

草地有害啮齿动物监测专家系统设计介绍^{*}

张堰铭 苏建平

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810001)

摘 要

主要介绍了青藏高原草地有害啮齿动物监测专家系统的建造原理和方法。该系统由综合数据库、知识库、推理机、知识编辑语言及系统建造支持环境等部分组成,文中详细说明各部分的主要功能以及与其它部分的相互关系。该系统可对青藏高原有害啮齿动物种群动态进行长期监测,快速准确地预测预报草地植被受害状况,并根据生态环境特点,对有害啮齿动物综合治理进行规划,为用户提供长期治理的技术和多种可供选择的可行性方案。

关键词 青藏高原;有害啮齿动物;专家系统

现代系统理论结合计算机技术的迅猛发展,使有害生物控制的计算机模型成为综合治理技术发展的重要途径 (Ruesink, 1976; Getz 等, 1982)。联机 (On-line) 有害生物管理系统实现了系统理论、计算机技术和有害生物控制相互之间的系统耦合,在分析多种控制措施可行性并结合环境因素的基础上,可对有害生物制定出最佳的控制对策 (Haynes 等, 1973, 1980; Tummal 等, 1977)。收集特定研究领域大量的、高质量的专门知识,并从其智能化的计算机软件,引导出解决专业研究领域特殊问题的人工智能技术,该技术谓之专家系统。它是应用特定领域专家知识和技术,达到专家解决特殊问题的计算机程序 (Nau, 1983)。80年代以来,专家系统广泛应用于农作物管理 (Roach 等, 1985; Lemmon, 1986)、医疗卫生 (Davis 等, 1977)、森林病虫害防治 (White 等, 1987; Daniel 等, 1989) 以及工业和军事等其它学科 (Hayes-Roth, 1984)。80年代后期,我国开始进行专家系统的研建与开发 (李卫华等, 1987; 黄可鸣, 1988),初步提出了草原放牧退化监测专家系统 (李永宏, 1994)。本文旨在介绍青藏高原草地有害啮齿动物监测专家系统 (Monitoring expert system for pest rodents, MESPR),以期对我国草地有害啮齿动物的控制有所裨益。

MESPR 的设计原理

MESPR 是借助计算机技术,对有害啮齿动物生活史特征、空间分布、数量动态、危害特点以及控制方法进行研究、监测和判别,并给出综合治理的措施和决策建议的智能系统,它是一种集优秀专家经验和知识求解难题的计算机程序。本系统以草地有害啮齿动物系统管理模式为基础,以该领域专家长期工作获得的经验为知识主体,知识工程师通过与草地生态学家和动物学家之间的信息交换,提取解决草地有害啮齿动物综合治理

* 国家科委“八五”攻关项目专题 (No. 925-33-01); 青海省科委资助项目 (No. 340950713)
本文于 1997 年 5 月 9 日收到, 1998 年 1 月 9 日收到修改稿

的方法和经验，并将这些知识借助专家系统建造工具编入专家系统，最终为用户提供信息服务。MESPR 组建的过程见图 1。MESPR 的特征为：a. 系统知识明确且条理化，能够通过计算机软件、书籍和其他媒介广泛传播，它能够提供解决草地有害啮齿动物危害的高级专门知识，这种专门知识能将本研究领域权威专家的见解表达出来，使得解决问

