

赤狐生境选择研究进展

李路云¹, 王海东², 张海³, 滕丽微^{1,4}, 刘振生^{1,4}*

(1. 东北林业大学野生动物资源学院, 黑龙江哈尔滨 150040; 2. 辽宁省林业

调查规划院, 辽宁沈阳 110122; 3. 辽宁省葫芦岛市建昌县林业局, 辽宁建昌 125300; 4. 国家林业局野生动物保护生物学重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 总结了赤狐生境选择的研究方法和研究内容, 概括了影响赤狐生境选择的主要因素, 并探讨了赤狐生境选择的灵活性及赤狐和与其同域分布的动物种的共存机制。最后, 提出了赤狐相应的保护措施。

关键词 赤狐; 生境选择; 野外调查; 统计分析; 影响因子

中图分类号 S865.2⁺3; Q958 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)11-03289-04

Research Progress of Habitat Selection by Red Fox (*Vulpes vulpes*)

LI Lu-yun, LIU Zhen-sheng et al (College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040; Key Laboratory of Wild Animal Conservation Biology of SFA, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract The research methods and contents of red fox habitat selection were summarized, and the impact factors were reviewed. The flexibility of red fox habitat selection and the coexistence mechanism with sympatric species were explored. Finally, the corresponding countermeasures for protection of red fox were put forward.

Key words Red fox; Habitat selection; Field investigation; Statistic analysis; Impact factors

生境是某一特定物种的个体、种群或群落能在其中完成生命过程的空间^[1]。生境选择是指某一动物个体或群体为了某一生存目的(如觅食、卧息、迁移、繁殖或逃避敌害等), 在可达到的生境中寻找某一相对适宜生境的过程, 而长期的选择也会使生境发生变化。决定动物的生境选择因素是复杂的, 包括生境本身的特性、动物本身的生理特性、食物的可利用性、捕食和竞争等因素^[2]。开展动物生境选择的研究, 了解动物生境选择特征以及与生境结构之间的关系, 以期评估物种生存环境的质量、预测栖息地的负载量, 可为制定和执行有效的物种保护措施提供支持和依据。

赤狐(*Vulpes vulpes*) 隶属哺乳纲、食肉目、犬科、狐属, 广泛分布于欧亚大陆、非洲北部和北美大陆, 在我国各地都有分布^[3-4]。赤狐是一种运动灵活、繁殖率高、适宜性极强的食肉动物, 栖息的生境类型非常丰富, 从北极冻原、干旱沙漠到城市中心都有其分布^[5]。生态学家对赤狐的家域和食性的研究已有深入的了解, 而对生境特征和选择机制的研究甚少, 目前的研究变量大多集中在生境类型、季节、人为干扰、猎物分布和种间竞争等方面。在与人类竞争食物和资源空间的过程中, 赤狐的生态适应性使其可以融入到乡村环境及其食物链中, 而且赤狐易携带狂犬病毒, 种群数量波动与小型啮齿类种群数量波动息息相关, 这严重威胁了当地的物种生存和农业生产, 因此部分国家近几年加大了对分布在郊区的赤狐研究, 而澳大利亚、加拿大、丹麦、德国、日本、挪威、瑞士、美国、英国和南斯拉夫也在市区内开展了赤狐的调查研究^[6]。目前国内对赤狐生境选择的研究较少, 仅有张洪海^[7]

等对内蒙古达赉湖地区的赤狐生境选择的研究。笔者综述了国内外赤狐生境选择概况, 从研究内容和研究方法 2 个方面探讨赤狐生境选择研究的特点, 以促进我国赤狐生境选择的研究发展。

1 赤狐生境选择研究的基本方法

1.1 野外调查方法 赤狐的生境选择不仅受食物、水和隐蔽性等微生境因子的影响, 还受到时空尺度的严格限定^[8]。在野外很少能观测到赤狐实体, 因此常利用其痕迹(如粪便、毛发、爪印、洞穴等)为间接指标来研究其生境选择^[9-10]。国内大多采用样线法、样方法和野外雪地跟踪等传统方法来研究影响赤狐生境选择的微生境因子, 还有土耳其的研究者在旱季使用气味定位法^[11]调查赤狐的分布和生境选择。在欧洲, 大多借用无线电跟踪技术、地理信息系统、遥感成像、生态模型、景观分析软件等新技术, 并融合景观生态学理论, 通过整合无线电遥测数据和陆地卫星数据, 从不同时空尺度上研究影响赤狐生境选择的因子。

1.2 统计分析方法 20 世纪 90 年代以前, 生态学家对赤狐的分布仅以植被类型和资源条件来解释, 但随着大量数理统计方法的出现, 赤狐生境选择的研究内容逐步从对整体生境的定性描述发展为对生境结构的定量分析和选择机制的探讨。生境选择分析通常在 2 个水平上进行: 三级选择(家域范围内选择)和次级选择(家域范围的选择)^[12]。首先实地抽样调查赤狐的活动范围及主要生境因子的分布情况, 然后再利用独立性检验、主成分分析、拟合优度检验、Bailey's 判别方法等统计方法进行分析, 以检验影响生境选择的因子的作用。不同的分析方法各有侧重, 综合利用各种方法的优点才能得到理想的结果。

