2.87	3.85	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
步甲科 Carabidae	8.26	20.77	41.46	30.21	13.86	15.93	50.00	23.91	8.67	26.40	35.48	24.23	1.50	6.45	7.69	0.83
膜翅目 Hymenoptera																
姬蜂科 Ichneumonidae	0.46	1.92	2.44	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	7.11	6.45	1.19	0.75	5.65	3.85	0.36
蜜蜂科 Apidae	1.38	5.77	7.32	1.48	0.75	2.87	3.85	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
泥蜂科 Sphecidae	1.38	5.77	7.32	1.48	0.37	1.43	1.92	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	5.65	3.85	0.36
胡蜂科 Vespidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	1.43	1.92	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
蚁科 Formicidae	61.93	17.79	43.90	27.39	65.54	17.58	61.54	32.47	82.00	41.37	64.52	69.04	90.98	64.92	88.46	95.91
鳞翅目 Lepidoptera																
幼虫 Larvas	0.46	1.92	2.44	0.16	2.25	24.10	9.62	6.96	3.33	15.23	9.68	3.81	0.00	0.00	0.00	0.00
双翅目 Diptera																
幼虫 Larvas	0.92	1.92	4.88	0.33	1.12	2.15	3.85	0.25	0.67	2.03	3.23	0.17	0.75	3.23	3.85	0.21
蝇科 Muscidae	2.29	2.88	12.20	1.23	0.37	0.43	1.92	0.02	0.67	1.02	3.23	0.08	1.50	3.23	7.69	0.41
蚊科 Culicidae	4.13	1.73	4.88	0.30	1.50	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.81	3.85	0.05
蛛形纲 Arachnida	0.92	0.96	4.88	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	2.03	6.45	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
合计 Total	100.00	100.00	195.12	100.00	100.00	100.00	180.77	100.00	100.00	100.00	138.71	100.00	100.00	100.00	130.77	100.00
生态位宽度 Niche breadth		2.40				2.15					1.47				1.21	

N: 数量频率; W: 重量比例; FO: 出现频率; IRI: 相对重要性指数。

N: Numeric frequency of each component; W: Mass percent of each component; FO: Frequency of occurrence of each component; IRI: Index of relative importance.

表 3 奇台沙蜥头体长、头部大小与食物大小的测量值

Table 3 Measurement of snout-vent length, head size and prey size of *Phrynocephalus grumgrzimailoi*

		雄性成体 Male adults (n = 83)	雌性成体 Female adults (n = 87)	雄性幼体 Male juveniles (n = 24)	雌性幼体 Female juveniles (n = 26)
头体长 (mm) Snout-vent length	平均值 ± 标准误 Mean ± SE	55.61 ± 0.33	55.74 ± 0.42	39.21 ± 1.14	41.22 ± 0.82
	范围 Range	48.00 ~ 61.40	47.70 ~ 64.94	36.42 ~ 47.48	31.88 ~ 46.34
头长 (mm) Head length	平均值 ± 标准误 Mean ± SE	16.72 ± 0.09	16.03 ± 0.08	12.61 ± 0.32	12.73 ± 0.23
	范围 Range	13.84 ~ 18.98	13.72 ~ 18.50	10.08 ~ 14.58	10.52 ~ 14.76
头宽 (mm) Head width	平均值 ± 标准误 Mean ± SE	13.32 ± 0.11	12.82 ± 0.12	9.69 ± 0.18	9.91 ± 0.19
	范围 Range	11.04 ~ 15.28	10.30 ~ 15.34	7.06 ~ 11.58	7.94 ~ 11.08
食物最大体积 (mm ³) Maximal volume of prey	平均值 ± 标准误 Mean ± SE	174.71 ± 15.22	121.11 ± 9.34	45.18 ± 14.02	20.78 ± 3.11
	范围 Range	25.48 ~ 708.18	7.84 ~ 392.29	1.75 ~ 333.67	1.83 ~ 59.72
食物最大长度 (mm) Maximal length of prey	平均值 ± 标准误 Mean ± SE	10.11 ± 0.42	9.09 ± 0.42	6.41 ± 0.53	5.89 ± 0.42
	范围 Range	4.09 ~ 28.72	4.28 ~ 25.09	3.21 ~ 13.87	3.10 ~ 10.69
食物最大宽度 (mm) Maximal width of prey	平均值 ± 标准误 Mean ± SE	5.41 ± 0.23	4.81 ± 0.23	3.01 ± 0.27	2.43 ± 0.19
	范围 Range	2.01 ~ 9.80	1.52 ~ 8.93	1.02 ~ 6.78	1.06 ~ 3.74

