

·学科进展与展望·

山地-绿洲-荒漠系统耦合关系研究的新进展

王让会 张慧芝 黄青

(中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

[摘要] 依托西部干旱区自然地理背景,提出了山地-绿洲-荒漠系统(MODS)耦合关系的概念及原理,分析了典型MODS的时空特征与动态变化,以及三者之间的物质循环、能量转化和信息传递的过程,阐述了MODS相互作用及协调共生机制。地貌类型与气候特征决定耦合类型的基础和框架,水文特征决定耦合类型的空间格局,植被类型反映耦合类型的外貌,土壤状况制约耦合类型的功能,人为活动影响耦合类型的演变过程。MODS界面过程与水分、土壤、空气等介质密切相关,而水是自然界物质循环和能量转化以及信息传递的主要媒介。以水为核心的水盐、水热以及水土关系的紊乱,制约了水域生态系统的稳定性。

[关键词] 山地-绿洲-荒漠系统(MODS), 干旱区, 水文过程, 界面, 耦合关系

1 引言

“中国西部干旱区山地-绿洲-荒漠系统耦合关系”研究,是“中国西部干旱区生态环境演变与调控研究”项目(G19990435)中课题9“西部干旱区生态环境综合研究”课题的重要组成部分,该研究瞄准国家需求,注重解决国家生态与环境安全的重大问题,在西部干旱区生态与环境的基础理论与方法研究等方面取得了新进展,为西部生态与环境建设提供科学支撑。

MODS耦合关系是研究干旱、半干旱地区山盆体系一系列特征及其过程的重要桥梁。通过研究系统之间过渡带的特征,特别是水资源的形成与转化、能量的分配与生产力以及各种信息的传递与反馈,揭示有关系统界面上所发生的物理过程、生物过程等生态过程,探讨区域资源的承载力、环境容量以及生态安全的机理和阈值。在此基础上,应用卫星遥感技术,结合地理信息系统,研究三大系统的景观格局,分析其时空结构及其功能,应用现代建模理论及方法,构建适合干旱、半干旱区三大系统物质流、能量流及信息流变化过程的定性或定量模型。同时,通过研究构建了西部干旱区MODS耦合关系概念模型;建立了人工与自然耦合生态系统的模式识别

方法,分析了天然绿洲与人工绿洲土壤的理化性状,拟合人工与天然绿洲耦合生态系统水盐平衡节点;按水资源形成、转化、消耗、积蓄和排泄规律,并结合地貌和植被特征,研究干旱区流域生态系统类型,提出了以河流廊道建设、植被景观建设和绿洲景观建设为核心的内陆河流域生态建设途径;通过对气候变化规律与水资源开发利用阶段与绿洲演变与生态平衡关系的研究,阐述生态景观演变的基本过程。

MODS耦合关系的研究,为国内外干旱区相关领域的研究提供了重要的借鉴。MODS耦合关系的原理与方法,特别是系统耦合功能及其界面过程,对于生态系统的综合调控具有重要理论价值,对于干旱区生态建设的实践具有重要的指导意义。

2 干旱区MODS耦合关系的主要进展

2.1 研究了干旱区MODS的特征及生态系统耦合关系的一般规律

干旱区生态系统耦合关系的特征差异表现在水热状况、景观带谱、小气候效应以及人为活动等方面。在特定的区域上,经度、纬度、海拔以及下垫面的特征是决定系统耦合特征最为基本的要素;而自然地理要素的变化,则是区分和判定耦合关系及其类型的重要因素。在MODS的耦合过程中,地貌类

本文于2005年6月23日收到。

型与气候特征决定耦合类型的基础和框架,水文特征决定耦合类型的空间格局,植被类型反映耦合类型的外貌,土壤状况制约耦合类型的功能,人为活动影响耦合类型的演变过程。依据自然地理学与景观生态学等学科的理论与方法,结合相关原则,对具有典型意义的 MODS 耦合关系——昆仑山-和田绿洲-塔克拉玛干沙漠系统,以及天山-阜康绿洲-古尔班通古特沙漠系统耦合关系的特征进行了比较研究,并分析了 MODS 耦合关系的一般规律与模式。

在干旱区 MODS 中,三大系统具有各自的固有特征和密切的耦合关系。山地系统是干旱区水资源的形成区,也是重要的矿质营养库和生物种质资源库,绿洲系统是生产力相对较高的区域和人类赖以生存和发展的中心,而荒漠系统则是干旱区面积广阔和环境相对恶劣的区域。维护 MODS 的生态安全是干旱区生态建设和经济发展的重要基础。