1.2.1 Bailey's 判别方法。 Bailey's 置信区间^[13-14]的计算公式为:

$$C = \frac{B}{4N} \quad (1)$$

基金项目 中央高校基本科研业务费资助项目(DL13EA01); 黑龙江省自然科学基金资助项目(C200912); 黑龙江省博士后科研启动金资助项目。

作者简介 李路云(1990-), 女, 辽宁鞍山人, 硕士研究生, 研究方向: 动物生态学。* 通讯作者, 教授, 博士生导师, 从事动物生态学。

收稿日期 2014-03-01

$$P_{iu} = \frac{n_i - 1/8}{N + 1/8} \quad (2)$$

$$P_{iu} = \frac{n_i + 7/8}{N + 1/8} \quad (3)$$

$$P_i^L = \frac{(\sqrt{P_{iu}} - \sqrt{C(C+1-P_{iu})})^2}{(C+1)^2} \quad (4)$$

$$P_i^U = \frac{(\sqrt{P_{iu}} + \sqrt{C(C+1-P_{iu})})^2}{(C+1)^2} \quad (5)$$

式中, B 为置信度 (α/k) 时自由度为 1 的卡方分布单尾检验临界值, 使用 Excel 程序的 CHINV () 函数计算。

当 $n_i \leq (N + 1/8)C + 1/8$, $P_i^L = 0$; 当 $n_i = N$ 时, $P_i^U = 1$; 当 $n_i = 0$ 时, $P_i^L = P_i^U = 0$ 。使用 Bailey's 方法不需要预先进行拟合卡方检验^[15]。

1.2.2 Neu 法。 Neu 法是由 Neu 等^[16]于 1974 年提出的, 该法在 χ^2 检验的基础上对生境的可利用率和可获得性进行比较, 根据 Bonferroni 不等式判断动物对该资源的偏爱程度。

$$\chi^2 = \sum (r_i - p_i)^2 / p_i \quad (6)$$

式中, r_i 为资源 i 的利用率, p_i 为资源 i 的可获得性, $p_i = m_i/m$, $r_i = n_i/n$, m_i 为随机点在资源 i 上的数量, n_i 为动物位点在资源 i 上的数量, m 为随机点总数, n 为动物位点总数。若 χ^2 检验结果表明动物对各资源的利用存在显著性差异, 则根据 Bonferroni 不等式判断动物对该资源的偏爱程度。

Bonferroni 置信区间

$$r_i \pm z_{\alpha, 2k} \cdot \sqrt{r_i(1-r_i)/n}$$

中, α 为显著性水平, k 为资源数, z 为显著性水平为 α 时的正态分布值, n 为样本大小 (即动物位点总数)。

p_i 落在置信区间内, 则 r_i 与 p_i 没有显著差异, 表明动物随机选择资源 i ; 当 p_i 落在置信区间外, 则 r_i 与 p_i 存在显著差异;

当 $p_i \leq r_i - Z_{\alpha, 2k} \cdot \sqrt{r_i(1-r_i)/n}$ 时, r_i 显著大于 p_i , 表明动物偏好于资源 i ;

当 $p_i \geq r_i + Z_{\alpha, 2k} \cdot \sqrt{r_i(1-r_i)/n}$ 时, r_i 显著小于 p_i , 表明动物回避资源 i 。

1.2.3 主成分分析。 主成分分析解释的是一类变量的特征, 通过对一系列相关变量进行线性组合 (或叠加), 进而导出少数几个彼此不相关的主成分, 它们尽可能地保留了原始变量的信息, 因此降低了数据分析的复杂性^[17]。通常采用主成分分析法分析各生态因子的重要性, 但它仅仅提供的是利用生境的特征值, 并没有体现出动物对生境的偏好性^[18]。

1.2.4 生境特征分析。 生境特征分析是从影响动物栖息地选择的多个变量入手, 运用多元统计手段 (如判别函数分析、Logistic 回归分析、Hotellings T^2 检验以及主成分分析等), 找出影响参数及其数值。

2 影响赤狐生境选择的主要因素

2.1 食物对赤狐生境选择的影响 研究表明, 赤狐的取食类型广泛, 主要有三大类: 哺乳动物、无脊椎动物和植物, 其中小型啮齿动物和兔形目动物占主要比例^[19]。赤狐的生境选择主要依赖于食物的丰富度^[20-21]。适于赤狐生存的灌

