

·学科进展与展望·

西部干旱区重大生态环境问题研究进展

雷加强¹ 穆桂金¹ 王立新²

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

2 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

[摘要] 在全球变化、区域气候不稳定和人为干扰等因素的共同作用下, 中国西部干旱区众多的环境科学和生态学理论问题都具有全球性典型意义。通过系统和深入研究, 重新认识了土地荒漠化机理、绿洲环境演变以及重大工程的生态建设原理等科学问题, 试验示范获得了一系列环境整治和工程灾害防护的关键技术。

[关键词] 中国西部干旱区, 重大工程环境问题, 绿洲环境变化, 土地荒漠化

中国西部干旱区东起贺兰山, 南至昆仑山, 西和北以国境线为界, 总面积约 $2.50 \times 10^6 \text{ km}^2$, 约占国土面积的四分之一。生态环境的基本特征表现为干旱的大陆性气候、山盆相间的地貌格局、广泛发育的内陆流域、荒漠性的土壤植被等, 生态系统结构为以河流为主线、绿洲为核心的山地-绿洲-荒漠生态体系, 主要生态环境问题包括土地沙漠化、土壤盐渍化、草地退化、河湖水质恶化等。围绕中国西部干旱区生态环境, 以往开展过多次综合研究, 如新疆综合科学考察(1956—1960年)、新疆荒地资源综合考察(1975—1982年)、罗布泊综合科学考察(1980—1981年)、新疆资源开发综合考察(1985—1989年)、塔克拉玛干沙漠综合科学考察(1987—1990)等, 形成系列专著。1999年国家科技部将“中国西部干旱区生态环境演变与调控研究”项目列为国家重点基础研究发展规划项目, 以期为国家西部开发生态环境建设提供理论依据和技术支撑。通过5年的研究, 在干旱区生态环境演变、土地荒漠化、重大工程生态建设等方面取得了重要进展。

1 干旱区生态环境变化

我们从千年尺度、百年尺度、树木年轮及器测记录研究了中国西部干旱区山盆格局的气候变化和绿洲环境响应, 发现过去两千年干旱区绿洲文化的兴

衰与自然环境变化和人类活动本身均有密切关系。以不同的流域为研究靶区, 剖析人与自然相互作用过程, 获悉了自然环境, 特别是气候变化和气候不稳定性对绿洲社会经济的影响以及人为扰动对绿洲环境的干预作用。

1.1 气候变化

自末次冰期以来, 中国西部环境总体上处于一种不断干旱化的发展过程, 虽然无论在千年尺度还是百年尺度都存在气候波动, 但通过冰川遗迹和湖岸地貌反映的区域水资源总量一直处于锐减趋势^[1]。树木年轮揭示的近干旱区气候在300年左右的时间尺度上, 经历了多次干、湿交替的过程^[2]。其中, 天山地区到20世纪60年代气候仍趋向于干旱化, 祁连山地区则直到目前气候仍向着暖干化发展。

近40余年来气象资料分析表明, 新疆气候发展趋势表现为持续增温增湿^[3]。新疆北部平均每十年平均气温升高 $0.3 \text{ }^\circ\text{C}$, 南部升高 $0.2 \text{ }^\circ\text{C}$, 与1961—1990年平均值相比, 最近十年, 新疆北部、南部的平均气温分别上升了 $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 。新疆北部1987—1996年平均降水量较1967—1976年和1977—1987年分别增加了16.2%和18.0%, 达到228.8 mm; 新疆南部分别增加了23.2%和30.1%, 达到94.5 mm。

国家重点基础研究发展规划资助项目和中国科学院知识创新工程重要方向资助项目。

本文于2005年6月20日收到。

1.2 绿洲环境演变

绿洲是干旱区人类赖以生存的基础,影响绿洲环境演变的因素包括自然因素和人为因素,演变过程表现为绿洲化与荒漠化的交互出现^[4],绿洲文明恰好在绿洲演变过程中发展。

(1) 绿洲演变的二重性

绿洲的发育规模、空间分布及自然属性等受干旱区山盆地貌格局控制。在自然和人为因素的影响下绿洲演变可概括为空间上的变迁和属性的演化,即具有二重性^[5]。

绿洲空间变迁包括区位迁移和范围的扩缩,分别受构造、气候以及河流地貌过程的作用。典型内流河下游绿洲的空间变迁主要受控于河道变迁,例如黑河下游河道变迁对天然绿洲的影响可以归纳为4个时段,即前居延泽时代(>3000 a BP)、居延泽时代(3000—700 a BP)、喀顺诺尔时代(<700 a BP)和额济纳时代(<400 a BP)^[5]。

绿洲属性演化主要是绿洲组成、结构与功能变化,包括土壤、水分、生物群落以及空间结构、种群结构、资源结构、消费结构与生产功能、物质和能量转化功能等变化。对塔里木盆地轮南古绿洲沉积环境信息分析表明,古绿洲经历了1400 a BP之前的河道游荡环境、1400—1200 a BP间的绿洲发育环境、1200 a BP之后的绿洲退化环境和约600 a BP以来的灌草丘风沙环境,反映了绿洲属性演化与气候变化的密切关系。

(2) 天然绿洲向人工绿洲的转变

人类对天然绿洲环境开发利用的结果是天然绿洲转变为人工绿洲,其过程称之为绿洲化过程。天然绿洲转变为人工绿洲的具体表现为:人工渠道代替天然河流,人工水库代替天然湖泊,耕作土壤代替天然土壤,人工培育物种代替天然物种,人工生态代替自然生态^[5]。

