

景观生态分类概念释义及研究进展*

杨久春^{1,2} 张树文^{1,*}

(¹ 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 景观生态分类通过建立等级分类系统,能够全面反映一定区域景观的空间分异和组织关联,揭示其空间结构与生态功能特征,是景观生态评价和规划管理的基础。本文首先对景观生态分类的概念进行剖析,然后从分类系统的制定及对分类因子选择的发展进程、分类方法的改进和创新、景观生态类型制图及应用领域等方面阐述国内外景观生态分类的进展和现状,并在总结以前研究存在不足的基础上,进一步指出今后景观生态分类研究的重点和发展趋势。

关键词 景观生态分类;生态土地分类;景观生态类型图

中图分类号 Q149 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)11-2387-06

Landscape ecological classification : Its concept and research progress. YANG Jiu-chun^{1,2}, ZHANG Shu-wen¹ (¹ *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China*; ² *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*). *Chinese Journal of Ecology* 2009 28(11) 2387-2392.

Abstract : Landscape ecological classification (LEC), through establishing hierarchical classification system, can comprehensively reflect the spatial heterogeneities and their associations of definite regional landscape, and reveal its spatial structural characteristics and ecological functions, being the basis of landscape evaluation, landscape planning, and landscape management. In this paper, the concept of LEC was paraphrased, and the research progress of LEC was reviewed and analyzed from the aspects of framing classification systems, selecting indices, improving classification methods, mapping landscape ecotypes, and applications. The problems of LEC research and its development trend were pointed out.

Key words : landscape ecological classification ; ecological land classification ; landscape ecotype map.

景观生态分类的概念是最近十几年随着景观生态学理论和技术方法的不断成熟和广泛应用而产生的,是早期生态土地分类和景观分类的深化。然而,在遥感和计算机技术迅猛发展,使得土地利用/覆被能够及时快速有效反映地表状况的情况下,景观生态分类理论和应用的发展变得相对迟缓。作为景观生态学的重要内容之一,景观生态分类既是景观结构与功能研究的基础,又是景观生态规划、管理等应用研究的前提条件,因而景观生态分类理论和方法论方面的进展,在很大程度上能够反映整个学科的发展水平(王仰麟,1996)。然而,目前国内全

面介绍景观生态分类概念及研究进展的文献甚少,李振鹏等(2004)从不同学派的角度,肖宝英等(2002)从生态土地分类发展过程,程维明(2002)通过列举比较已有分类系统、分类指标和制图成果方面对景观生态分类研究进行了介绍,应用案例较少而且多局限于森林,归纳总结和机制研究相对薄弱。因此,本文对国内外景观生态分类研究进行了总结和分析,指出目前存在的主要问题和发展趋势,以期对景观生态分类研究和资源管理提供借鉴和参考。

1 景观生态分类概念释义

1.1 景观与土地的含义

早在19世纪末期,景观的概念被引入地理学中(Naveh, 2007),并且以德国、前苏联为中心开展了

* 国家自然科学基金项目(40771162)和中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX2-SW-320-1)。

** 通讯作者 E-mail : zhangshuwen@neigae.ac.cn

收稿日期:2009-02-16 接受日期:2009-07-15

长达半个多世纪的研究。1939 年德国生物地理学家 Troll 首先以景观的概念表示一个地区不同地域单位的自然-生物综合体(傅伯杰,1983)后,景观作为生态系统之上的一种尺度单元,被越来越多的生态学研究认识和强调(肖笃宁和钟林生,1998),成为景观生态学这门学科形成和发展的重要基础概念。目前,景观具有“风景”、“自然综合体”、“异质性镶嵌体”等多种含义,是风景美学、地理学和景观生态学的研究对象(角媛梅等,2003)。而按澳大利亚克里斯钦所下的定义来看,土地是陆地表面的整个垂直剖面,从空间环境直到下伏的地质层,包括气候、水文、土壤、植物和动物群,以及与之有关的过去和现在的人类活动(吉林省土地管理局,1994)。1972 年在荷兰瓦赫宁根大学召开的土地评价会议(Brinkman & Smyth,1973)和 FAO(1976)所定义的土地内涵也是如此。