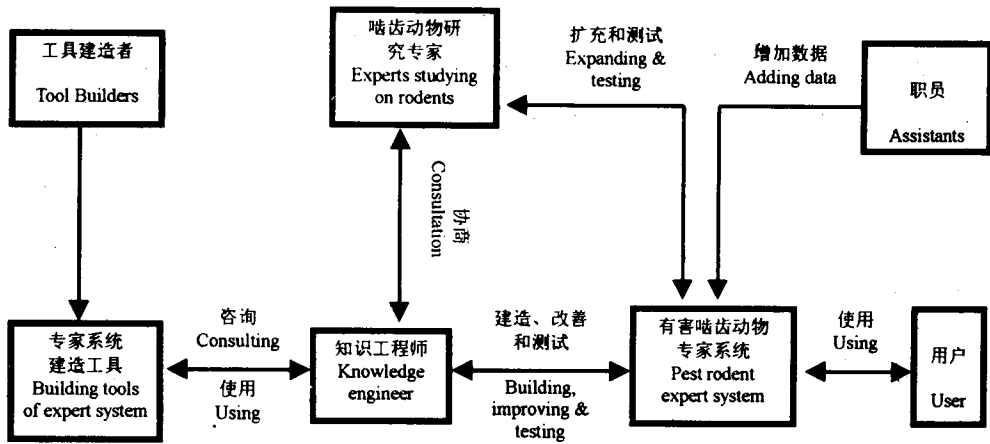


图 1 有害啮齿动物监测专家系统的建造过程

Fig. 1 Building process of monitoring expert system for the pest rodents

题精确而又有效；b. 系统具有预测能力，能在草地有害啮齿动物控制领域中，作为信息处理的理论和解决问题的模型，提供在一个给定条件下所要求的答案，且显示出它们在新条件下将发生的变化，同时还能详细解释新状况发生的原因；c. 系统易于掌握，由于贯穿整个专家系统咨询过程，是一串简单的自然语句问答，用户可像同人类专家对话一样，不懂就问，知道便答，咨询人员不需具备较深的计算机和综合治理知识，便可获得有害啮齿动物控制的专家解答；d. 系统本身也是在学习过程中不断完善和发展，系统不仅能用已有的知识回答用户问题，而且还会不断求教于用户，以学到新的知识。专家系统知识可以十分方便地查询、修改、删除和增加，以保证系统长期的正确性和先进性。

MESPR 的结构设计

根据 Giarratano 等 (1994) 提出的专家系统原理及结构，MESPR 由综合数据库、知识库、推理机及系统支持环境等部分组成，各部分之间的相互关系见图 2。

1. 综合数据库

用来存放系统运行中所需要和产生的数据，该数据库由有害啮齿动物生活史数据库、图像数据库、属性数据库、模型数据库以及相应的数据库管理系统等部分组成。

(1) 动物生活史特征数据库 主要存储啮齿动物的个体生长发育、性成熟期、繁殖参数、存活寿命、食性食量、种群年龄结构、数量动态、地理分布以及和牲畜、植被、气候等因子间相互关系的数据。其主要功能是为系统模型提供统计分析的参数。

(2) 图像数据库 主要存储经过特征编码的啮齿动物地理分布图、植被图、地形地貌图和气候图数据。

(3) 属性数据库 根据系统模型统计分析动物生活史特征数据库和图像数据库中的参数，产生有害啮齿动物的分布区域的地形和植被特征、空间大小、及其危害类型和时

空动态特点等。

(4) 模型库 用于存储系统模型和应用模型。系统模型包括图像处理、草地植被退化特征分析、有害啮齿动物的时空动态、主成分分析和系统层次分析等。应用模型包括模糊识别分析、灰色预测分析、系统优化控制、草地受害因子自动提取及危害发生预测等模型。

(5) 数据库管理系统 具有查询、修改、学习更新、删除等功能，是综合数据库的核心。MESPR 采用 fox-pro 软件建立数据库，并在 DOS 文件系统的支持下，进行各种图像与非图像数据的处理。

