

国外基于 GIS 土地适宜性评价研究进展及展望

何英彬^{1,2,3} 陈佑启^{1,3} 杨 鹏³ 吴文斌^{1,3} 姚艳敏^{1,3} 李志斌^{1,3}

(1. 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室, 北京 100081; 2. 呼伦贝尔草原生态系统国家野外科学观测研究站, 北京 100081; 3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘 要:土地适宜性评价是土地利用总体规划的一项基本工作和重要内容。随着全球人口的增长及环境问题的日益加剧, 研究探讨土地适宜性是处理好人口与资源、走可持续发展之路的重要课题。通过对大量文献的检索, 较为系统地总结了国外学者有关基于 GIS 的土地适宜性评价的观点, 按照土地适宜性评价方法的发展历程, 将其分为三个方面: 计算机辅助叠加制图、基于 GIS 多指标决策方法和人工智能建模。对于目前常用的基于 GIS 多指标决策和人工智能建模两种方法进行了评析; 并提出评价方法正向精确化、综合化和动态化的方向发展, 建议注重土地适宜性评价方法的空间尺度转换, 力争在未来实现网络化、可视化。

关 键 词:土地适宜性; 研究进展; 国外; GIS; 展望

1 引言

土地适宜性分析意在根据人类要求、意愿或一些未来活动的预测而确定土地利用最适合的空间模式^[1-2]。基于 GIS 技术的土地适宜性分析在很多领域内得以应用, 如在生态学中确定动植物物种栖息地的适宜性^[3-4]、土地用于农业生产的适宜性^[5-6]、景观评价与规划^[7]、环境影响评价^[8]和区域规划^[9]等。

19 世纪末 20 世纪初期, 美国景观设计师开始应用手工绘图并叠加图像的方法进行土地适宜性评价, 这种与 GIS 技术具有相似理念的土地适宜性分析方法初现端倪。而后, 随着计算机技术和“3S”技术的快速发展, 基于 GIS 技术的土地适宜性分析方法逐渐成为该领域的主流。本文从计算机辅助叠加制图方法、多指标评价方法和人工智能三个方面阐述了国外学者开展基于 GIS 技术土地适宜性评价的研究进展, 旨在为我国土地适宜性评价研究工作提供参考和借鉴。

2 基于 GIS 的土地适宜性评价方法

2.1 计算机辅助叠加制图方法

为突破手工操作的局限、能够处理海量数据,

土地适宜性评价计算机辅助叠加制图方法应运而生^[10-11]。该方法将土地适宜性评价模型以数字矩阵模式存储于计算机中, 既可以进行独立的区域土地适宜性分析, 也可以将研究区不同地图合并成总的土地适宜性图进行分析。哈佛实验室计算机辅助叠加制图技术的发展对于提高土地适宜性评价起到了至关重要的作用^[12]。哈佛实验室开发的 SYMAP 和 GRID 系统包含了一系列可进行土地适宜性分析的模块^[13]。Turner 和 Miles 基于适宜性地图叠加技术, 提出了一种选择交通通道的计算机系统^[14]; Lyle 和 Stutz 应用土地适宜性分析方法在制定城镇土地利用规划方面开展了研究^[12]。

2.2 多指标决策方法

GIS 与多指标决策方法(MCDM)的整合极大地提高了传统地图叠加方法在土地适宜性领域的应用^[15-19]。这种方法可以被认为是将空间与非空间化数据整合、经过多指标综合判断、产生出预期的必然发生结果的决策过程。该方法的判定规则定义了输入输出图层的的关系, 包括地理数据的选择、决策者喜好的应用及根据特定的判定规则而进行的操作; 相应地, 空间多指标决策分析有两个很重要的问题需要考虑: GIS 数据获取、存储、整理、处理和分析的能力; 多指标决策方法将地理数据与决策

收稿日期: 2009-03; 修订日期: 2009-07.