表 4 奇台沙蜥胃容器中食物体积与各形态特征的相关性

Table 4 Relation between prey volume and morphological traits of *Phrynocephalus grumgrzimailoi*

	头体长 Snout-vent length			头长 Head length			头宽 Head width		
	r	F	P	r	F	P	r	F	P
雄性成体 (n = 83) Male adults	0.19	3.06	0.08	0.07	0.40	0.53	0.13	1.40	0.24
雌性成体 (n = 87) Female adults	0.20	3.87	0.06	0.21	3.93	0.06	0.21	3.92	0.06
雄性幼体 (n = 24) Male juveniles	0.11	0.29	0.60	0.16	0.55	0.47	0.10	0.23	0.64
雌性幼体 (n = 26) Female juveniles	0.31	0.51	0.06	0.30	2.35	0.14	0.31	0.79	0.24

体的食物中 IRI 较高的为体型较大的鞘翅目昆虫(表 2)。一般认为,动物头部大小及其处理食物的能力决定了能够捕食的食物大小,这会导致不同年龄的蜥蜴摄入食物的种类和大小有差异^[2,19]。此外,由于较大的食物可以给捕食者提供更多的能量,蜥蜴在个体生长发育的过程中,会逐渐捕食更大的食物^[1]。幼体头部较小,难以吞食较大的食物,限制了幼体所能捕食食物的种类和大小^[2],因此幼体的食物生态位宽度较成体窄(表 2)。

动物的觅食和进食过程都需要消耗能量,为获得最大净能,捕食者在觅食过程中总是选择获益更大的食物^[20]。在成体奇台沙蜥的食物当中,蚁科的 IRI 较幼体的低,而瓢甲科昆虫的 IRI 较幼体的高,这可能与能量的权衡有关,捕食这些动物可以使奇台沙蜥的成体和幼体分别获得更大的净能。