丛、草地和森林等生境中的食物丰富度高, 很多研究也证实赤狐是通过选择食物而间接选择植被类型和生境类型^[6]。各地调查结果表明, 赤狐的家域大小与食物的丰富度呈负相关^[8, 22], 即在食物丰富度较低的生境中赤狐的家域相对较大, 所需要的最小适宜生境面积则相应较大。地理因子也是直接影响赤狐食物丰富度和可利用性的因素之一, 地形影响着野生动物和植被的分布, 在高原和极地环境中表现的尤为突出。Dell'Arte 等^[23]研究发现在半干旱地区赤狐以昆虫和水果作为主要食物资源, 与 Lovari 等^[22, 24]在地中海中部地区的研究结果吻合; 在开阔的草地赤狐主要捕食啮齿类动物^[25]; 在森林、草原及粘土景观条件下赤狐主要以小型哺乳类为主^[26]; 林宣龙等^[19]对荒漠地区赤狐食性的研究表明, 该地区赤狐也以小型哺乳动物为主。自然群落交错区的猎物的密度和活动明显提高, 提高了赤狐的捕食成功率。此外 (小型哺乳动物、水果、蚯蚓), 城市中的赤狐主要依赖于人类废弃的食物。动物在取食人类垃圾的过程中会吸收大量的非食物材料 (如快餐的包装纸、橡胶碎片、塑料、糖纸、绳和铝箔), 这可能会对它们的健康造成伤害^[27]。

生命的一切活动都离不开水, 水是赤狐生境的三要素之一^[1]。赤狐的主要食物 (啮齿类、兔类等) 的分布主要集中在距水源较近的生境类型中, 导致赤狐在一定程度上随水源的分布而分布。

2.2 隐蔽级对赤狐生境选择的影响 赤狐对隐蔽条件的要求主要为对植被的选择及对各种干扰的趋避。植被为动物提供食物及休息和活动的空间, 也为赤狐的洞穴选择提供了优越的环境, 与竞争和捕食风险有着直接或间接的关系^[28]。植被类型最大程度地代表了野生动物的生境特征^[29], 是赤狐生存和分布的重要限制因素。良好的隐蔽条件 (如高的植被) 可以在赤狐捕食时避免被猎物发现, 从而提高捕食率, 同时在一定程度上可降低人为干扰的强度。另外, 隐蔽性较好的生境还能降低风速, 可以有效避免赤狐个体在严寒气候条件下能量的消耗。赤狐是夜行型动物, 隐蔽性好的生境更适合休息和夜间活动。在赤狐的妊娠和产仔期, 为保证其后代的成活率, 赤狐会选择隐蔽性最好的生境, 以减少被捕杀的风险。在地中海郊区^[30], 赤狐白天主要集中在隐蔽性高、远离人为干扰的区域休息, 而在夜间选择在隐蔽性差的区域活动。这与 Cavallini 和 Lovari^[31]的研究结果相一致, 地中海海岸交错群落区的赤狐在家域内选择隐蔽性好的生境休息。

2.3 人为干扰对赤狐生境选择的影响 除食物和隐蔽条件外^[24], 人类活动也是影响赤狐生境选择的主要因子之一^[32]。赤狐避免选择人为干扰较严重的生境, 只有在夜间才会选择食物丰富度较高、距居民点较近的生境。赤狐的生存威胁主要来自人类捕杀。道路密度可以作为评价人为因素导致的赤狐死亡率的指标, 在很多保护区内^[8], 由于人类投食, 赤狐选择到道路和居民点采食, 而不是自然栖息地, 因此增加了赤狐被捕杀或车祸的死亡率。Silva 等^[8]在加拿大的调查表明道路两侧的采食效率高可以间接反映出人类提

供的食物资源的丰富度,人类活动区和道路两旁的食物资源改变爱德华王子岛赤狐的生境选择和利用。每年春、秋季一些农民在进行耕种时,使用大量的农药和化肥,使用后的农药包装任意抛弃,农药和化肥污染对保护区野生动物也构成了巨大的威胁。

3 选择的灵活性

3.1 因地区而异 虽然各地赤狐都喜欢栖息在灌丛、草地或林地中,但各地选择的阈值不同。在内蒙古荒漠地区^[7],经 Bailey's 方法分析发现,赤狐偏好选择柳(*Salix*)灌丛和芦苇(*Phragmites*)塘 2 种生境,对草原、草甸和河道随机选择,回避冰面和沙地;在欧洲南部,赤狐大多选择在带有林下植物的林区筑巢和休息^[20],这与 Janko 等^[33]的研究结果相似,赤狐集中选择村庄附近的森林斜坡、茂密云杉(*Picea asperata*)林或落叶灌木丛和芦苇床中休息,因为这些地方可以为赤狐提供安全的隐蔽;城市赤狐很长时间以来被称为是“英国现象”,但赤狐存在于绝大城市中,包括英国的 56 个城市、欧洲的 40 个城市、北美的 10 个城市和澳大利亚的 6 个城市。因为城市会为食肉动物提供良好的隐蔽性和稳定的、无季节性限制的食物及水资源等,因此减少了天敌的威胁和易变的物理环境的限制(如温度)^[34]。例如,在波兰西南部^[35]赤狐使用居民区的频率比预期要高,但回避房屋密度高的居民区,赤狐根据可利用性选择在工业区、高层住宅区、公园、私人花园和露天场地内活动;安纳托利亚南部(亚洲西部土耳其)赤狐在 4 种生境类型中利用最多的生境是安纳托利亚黑松(*Pinus thunbergii* Parl),研究表明植被类型和海拔高度间没有明显的关联,调查结果证实赤狐可适应多种生境类型^[36];对黄石公园内^[37]赤狐生境选择的研究表明,赤狐对森林生境的选择大于开阔生境,在 2 个尺度上赤狐都喜爱黄杉林,而开阔生境、湿草地在次级选择尺度上的使用频率小于预期的。