2.2 阐述了干旱区山盆体系物质、能量及信息的耦合关系的特征

通过研究山地系统的水热、水盐关系以及植被、土壤等自然要素的时空特征,探讨山地系统生态景观格局的规律,辨识山地系统中信息传递的固有关系,从本质上认识干旱区山盆体系物质循环、能量转化和信息传递的特征,把握干旱区山盆体系所包含的 MODS 的生态过程。山地系统为盆地提供了丰富的粒状物质,它们是绿洲系统中土壤的重要成土母质;同时,山地系统向盆地输送了大量地表水和地下水,从而决定了天然绿洲的规模及范围,也影响了人工绿洲的发展潜力;更重要的是造就了干旱区绿洲与荒漠既相互矛盾,又协调共生的宏观格局。MODS 镶嵌共生,相互作用,共同支撑着干旱区的山盆体系。

在 MODS 中,土壤、水分、大气中的物质转化、能量传输过程中伴随着信息的传递,山地、绿洲及荒漠系统中的信息传递过程有着十分复杂的机理。太阳辐射量的变化,制约了生物以及相关环境要素的分布格局。水是自然界物质循环和能量转化及信息传递的主要介质;水资源的形成、转化、消耗过程中,与环境中的土壤、大气及生物发生水力联系,并输送了大量的泥沙、矿物质及无机盐类;系统中生物与环境通过水分要素的调节,维持着各自功能的发挥及彼此间的协调。土壤中的信息传递是通过自然变化过程与人为影响而完成的,人为的灌溉、开垦、施肥、管理等措施,直接给土壤赋以附加信息。

2.3 分析了新疆绿洲空间结构特征

以新疆绿洲为研究基础,分析了新疆“三山夹两

盆”的地貌格局所决定的新疆 MODS 的空间分布,阐述了绿洲系统物质、能量及信息融合的高效性,景观模式的明显性,生态环境的脆弱性等时空特性;提出了建立绿洲防护保障体系,实行绿洲的综合监控与管理,加强绿洲基础设施建设等绿洲发展的合理途径。

绿洲是一个自然、社会综合体,人在绿洲中从事各种生产经营活动的目的,就是利用自然界资源与环境的潜能,尽可能最大限度地转化为人类生存与发展的物质、能量及信息;同时,在社会经济活动的过程中,存在着各种信息的反馈。绿洲系统正是有了这些反馈过程,才能在人为及自然作用下不断地得以发展。从物质流、能量流、信息流的角度分析绿洲系统内部及其绿洲与山地、荒漠系统之间的关系,可以更好地把握绿洲的形成机制与演变规律,为绿洲的可持续发展奠定理论及实践依据。绿洲是干旱大气背景下的非地带性景观,绿洲景观结构及组成类型的空间分布严格受河流廊道的影响。绿洲的空间景观格局受一定区域内的自然要素及人文社会经济要素的制约,绿洲的发展规模也受到上述因素的限制,因而绿洲的景观格局是各种因子综合作用的产物。绿洲作为一个自然与社会经济系统,它散布于广大荒漠区,空间上相互分割。这种状况也不同程度的反映了绿洲的差异性、动态性、复杂性。

2.4 辨识了荒漠生态系统的信息特征

荒漠生态系统是一种相对脆弱的生态系统,它也是一种开放的、处于非平衡态的非线性系统。正是在不断交换能流、物流及信息流的过程中,输入了负熵流,才维持了系统的有序性。荒漠生态系统的信息流不仅包含着个体、种群和群落等不同水平的信息,而且所有的植物、动物、微生物及其各部分都有特殊的信息联系,从而赋予了荒漠生态系统丰富的特点。荒漠生态系统中生物与水分、植物与植物以及植物与动物之间的信息传递,是维持荒漠生态系统正常运转与实现其功能的重要方式。信息传递在荒漠生态系统的发育、维持、演化过程中,具有不可替代的作用。把握荒漠生态系统信息传递的特征及过程,对于认识干旱环境形成机制、演变规律及发展趋势,构建退化生态系统重建及恢复模式具有重要意义。