可见,景观与土地的含义在很大程度上是相同的,只不过土地永远不会与风景相混淆。肖笃宁和钟林生(1998)指出把景观视为被生物体(包括动物和植物)所感知的土地,更具普遍性,对于确定种群、群落和生态系统的功能格局与空间过程具有重要意义。

1.2 从生态土地分类到景观生态分类

生态土地分类(ecological land classification, ELC)是按照等级巢式组织,对不同时空尺度上的生态系统(主要是但不完全是土地生态系统)进行定义、认知和表达的科学方法和艺术手法的综合,是为设计、实践和评价基于生态系统的可持续性、生物多样性保护和综合资源管理等各种管理目的而进行的科学尝试(Sims *et al.*,1996)。生态土地分类是 20 世纪中叶人们意识到仅注重单一资源开发和管理产生了一系列严重的社会和生态后果的情况下发展起来的,强调根据生态原则进行土地分类研究(肖宝英等,2002),关注的核心是生态系统。自 1976 年加拿大生态土地分类委员会成立后的 20 多年间,引起了国内外学者的积极参与和研究,并于 1994 年 8 月在加拿大安大略省召开了主题为“从全球到局地:生态土地分类”国际会议。

景观生态分类(landscape ecological classification, LEC)是在景观生态学的理论和技术方法不断成熟和广泛应用的情况下,对生态土地分类的深化。其基本思想与生态土地分类一脉相承,强调以系统的观点进行多要素综合研究,是以着眼于土地形成

过程、以发生的关联与相似性为依据进行分类的发生法,与通过景观空间形态分异性的识别进行分类的景观法相结合的综合分类方法。景观生态分类不仅强调土地水平方向的空间异质性,还力图综合土地单元的过程关联和功能一致性,把土地视为特殊的生态系统(王仰麟,1996)。肖笃宁等(2003)、李振鹏等(2004)将景观生态分类定义为根据景观生态系统内部水热状况的分异、物质和能量交换形式的差异以及反映到自然要素和人类活动的差异,按照一定的原则、依据、指标,把一系列相互区别、各具特色的景观生态类型进行个体划分和类型归并,揭示景观的内部格局、分布规律、演替方向。景观生态分类是包括分类和制图在内的一个整体过程。景观生态分类具有如下 2 方面显著特点:1)综合景观水平结构的异质性和垂直结构的尺度等级性;2)从景观内涵出发,考虑景观的多个组成要素,考虑要素之间的相互关系。因而,在当前地球表层景观研究越来越注重从单要素、单过程研究向多要素、多过程耦合与综合研究方向发展(傅伯杰等,2006)以及人们对大尺度生态环境问题日益重视的趋势下,景观生态分类研究必将推动可持续发展研究的深入开展。

2 景观生态分类研究进展

2.1 景观生态分类体系与分类要素方面

由于对自然调查不够充分及认识上的局限性,早期的景观分类主要停留在对自然界表现的认识上,经历了以植被作为分类指标到以植被群落与地表形态组合划分土地单元的过程(程叶青和张平宇,2006)。

随着地图、尺度、界线和单元等工具和概念被引入到分类中(郑度等,2005),研究学者逐渐认识并深入理解了生态系统各生态因子间的相互作用,开始以综合的角度进行景观分类理论方法研究和实践应用,提出了“生态区域分类(ecoregion classification)”(Bailey & Hogg,1986;Bailey,1989);“生物地理气候的生态系统分类(biogeoclimatic ecosystem classification)”(Pojar *et al.*,1987);“多尺度生态系统分类(multiscale ecosystem classification)”(Bailey,1987,1996);“多水平生态分类(multilevel ecological classification)”(Hanson & Hargrave,1996;倪健等,2005)。其中,美国农业部林务署(USDAFS)、加拿大生态土地分类委员会(CCELC)所采用的生态土地分类体系在国际上具有重要影响(表1),推动了