3.2 因时间而异 生物体与其所处的环境之间存在着多维相互作用^[38],繁殖期的时间限制、种群压力、环境变化等决定了动物生境选择的时间制约性。赤狐在不同的季节因自身生理的需求不同,对生境要求发生季节性的变化呈现出较强的生境选择性。Kolb^[39]、Lucherini 和 Crema^[21]等的研究表明赤狐在白天的生境选择强度大于夜间;在冷季,地中海地区的赤狐主要选择在马基群落中生活,在暖季则主要选择草甸,10 月~次年 2 月则逐渐较少对松林的选择^[20];Henry^[40]报道加拿大西部的赤狐基于行走条件选择冬季利用的生境,其中雪的深度是赤狐生境选择的限制因素。雪深影响猎物可利用性,Halpin 和 Bissonette^[41]研究表明赤狐食谱中的小型哺乳动物的比例随着雪的累积和冰面的形成而减少。当雪比较厚时,赤狐主要在针叶林和密林中捕食北美野兔(*Lepus arcticus*),且冬季食物的可利用性降到最低值,赤狐体内能量摄入不足,因此在夜间赤狐会选择性的利用距居民点较近的垃圾场来获得食物,补偿赤狐越冬期间的食物短缺;Jones 和 Theberge^[42]在英国西北部的研究发现赤狐在夏季偏好选择柳树地而回避苔藓地,因为柳树地内的田鼠亚科数量

最多而苔藓地内的数量最少,而田鼠亚科是赤狐夏季的主要食物;与夏季相比,黄石公园内^[37]赤狐冬季的生境内多包含山艾(*Artemisia morrisonensis* Hayata)等植物。

3.3 共存机制 动物的生境选择受诸多因素的影响,除生境和动物本身特性外,许多与生境无关的现象(包括捕食、竞争等),也影响着动物的生境选择行为^[43]。赤狐为杂食性食肉动物,其营养生态位较宽,与其他食肉动物或多或少的存在重叠。例如,赤狐同狼(*Canis lupus*)、貉(*Nyctereutes procyonoides*)等食肉动物虽均处于内蒙古草原生态系统中食物链的顶级,但由于食物的分化而共存于草原生态系统中;而波罗的海东岸的赤狐与貉和松貂(*Martes martes*)等食肉动物具有相似的生态习性,因此在食物生态位和生境选择上有部分重叠^[44]。在冷季,生境生态位最广的是貉和赤狐,而松貂的生境生态位最窄。这些结果由捕食者利用的生境不同而决定的,貉和赤狐频繁使用几个生境,避免单一的松树生境,而松貂只喜爱针叶混交林。生境的利用率高、生境生态位广与生境竞争水平高并不相关;在葡萄牙中部,生态习性相似的赤狐、麝猫(*Viverricula indica pallida*)、石貂(*Martes foina*)共存在相同的地理区域,在大的空间尺度上,三者共用相同的生境,而在局部上则使用不同的资源,降低整体的竞争^[45];同样,波兰西南部的石貂大多集中在城市中心,而赤狐偏好选择邻近城市边缘、人口密度较低的居民区和未开发地区,因为在这些地方赤狐不容易被发现,而且赤狐是动物传染病毒的携带者,对宠物和家禽等造成一定的威胁,为了避免被人类消灭而远离城市中心^[35];Halpin 和 Bissonette^[42]研究发现在研究区内赤狐的足迹与豹猫(*Prionailurus bengalensis*)、土狼(*Proteles cristatus*)和黄鼬(*Mustela sibirica*)的足迹交错,然而赤狐会回避那些条件适宜但土狼经常使用的生境;Van Etten 等^[37]分析了黄石公园内狼对赤狐生境选择的影响,赤狐选择隐蔽度高的群落交错区,与狼相比,赤狐在雪中优越的机动性使它们在冬季更多地选择湿草地和山艾生境。

