



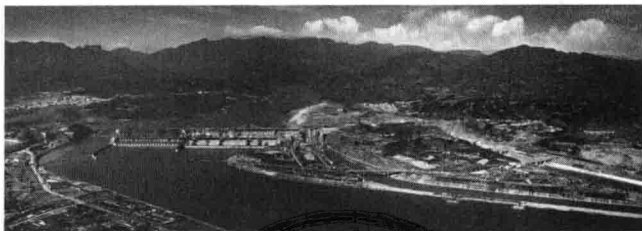
三峡工程 对洞庭湖区湿地景观格局及生态健康的影响

杨利 著

湖南师范大学出版社

◇湖南省自然科学基金项目《三峡工程运
景观格局的影响及生态健康研究》(编号 12JJ6032)资助

◇湖南师范大学博士出版基金资助



三峡工程 对洞庭湖区湿地景观格局及生态健康的影响

杨利 著



湖南师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

三峡工程对洞庭湖区湿地景观格局及生态健康的影响/ 杨利著. —长沙:
湖南师范大学出版社, 2013. 8
ISBN 978 - 7 - 5648 - 1337 - 6

I. ①三… II. ①杨… III. ①洞庭湖—湖区—沼泽化地—景观生态环境
—研究 IV. ①P942. 640. 78②X321. 264

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 164917 号

三峡工程对洞庭湖区湿地景观格局及生态健康的影响

杨 利 著

◇责任编辑: 何海龙

◇责任校对: 胡晓军

◇出版发行: 湖南师范大学出版社

地址/长沙市岳麓山 邮编/410081

电话/0731. 88853867 88872751 传真/0731. 88872636

网址/http: //press. hunnu. edu. cn

◇经销: 湖南省新华书店

◇印刷: 长沙超峰印刷有限公司

◇开本: 710mm × 1000mm 1/16

◇印张: 11. 5

◇字数: 170 千字

◇版次: 2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

◇书号: ISBN 978 - 7 - 5648 - 1337 - 6

◇定价: 28. 00 元

序

洞庭湖是我国第二大淡水湖泊，对长江水情有着重要的调节作用，并与长江形成了比较稳定的江湖关系。然而，随着长江三峡工程的建成运行，由于长江入湖水量及时间分配等的改变，江湖关系格局发生重大变化，湖泊调节功能显著变化，湖区湿地生态系统结构和功能及健康状况也面临新的情况。多年来，许多学者从不同侧面对洞庭湖区湿地生态系统的结构、功能等开展了大量研究工作并取得了很多进展，但是，对长江三峡工程建成运行前后湖区湿地生态系统结构及生态健康状况变化的系统研究尚不多见。

杨利博士自 2007 年进入湖南师范大学资源与环境科学学院攻读博士学位以来，以三峡工程建成运行为背景，利用近 30 年不同时点的遥感影像数据，结合实地调查资料和文献资料，在充分吸收前人研究成果的基础上，运用多种定量分析方法，对洞庭湖区土地利用与湿地景观生态系统的演变开展较深入的研究，撰写形成其博士学位论文《三峡工程建成后洞庭湖区湿地景观变化及生态系统健康评价研究》。毋庸置疑，该成果在湿地景观生态系统演变的机理分析、生态系统健康评价指标体系筛选等方面还有待进一步的深入研究，但是，这并不影响该成果作为比较全面系统地研究洞庭湖区湿地生态系统在三峡工程建成运行后的景观变化及生态系统健康状况变化的开拓意义，成果中关于湿地景观格局演变研究的思路、生态系统健康状况评价的

方法体系等对今后洞庭湖区湿地生态系统相关研究有较大的借鉴意义，同时，成果中关于湿地景观变化和生态系统健康评价的一些结论也可供政府有关部门决策时参考。

写了以上这些话，既是对杨利博士顺利毕业和著作出版的祝贺，同时也祝愿杨利博士在既有成果基础上，学术研究更上一层楼。

谢炳庚

2013年7月26日于麓山之缘

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 选题背景及意义	(1)
第二节 国内外研究进展	(2)
第三节 研究内容和研究尺度	(15)
第四节 研究方法	(17)
第二章 研究区域概况	(27)
第一节 自然及社会经济概况	(27)
第二节 洞庭湖区湿地景观分类	(33)
第三章 研究区湿地景观格局变化数据处理及湿地生态健康信息提取	(38)
第一节 数据来源与处理	(38)
第二节 湿地生态系统健康评价信息提取	(45)
第四章 三峡工程运行前后洞庭湖区湿地景观格局变化	(53)
第一节 景观格局分析数据基础	(53)
第二节 三峡工程运行前后洞庭湖区湿地景观类型面积变化	(62)