基金项目: 中国农科院农业资源与农业区划研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助(200990124); 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室基金资助(RDA0910); 国家科技支撑计划项目(2007BAC03A10); 国家重点基础研究发展规划项目(2007CB106806); 国家科技支撑计划项目(2006BAC08B0404)。

作者简介: 何英彬(1977-), 男, 吉林省吉林市人, 博士, 助研, 研究方向: 农业遥感与土地利用。E-mail: yingbin_he@yahoo.com.cn

通讯作者: 杨鹏(1975-), 男, 副研究员, 主要从事农业遥感研究。E-mail: yangpeng@mail.caas.net.cn

者喜好整合为可选择决策线性数值的能力。目前,很多土地适宜性评价多指标决策方法在 GIS 环境中得以应用,这些方法又可以分为多目标决策法和多属性决策法^[18]。多目标决策方法是数学规划模型导向方法;而多属性决策方法是数据导向方法,它也经常被认为是非关联方法,因为这种方法假设可选择的决策数量是确定的,而在多目标决策方法中,决策数量是通过解决一个多目标数学规划问题而确定。

2.2.1 多目标决策法

多目标决策法是根据一个决策模型定义了一系列决策结果,决策模型包括两个或更多的目标函数和一系列作用于决策变量的限制因素;根据决策变量,决策模型确定可选择的决策结果。多目标决策模型经常被转化为单一目标决策模型或应用标准化线性规划方法来解决相关问题^[20-21]。Cambell 等和 Chuvieco 论证了整合 GIS 的线性规划在土地适宜性评价研究中的应用潜力;演示了线性规划怎样被用来优化土地利用空间形态,生成不同的规划情景,分析决策变量与约束因素的关系^[22-23]。Eastman 等研发了启发式近似法,该算法在解决涉猎问题较多的土地分配决策时非常适用;然而启发式算法并不能保证一个优化解决方案,在多数情况下,该算法建议分配的是近优化结果;而更加复杂的问题可以通过线性规划形式得以有效的解决^[24]。Cromley 等建议启发式算法只有在没有其他更高精度的方法而计算结果只要求近优化即可的条件下才比较适用^[25]。

计算的复杂性是多目标优化方法难以在 GIS 环境中操作的原因之一;而经常需要数学规划运算法则、开发整合优化软件包而消耗很多的人力物力是其缺陷的又一体现。相对于多目标决策法,多属性决策法在 GIS 环境下的操作却容易得多,尤其是操作栅格类数据。因此,很过国外学者研发了很多基于 GIS 土地适宜性评价的多属性决策方法。

2.2.2 多属性决策法

在过去十几年里,大量多属性决策评价模型在 GIS 环境中得以应用,包括加权叠加分析法(WLC)及其变型^[15]、层次分析法(AHP)^[16]、理想点方法^[26]和次序平均加权法等^[27]。在这些方法中,加权叠加分析方法被认为是最直接、最常用的方法,这种方法可以在栅格或矢量数据组织结构中应用,一些 GIS 软件系统有内嵌的加权叠加分析法程序模块。但

是,加权叠加分析方法在应用过程中通常因为使用者没有充分理解方法隐含的假设条件而出现问题,批评意见集中于不恰当的适宜性地图标准化及适宜性评价指标独立性的非检验假设,这些局限在一定程度上限制了加权叠加分析方法的应用。层次分析法可以在 GIS 环境中以两种不同的方式应用:它可以用来获取属性值的权值,与线性加权分析法相似,这种方法在处理多属性并以栅格数据表征的数据非常适用;层次分析法可以用来整合等级结构内所有层次需要优先考虑的属性,这些相对数量较少的属性可以用来进行土地适宜性评价计算^[28]。多属性决策法一个很大的难题在于所有属性是否具有独立性,理想点方法在一定程度上避免了这个难题,理想点方法根据不同输入结果距离理想点的距离来对其进行排序,而理想点代表了一个假设决策输出,输出结果包括每个属性最理想的状态。Jiang 等针对这些局限进行了综合的讨论,并提出次序平均加权法延伸是基于 GIS 传统加权分析法的一种延伸和归纳^[27]。

2.2.3 关于多指标决策方法的评析

经典的叠加制图和模拟方法是土地适宜性评价中最常用的方法,在土地适宜性评价中起到了重要的作用。但多指标决策方法也存在一定的问题:首先,应用不同的评价指标合并方法、属性图标准化方法和赋权重方法可能导致不同的结果,到目前为止,还没有一个被普遍承认且通用的加权方法;其次,叠加分析评价方法中经典的布尔运算和加权分析方法过于简化了土地适宜性评价过程中的复杂性,仅仅注重易于在 GIS 环境中操作,而忽略了其他不能在计算机环境中、尤其 GIS 环境中不易表达但同样影响土地适宜性的因素;最后,GIS 多指标评价输入数据经常不准确,意义模糊。很多学者通过综合 GIS 多指标方法与敏感性分析、误差传播分析相结合来解决这些问题^[29-30];而另一些学者提出应用人工智能方法来弥补这些缺陷。