4 讨论

动物生境选择是一个非常复杂的过程,包括多层次的判别和一系列相关因子之间的交互作用^[38]。赤狐适合于多种类型的栖息地,甚至是高度都市化或高度破碎化的区域,还有些甚至在极小的、孤立的森林里。关于赤狐家域内生境选择的记录较少。Ables^[46]发现威斯康星州的 7 只赤狐的无线电定位分布集中在被他称作“活动的生物中心”的生境内;Schofield^[47]对密歇根雪地跟踪结果表明,赤狐偏好选择低地灌丛和栎树(*Quercus palustris*)林;相反地,Storm^[48]用无线电跟踪的 1 只雄性赤狐并未表现出生境选择性,而是广泛地利用与它们的出现成比例的森林和农田。Newman 等^[49]还专门研究了患动物流行病前赤狐生境选择的差异,患病前赤狐喜爱在花园内休息,其次是林地和草地,而且在白天经常使用同一地点卧息;患病后,赤狐为了得到更好的休息,会首先选择植被茂密的林地,其次是花园和草地,且不喜欢重复使用利用过的地点。

动物的生境选择是多方位的,对生境选择的描述取决于

研究的空间尺度,不同的研究尺度所得到的结论也不尽相同^[29,50]。同时,一些研究的结果不同也可能是因为使用的定量分析方法不同,同时缺乏一些相关的数据,如食性和狩猎制度等。很多研究表明,赤狐的家域大小并未表现出性别分离现象,但与不同年龄段相关。

赤狐对生境的选择受诸多因素(如食物可利用率或种群密度等)的影响,而且这些因素会随着时间的变化而发生改变。根据不同地区的实际情况及保护目的,应采取相应的保护措施。欧洲各国政府大多通过改变食物可利用率和调节种群密度(如毒饵、诱捕等)来控制生活在城市和乡村的赤狐的数量,在管理实施或疫病爆发过程中引发的赤狐数量下降会导致生境选择的改变,同时会导致一系列行为的变化^[51],而现在政府大多采用一些温和的方法,如生境控制法,但是很少有研究者设计研究方案来检验这种方法实施的可能性;由于赤狐对维护荒漠生态系统功能起到重要作用,因此在内蒙古草原^[7]大多人为创造植被较高、隐蔽性良好、食物丰富度较高、人为干扰较轻的适宜赤狐生存的生境,通过适量提高赤狐的数量来抑制鼠害,维护原有的生态平衡,以期达到保护草场的目的。

参考文献

- [1] 陈化鹏,高中信. 野生动物生态学[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1992:87.
- [2] 颜志诚,陈永林. 动物的生境选择[J]. 生态学杂志,1998,17(2):43-49.
- [3] 高耀亭. 中国动物志兽纲(第八卷):食肉目[M]. 北京:科学出版社,1987:52-58.
- [4] 马世来,马晓峰,石文英. 中国兽类踪迹指南[M]. 北京:中国林业出版社,2001.
- [5] PANEK M, BRESI ŃSKI W. Red fox *Vulpes vulpes* density and habitat use in a rural area of western Poland in the end of 1990s, compared with the turn of 1970s[J]. Acta Theriologica, 2002, 47:433-442.
- [6] NEWMAN T J, BAKER P J, SIMCOCK E, et al. Changes in red fox habitat preference and rest site fidelity following a disease-induced population decline[J]. Acta Theriologica, 2003, 48(1):79-91.
- [7] 张洪海,李成涛,窦华山,等. 内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析[J]. 生态学杂志,2012,32(8):2342-2350.
- [8] SILVA M, JOHNSON K M, OPPS S B. Habitat use and home range size of red foxes in Prince Edward Island (Canada) based on snow-tracking and radio-telemetry data[J]. Central European Journal of Biology, 2009, 4(2):229-240.
- [9] 魏辅文,冯祚建,王祖望,等. 相岭山系大熊猫和小熊猫对生境的选择[J]. 动物学报,1999,45(1):57-63.
- [10] 张泽钧,胡锦涛,吴华. 邛崃山系大熊猫和小熊猫生境选择的比较[J]. 兽类学报,2002,22(3):161-168.
- [11] SOYUMERT A, GÜRKAN B. Relative habitat use by the red fox (*Vulpes vulpes*) in Köprülü Canyon National Park, Southern Anatolia[J]. Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy, 2013, 24(2):166-168.
- [12] JOHNSON D H. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference[J]. Ecology, 1980, 61:65-71.
- [13] BAILEY B J R. Large sample simultaneous confidence intervals for the multinomial probabilities based on transformation of the cell frequencies[J]. Technometrics, 1980, 22(4):583-589.
- [14] CHERRY S. A comparison of confidence interval methods for habitat use - availability studies[J]. Journal of Wildlife Management, 1996, 60(3):653-658.
- [15] CHERRY S. Statistical tests in publications of The Wildlife Society[J]. Wildlife Society Bulletin, 1998, 26(4):947-953.
- [16] NEU C W, BYERS C R, JAMES M P. A technique for analysis of utilization availability data[J]. Journal of Wildlife Management, 1974, 38(3):541-545.
- [17] 张炎. 生物多元分析[M]. 重庆:西南师范大学出版社,1999.