3.2 两性成体与幼体所食食物大小的差异
蜥蜴咬合力大小跟头长、头宽、头高等^[21-23]结构有关,研究表明,具有较大头部的蜥蜴具有更

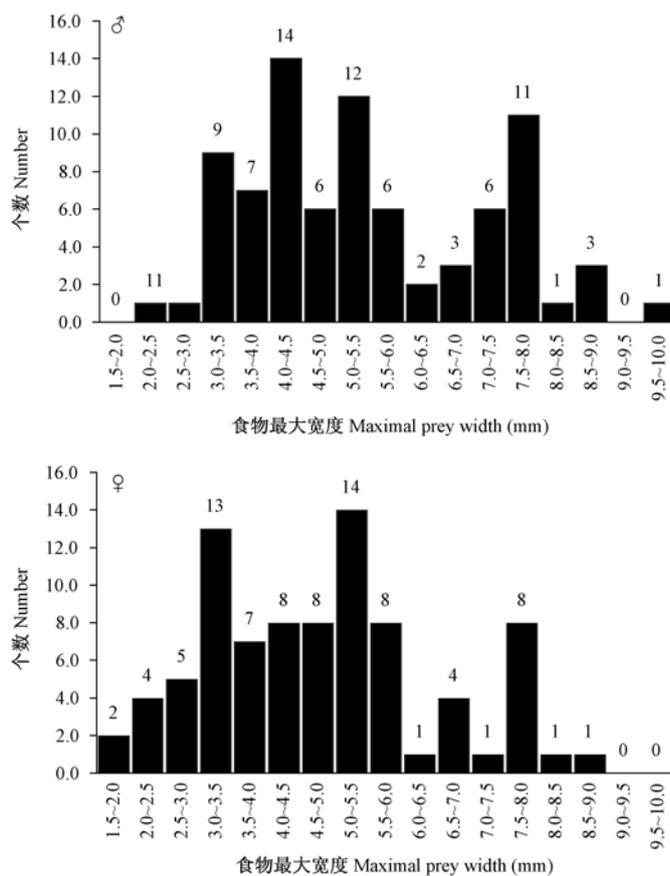


图 1 奇台沙蜥成体胃容器中食物最大宽度的频次图

Fig. 1 Frequency of maximal width of prey in adult stomach contents

大的咬合力^[21],具有较大咬合力的蜥蜴,食物中硬壳动物的比例更大^[21,24]。雄性成体沙蜥食物中的步甲科、象甲科等硬壳昆虫的 IRI 较雌性沙蜥的高(表 2),可能与其具有较大的头部有关。

较大的头部具有较大的口部空间,可以吞下更大更宽的食物^[25-27]。奇台沙蜥两性幼体的头部大小差异不显著,所食食物的最大长度、宽度和体积差异也不显著,而奇台沙蜥雄性成体的头部显著大于雌性成体,口部空间更大,可以捕食、处理和吞咽体积更大且体型更宽的食物,故其最大食物的体积和宽度比雌性成体的大。研究表明,某些蜥蜴头部的两性异形能导致两性个体捕食的食物大小有差异^[6],本实验也同样证实了这个结论。

奇台沙蜥所食食物的大小与其头部大小没

有相关性,这与部分个体胃容器中全是体型较小的蚁科物种有关。虽然头部较大的蜥蜴可以捕食体积更大、体型更宽的食物(图 1),但并不是尽可能地捕食更大的食物,而是选择获益更大或者更容易获得的食物,这可能与奇台沙蜥的捕食策略有关,还需进一步研究。