表 1 美国和加拿大生态土地分类框架比较

Tab. 1 Ecological land classification frameworks of USDAFS and CCELC

美国农业部林务署 (Cleland <i>et al.</i> , 1997)		加拿大生态土地分类委员会 (Ecological Stratification Working Group, 1996)	
生态单位名称	分类要素	生态单位名称	分类要素
领域	宏观气候模式	生态带	宏观气候
区域	区域气候类型(柯本气候分区法); 植被类缘; 土类	生态省	地貌格局; 动物区系; 植被群落; 水文循环; 气候区
省	顶极植被群落(Kuchler 法)	生态区域	植被群落; 土壤类型; 水体分布; 动物区系
地区	地貌类型; 地质年代; 地层; 岩性; 区域气候; 土类; 顶极植被群落	生态地段	地形; 地质; 地貌; 植被类型; 水体分布; 动物区系
亚地区	地貌过程; 表层地质; 岩性; 土壤亚类; 亚区域气候; 顶极植被群落	生态地区	地形; 土壤类型; 植被类型; 水体分布; 动物区系
生态土地类型集	地貌过程; 构造格局; 表层岩性; 高程; 土种; 局地气候; 顶极植被群落	生态立地	母质; 土壤类型; 水文循环; 植被类型
生态土地类型	高程; 坡向; 坡度; 坡位; 土属; 岩石类型; 地貌过程; 顶极植被群落	生态元	土壤类型; 地形; 植被和水文特征
生态土地类型相	土属; 坡位; 顶极植被群落		

北美、欧洲等国家景观生态分类的深入研究和广泛应用(Dolan & Parker 2005 ;Carranza *et al.* 2008)。

随着全球变化和环境问题的出现,人们越来越意识到人类活动在生态系统中的作用。目前,在景观生态分类中主要以土地利用变化作为反映人类干扰的指标,如刘惠清和龙花楼(1998)对吉林省西部、周华荣(1999)以新疆北疆地区的沙湾县为例、梁存柱(2003)对东北农牧交错区开展了景观生态分类研究。刘凤芹等(2006)以景观指数的形式将人类活动对景观结构的影响考虑在内构建了北京密云水库集水区等级生态分类体系。然而,根深蒂固的传统生态学思想是将人类作为生态系统之外的干扰因子(Naveh 2007),缺乏人类活动在资源开发与环境保护中的地位和作用的研究(杨勤业等, 2002a)。

2.2 景观生态分类方法方面

2.2.1 传统方法

早期的景观分类和生态土地分类多是基于专家知识开展的,因此主要采用整体、反复和综合 3 种重叠的方法。整体方法是一种把生态系统看作整体的研究方法。以景观生态系统的结构作为分类依据,或者说以景观生态系统中生产者、分解者与环境之间的关系作为分类标准。表明特定的气候、地貌、土壤、水文状况、植被以及特征动物区系分布以及相互作用、相互转化形成具有一定特征的整体,可以作为景观生态系统分类的依据;反复方法是对景观生态系统进行逐步综合,先对两个组分的相互影响关系进行研究,再逐步深入研究组分之间的相互关系以达到最后综合的目的;综合方法是指生态系统各组分整体性综合,对较低水平的分类

单位进行反复综合,最后形成较高水平上的分类单位,以景观生态系统内部最基本单元的水平组合特点为分类依据(许嘉巍和刘惠清, 1990)。

2.2.2 遥感技术方法

基于遥感技术获取的卫星影像是地面实况的写照,它虽然不能直接反映地表的景观类型,但是根据影像的色调和纹理等特征可以首先将地貌类型、覆被类型识别出来,然后采用地学相关分析方法逐一解译土壤、地表组成物质等自然要素,进而通过综合分析解译出自然景观类型(景贵和等, 1993)。景贵和等(1993)、倪绍祥等(1995)提出了基于卫星影像解译景观类型的应用尺度、步骤和原则。随着对人类活动对生态系统影响的持续关注,自 20 世纪 80 年代以来,遥感技术多用于分类指标中反映人类活动影响的土地利用/土地覆被数据的提取。王桥和王文杰(2006)建立的中国生态分类遥感分区等级体系中,不仅以 1 km 分辨率的 NOAA AVHRR 和 30 m 分辨率的 TM 影像提取的土地利用数据作为一级分区指标之一,并且最后通过比较遥感影像的光谱特征对分区结果进行检验(Coops 等(2009)尝试基于多源遥感影像数据获取综合指标开展生态土地分类,以改善传统的基于专家知识分类结果的主观性和不可重复性,不断扩展了遥感技术在景观生态分类中的应用途径。