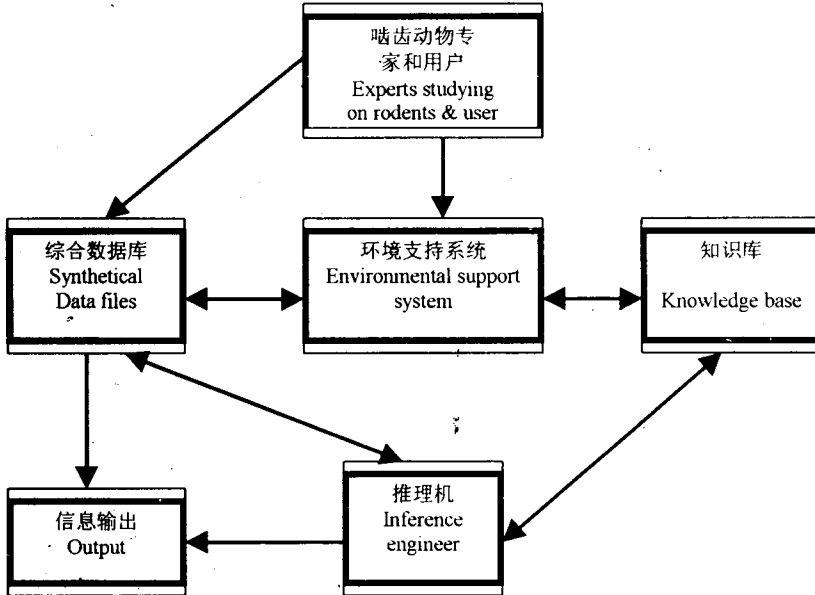


图 2 有害啮齿动物监测专家系统的结构组成

Fig. 2 Structure composition of monitoring expert system for the pest rodents

2. 知识库

知识库中存放进行推理所需要的判断性知识以及描绘引起有害啮齿动物危害草地各种因子的知识。知识库包括事实（数据）和利用这些事实作出决定的规则（或其他的表达），事实的表达最广泛的三种方法为：规则法（rules）、语义网络（semantic networks）和框架结构（frame structures）（Plant 等，1991）。规则法的知识表达使用：如果满足什么条件，则有什么动作的语句。框架和语义网络均被认为是基本框架的表达方法，基本框架的知识表达是用由关系连接起来的结点网络并在一个层次上组织起来，每个结点都表示一个概念，这个概念是由结点的属性和值来描述的，低层次的结点自动继承高层次结点的属性，这些方法提供一个自然的有效的对啮齿动物与危害特征进行分类和构造一个分类法。

知识库的编辑法则由 5 部分组成，即如果（条件）、则（结论）、其他的选择、参考资料及注意事项（Warkentin, 1991）。法则是关于一系列特殊问题事实的陈述，它由领域专家推导而来，或由该系统的用户提出。系统本身所含的项目、内容以及解决特殊问题的能力等也可表达事实的陈述。若某地区具有单位空间密度的某种啮齿动物，其应答的可能性答案是：a. 该动物对草地植被不具有危害性，可不采取防治措施；b. 该动物对草

地植被具有一定的危害性，但短时期内种群数量不会迅速增长，草地尚不受害，应采取适当的预防措施；c. 该动物对草地植被具有较大的危害性，应立即采取控制其种群数量的措施；d. 该动物对草地植被影响较小，但其种群数量的变动对其他有害啮齿动物有较大影响，应加强物种间相互作用的研究，提高动态监测水平。

有害啮齿动物综合治理知识一般分为：一级知识，包括有害啮齿动物生物学特征、各种环境因子及多种控制措施。该部分是推理的基本单元，组成了事实的基本结构。二级知识，包括啮齿动物的危害类型、草地退化程度、各种控制措施的评价以及建模知识。该部分是推理规则，其结论是对啮齿动物危害类型进行划分、危害草地程度的确定以及采取相应的治理措施。三级知识是有害啮齿动物综合治理策略知识，是在二级知识结论的基础上得出最终决策方案，主要包括啮齿动物种群动态监测、危害发生的识别、多层次治理的决策过程。

在 MESPR 中，知识的表示采用 LISP 语言进行描述。

3. 推理机

推理机是利用领域知识，解决啮齿动物危害草地定量分析及治理策略分析等问题，它包括一个用来决定怎样用规则推理新知识的解释器和一个决定规则应用的先后次序的调度程序。推理机的推理过程，是在一定推理策略的控制下，利用知识库中的规则对数据进行匹配或操作并获得结论的过程 (Reggia, 1985)。推理过程采用正向和逆向链相结合的方式，当证据充分时，采用正向链，逐步搜索证据并最终得出结论。当证据不充分时，采用逆向链，即先在领域专家给定的方案中选择目标，逐步求证该方案的可行性。