- [18] 李欣海,马志军,李典谟,等. 应用资源选择函数研究朱寰的巢址选择[J]. 生物多样性,2001,9(4):352-358.
- [19] 林宣龙,吴克凡,时磊. 准噶尔盆地荒漠区赤狐的食性分析[J]. 兽类学报,2010,30(3):346-350.
- [20] CAVALLINI P, LOVARI S. Environmental factors influencing the use of habitat in the red fox, *Vulpes vulpes*[J]. Journal of Zoology, 1991, 223:323-339.
- [21] LUCHERINI M, LOVARI S, CREMA G. Habitat use and ranging behaviour of the red fox (*Vulpes vulpes*) in a Mediterranean rural area: is shelter availability a key factor? [J]. Journal of Zoology, 1995, 237:577-591.
- [22] LOVARI S, LUCHERINI M, CREMA G. Individual variations in diet, activity and habitat use of red foxes in a Mediterranean rural area[J]. Journal of Wildlife Research, 1996, 1:24-31.
- [23] DELLARTE G L, LAAKSONEN T, NORRDAHL K, et al. Variation in the diet composition of a generalist predator, the red fox, in relation to season and density of main prey[J]. Acta Oecologica, 2007, 31(3):276-281.
- [24] LOVARI S, CAVALLINI P, CREMA G, et al. Environmental variables and the use of habitat of the red fox *Vulpes vulpes* (L., 1758) in the Maremma Natural Park, Grosseto province, Central Italy [J]. Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy, 1991, 3(1):21-29.
- [25] JEDRZEJEWSKI W, JEDRZEJEWSKI B. Foraging and diet of the red fox *Vulpes vulpes* in relation to variable food resources in Biatowieza National Park, Poland[J]. Ecography, 1992, 15(2):212-220.
- [26] CARVALHO J C, GOMES P. Food habits and trophic niche overlap of the red fox, European wild cat and common genet in the Peneda - Gerês National Park[J]. Galemys, 2001, 13(2):39-48.
- [27] POZIO E, GRADONI L. Spettro trofico della volpe (*Vulpes vulpes* L.) e della faina (*Martes faina* Erxl.) in provincial di Grosseto[J]. Nature, 1981, 72(3/4):185-196.
- [28] 崔庆虎,蒋志刚,连新明,等. 根田鼠栖息地选择的影响因素[J]. 兽类学报,2005,25(1):45-51.
- [29] 张明海,萧前柱. 冬季马鹿采食生境和卧息生境选择的研究[J]. 兽类学报,1990,10(3):175-183.
- [30] LUCHERINI M, LOVARI S. Habitat richness affects home range size in the red fox *Vulpes vulpes*[J]. Behavioural Processes, 1996, 36(1):103-105.
- [31] CAVALLINI P, LOVARI S. Home range, habitat selection and activity of the red fox in a Mediterranean coastal ecotone [J]. Acta Theriologica, 1994, 39(3):279-287.
- [32] UJHELYI T, HELTAI M. Red fox population decrease in Hungary: competition or carrying capacity limitation? [J]. Journal of Veterinary Behaviour, 2009, 4(2):63-64.
- [33] JANKO C, SCHRÖDER W, LINKE S. Space use and resting site selection of red foxes (*Vulpes vulpes*) living near villages and small towns in Southern Germany [J]. Acta Theriologica, 2012, 57:245-250.
- [34] BATEMAN P W, FLEMING P A. Big city life: carnivores in urban environments [J]. Journal of Zoology, 2012, 287:1-23.
- [35] DUDU'S L, ZALEWSKIB A, KOZIOLA O, JAKUBIEC Z, KRÓL N. Habitat selection by two predators in an urban area: The stone marten and red fox in Wrocław (SW Poland) [J]. Mammalian Biology, 2004, 79:71-76.
- [36] SOYUMERT A, GÖRKAN B. Relative habitat use by the red fox (*Vulpes vulpes*) in Köprülü Canyon National Park, Southern Anatolia [J]. Hystrix, 2013, 24(2):166-168.
- [37] VAN ETTEEN K W, WILSON K R, CRABTREE R L. Habitat use of red foxes in Yellowstone National Park based on snow tracking and telemetry [J]. Journal of Mammalogy, 2007, 88(6):1498-1507.
- [38] 尚玉昌. 行为生态学[M]. 北京:北京大学出版社,1998.
- [39] KOLB H H. Habitat use by foxes in Edinburgh [J]. Revue D'Ecologie (Terre Vie), 1985, 40:139-143.
- [40] HENRY D. The urine marking behavior and movement patterns of red foxes during a breeding and post-breeding period [M]//Chemical signals: vertebrates and aquatic invertebrates. New York: Plenum Press, 1979:11-27.
- [41] HALPIN M, BISSONNETTE J A. Influence of snow depth on prey availability and habitat use by red fox [J]. Canadian Journal of Zoology, 1988, 66:587-592.
- [42] JONES D, THEBERGE J. Summer home range and habitat utilisation of the red fox (*Vulpes vulpes*) in a tundra habitat, northwest British Columbia [J]. Canadian Journal of Zoology, 1982, 60:807-812.