2.2.3 其他方法

随着计算机技术、数理统计方法的不断进步和发展,一些新的或相关学科的比较成熟的研究方法被引入景观生态分类过程中,如二元指示种法 TWINSpan(陈仲新和谢海生, 1994 ;陈仲新和张新时, 1996 ;Carter *et al.*, 1999 ;Hutto *et al.*, 1999)、多变量聚类方法(Wolock *et al.*, 2004 ;Har-

grove & Hoffman, 2005; Wang *et al.*, 2006; Coops *et al.*, 2009), 模糊聚类方法(Burrough *et al.*, 2000, 2001), 模糊逻辑(MacMillan *et al.*, 2000; Nadeau *et al.*, 2004), 神经网络(Lek & Guégan, 1999; Walley & O'Connor, 2001; 赫成元等, 2008), 小波变换(李双成等, 2008) 等, 以及尝试将多种方法相结合(Bryan, 2006)。

2.3 景观生态类型图及应用领域方面

在地理学的发展过程中, 一直都在用制图方法来表现地理景观的类型、结构、分布等特征。景观生态类型图是景观生态分类体系和分类方法的成果, 能够直观地综合地表现地质、地貌、气候、水文、土壤和植被等要素之间的相互关系和人类活动对自然环境的影响程度(程维明等, 2004), 因此, 也是景观生态分类应用过程中不可缺少的部分。

随着全球环境变化研究的重点逐渐转向以对生态系统与人类生存环境的作用及其响应的研究为主, 联合国教科文组织(UNESCO) 认识到这种需求(杨勤业等, 2002b), 在 1975 年, 由国际自然保护联盟(IUCN) 带头, Udvardy(1975) 依据地理学要素和顶级群落编制了世界生物地理省图, 被人与生物圈(MAB) 计划采纳。随后, Bailey(1996) 分别绘制了美国、北美洲、世界大陆和海洋生态区图, 加拿大生态土地分类委员会分别于 1986 和 1995 年先后出版并更新了加拿大生态区图(Ecological Stratification Working Group, 1996)。我国在 20 世纪 80 年代初编制了《中国 1: 100 万土地类型图》, 并于 21 世纪初期拟定了中国生态地理区域系统(郑度, 2008)。这些国家至全球水平的图件成果为制定土地利用规划、农业发展规划和资源保护决策做出了重要贡献。然而, 区域至立地尺度的景观生态分类成果主要用于林业资源可持续利用(Carmean, 1996; 邵国凡等, 2001; FAO Forest Department, 2001; 唐立娜等, 2008), 在其他领域进行应用的尝试很少。

3 景观生态分类研究中存在的问题

对景观生态分类的概念理解不同, 导致用于景观生态分类的因子各异。景观是地质、地貌、土壤、植被、气候、土地利用/土地覆被等多要素的综合体, 景观的变化不仅反映地表植被和土地利用的变化, 气候、土壤、地貌、水文等也相应地在变化, 只是在短时间尺度上(比如 50 年), 地貌、土壤、水文可以视为不变或变化微小, 最直观的变化是植被和土地利用。

因此, 从景观的组成要素分析, 采用景观中部分要素的景观生态分类以及以土地利用/覆被类型作为景观分类的主要指标/参照来源的分类方法并不能完全反映景观动态(Forman, 1995; Farina, 1998)。

不同尺度上参与景观生态分类的各因子的分级没有明确的统一的标准。在全球、洲际和国家等大尺度上, 生态系统结构的差异与控制的环境变量, 尤其是气候密切相关, 因此, 目前大尺度地域范围的景观分异是以气候和地质构造为主要框架, 分类的结果易于统一且较为严谨。至于地区、流域等中小尺度地域范围, 景观分异因素则与地貌形态及与之相应的水文、土壤以及海拔、坡度、坡形、植被类型及覆盖率等很多要素都有关(王仰麟, 1996), 目前对中小尺度范围的分类研究主要是进行生态功能区划。另外, 在大尺度上的景观生态分类是宏观的、概括性的, 如果在中小尺度的景观上再对其进行细分的话, 这些单元可被分成更小的分类单元, 那么, 此时各因子的分类等级也需要相应地改变(Watson & Heywood, 1995)。总之, 目前对景观生态分类缺乏统一的认识, 所采用的指标各不相同, 有些甚至忽视生态学上的意义和作用, 只要能满足数理统计需要便给予采纳了(吴绍洪等, 2002)。因此, 需要结合实例深入研究和确定中小尺度上各因子的等级。