第三节	三峡工程运行前后洞庭湖区湿地景观格局动态变化特征	(69)
第四节	三峡工程对洞庭湖区湿地景观格局演变影响分析	(83)
第五章	三峡工程运行后洞庭湖区湿地生态系统健康空间差异评价	(96)
第一节	评价指标体系构建	(96)
第二节	洞庭湖区湿地生态系统健康空间差异分析	(104)
第六章	三峡工程运行前后洞庭湖区湿地生态系统健康时间动态变化	(119)
第一节	评价指标体系建立	(119)
第二节	洞庭湖区湿地生态系统健康时间动态变化评价	(126)
第三节	三峡工程对洞庭湖区湿地生态系统健康的影响	(140)
第七章	结论与讨论	(150)
第一节	主要研究结论	(150)
第二节	研究创新与问题讨论	(153)
参考文献		(157)
后记		(177)

第一章 绪 论

第一节 选题背景及意义

洞庭湖位于长江中游荆江南岸、湖南省的东北部，是我国第二大淡水湖。北有松滋、太平、藕池和调弦（已于 1958 年堵口）四口分泄荆江的水流；南、西接纳湘、资、沅、澧四水，东有边缘小河注入，“容纳四水、吞吐长江”，是一个吞吐型的过水湖泊，对长江中游调蓄洪水起着重要作用。

三峡工程是中国、也是世界上最大的水利枢纽工程，是治理和开发长江的关键性骨干工程，举世瞩目。三峡工程和洞庭湖息息相关的水系联系，使得三峡工程对洞庭湖区产生一定的影响。三峡工程运行后，水库的调蓄功能，将使原来的江湖关系发生重要变化，也使洞庭湖的水文及水质状况发生一系列的改变。

洞庭湖区湿地是我国最大的淡水湖泊湿地景观生态系统之一，对调节长江流域生态环境具有无可替代的多种功能和作用。随着长江三峡水利枢纽蓄水运行，洞庭湖区天然湿地的演变趋势已成为人们关注的焦点问题。在三峡水库运行初期，三口分流随长江干流冲刷、沿程水位下降而减少，进入三口分洪道的泥沙大为减少，泥沙颗粒也将细化；与此同时，三峡水库将在“蓄清排浑”的原则下实施调度：汛期（6~9 月）降低坝前水位以利防洪、

排沙；汛后一般 10 月开始蓄水，11 ~ 12 月水库保持满蓄，按入库流量下泄；枯季（1 ~ 4 月）水库补水发电，仅枯水年跌至枯水限制水位；汛前 5 月份逐步调至汛期限限制水位。在此调度原则下，10 月份水库下泄流量较以往同期明显减少；在枯水季节水库下泄流量将有所增加；5 月份左右为了腾出库容迎接汛期的到来，下泄流量会较以往同期有明显增加。三峡水利工程的运行调度，使得水库下游径流量在年内发生了明显的变化，并引起三口径流量、水位的变化，使洞庭湖区湿地的冲淤分布、洲滩出露时间、动植物生长环境等发生变化，这些变化必然会对洞庭湖区的湿地景观格局演变产生深远的影响，并进一步影响洞庭湖区湿地的生态系统健康。因此，研究三峡工程建设及运行对洞庭湖区湿地的景观格局及洞庭湖区湿地生态系统健康的影响，正确认识洞庭湖区湿地生态系统的发展趋势对于洞庭湖区湿地保护工作以及指导洞庭湖区人民正确调整生产生活活动，具有很强的现实意义。

第二节 国内外研究进展

本研究是基于三峡水利工程建设背景下的洞庭湖区湿地景观格局变化及生态系统健康评价的研究。景观生态学、三峡工程、湿地生态系统健康评价等相关研究的全面系统梳理，能为本研究提供理论支撑。景观生态学的相关研究是进行湿地景观格局变化分析的理论基础，三峡工程的相关研究对于探讨三峡工程建设对洞庭湖区湿地的影响有一定的借鉴作用，湿地生态系统健康评价研究是实现洞庭湖区湿地生态系统健康时空评价的依据。