究各种成分,尤其是 AZA-40、AZA-41 等成分的毒性是今后急需开展的工作,对这些新发现的毒素成分结构进行研究则有助于理解毒性大小的变化。转录组学技术的发展为寻找相关的环胺螺环藻酸基因提供了可能,由于同一物种存在有毒株和无毒株,因此发展针对产毒基因的检测技术更具有针对性。

参考文献

- [1] MCMAHON T, SILKE J. Winter toxicity of unknown aetiology in mussels [J]. *Harmful Algae News*, 1996, 14: 2.
- [2] SATAKE M, OFUJI K, NAOKI H, et al. Azaspiracid, a new marine toxin having unique spiro ring assemblies, isolated from Irish mussels, *Mytilus edulis* [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 1998, 120(38): 9967-9968.
- [3] TILLMANN U, ELBRÖCHTER M, KROCK B, et al. *Azadinium spinosum* gen. et sp. nov. (Dinophyceae) identified as a primary producer of azaspiracid toxins [J]. *European Journal of Phycology*, 2009, 44(1): 63-79.
- [4] TILLMANN U, ELBRÖCHTER M, JOHN U, et al. *Azadinium obesum* (Dinophyceae), a new nontoxic species in the genus that can produce azaspiracid toxins [J]. *Phycologia*, 2010, 49(2): 169-182.
- [5] TILLMANN U, ELBRÖCHTER M, JOHN U, et al. A new non-toxic species in the dinoflagellate genus *Azadinium*: *A. poporum* sp. nov. [J]. *European Journal of Phycology*, 2011, 46(1): 74-87.
- [6] NÉZAN E, TILLMANN U, BILLEN G, et al. Taxonomic revision of the dinoflagellate *Amphidoma caudata*: transfer to the genus *Azadinium* (Dinophyceae) and proposal of two varieties, based on morphological and molecular phylogenetic analyses [J]. *Journal of Phycology*, 2012, 48: 925-939.
- [7] TILLMANN U, SOEHNER S, NÉZAN E, et al. First record of the genus *Azadinium* (Dinophyceae) from the Shetland Islands, including the description of *Azadinium polongum* sp. nov. [J]. *Harmful Algae*, 2012, 20: 142-155.
- [8] PERCOPO I, SIANO R, ROSSI R, et al. A new potentially toxic *Azadinium* species (Dinophyceae) from the Mediterranean Sea, *A. dexteroporum* sp. nov. [J]. *Journal of Phycology*, 2013, 49: 950-966.
- [9] LUO Z, GU H, KROCK B, et al. *Azadinium dalianense*, a new dinoflagellate species from the Yellow Sea, China [J]. *Phycologia*, 2013, 52(6): 625-636.
- [10] DECELLE J, SIANO R, PROBER I, et al. Multiple microalgal partners in symbiosis with the acantharian *Acanthochiasma* sp. (Radiolaria) [J]. *Symbiosis*, 2012, 58(1/3): 233-244.
- [11] POTVIN É, JEONG H J, KANG N S, et al. First report of the photosynthetic dinoflagellate genus *Azadinium* in the Pacific Ocean: Morphology and molecular characterization of *Azadinium* cf. *poporum* [J]. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 2011, 59: 145-156.
- [12] GU H, LUO Z, KROCK B, et al. Morphology, phylogeny and azaspiracid profile of *Azadinium poporum* (Dinophyceae) from the China Sea [J]. *Harmful Algae*, 2013, 21/22: 64-75.
- [13] AKSELMAN R, NEGRI R M. Blooms of *Azadinium* cf. *spinosum* Elbrächter et Tillmann (Dinophyceae) in northern shelf waters of Argentina, Southwestern Atlantic [J]. *Harmful Algae*, 2012, 19: 30-38.
- [14] HERNÁNDEZ-BECERRIL D U, BARÓN-CAMPIS SA, ESCOBAR-MORALES S. A new record of *Azadinium spinosum* (Dinoflagellata) from the tropical Mexican Pacific [J]. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 2012, 47(3): 553-557.
- [15] GU H, KIRSCH M, ZINSSMEISTER C, et al. Waking the Dead; Morpho-