景观生态过程一般是连续的, 景观生态要素往往是渐变过渡的, 因而, 景观单元的边界通常具有模糊性、过渡性和渐变性特点, 清晰明确的单元界线比较少见, 多数单元只是相对独立地存在(杨勤业等, 2002a)。严格地说, 景观单元边界不是一条把相邻地域单元截然分开、“非此即彼”的线(吴绍洪等, 2002), 实质上生态系统是没有严格范围的, 有争议的边界可根据研究者的方便而设定。而且, 分类不仅依赖于组成和外貌, 也强调其结构和功能(Watson & Heywood, 1995)。那么, 对单元空间范围的界定是景观生态分类研究的主要内容之一。界线的确定既与分类的原则和方法紧密相联系, 与等级尺度分不开, 又与分类的分异因子分不开, 并且由于生态地理区域环境的极其复杂性, 使得定量表达景观单元的边界仍有巨大障碍(吴绍洪等, 2002)。

4 景观生态分类发展趋势的探讨

首先应规范景观生态分类中的基本概念和原则。在概念和原则统一的基础上, 不同尺度的景观生态分类体系才具有通用性和可比性, 才能实现自

上而下的划分与自下而上的组合在结果上的一致性(王仰麟,1996;李振鹏等,2004)。同时,开展多学科、多部门综合的合作研究是必要的。景观生态分类是综合考虑土壤、植被、地质、地貌、水文、气候等多个要素的科学过程,而目前各部门对各单要素的界定及所采用的分类标准不一致,导致最后的结果不易于比较和应用。因此,只有基于跨学科、跨部门的交流合作才能够更加有效地实现景观生态分类,并且也有利于资源的综合管理。其次,在分类指标方面,应突破仅以土地利用/土地覆被类型变化反映人类活动影响的现状,将土地系统变化的生态效应,如水土流失的负面效应、植树造林(如农田防护林)的正面效应等,作为分类指标之一参与景观生态分类。这样的话,分类结果将会更加直观地反映出环境的生态状况,有利于生态恢复、保护决策的制定。另外,应不断探讨基于遥感技术获取分类指标建立巢式等级景观生态分类体系的可行性和可靠性。最后,应加强和深化应用研究。景观生态分类在深入研究景观/土地变化的驱动机制、退化环境生态恢复、资源合理利用以及生物多样性保护等方面有重要应用价值。

参考文献

陈仲新,谢海生. 1994. 毛乌素沙地景观生态类型与灌丛生物多样性初步研究. *生态学报*, **14**(4):345-354.

陈仲新,张新时. 1996. 毛乌素沙化草地景观生态分类与排序的研究. *植物生态学报*, **20**(5):423-427.

程维明,柴慧霞,龙恩,等. 2004. 中国 1:100 万景观生态制图设计. *地球信息科学*, **6**(4):19-24.

程维明. 2002. 景观生态分类与制图议. *地球信息科学*, **4**(2):61-65.

程叶青,张平宇. 2006. 生态地理区划研究进展. *生态学报*, **26**(10):3424-3433.

傅伯杰,赵文武,陈利顶. 2006. 地理-生态过程研究的进展与展望. *地理学报*, **61**(11):1123-1131.

傅伯杰. 1983. 地理学的新领域——景观生态学. *生态学杂志*, **2**(4):60-67.

赫成元,吴绍洪,李双成. 2008. 基于 SOFM 的区域界线划分方法. *地理科学进展*, **27**(5):121-127.

吉林省土地管理局. 1994. 吉林省土地资源. 北京:地质出版社.

角媛梅,肖笃宁,郭明. 2003. 景观与景观生态学的综合研究. *地理与地理信息科学*, **19**(1):91-95.

景贵和,刘惠清,许嘉巍,等. 1993. TM 卫片在吉林省双阳县的景观生态建设上的应用//张力果. 陆地卫星 TM 资料 1:50000 比例尺专题系列成图规范化研究. 北京:科学出版社:103-108.

李双成,赵志强,高江波. 2008. 基于空间小波变换的生态

地理界线识别与定位. *生态学报*, **28**(9):4313-4322.