一、景观生态学研究

（一）景观生态学的发展

1939 年，德国地植物学家 Troll 为更好地迎接大尺度上格局与过程的关

系将“景观”概念引入生态学领域，首次提出了景观生态学（Landscape Ecology）的概念（Naveh 和 Lieberman, 1994）。Troll 认为，景观生态学是一种综合研究的特殊观点，是对特定地段生物群落及其与环境间复杂因果关系的研究，这种因果关系在特定的景观格局和不同等级的自然空间中，存在着明显的表现（Naveh 和 Lieberman, 1994）。Naveh 和 Lieberman 等认为，景观生态学研究景观空间结构和形态特征对生物及人类活动的影响（Naveh 和 Lieberman, 1994；肖笃宁, 1999；Farina, 1998；傅伯杰, 2001），景观生态学强调格局、生态学过程与尺度间的相互作用，具有较强的多学科和综合性特征（Turner, 1989；Pickett 和 Cadenasso, 1995；邬建国, 2000）。1998 年，国际景观生态学会（International Association for Landscape Ecology, 简称 IALE）将景观生态学定义为：是对不同尺度上景观空间变化的研究，包括导致景观异质性的生物、地理和社会因素，是一门自然科学和人类科学的交叉学科。

20 世纪 50 年代，景观生态学研究在中欧地区迅速发展，荷兰、德国、捷克等国先后展开了以土地作为研究对象的景观生态学研究（肖笃宁, 1991）。1967 年，首次景观生态学国际学术研讨会在捷克召开，标志着景观生态学正式形成。这一时期的景观生态学研究，主要以土地资源调查与利用、自然资源保护与管理等目的为主，基础理论发展很快，同时，系统论、控制论、信息论等理论与技术手段也在研究中不断引入（史培军, 2000；傅伯杰, 2001）。但直至 20 世纪 70 年代末，景观生态学研究仍局限于欧洲地区。

1982 年，IALE 成立。此后，美国的景观生态学研究迅猛发展，形成了以 Forman 和 Tuner 等为代表的北美景观生态学流派。与欧洲景观生态学的地理学起源不同，美国景观生态学家强调景观结构的空間异质性，注重定量分析方法如数学模型和 3S（RS、GIS、GPS）等现代技术手段的应用，以及对景观格局、过程、功能间关系的研究（赵羿和李月辉, 2001）。北美景观

生态研究的兴起,促进了国际景观生态学的发展。目前,景观生态学研究的内容已经成为全球变化、生物多样性保护和可持续发展三大全球热点问题的重要组成部分(邬建国,2000)。

我国景观生态学研究起步较晚。1981年黄锡畴和刘安国分别在地理科学上发表《德意志联邦共和国生态环境现状及保护》、《捷克斯洛伐克的景观生态研究》;1983年林超将 Troll (1966) 的《景观生态学》和 Neef (1981) 的《景观生态学发展阶段》译成中文(陈昌笃等,1986);1984年黄锡畴在地理学报上发表《长白山高山苔原的景观生态分析》,揭开了我国景观生态研究的序幕。1989年10月,我国第一届景观生态研讨会在沈阳召开;1990年肖笃宁等将 Forman 和 Godron 的《景观生态学》译成中文在科学出版社出版;1991年肖笃宁主编的《景观生态学——理论、方法及应用》出版;2000年李秀珍的 *Purification Function of Wetlands: Spatial Modeling and Pattern Analysis of Reduction in the Liaohe Delta* 在荷兰出版;2001傅伯杰、陈利顶等的《景观生态原理和应用》出版。特别在最近几年,国内景观生态学研究获国家自然科学基金资助的项目逐年增多,内容涉及生物多样性保护、土地利用/土地覆盖变化、城市规划等多个领域,以及土壤学、地质学、地理学、水文学、气象学、经济学等多个学科,并在西部大开发、青藏铁路建设、长江流域生态治理等国家重大项目中,发挥了重要作用。

(二) 景观格局研究

景观格局(Landscape pattern)也叫景观结构或景观的空间结构,主要是指景观要素的组成、类型、大小、形状、数量、物质和能量等的分布,即景观要素间的空间相互关系(丁圣彦和梁国付,2004)。景观格局是景观异质性的具体表现,又是包括干扰在内的各种生态过程在不同尺度上作用的结果(张秋菊等,2003)。研究景观格局,就是要从看似无序的景观变化中发现潜在的有意义的秩序或者规律(李哈滨和 Franklin, 1988)。