当用户向专家系统提出某一问题时，该问题通常是模糊和不确切的，推理机在一级知识中搜寻，将问题定性并付以数量值，确定其特征，划分出级别，即，啮齿动物的确认，种群密度范围及等级，植被的生物量等。将一级知识中定性、定量的知识送入二级知识，与相应的分类规则相匹配，得出危害的类型以及草地受害程度等。根据推断结果，推理机将在三级知识水平上利用专家知识和经验推断出解决该用户问题的方案。

4. 典型有害啮齿动物的选取

啮齿动物的选取主要依照以下三条标准：a. 选取的动物对草地有重要的经济价值；b. 选取的动物易与其他经济动物相混淆；c. 选取动物的经济意义尽管现阶段尚不明显，但在未来的发展中有着潜在的重大价值。

5. 知识获取及规则结构

从领域专家获取知识的过程称之为知识的获取。知识获取包括搜集和组织解决特定问题所需要的信息和专门知识，同时将这些信息和知识按照推理规则用编译码进行编译 (Roach, 1985)。与有害啮齿动物治理相关的知识、文献及专家均被作为咨询的主体。在有害啮齿动物专家系统中，采用专家系统编程语言和系统建造辅助工具输入领域专家知识。

(1) 知识输入的编程语言 应用于专家系统的编辑语言有 FORTRAN, PASCAL, LISP, PROLOG 等 (Rauscher, 1987)。LISP 语言具有方便和灵活的符号处理、自动存储管理、高级编辑和调试辅助，以及对程序编码和数据一视同仁，即 LISP 程序能够象修改它的数据一样容易地修改它自己的编码等特性。在有害啮齿动物专家系统中，采用 LISP 语言对领域专家知识进行编辑。

在 LISP 语言中，输入知识对象之间的关系通常用表结构的方式进行描述，表中包括

对象之间关系，并在关系后紧跟关系所联接的对象。

一级知识是关于有害啮齿动物判定和危害草地等级划分的专家知识，其输入形式为：
(啮齿动物名) (危害等级)，(上限，下限)

例如，高原麝鼠种群密度 25.0 只/hm²，LISP 语言的表达方式：

Population density (Plateau zokor) (25.0 ind./hm²)

二级知识是危害类型及草地受害程度划分的专家知识，通常采用条件语句的输入方式：

如果 (条件表) 则 (结论)

例如，地下鼠危害类型及其强度的输入：

If population density (Plateau zokor) > 25.0 ind./hm² and the vegetation cover < 60% then damaged level 4

三级知识是有害啮齿动物综合治理决策的专家知识，采用嵌套的条件语句输入：

如果 (条件表) 并 (中间结论) 则 (最终结论)

例如，

If population density (Plateau zokor) 25.0 ind./hm², vegetation cover 40% and damaged level 4 then use baits to control zokors and sowing seed on grassland.

(2) 系统建造辅助工具 系统建造辅助工具包括获取和表达专家知识的程序，它具有在已定结构下，对知识进行修改、查询、删除和添加功能。在有害啮齿动物专家系统中，使用 Teiresias 系统 (Harmon 等, 1988) 同用户进行人机对话，修改、删除有关问题的规则，增添新的规则，并分析规则的完整性和一致性，帮助用户调试它们。

讨 论

MESPR 是草原鼠害综合治理研究中一个新的领域，由于该系统是综合治理研究领域专家知识和经验有序的积累，同时增加了数学计算和推理，因而它给用户解答的问题，是综合本研究领域若干专家的思想，并在合理逻辑推理的基础上完成的。使用 MESPR 监测高原麝鼠对草地植被的危害，当输入高原麝鼠种群数量 14.3 只/hm² 后，MESPR 从知识库中提取相关的信息和模型，经推理机逻辑操作给出相应的预测值：土丘覆盖植被面积 126.4 m²，植物年平均损失量 169.43 kg (干重)，结果判定：中等受害程度。预测准确率分别为 91.03% 和 89.73%。说明 MESPR 具有较高的精确度和广泛的应用价值。