李振鹏,刘黎明,张虹波,等. 2004. 景观生态分类的研究现状及其发展趋势. *生态学杂志*, **23**(4):150-156.

梁存柱. 2003. 东北农牧交错区景观结构、功能与区划. 博士学位论文. 长春:东北师范大学.

刘凤芹,吴伟,鲁绍伟,等. 2006. 北京密云水库集水区景观生态分类. *水土保持研究*, **13**(4):133-136.

刘惠清,龙花楼. 1998. 为生态建设服务的吉林省西部景观类型研究. *地理研究*, **17**(4):389-397.

倪健,郭柯,刘海江,等. 2005. 中国西北干旱区生态区划. *植物生态学报*, **29**(2):175-184.

倪绍祥,蒋建军,查勇,等. 1995. 基于卫星影像解译的华中地区自然景观分类与制图. *长江流域资源与环境*, **4**(4):337-343.

邵国凡,张佩昌,柏广新,等. 2001. 试论生态分类系统在我国天然林保护与经营中的应用. *生态学报*, **21**(9):1564-1568.

唐立娜,王庆礼,代力民,等. 2008. 辽宁东部山区林地生态分类系统. *应用生态学报*, **19**(1):20-24.

王桥,王文杰. 2006. 基于遥感的宏观生态监控技术研究. 北京:中国环境科学出版社.

王仰麟. 1996. 景观生态分类的理论方法. *应用生态学报*, **7**(增刊):121-126.

吴绍洪,杨勤业,郑度. 2002. 生态地理区域界限划分的指标体系. *地理科学进展*, **21**(4):302-310.

肖宝英,陈高,代力民,等. 2002. 生态土地分类研究进展. *应用生态学报*, **13**(11):1499-1502.

肖笃宁,李秀珍,高峻,等. 2003. 景观生态学. 北京:科学出版社.

肖笃宁,钟林生. 1998. 景观分类与评价的生态原则. *应用生态学报*, **9**(2):217-221.

许嘉巍,刘惠清. 1990. 吉林省中西部沙地景观生态类型与景观生态区的划分//东北师范大学地理系自然资源研究室. 吉林省中西部沙化土地景观生态建设. 长春:东北师范大学出版社:57-65.

杨勤业,吴绍洪,郑度. 2002a. 自然地域系统研究的回顾与展望. *地理研究*, **21**(4):407-417.

杨勤业,郑度,吴绍洪. 2002b. 中国的生态地域系统研究. *自然科学进展*, **12**(3):287-291.

郑度,葛全胜,张雪芹,等. 2005. 中国区划工作的回顾与展望. *地理研究*, **24**(3):330-344.

郑度. 2008. 中国生态地理区域系统研究. 北京:商务印书馆.

周华荣. 1999. 新疆北疆地区景观生态类型分类初探. *生态学杂志*, **18**(4):69-72.

Bailey RG, Hogg HC. 1986. A world ecoregions map for resource reporting. *Environmental Conservation*, **13**:195-202.

Bailey RG. 1987. Suggested hierarchy of criteria for multiscale ecosystem mapping. *Landscape and Urban Planning*, **14**:313-319.

Bailey RG. 1989. Explanatory supplement to ecoregions map of the continents. *Environmental Conservation*, **16**:307-309.