景观生态学研究景观格局与生态过程的相互作用,其核心内容就是探讨

景观尺度上的异质性问题（张秋菊等，2003）。由于景观格局既是景观异质性的体现，又是各种生态过程在不同尺度上作用的结果（傅伯杰等，2001），因此景观格局研究也是景观生态学研究的核心，以及景观生态学家关注的焦点（Forman 和 Godron, 1986; Gardner et al., 1987; O'Neill et al., 1988; Turner, 1989; Turner 和 Gardner, 1991; 肖笃宁, 1999; 傅伯杰, 2001）。景观功能（Landscape function）反映景观格局与生态过程间的相互作用，以及景观单元间的相互作用；景观动态（Landscape dynamic）反映景观结构和功能在时间尺度上的变化，包括景观结构单元的组成成分、多样性、形状和空间分布变化，以及由此导致的物质、能量和生物在分布与运动上的差异，是各种自然和人为因素综合作用的结果。

目前，国内关于景观格局的研究较多，在内容和技术上不断创新，但其研究内容仍主要集中在空间异质性问题（包括景观指数及其空间统计学特征分析）和时间异质性问题两个方面（张秋菊等，2003）。具体包括：

1. 景观要素的组成和结构特征，如景观要素的类型数、各景观要素所占面积比、斑块形状等。
2. 景观内各斑块的联系与相关性。
3. 景观格局的变化动态。
4. 景观格局在不同尺度下的变化。
5. 景观格局与功能的相互关系等。

综合当前景观格局研究现状，其重点和方向主要体现在如下四个方面。

1. 通过对景观格局变化特征的分析，探讨景观格局变化对景观功能、生态过程的干扰，为资源利用、环境管理和生态治理服务。这类研究最为常见，如 Sousa（2004）等通过监测欧洲 8 个国家不同土地利用类型的变化，揭示出不同景观对生物多样性的影响；Aviron 等（2005）通过比较法国西部灌丛的变化，研究了灌丛景观格局变化对生物多样性的影响；Loehle 等（2005）分析了美国东南部地区森林景观格局变化对生物多样性的影响；

Abdullah 等 (2005) 就马来西亚 Selangor 州景观格局变化对生态系统退化影响进行了分析; Burel 和 Baudry (2005) 对法国 Brittany 半岛 Rennes 北部地区农业景观格局变化进行了分析; Zurlini 和 Zaccarelli (2005) 等对意大利北部地区植被和人文景观格局变动研究; 王根绪等 (2002) 对黄河源区景观格局与生态功能动态变化开展了研究等。

2. 通过分析景观格局与气候、水文现象变化间的相互关系, 研究景观格局变化对区域水循环和环境效应的影响。这类研究也较为常见, 如 Collins 等 (2005) 对英格兰中东部地区 Kennet 流域景观格局和水文特征变化及其相互间关系的研究, Haase 等 (2005) 在长期监测德国中部 Saxony 地区景观格局变化的基础上, 对景观格局变化环境效应的探讨, 林勇等 (2004) 对景观格局变化后和干旱区半干旱区水资源可持续利用模式的分析, 邓慧平等 (2003) 对长江上游源头区梭摩河流域土地覆被变化水文效应的模拟, 李崇巍等 (2005) 对岷江上游地区景观格局变化及其生态水文特征影响的分析, 王夏晖等 (2005) 在农业流域“汇”型景观结构对径流调控作用方面的研究等。

3. 通过对景观格局变化特征的分析, 研究景观格局变化的驱动力及其驱动机制。国外学者如 Leonie 等 (2006) 对澳大利亚 Brigalow 地区景观格局变化驱动力的分析, Schneeberger 等 (2007) 对瑞士境内阿尔卑斯山北麓地区景观格局变化及其驱动力的分析; 国内陈利顶等 (1997) 对黄河三角洲地区人类活动影响下景观格局变化的驱动力分析, 陈康娟等 (2002) 以长江中游四湖地区作为研究对象, 对人类活动影响下湿地景观格局变化机制的分析, 彭茹燕等 (2003) 以新疆和田河中游地区作为研究对象, 进行的人类活动对干旱区内陆河流域景观格局变化影响的研究。