2.3 人工智能方法

在决策分析中,有一个多指标决策法一直悬而未决的问题,即不同的多指标分析会产生截然不同的土地适宜性评价结果^[31]。而人工智能方法可以很好地解决这一问题。空间分析领域内的研究成果表明:人工智能方法对土地适宜性评价的发展起到促进作用^[32]。从广义定义角度讲,人工智能方法是能够模拟、描述复杂系统,并为推理及决策服务的现

代人工智能技术;与传统方法不同,人工智能方法能够容纳不确定性、模糊性和部分真实。近些年,出现很多将人工智能和 GIS 相结合的土地适宜性评价方法,如 GIS 与模糊逻辑技术相结合^[33-34]、GIS 与人工神经网络技术相结合^[35-36]、GIS 与遗传算法相结合^[37]及 GIS 与细胞自动机技术相结合^[38]等方法。

2.3.1 模糊逻辑技术

针对传统土地适宜性评价方法的批评曾指出,在复杂的土地适宜性评价中,认可输入数据精确性的假定是不现实的,通过模糊理论与模糊逻辑技术可以解决这一问题^[39-40]。目前,有三种方法可以定义模糊关系:语义输入模型、相似性关系模型及试验分析模型。在语义输入模型中,是根据属性的度量,应用特定形式的专家知识分配隶属度;而相似性关系模型是基于搜索数据确定模糊隶属度;试验分析模型中的隶属度函数可以应用经验方法,通过相关的试验确定。隶属度函数已经在很多基于 GIS 的研究中得以应用,而这类研究多集中于土地分类而非土地适宜性评价。但是土地分类和评价模糊逻辑方法的很多方面与土地适宜性模拟是相关的,例如, Hall 等提出了一种在 GIS 环境下模糊信息表达和处理的方法,并以此发展了一种土地适宜性模糊分等方法^[41]。一些研究还将模糊隶属度和多指标模型相结合发展了基于 GIS 的土地适宜性方法, Alexander 等在 GIS 环境中实现了戴普斯特权重模拟^[42]。

总体来说,模糊逻辑技术在空间应用、尤其是土地适宜性建模中,很多方面都优于传统方法^[41];同时,这种方法也可以明确传统方法丢失信息的数量及错误增加的概率,保留了部分隶属度的完整信息,充分考虑了不确定性。尽管土地适宜性评价模糊逻辑方法相对于传统方法少一些局限,但不是意味着这种方法没有缺陷,评价中模糊逻辑技术的主要问题是缺乏一种普遍承认的获取隶属度函数的方法。

2.3.2 神经网络方法

神经网络方法起源于人类模拟大脑中基本处理单元及这些单元相互联系、信号处理及自组织的理想化模式。在神经网络方法中,通过一个训练过程对神经网络每个输入数据进行处理,针对于每次给定的输入数据,网络给出相应的输出。在所有的训练方法中,后向传播法(BP 法)最为常用^[43]。

国外学者做了大量的研究,试图探索神经网络方法对于空间数据分析(包括土地适宜性分析)潜在

的适用性。Sui 利用神经网络 BP 方法分析了大量待开发土地的适宜性,他还对比了神经网络方法与传统制图模型的结果^[35]。Gimblett 等强调处理大量不同组合且相互影响的土地适宜性因素,神经网络技术中自适应规则产生能力非常重要^[44]。Zhou 等的试验表明传统的 GIS 叠加和多指标组合方法可以与神经网络方法相结合^[36]。

神经网络方法是对复杂的土地适宜性评价问题提供近似的解决方法,而不是提供确定性解决方案^[45]。神经网络是技术导向型的方法,比较适合处理大数据量的问题,使用者可以专注于问题本身而不用关注技术的细节。神经网络的缺点是过度训练,即神经网络在训练中似乎运算良好,但只是特殊记忆了训练数据的解决方案,而在运行真实数据时,效果很差^[46]。