- logical and Molecular Characterization of Extant *Posoniella tricarinelloides* (Thoracosphaeraceae, Dinophyceae) [J]. *Protist*, 2013, 164(5): 583-597.
- [16] OFUJI K, SATAKE M, MCMAHON T, et al. Structures of azaspiracid analogs, azaspiracid-4 and azaspiracid-5, causative toxins of azaspiracid poisoning in Europe [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2001, 65(3): 740-742.
- [17] OFUJI K, SATAKE M, MCMAHON T, et al. Two analogs of azaspiracid isolated from mussels, *Mytilus edulis*, involved in human intoxication in Ireland [J]. *Natural Toxins*, 1999, 7(3): 99-102.
- [18] JAMES K J, SIERRA M D, LEHANE M, et al. Detection of five new hydroxyl analogues of azaspiracids in shellfish using multiple tandem mass spectrometry [J]. *Toxicon*, 2003, 41(3): 277-283.
- [19] REHMANN N, HESS P, QUILLIAM M A. Discovery of new analogs of the marine biotoxin azaspiracid in blue mussels (*Mytilus edulis*) by ultra-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry [J]. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2008, 22(4): 549-558.
- [20] KROCK B, TILLMANN U, VOSS D, et al. New azaspiracids in Amphidomataceae (Dinophyceae) [J]. *Toxicon*, 2012, 60(5): 830-839.
- [21] KROCK B, TILLMANN U, WITT M, et al. *Azaspiracid variability of Azadinium poporum* (Dinophyceae) from the China Sea [J]. *Harmful Algae*, 2014, in press.
- [22] JAMES K J, FUREY A, LEHANE M, et al. First evidence of an extensive northern European distribution of azaspiracid poisoning (AZP) toxins in shellfish [J]. *Toxicon*, 2002, 40(7): 909-915.
- [23] ÁLVAREZ G, URIBE E, VALOS P, et al. First identification of azaspiracid and spirolides in *Mesodesma donacium* and *Mulinia edulis* from North-east Chile [J]. *Toxicon*, 2010, 55(2/3): 638-641.
- [24] KLONTZ K C, ABRAHAM A, PLAKAS S M, et al. Mussel-associated azaspiracid intoxication in the United States [J]. *Annals of Internal Medicine*, 2009, 150(5): 361.
- [25] MAGDALENA A B, LEHANE M, KRYS S, et al. The first identification of azaspiracids in shellfish from France and Spain [J]. *Toxicon*, 2003, 42(1): 105-108.
- [26] TALEB H, VALE P, AMANHIR R, et al. First detection of azaspiracids in mussels in north west Africa [J]. *Journal of Shellfish Research*, 2006, 25(3): 1067-1070.
- [27] UEOKA R, ITO A, IZUMIKAWA M, et al. Isolation of azaspiracid-2 from a marine sponge *Echinocalthria* sp. as a potent cytotoxin [J]. *Toxicon*, 2009, 53(6): 680-684.
- [28] 姚建华, 谭志军, 周德庆, 等. 液相色谱-串联质谱法检测贝类产品中的原甲藻酸贝类毒素 [J]. *色谱*, 2010, 28(4): 363-367.
- [29] JAUFFRAIS T, SÉCHET V, HERRENKNECHT C, et al. Effect of environmental and nutritional factors on growth and azaspiracid production of the dinoflagellate *Azadinium spinosum* [J]. *Harmful Algae*, 2013, 27: 138-148.
- [30] ITO E, TERAOKA K, MCMAHON T, et al. Acute pathological changes in mice caused by crude extracts of novel toxins isolated from Irish mussels [C]//HARMFUL ALGAE, REGUERA B, BLANCO J, et al. Eds. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, 1998: 588-589.
- [31] TWINER M J, REHMANN N, HESS P, et al. Azaspiracid shellfish poisoning: a review on the chemistry, ecology, and toxicology with an emphasis on human health impacts [J]. *Marine Drugs*, 2008, 6(2): 39-72.
- [32] TOEBE K, JOSHI A R. Molecular discrimination of taxa within the dinoflagellate genus *Azadinium*, the source of azaspiracid toxins [J]. *Journal of Plankton Research*, 2013, 35(1): 225-230.

(上接第 3292 页)

- [43] 蒋志刚. 动物行为原理与物种保护方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 146-169.
- [44] BALTRŪNAITĖ L. Diet and winter habitat use of the red fox, pine marten and raccoon dog in Dzūkija National Park, Lithuania [J]. *Acta Zoologica Lituania*, 2006, 16(1): 1392-1657.
- [45] PEREIRA P, DA SILVA A A, ALVES J, et al. Coexistence of carnivores in a heterogeneous landscape: habitat selection and ecological niches [J]. *Ecological Research*, 2012, 27: 745-753.
- [46] ABLES E D. Activity studies of red foxes in southern Wisconsin [J]. *Journal of Wildlife Management*, 1969, 33: 145-153.
- [47] SCHOFIELD R D. A thousand miles of fox trails in Michigan's ruffed

- grouse range [J]. *Journal of Wildlife Management*, 1960, 24: 432-434.
- [48] SRORM G L. Movements and activities of foxes as determined by radio-tracking [J]. *Journal of Wildlife Management*, 1965, 29: 1-13.
- [49] NEWMAN T J, BAKER P J, SIMCOCK E, et al. Changes in red fox habitat preference and rest site fidelity following a disease-induced population decline [J]. *Acta Theriologica*, 2003, 48(1): 79-91.
- [50] 郑洋, 鲍毅新, 葛宝明, 等. 中国有蹄类栖息地选择研究进展 [J]. *浙江师范大学学报*, 2004, 27(4): 392-397.
- [51] HARRIS S. Distribution, habitat utilization and age structure of a suburban fox (*Vulpes vulpes*) population [J]. *Mammal Review*, 1977, 7(1): 25-39.