2.5 揭示了干旱区水域生态系统的水盐耦合关系规律

在分析塔里木河干流水盐随时间、空间变化的基础上,提出塔里木河流域水域生态系统的水盐耦合规律表现特征为:水量大小制约水域生态系统的

空间范围,水质的状况决定耦合的类型,农田排水影响水质的清洁程度。同时,提出水域生态系统污染控制途径。

塔里木河流域水域生态系统的水污染,是在自然及人为因素共同作用下形成的,地表径流的时空变化是水盐耦合关系发生变化的主要原因。20世纪50年代末,塔里木河河水由上游至进入台特马湖以前,矿化度均小于 1.0 gL^{-1} 。目前,上游阿拉尔河水矿化度除7、8月和10月份小于 1.0 gL^{-1} 外,其余各月矿化度超过了 3.0 gL^{-1} 。下游卡拉除了3月份河水矿化度小于 1.0 gL^{-1} 外,其余各月河水矿化度均超过了 1.0 gL^{-1} ,7月份和12月份河水矿化度达到 5.0 gL^{-1} 左右。水质评价表明,阿拉尔、新渠满和英巴扎全年平均为5级重污染水,卡拉全年为4级中污染水。塔里木河河水水质的状况及水化学的构成是水盐耦合关系的最明显标志。

塔里木河干流地区的水污染是严重的,以水为核心的水盐关系的紊乱以及水热、水沙及水土平衡的失调,制约了水域生态系统结构稳定性和功能的有效发挥。通过综合措施,控制污染、改善水质,维护水域生态系统的协调稳定,是协调水域生态系统水盐耦合关系的重要策略,也是干旱区生态环境建设的必由之路。

2.6 探讨 MODS 耦合关系的界面过程及其特征

干旱区 MODS 的耦合关系,通过系统之间以及要素之间界面的过程表现出来。系统界面上物质、能量与信息分布特点、变化特征、作用方式与相互关系,直接制约着 MODS 的结构与功能。干旱区一定土地利用与覆盖变化条件下,SPAC 中水分的变化与水热耦合关系,成为 MODS 时空特征与过程模拟研究的重要方向。山地-绿洲系统界面的特征,绿洲-荒漠过渡带的生态过程以及 MODS 综合体的界面过程,都离不开水分、土壤、空气等介质,而水是干旱区自然环境综合体中最活跃的因素,是自然界物质循环和能量转化以及信息传递的主要媒介。研究系统耦合及其界面过程对于生态系统的综合调控具有重要理论价值。

西部干旱区地域辽阔,大气的运动是 MODS 各子系统间物质、能量与信息传递的重要方式及途径。伴随着大气的运动过程,水分、热量等要素会发生相应的变化,并直接在 MODS 间形成一种适应性机制。MODS 中存在着多种界面,为了维护系统的稳定性与生态安全,提高系统的生产力,需要按照客观规律以及社会发展的需要,对系统进行调控。

由于界面过程最富有生态学意义,所以,应用生态学的反馈机制,探讨一定土地利用与覆盖条件下的调控模式与方法,成为 MODS 耦合关系研究的落脚点。

在此基础上,MODS 概念模型就具有了实质性意义。所提出的 MODS 耦合的系统模型、荒漠与绿洲系统的关系模型以及 MODS 可持续发展的模式,揭示了 MODS 耦合关系的作用和意义。

3 研究水平与创新性

本研究在探索 MODS 耦合的理论、方法、实践以及特征、规律、模式等方面均取得了创新性的进展。运用地理信息科学与景观生态学相结合的理论与方法研究干旱区山盆体系时空特征;以水文过程为主线,阐述了 MODS 界面过程与动力学机理;从耗散结构理论系统熵的变化以及生态脆弱性的角度,探讨了绿洲稳定性特征;强调了信息传递在维持生态系统正常运转中的作用,分析了 MODS 演变规律及发展趋势,构建了退化生态系统的重建与恢复模式;重点建立了和田绿洲系统的 DTM 模型以及干旱区生态系统时空耦合的概念模型,并进行了景观格局相关要素耦合关系及其数量特征的分析;提出了以绿洲景观建设为核心的生态建设方略。

本研究立足于生态环境脆弱的中国西部干旱区,探讨生态环境的演变机制与调控措施,不仅是本研究项目的既定目标,也是该课题的出发点。课题研究基于国内已有的研究成果和工作经验,借鉴国外先进的技术方法和实施手段,不仅有较高的起点;而且,部分科研思路和研究成果获得了国外同行的一致认可,在技术方法手段上已与国际接轨,学术思路和理论水平在国际学术思潮中亦有特色。本研究的创新性主要体现在以下几个方面。