2.3.3 遗传算法

遗传算法(GA)是一种模拟自然生态进化本质的搜索方法。目前,已经开发了几种相互独立的遗传搜索方法,非常适合用来解决组合问题,例如复杂的多目标土地适宜性评价。近些年,基于 GIS 的土地适宜性评价遗传算法得以广泛的应用^[37]。Zhou 等应用基于 GIS 的神经网络与遗传算法相结合的方法进行土地适宜性评价分析^[36]。Brookes 论证了遗传算法可以通过确定特定地点的特定活动能力提高传统土地适宜性评价方法^[47]。Matthews 等提出遗传算法是土地利用规划和管理决策支持系统的关键部分^[48]。Bennett 等强调土地适宜性评价应该在属性空间和地理空间中进行,并提出遗传算法在构建两种空间的链接方面比较有效^[49]。Manson 将基于 Agent 与遗传算法相结合评价土地适宜性,取得了较好的效果;在研究土地利用/覆盖变化中,他还证实遗传模型总体来说优于传统的加权分析法^[50]。Guimaraes 将遗传算法与基于 GIS 多指标评价方法相结合,进行土地适宜性评价^[51]。Stewart 等认为在缺乏传统的多指标优化方法、决策问题比较复杂(涵盖面广而很难理解)而可能解又很多的情况下,遗传算法很有用处^[52]。而 Krzanowski 等认为在额外的指导搜索信息比较匮乏导致传统方法无法使用时,遗传算法方法同样适合^[37]。

遗传算法不能保证找到一种优化方案,但寻找一系列近优化方案非常有效。遗传算法的一个缺点是不能充分论证最优解是否很准确。O'Sullivan 等提出在应用遗传算法解决空间问题需要注意的是:

一个特定问题需要一个遗传算法的抽象框架,并确定问题的适宜标准,如果能够很好描述问题空间和解决方案,也许就不需要遗传算法^[46]。

2.3.4 元胞自动机方法

元胞自动机(CA)是一种离散型动力系统,包括一系列一维或多维空间元胞框架。在常规空间框架内每个元胞的状态取决于它前一时刻的状态和临近元胞的状态,元胞状态的更新依靠一系列固定或概率规则,元胞自动机的状态是不同步更新,作为多种相互作用的结果,系统的整体行为取决于所有元胞状态的演变^[53-54]。元胞自动机的原理不是从整体角度尽力描绘一个复杂的系统,而是从一个系统的初级相互作用动力机制模拟该系统,通过遵循简单规则的个体间相互作用,以使系统的复杂性变得清晰。因为元胞自动机是空间导向模型,因此经常被用来模拟土地变化、快车道交通、过火区域等^[55]。

目前,通过整合更多基于 Agent 行为或非固定区域搜索等方法,元胞自动机方法得以拓展^[56-57]。Ferrand 提出基于 GIS 的 Agent 模型将会成为土地适宜性评价分析中一种强有力的工具^[58]。Bennett 等提出了在 GIS 环境中将基于 Agent 模型与人工神经网络技术相结合处理土地适宜性评价的方法,并取得了较好的效果^[49]。

2.3.5 关于人工智能方法的评析

将 GIS 与人工智能方法相结合能够提供全新的基于知识的自动决策能力。人工智能方法在以下几种情形下优于传统方法: 处理不可预测非线性海量数据; 决策任务具有非常重要的隐藏模式;

决策环境下需要表达人类意愿和无法定量定义的信息。将 GIS 与人工智能相结合是一个相对较新的研究与软件开发领域。总体来说,将人工智能系统与 GIS 相结合的先进理念和操作使得土地适宜性评价有了长足的进步。

虽然人工智能方法在精度上有了很大的提高,但是在处理有些地理空间问题时,还有局限,如在土地适宜性评价过程中,人工智能方法往往在小空间尺度得以应用,获取较好的效果;而在大空间尺度上则很少使用人工智能方法,这与大空间尺度涉及的数据繁多、人工智能处理方式复杂不无关系。提高人工智能方法在大空间尺度上的适用性是未来该方法突破点所在。