青藏高原地域辽阔，生态环境复杂，有害啮齿动物对草地植被的影响具有很强的地域特点。MESPR 的研建，可使综合治理从系统控制的角度出发，综合专家知识，利用计算机技术，对特定区域有害啮齿动物的控制有很强的针对性，控制方法表现为系统的连续性，因此控制效果具有高效性和长期性。另外，该系统的使用者不需要具备高深的鼠害控制理论和专门的计算机技术，便可获得专家治理的经验和知识，因而又具有很高的应用价值。

伴随高科技技术的迅速发展，动物学、生态学研究领域引入大量高新技术，如多媒体技术、GPS 技术以及 GIS 等，专家系统由于其数据库管理系统具有图形与非图形信息处理功能，因而有很强的兼容性，它能接受上述新技术提供的信息，并在系统中进行推理和法则解释。系统内部，由于知识库、综合数据库和支持系统的联合，能不断接受新的知识，引入新的技术于系统之中，使系统增强处理问题的能力，解决和避免单独技术

存在的某些限制条件和不全面性。

参 考 文 献

- 李卫华, 汤怡群, 周祥和. 1987. 专家系统工具. 北京: 气象出版社, 54~87.
- 李永宏. 1994. 内蒙古草原草场放牧退化模式研究及退化监测专家系统刍议. *植物生态学报*, 18 (1): 68~79.
- 黄可鸣. 1988. 专家系统导论. 南京: 东南大学出版社, 139~149.
- Daniel L S, George L M. 1989. Development and evaluation of an expert system for diagnosing pest damage of red pine in Wisconsin. *Forest Science*, 35 (2): 364~387.
- Davis R, Buchanan B G, Shortliffe E H. 1977. Production rules as a representation for a knowledge-based consultation program. *Artif Intell*, 8: 15~45.
- Getz W M, Gutierrez A P. 1982. A perspective on systems analysis in crop production and insect pest management. *Annu Rev Entomol*, 27: 437~446.
- Giarratano J, Riley G. 1994. Expert systems: principles and programming (2nd Edition). Boston: PWS Publishing Company.
- Harmon P, Maus R, Morrissey W. 1988. Expert systems: Tools and applications. New York: Wiley, 289~303.
- Haynes D L, Brandenburg R K, Fisher P D. 1973. Environmental monitoring network for pest management systems. *Environ Entomol*, 2 (5): 889~999.
- Haynes D L, Tummala R L, Ellis T L. 1980. Ecosystem management for pest control. *Bio Science*, 30 (10): 690~696.
- Hayes-Roth F. 1984. Knowledge-based expert systems. *Computer*, 17 (10): 263~273.
- Lemmon H. 1986. COMAX: an expert system for cotton crop management. *Science*, 233: 29~33.
- Nau D S. 1983. Expert computer systems. *Computer*, 16: 63~85.
- Plant R E, Stone N D. 1991. Knowledge-based systems in agriculture. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Rauscher H M. 1987. Expert systems in natural resources management. *Computer*, 5 (5): 19~27.
- Reggia J A. 1985. Answer justification in diagnostic systems-Part I: Abductive inference and its justification. *IEEE trans, on Biomed, Eng*, 32: 263~267.
- Roach J W. 1985. POMME: A computer-based consultation system for apple orchard management using Prolog. *Expert Syst*, 2: 56~69.
- Ruesink W G. 1976. Status of the systems approach to pest management. *Annu Rev Entomol*, 21: 27~44.
- Tummala R L, Haynes D L. 1977. On-line pest management systems. *Environ Entomol*, 6 (3): 339~349.
- Warkentin M E. 1991. A knowledge-based expert system for planning and design of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 11 (1): 71~83.
- White W B, Morse B W. 1987. ASPENEX: An expert system interface to geographic information system for aspen management. *AI Applic Natur Resour Manage*, 1 (2): 49~53.