4. 强调对研究内容的完善和技术方法的创新。随着系统论、信息科学、3S 技术以及数学方法在研究中的不断引入, 此类研究愈发常见。国外 Etter 等 (2005) 对哥伦比亚低地区生态景观的研究, Ernoult 等 (2006) 对法国

从鲁昂到勒阿弗尔塞纳河洪泛区的景观格局变化及其对生物多样性影响和驱动力分析方法的研究, Annette Bar 等(2007)对农业景观格局指标及其应用的探讨等。国内陈文波等(2002)对景观格局指数分类、应用以及构建的研究, 王让会等(2003)对遥感信息提取和分析技术手段的研究, 张秋菊和傅伯杰等(2003)对景观格局研究内容、研究方法、驱动力分析方法的研究, 李秀珍等(2004)对不同景观格局指标适用性的研究, 陈建军等(2005)对景观格局定量分析中数据源、识别方法、解释过程等不确定性的分析等。

(三) 景观格局研究方法

景观格局研究过程由三个步骤组成: 首先是景观数据的收集和处理(如野外考察、测量、遥感图像处理等); 其次将景观数字化并选择具体的研究方法; 最后是对分析结果进行解释和综合。其中遥感影像解译过程是研究工作的基础, 主要为景观格局变化分析提供数据资料和图件。景观格局的研究方法主要分为三种: 景观格局描述方法、景观格局变化分析方法和景观格局变化的驱动力分析方法。

1. 景观格局描述方法

景观格局描述方法主要有三种: ①文字描述; ②图、表描述; ③景观格局指数描述。其中, 指数描述方法为美国橡树岭国家实验室科学家在 20 世纪 80 年代后期发明, 并在此后得到了广泛应用(Krummel, 1987; Turner 和 Gardner, 1991)。景观格局指数描述方法不但可以直接比较各景观要素在空间分布上的差异, 而且还可以用来描述其在时间序列上的动态变化。景观格局指数描述方法与 3S 技术结合是目前研究景观格局变化规律、建立驱动力分析模型的最有效手段。

景观指数描述景观格局变化, 可以从斑块(patch)、斑块类型(class)(由若干个斑块组成)层次、景观镶嵌体(landscape)(由若干个斑块类型组成)三个层次上进行。因此, 景观格局指数也相应地分为三个层次: 斑

块水平指数 (patch-level index)、斑块类型水平指数 (class-level index) 以及景观水平指数 (landscape-level index)。斑块水平指数包括斑块面积、形状、边界特征以及其与其他斑块的距离等; 斑块类型水平指数包括斑块的平均面积、平均形状指数、面积和形状指数标准差等; 景观水平指数除上述各种斑块类型水平指数外, 还包括多样性指数 (如 Shannon-Weaver 多样性指数、Simpson 多样性指数、均匀度指数等) 和聚集度指数等。

景观格局指数由于数量众多, 且缺乏统一的分类标准, 不同研究者的认识也不相同。Forman (1986) 把描述斑块的指数分为两类, 即描述斑块形状的形状指数 (Shape index) 与描述斑块镶嵌的相对丰度 (Relative richness)、优势度 (Dominance index) 和分维数 (Fractal dimension) 等。Hulshoff (1995) 则认为景观指数可分为格局指数 (Pattern index) 和变化指数 (Changing index); 前者包括斑块类型、数量及形状指数; 后者包括斑块数目变化率等。由于学科的不断发展, 各种景观指数还在不断推陈出新。

许多研究者发现, 部分景观指数的生态学意义并不明确, 有时甚至是相互矛盾。有些指数来自单纯的数理统计或拓扑计算公式, 在表征不同景观要素及其组合的结构形态时缺乏具体的生态学意义。多数景观指数间并不满足相互独立的统计学要求; 而且研究的目的不同, 各景观指数的适用程度也不一样 (陈文波, 2002)。李秀珍 (2004) 曾经运用空间模型对若干景观指数与湿地生态功能间的关系进行研究, 发现一些指数在不同的条件下会呈现出不同甚至相反的特点。因此, 运用景观指数时, 不但要考虑单个指数的描述能力和适应性, 还要将其置于整个指数体系中予以综合考虑, 并注意其对影像资料分辨率的敏感度。

2. 景观格局变化分析方法

景观格局指数的统计学特征比较法。景观格局指数是高度浓缩的景观格局信息, 能够量化反映景观结构的组成、空间配置等多种特征。尽管其数目繁多, 但基本上可以划分成五种类型: 信息论类型、面积与周长比类型、简