3 讨论与研究展望

土地适宜性评价是土地科学中的热点领域之一,国外很多学者认为土地适宜性评价中面临的困难主要是由于土地系统具有内在的复杂性,使相应地评价方法评价的结果难以全面准确地反映真实的土地适宜性。土地适宜性评价的各种方法都具有一定的优点和不足,需要根据土地适宜性评价的评估对象和评估目标选择不同的方法;而且在选择的过程中还需要注意时间和空间尺度的问题。土地适宜性评价受到了广泛的关注,但其方法也引起了不同的争论,这些关于方法的争论正是土地适宜性评价所要解决的核心问题。

纵观土地适宜性评价研究进展可以看出,该领域的研究正朝着综合化、精确化和动态化的方向发展。在大空间尺度上实现这些目标,更是未来土地适宜性研究的热点领域。如前所述,大空间领域往往应用的是比较简略的土地适宜性评价方法,精度稍差;而中小空间尺度所应用的评价方法较为复杂,但精度较高。如何将大尺度空间数据与获取高精度的方法进行有效整合,减少计算过程的繁杂步骤将是未来土地适宜性评价方法研究的热点。

目前,很多相关的研究都将注意力集中于土地适宜性评价模型的构建与完善,然而与模型构建息息相关的指标采用适宜性则很容易被忽视。土地适宜性评价在因子选择上多采用静态性和单一性因子,如气候、土壤、地形;缺乏动态性和复合型因子,如水资源可获取性及经济与社会因子,如耕作半径等,评价结果难以全面指导区域的发展,因而土地适宜性评价指标体系需进一步完善。

土地适宜性研究的很多方法在应用过程中都涉及到网络技术,如网络 GIS、web-GIS、多媒体 GIS 和 GIS 可视化技术。正如很多其他领域一样,网络技术的发展也影响着土地适宜性评价方法发展的进程,多媒体 GIS 将现代技术(视频、音频与虚拟现实)与土地适宜性评价相结合,成为传统方法进行延伸的平台。网络多媒体技术在土地利用规划调整中将有很大的潜力,它将从多个角度观察数据,具备产生很多情景的能力,可以为土地利用决策更好的服务。

参考文献

- [1] Hopkins L. Methods for generating land suitability maps:

- A comparative evaluation. *Journal for American Institute of Planners*, 1977, 34(1): 19–29.
- [2] Collins M G, Steiner F R, Rushman M J. Land–use suitability analysis in the United States: Historical development and promising technological achievements. *Environmental Management*, 2001, 28(5): 611–621.
- [3] Pereira J M C, Duckstein L. A multiple criteria decision–making approach to GIS–based land suitability evaluation. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1993, 7(5): 407–424.
- [4] Store R, Kangas J. Integrating spatial multi–criteria evaluation and expert knowledge for GIS–based habitat suitability modeling. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 55(2): 79–93.
- [5] Cambell J C, Radke J, Gless J T, et al. An application of linear programming and geographic information systems: Cropland allocation in Antigua. *Environment and Planning*, 1992(24): 535–549.
- [6] Kalogirou S. Expert systems and GIS: An application of land suitability evaluation computers. *Environment and Urban Systems*, 2002(26): 89–112.
- [7] Miller W, Collins W M G, Steiner F R, et al. An approach for greenway suitability analysis. *Landscape and Urban Planning*, 1998 (42): 2–4, 91–105.
- [8] Moreno D, Seigel M. A GIS approach for corridor siting and environmental impact analysis. *GIS/LIS'88. Proceedings from the third annual international conference*, San Antonio, Texas 2, 1988, (2): 507–514.
- [9] Janssen R, Rietveld P. Multi–criteria analysis and geographical information systems: An application to agricultural land use in the Netherlands//Scholten H J, Stillwell J C H. *Geographical Information System for Urban and Regional Planning*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1990, 129–139.
- [10] MacDougall E B. The accuracy of map overlay. *Landscape Planning*, 1975, (2): 23–30.
- [11] Steinitz C, Parker P, Jordan L. Hand drawn overlays: Their history and prospective uses. *Landscape Architecture*, 1976, (9): 444–455.
- [12] Lyle J, Stutz F. Computerized land use suitability mapping. *Cartographic Journal*, 1983, (20): 39–49.
- [13] Murray T, Roger P, Sinton D, et al. Honey Hill: A systems analysis for planning the multiple uses of controlled water areas. 2 vols. Report nos. AD 736 343 and AD 736 344. National Technical Information Service, Springfield, Virginia, 1971.
- [14] Turner A K, Miles R D. The GCARS system: A computer–assisted method of regional route location. *Highway Research Record*, 1971, (348): 1–15.
- [15] Carver S J. Integrating multi–criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*. 1991, 5(3): 321–339.
- [16] Banai R. Fuzziness in geographical information systems: Contributions from the analytic hierarchy process. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1993, (7): 315–329.
- [17] Eastman J R. *Idrisi for Windows, Version 2.0: Tutorial Exercises*, Graduate School of Geography– Clark University, Worcester, MA, 1997.
- [18] Malczewski J. *GIS and Multi–criteria Decision Analysis*, Wiley, New York, 1999.
- [19] Thill J C. *Multi–criteria Decision–making and Analysis: A Geographic Information Sciences Approach*, Ashgate, New York, 1999.
- [20] Diamond J T, Wright J R. *Design of an integrated spatial information system for multi–objective land–use planning*. *Environment and Planning B*, 1988, 15(2): 205–214.
- [21] Aerts J. *Spatial decision support for resource allocation: Integration of optimization, uncertainty analysis and visualization techniques*. PhD Thesis, Faculty of Science, University of Amsterdam, 2002.
- [22] Cambell J C, Radke J, Gless J T, et al. An application of linear programming and geographic information systems: Cropland allocation in Antigua. *Environment and Planning A*, 1992, (24): 525–549.
- [23] Chuvieco E. Integration of linear programming and GIS for land use modeling. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1993, 7(1): 71–83.
- [24] Eastman J R, Kyem P A K, Toledano J, et al. *GIS and Decision Making*, UNITAR, Geneva, 1993.
- [25] Cromley R G, Hanink D M. Coupling land use allocation models with raster GIS. *Journal of Geographical Systems* 1, 1999, 137–153.
- [26] Jankowski P. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision making methods. *International Journal of Geographical Information system*, 1995, (9): 251–273.
- [27] Jiang H, Eastman J R. Application of fuzzy measures in multi–criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 2000, (14): 173–184.
- [28] Jankowski P, Richard L. Integration of GIS–based suitability analysis and multi–criteria evaluation in a spatial decision support system for route selection. *Environment and Planning B*, 1994, 21(3): 326–339.
- [29] Lodwick W A, Monson W, Svoboda L. Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: Suitability analysis. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1990, 4(4): 413–428.
- [30] Hevelink G B M, Burrough P A, Stein A. Propagation of errors in spatial modeling with GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1989, 3 (4): 303–