Bailey RG. 1996. Multiscale ecosystem analysis. *Environmental*

- Monitoring and Assessment*, **39**:21–24.
- Brinkman R, Smyth AJ. 1973. Land Evaluation for Rural Purposes. ILRI 17. Wageningen.
- Bryan BA. 2006. Synergistic techniques for better understanding and classifying the environmental structure of landscapes. *Environmental Management*, **37**:126–140.
- Burrough PA, Gaans PFM, MacMillan RA. 2000. High-resolution landform classification using fuzzy k-means. *Fuzzy and Systems*, **113**:37–52.
- Burrough PA, Wilson JP, Gaans PFM, et al. 2001. Fuzzy k-means classification of topo-climatic data as an aid to forest mapping the Greater Yellowstone Area, USA. *Landscape Ecology*, **16**:523–546.
- Carmean WH. 1996. Forest site-quality estimation using forest ecosystem classification in northwestern Ontario. *Environmental Monitoring and Assessment*, **39**:493–508.
- Carranza ML, Acosta ATR, Stanisci A, et al. 2008. Ecosystem classification for EU habit distribution assessment in sandy coastal environments: An application in central Italy. *Environment Monitoring and Assessment*, **140**:99–107.
- Carter RE, Mackenzie MD, Gjerstad DH. 1999. Ecological land classification in the southern loam hills of south Alabama. *Forest Ecology and Management*, **114**:395–404.
- Cleland DT, Avers PE, McNab WH, et al. 1997. National hierarchical framework of ecological units// Boyce MS, Haney A, eds. 1997. Ecosystem Management Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources. New Haven: Yale University Press:181–200.
- Coops NC, Wulder MA, Iwanicka D. 2009. An environmental domain classification of Canada using earth observation data for biodiversity assessment. *Ecological Informatics*, **4**:8–22.
- Dolan BJ, Parker GR. 2005. Ecosystem classification in a flat, highly fragmented region of Indiana, USA. *Forest Ecology and Management*, **219**:109–131.
- Ecological Stratification Working Group. 1996. A national ecological framework for Canada. Ottawa.
- FAO Forestry Department. 2001. Global Ecological Zoning for the Global Forest Resources Assessment 2000. Rome.
- FAO. 1976. A Framework for Land Evaluation: Soil Bulletin 32. Rome.
- Farina A. 1998. Principles and Methods in Landscape Ecology. London: Chapman & Hall.
- Forman RTT. 1995. Land Mosaics: The Ecology of Landscape and Region. New York: Cambridge University Press.
- Hanson DS, Hargrave B. 1996. Development of a multilevel ecological classification system for the State of Minnesota. *Environmental Monitoring and Assessment*, **39**:75–84.
- Hargrove WW, Hoffman FM. 2005. Potential of multivariate quantitative methods for delineation and visualization of ecoregions. *Environmental Management*, **34**(suppl. 1):39–60.
- Hutto CJ, Shelberne VB, Joens SM. 1999. Preliminary ecological land classification of the change ridges region of south Carolina. *Forest Ecology and Management*, **114**:385–393.
- Lek S, Guégan JF. 1999. Artificial neural networks as a tool in ecological modeling: An introduction. *Ecological Modelling*, **120**:65–73.
- MacMillan RA, Pettapiece WW, Nolan SC, et al. 2000. A generic procedure for automatically segmenting landforms into landform elements using DEMs, heuristic rules and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, **113**:81–109.
- Nadeau LB, Li C, Hans H. 2004. Ecosystem mapping in the lower foothills subregion of Alberta: Application of fuzzy logic. *Forestry Chronicle*, **80**:359–365.
- Naveh Z. 2007. Transdisciplinary challenges in landscape ecology and restoration ecology – An anthology. Netherlands: Springer:253.
- Pojar J, Klinka K, Meidinger DV. 1987. Biogeoclimatic ecosystem classification in British Columbia. *Forest Ecology and Management*, **22**:119–154.
- Sims RA, Corns IGW, Klinka K. 1996. Introduction – Global to local: Ecological land classification. *Environmental Monitoring and Assessment*, **39**:1–10.
- Udvardy MDF. 1975. A classification of the biogeographical provinces of the world// IUCN. 1975. IUCN occasional paper No. 18. Switzerland.
- Walley WJ, O'Connor MA. 2001. Unsupervised pattern recognition for the interpretation of ecological data. *Ecological Modelling*, **146**:219–230.
- Wang Y, Parajuli S, Lemke D, et al. 2006. Forest land classification using isocustering procedure: An exploratory analysis // Prisley S, Bettinger P, Hung IK, eds. 2006. Proceedings of the 5th Southern Forestry and Natural Resources GIS Conference. Georgia: University of Georgia:106–114.
- Watson RT, Heywood VH. 1995. Global Biodiversity Assessment. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wolock DM, Winter TC, Memahon G. 2004. Delineation and evaluation of hydrologic-landscape regions in the United States using geographic information system tools and multivariate statistical analyses. *Environmental Management*, **34**(suppl. 1):71–88.

作者简介 杨久春 女, 1983年生, 博士研究生。主要从事遥感和景观生态分类研究。E-mail: yangjiuchun0830@163.com
责任编辑 刘丽娟