单统计学指标类型、空间相邻或相关类型及分维类型。目前,计算景观指数最常用的软件主要是 Fragstats, APACK 以及 Patch Analyst。对景观格局指数进行统计学特征分析,以及对景观格局变化驱动机制进行分析时,较为常用的软件有 SPSS 软件系统、SAS 软件系统、地统计学分析软件系统等,其中以 SPSS 软件系统应用最为广泛。运用 SPSS 等统计分析软件,可以方便地计算出各景观指数的统计学特征,并对各指数的统计学特征进行时空变化比较,从而快速方便地得到区域景观格局的时空变化趋势。但由于多数指数间的相关程度较高,研究中如果同时对多个指数进行比较,则只会增加工作的繁杂程度,不会对景观格局变化分析提供出更多的信息。因此,进行景观格局指数的统计学特征比较时,要切合实际精选指数,以确保信息体现充分,比较效果良好。

马尔柯夫 (Markov) 转移矩阵分析法。马尔柯夫链是一种特殊的随机运动过程,它反映景观格局由 T 时刻向 $T+1$ 时刻状态转化的系列过程。这种转化要求 $T+1$ 时刻的状态只与 T 时刻的状态有关。如对景观中的基质、斑块与廊道等景观要素间的相互转换,采用马尔柯夫 (Markov) 转移矩阵模型,可以简单明了地对不同历史时期的调查和监测数据进行比较,并计算出景观格局变化的方向和速度。如 Daiyuan Pan 等 (1999) 应用马尔柯夫转移矩阵对加拿大魁北克 Haut-Saint-Laurent 地区 1958—1993 年景观单元转换的研究,胡志斌等 (2004) 对岷江上游地区 1995—2000 年间景观格局变化方向和强度的分析,郭丽英等 (2005) 运用马尔柯夫转移矩阵对陕西榆林地区不同土地景观类型之间相互转化情况的研究等。

景观格局变化动态模拟分析法。无论是景观格局指数的统计学特征比较法,还是马尔柯夫转移矩阵分析法,都只能分析景观格局变化在某一时期内表现出的外在特征,无法表达出它们内在的驱动机制,并演示出其在未来的变化趋势。3S 技术在研究中的广泛使用,为应用细胞自动机模型来模拟景观格局变化的动态过程,提供了强有力的技术支撑。有研究人员以此为基

础,采取模拟、评估和综合法对景观格局变化的过程进行模拟,如 Clarke (1997) 与 White (1997) 分别运用细胞自动机模型对城市景观变化过程的模拟等。动态模拟法有助于对景观格局长期变化过程的监测和跟踪,在大中时空尺度景观格局变化的动态预测中尤为有效。

3. 景观格局变化的驱动力分析方法

景观格局变化的驱动力是指引发景观格局改变的自然和社会经济因素。傅伯杰等(2001)将驱动力因子归纳为自然因子和人文因子两大类。自然因子包括气候、水文、土壤等,人文因子包括人口变化、技术进步、政治经济体制变革、文化价值观念改变等。景观格局变化过程中,这两类因子在不同的时空尺度上发挥出不同层次的作用。如肖笃宁(2001)分析了辽东湾滨海湿地景观格局变化的驱动机制。

景观格局变化的驱动力还可以按其作用的大小分为两类,即主导驱动力和非主导驱动力。判别景观格局变化的驱动力,是景观格局变化驱动力机制研究的基础。目前,常见的判别方法主要是典型相关分析与逐步回归分析。典型相关分析作为判别景观驱动力因子最有效的工具,其原理就是通过计算两组变量的相关系数(将格局变化的驱动因子作为自变量,各景观指数作为标准变量组),揭示出两组多元随机变量间的相关程度,如张明(1999)对陕西榆林地区土地利用结构变化驱动因子和驱动机制的分析,Daiyuan Pan 等(1999)对加拿大魁北克 Haut-Saint-Laurent 地区 1958—1993 年间景观格局演变自然驱动力分析等。

二、湿地生态系统健康研究

(一) 湿地生态系统健康内涵

20 世纪 40 年代,英国学者 Leopold 最早提出了土地健康(land health)的概念,20 世纪 60 年代,将其进一步提升为景观健康(landscape health)。20 世纪 80 年代后期加拿大学者 Schaeffer 和 Rapport 正式提出生态系统健康