总之,食性在年龄和性别间的差异扩大了该种动物与环境的食物联系,因而在更大范围内利用环境资源,对扩大物种的分布范围、扩大和增加个体数量很有意义^[28]。

致谢 在野外数据搜集过程中,新疆农业大学的林宣龙、汪洋、李叶、吴克凡、李艳丽、李文蓉、张莉、杜文晓、孙玉科等人给予了大力帮助,新疆农业大学农学院昆虫教研室帮助鉴定昆虫标本,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Toft C A. Resource partitioning in amphibians and reptiles. *Copeia*, 1985, (1): 1 - 21.
- [2] Vitt L J. Reproduction and sexual dimorphism in the tropical teiid lizard *Cnemidophorus ocellifer*. *Copeia*, 1983, (2): 359 - 366.
- [3] Preest M R. Sexual size dimorphism and feeding energetics in *Anolis carolinensis*: why do females take smaller prey than males? *Journal of Herpetology*, 1994, 28(3): 292 - 294.
- [4] Hibbitts T J, Pianka E R, Huey R B, et al. Ecology of the common barking gecko (*Ptenopus garrulus*) in Southern Africa. *Journal of Herpetology*, 2005, 39(3): 509 - 515.
- [5] Schoener T W. The ecological significance of sexual dimorphism in size in the lizard *Anolis conspersus*. *Science*, 1967, 155(3761): 474 - 477.
- [6] Herrel A, van Damme R, De Vree F. Sexual dimorphism of head size in *Podarcis hispanica atrata*: testing the dietary divergence hypothesis by bite force analysis. *Netherlands Journal of Zoology*, 1996, 46(3/4): 253 - 262.
- [7] Herrel A, Spithoven L, van Damme R, et al. Sexual dimorphism of head size in *Gallotia galloti*: testing the niche divergence hypothesis by functional analyses. *Functional Ecology*, 1999, 13(3): 289 - 297.
- [8] 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. 北京: 科学出版社, 1999.
- [9] 时磊, 周永恒, 原洪. 新疆维吾尔自治区爬行动物区系与地理区划. *四川动物*, 2002, 21(3): 152 - 156.
- [10] 刘洋, 时磊. 奇台沙蜥生长过程中的两性异形. *四川动物*, 2009, 28(5): 710 - 713.
- [11] 忻介六, 杨庆爽, 胡成业. 昆虫形态分类学. 上海: 复旦大学出版社, 1985.
- [12] Magnusson W E, Lima A P, da Silva W A, et al. Use of geometric forms to estimate volume of invertebrates in ecological studies of dietary overlap. *Copeia*, 2003, (1): 13 - 19.
- [13] MacArthur R H. *Geographical Ecology: Patterns in the Distribution of Species*. New York: Harper and Row, 1972.
- [14] Pianka E R. The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4(1): 53 - 74.
- [15] Bjorndal K A, Bolten A B, Lagueux C J, et al. Dietary overlap in three sympatric congeneric freshwater turtles (*Pseudemys*) in Florida. *Chelonian Conservation and Biology*, 1997, 2(2): 430 - 433.
- [16] Fitch H S. *Sexual Size Differences in Reptiles*. Kansas: University of Kansas Museum of Natural History Miscellaneous Publications, 1981, 70: 1 - 72.
- [17] Powell G L, Russell A P. Growth and sexual size dimorphism in Alberta populations of the eastern short-horned lizard, *Phrynosoma douglassi brevirostre*. *Canadian Journal of Zoology*, 1985, 63(1): 139 - 154.
- [18] Darwin C. *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. London: John Murray, 1987.
- [19] 赵文阁, 董丙君, 刘鹏, 等. 胎生蜥蜴的捕食行为及其食性分析. *生态学杂志*, 2006, 25(12): 1520 - 1523.
- [20] Magnusson W E, da Silva E V. Relative effects of size, season and species on the diets of some Amazonian savanna lizards. *Journal of Herpetology*, 1993, 27(4): 380 - 385.
- [21] Herrel A, van Damme R, Vanhooydonck B, et al. The implications of bite performance for diet in two species of lacertid lizards. *Canadian Journal of Zoology*, 2001, 79(4): 662 - 670.
- [22] Herrel A, McBrayer L D, Larson P M. Functional basis for intersexual differences in bite force in the lizard *Anolis carolinensis*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2007, 91(1): 111 - 119.
- [23] Lappin A K, Hamilton P S, Sullivan B. Bite-force performance and head shape in a sexually dimorphic crevice-dwelling lizard, the common chuckwalla [*Sauromalus ater* (= *obesus*)]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2006, 88(2): 215 - 222.
- [24] Verwajen D, van Damme R, Herrel A. Relationships between head size, bite force, prey handling efficiency and diet in two sympatric lacertid lizards. *Functional Ecology*, 2002, 16(6): 842 - 850.
- [25] Schoener T W. Theory of feeding strategies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1971, 2(1): 369 - 404.
- [26] Camilleri C, Shine R. Sexual dimorphism and dietary divergence: differences in trophic morphology between male and female snakes. *Copeia*, 1990, (3): 649 - 658.
- [27] Barden G, Shine R. Effects of sex and reproductive mode on dietary composition of the reproductively bimodal lizard *Lerista bougainvillii*. *Australian Journal of Zoology*, 1994, 29(2): 225 - 228.
- [28] 孙儒泳. *动物生态学原理*. 3 版. 北京: 北京师范大学出版社, 2001.