3.1 首次提出山地-绿洲-荒漠系统(MODS)耦合概念及其理论与方法,拓展了地理信息科学、景观生态学等学科的研究领域。

在中国西部干旱区最大的山盆体系——塔里木盆地及其周边山系区域,应用卫星遥感手段及信息处理方法,研究天山-阿克苏绿洲-塔克拉玛干沙漠及昆仑山-和田绿洲-塔克拉玛干沙漠的时空耦合关系,阐明了 MODS 空间结构、空间过程及功能的特征,解释了中国西部干旱区山盆体系的时空特征及相关关系,揭示了三者之间的物质循环、能量转化和信息传递的过程,建立了生态系统耦合研究的理论框架。

3.2 以水资源的形成、转化、消耗为主线,探索MODS界面过程与动力学机制,提出西部干旱区生态环境演变的基本过程。

从生态水文学的角度,反映包括物质流、能量流、信息流空间扩散方式在内的MODS耦合特征;从景观生态学的角度,提出了以河流廊道建设、植被景观建设、绿洲景观建设为核心的生态建设方案;从水盐耦合关系角度,确定了天然绿洲与人工绿洲水盐平衡的节点,平衡节点的概念为描述处于同一个耦合系统中的人工绿洲与天然绿洲之间此消彼长的时间变化及其机理提供了一个研究平台。

3.3 从耗散结构理论系统熵的变化以及生态脆弱性的角度分析绿洲稳定性机制。

应用耗散结构理论揭示了干旱区MODS中能量信息的传递特征及规律,解释了干旱区MODS中水、土壤及大气信息传递的规律和特点,并揭示了系统能量变化与系统稳定性的关系。分析了干旱区生态脆弱性的主导因素,阐明了人类的开发活动与生态脆弱性的关系。利用遥感地学分析方法及景观生态学的方法对MODS中生态景观格局进行了遥感分析,并进行景观格局相关要素耦合关系及其数量特征的分析,提出了生态建设的思路。

4 现实指导意义与研究展望

山地-绿洲-荒漠系统耦合关系研究,开拓了干旱区生态环境研究的新领域,为探求生态环境演变规律提供了新思路和新方法,为生态环境调控提供

了重要理论依据。

围绕着解决国家重大生态环境问题这个目标,本课题进行了一系列的创新性探索。本研究从生态景观格局的历史演变到干旱荒漠环境的治理;从自然绿洲的安全与维护到人工绿洲稳定与发展;综合性地研究了干旱区MODS内部和系统之间的各种耦合关系,探讨了干旱区生态环境的形成机制和演变趋势;力图为西部生态建设与环境改善提供理论支持。

(1) MODS耦合关系研究,强调了生态系统“三流”与界面过程,其相关原理与规律,直接指导生态建设的宏观布局与人为调控。本研究从整体上把握MODS的物质循环、能量流动、信息传输的特点和规律,并从大尺度宏观生态景观到小尺度微观水盐耦合关系等不同层次,揭示系统的固有特征,可以为生态环境的整体布局提供强有力的理论依据和技术支持。

(2) 水盐平衡节点研究,直接指导绿洲可持续发展的客观实践。天然绿洲与人工绿洲水盐平衡节点的研究,为维持绿洲的稳定提供了重要的理论帮助和可行的有效方案,已经在渭干河流域等一些典型区的试点工作中发挥出了积极的作用。

(3) 应用生态学的反馈机制,探讨一定土地利用与覆盖条件下的MODS调控模式,成为耦合关系研究的落脚点。MODS耦合的系统模型以及MODS可持续发展的模式,具有重要的理论价值与现实意义。

(4) 关于MODS耦合关系的理论与方法,特别是要素之间,子系统之间的关系模拟与定量分析需要进一步研究与深化。

THE NEW ADVANCES OF MOUNTAIN-OASIS-DESERT SYSTEM COUPLING RELATION

Wang Ranghui Zhang Huizhi Huang Qing

(Xingjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011)

Abstract The concept and principles of mountain-oasis-desert system (MODS) are put forward based on the natural geographical background in arid zone, western China in this paper. The spatio-temporal characteristics and dynamic change of typical MODS, the process of material circulation, energy transform and information transmission among MODS and the mechanism of MODS interaction and symbiosis are analyzed. The foundation and frame of the coupling type are determined by landform types and climate characteristics; the spatial pattern of the coupling type is determined by the hydrological characteristics; the vegetation type reflects the appearance of the coupling type; the soil state restricts the function of the coupling type and the human activities influence the development course of the coupling type. Interface course of MODS is closely related to such medium as water, soil, air, etc., and water is the main media during the course of material circulation, energy transform and information transmission. The disorder of water-salt, water-heat and water-land restricts the stability of water ecosystem.

Key words mountain-oasis-desert system (MODS), arid zone, hydrological process, interface, coupling relation