- 322.
- [31] Heywood I, Oliver J, Tomlinson S. Building an Exploratory Multi-criteria Modeling environment for Spatial Decision Support. *Innovations in GIS 2*, Taylor & Francis, London, 1995, 127-136.
- [32] Openshaw S, Abrahart R J. *Geo-Computation*, Taylor & Francis, London, 2000.
- [33] Wang F, Hall G B, Subaryono. Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: Database design and applications. *International Journal of Geographical Information System*, 1990, (4): 261-283.
- [34] Burrough P A, McDonnell R A. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, Oxford, 1998.
- [35] Sui D Z. Integrating neural networks with GIS for spatial decision-making. *Operational Geographer*, 1993, 11 (2): 13-20.
- [36] Zhou J, Civco D L. Using genetic learning neural networks for spatial decision making in GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1996, (11): 1287-1295.
- [37] Krzanowski R, Raper J. *Spatial Evolutionary Modeling*. Oxford University Press, Oxford, 2001.
- [38] Batty M, Xie Y. From cells to cities. *Environment and Planning B*, 1994, (21): 31-48.
- [39] Zadeh L H. Fuzzy sets. *Information and Control* 8, 1965, 338-353.
- [40] Fisher P. Fuzzy modeling//Openshaw S, Abrahart R J. *GeoComputation*, Taylor and Francis, London, 2000, 161-186.
- [41] Hall G B, Wang F, Subaryono. Comparison of Boolean and fuzzy classification methods in land suitability analysis by using geographical information systems. *Environment and Planning A*, 1992, (24): 497-516.
- [42] Alexander S M, Waters N M, Paquet P C. A probability-based GIS model for identifying focal species linkage zones across highways in the Canadian Rocky Mountains. //Clarke G, Stillwell J. *Applied GIS and Spatial Analysis*, ESRI Press, Redlands, CA, 2003, 229-261.
- [43] Hewiton B D, Crane R G. *Neural Nets: Applications in Geography*, Kluwer Academic, Dordrecht, 1994.
- [44] Gimblett R H, Ball G L, Guise A W. Autonomous rule generation and assessment for complex spatial modeling. *Landscape and Urban Planning*. 1994, (30): 13-26.
- [45] Fischer M M. From conventional to knowledge-based geographic information systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1994, 18(4): 233-242.
- [46] O'Sullivan D, Unwin D J. *Geographic Information Analysis*, 2003, Wiley, Hoboken, NJ, 2003.
- [47] Brookes C J. A parameterized region-growing programme for site allocation on raster suitability maps. *International Journal of Geographical Information Science*, 1997, (11): 375-396.
- [48] Matthews K B, Craw S, MacKenzie I, et al. Applying Genetic Algorithms to Land Use Planning, *Proceedings of the 18th Workshop of the UK Planning and Scheduling Special Interest Group*, University of Salford, UK, 15th-16th December, 1999, 109-115.
- [49] Bennett D A, Armstrong M P, Wade G A. Agent mediated consensus-building for environmental problems: A genetic algorithm approach. *Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*, Santa Fe, NM, National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara, CA, 1996.
- [50] Manson S M. Agent-based dynamic spatial simulation of land use/cover change in the Yucatan peninsula, Mexico. *Fourth International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4)*, Banff, Canada, 2000.
- [51] Guimaraes P A. Extending environmental impact assessment processes generation of alternatives for siting and routing infrastructural facilities by multi-criteria evaluation and genetic algorithms. PhD Dissertation. New University of Lisbon, Lisbon, Portugal, 1998.
- [52] Stewart T J, Janssen R, van Herwijnen M. A genetic algorithm approach to multi-objective land use planning. *Computers and Operations Research*, 2003.
- [53] Couclelis H. From cellular automata to urban models: New principles for model development and implementation. *Environment and Planning B*, 1997, (24): 165-174.
- [54] Li X, Yeh A G. Modeling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata. *International Journal of Geographical Information Science*, 2000, 14 (2): 131-152.
- [55] Clarke K, Gaydos L. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal of Geographical Information Science*, 1998, 12 (7): 699-714.
- [56] Batty M, Xie Y, Sun Z. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1999, (23): 205-233.
- [57] Ligtenberg A, Bregt A K, van Lammeren R. Multi-actor-based land use modeling: Spatial planning using agents. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 56(1-2): 21-33.
- [58] Ferrand N. Modeling and supporting multi-actor planning using multi-agent systems. *Third NCGIA Conference on GIS and Environmental Modeling*, 1996, Santa Barbara.

An Overview and Perspective of Alien Land Suitability Evaluation Study Based on GIS Technology

HE Yingbin^{1,2,3}, CHEN Youqi^{1,3}, YANG Peng³, WU Wenbin^{1,3}, YAO Yanmin^{1,3}, LI Zhibin^{1,3}

(1. Key Laboratory of Resources Remote-Sensing & Digital Agriculture of Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;

2. Hulunber Grassland Ecosystem Observation and Research Station, Beijing 100081, China;

3. Institute of Agricultural Resources & Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Land suitability evaluation is the basis and core of overall land use planning. With global population increasing and environmental problems deteriorating, it is important and urgent to implement the research on land suitability for dealing with the relation between population and resources and with sustainable development. Based on indexing an amount of references, the authors systematically summarized viewpoints of alien researchers on land suitability with GIS and classified the related methodologies into three aspects: Computer-assisted overlay mapping, multi-criteria decision-making methods and artificial intelligence methods. In addition, authors analyzed the latter two methodologies, put forward the orientation of more accuracy, integration and dynamics in this regard, and suggested to realize methodologies transition at different spatial scales and network assessment and evaluation visualization in the future.

Key words: land suitability; study progress; alien; GIS; perspective