从表现最为明显的水系变化来看,天然绿洲向人工绿洲的转变过程经历了三个阶段,即自然水系时期、半自然半人工水系时期和受控人工水系时期^[6]。随之,天然绿洲多层次的斑块嵌套特性消失,以农田为主要标志的人工绿洲规则斑块形成。与此同时,天然绿洲岛屿化,生物群落简单化,系统不稳定性增强,进而引发土地荒漠化,如植被退化、土壤风蚀、水质恶化、土壤盐渍化过程加剧^[5]。

1.3 人工绿洲的气候效益

人工绿洲扩大和绿洲内部生态环境建设对气候影响极为明显^[7,8]。近50年来,绿洲内部增温幅度

和日较差均有变小趋势,降水和水汽压均有增大趋势,蒸发有下降趋势,平均风速和大风日数大幅减少,即中国西部干旱区绿洲内部气候环境变化趋向良性,这种变化存在着明显的季节性和区域性差异。

2 干旱区土地荒漠化

荒漠化是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱及亚湿润干旱区的土地退化。在干旱区土地荒漠化主要表现为土地沙漠化、土壤盐渍化、水土流失和草地退化等。显然,土地荒漠化在成因上具有多元性,在表现形式上具有多样性。

2.1 土地荒漠化成因

人类活动对土地荒漠化发生发展的贡献程度是近年十分关注的问题。通过选择反映土地荒漠化发生发展的人类活动状态变量和自然因素状态变量,建立评价指标体系,定量分析了典型区域现代土地荒漠化发生发展过程中的人为作用^[9,10]。

对塔里木河流域土地荒漠化成因评价结果表明,1949—2000年间,人类活动对土地荒漠化发展的贡献率为75%,1985—2002年间为69%,即近50年塔里木河流域土地荒漠化发生发展过程表现为以人类活动为主体驱动的基本规律和人类作用趋向减缓的总体势态。

对河西走廊现代土地荒漠化成因评价结果显示,人类活动对土地荒漠化发生发展的贡献率介于49%—64%之间,总体上人为因素对荒漠化的作用仍高于自然因素,但自然因素的作用也不能忽视,同时也反映了河西走廊地区现代土地荒漠化的驱动因素具有综合性、地域性和差异性^[11]。

2.2 土地沙漠化形成过程及其突变性

土地沙漠化是干旱区土地荒漠化的主要表现形式之一,其形成背景是干旱多风的自然环境,形成原因主要是人类对水、土、生物资源不合理的开发利用,形成过程以风沙活动为主要标志,最终结果为沙漠景观形成。

以生态响应敏感和环境问题突出的塔里木河下游为典型区,以水文过程变化引发的地下水、土壤水分、植被状况变化和以风为驱动力引发的地表形态、土壤质地变化等为特征,综合不同时期遥感数据分析和沿河流溯源采样诊断,确定了土地沙漠化过程中土壤、植被、地下水的相互关系,建立了以土壤演化为基础的土地沙漠化内源起沙及外源覆沙的发生模式,即,在强烈风蚀和极端干旱条件下,原生的沼

泽土、草甸土和吐加依土向沙化和盐化两个方向发展,最终形成内源性就地起沙和外源性覆沙的风沙土,从而阐明了在西部干旱区内陆河流下游具有普遍意义的土地沙漠化过程^[12]。

通过构建风沙土机械组成与植被盖度非线性方程,并应用折叠突变模型进行分析,发现了在土地沙漠化过程中存在两个稳定平衡点。即植被盖度低于8%左右和高于40%左右时,随植被变化,土壤中 $<0.005\text{ mm}$ 颗粒的累计质量分数变化为零,表明土地沙漠化处于稳定平衡状态;植被盖度介于8%—40%之间,土壤中 $<0.005\text{ mm}$ 颗粒的累计质量分数随植被盖度增大而增加,表明土地沙漠化处于不稳定过渡状态,其中植被盖度为24%左右时突变容易发生。根据地下水深度与植被盖度关系计算,植被盖度分别为8%、40%和24%左右时,地下水深度大致为8 m、4 m和6 m左右,即土地沙漠化发生的突变临界植被盖度和地下水位分别为24%和6 m^[13]。

2.3 典型地区土地荒漠化状况评价

通过建立以沙包高度、沙包密度和植被盖度为评价指标的4级评价体系,对塔里木河下游土地沙漠化状况进行评价。评价结果表明,轻度沙化地占总沙化面积的17%,主要分布在旧河堤上,大多为尚有胡杨林生长之处;中度沙化地占总沙化地面积的26.3%,主要分布在干涸的河流两侧,沙包类型以灌丛沙包为主;强度沙化地占总沙化面积的39.6%,大多分布在河间地上,地表的植被盖度低;极强度沙化地也占总沙化面积的17%,其主要特征是沙包的高度大多为150—300 cm,沙包的密度较大。对比分析结果表明,1959—1992年,年均有1.46%的未沙化和轻度沙化土地发展为更高层次的沙化土地,强度和极强度沙化土地年均增加0.76%;1992—2000年,年均有3.79%的未沙化和轻度沙化土地发展为更高层次的沙化土地,而强度和极强度沙化土地年均增加0.93%,反映了近10年沙漠化扩展速度加快。

在额济纳绿洲荒漠化评价采用风蚀和盐渍化综合评价。其中,风蚀评价指标选用植被盖度和地表形态,盐渍化选用植被盖度和盐斑密度,之后按两者叠加后的最高级评价荒漠化程度。评价结果表明,未荒漠化土地占1.5%,轻度荒漠化占7.5%,中度荒漠化占26.8%,重度荒漠化占58.4%,极重度荒漠化占5.8%。荒漠化空间格局呈现沿河条带状分布,离河越远,荒漠化程度越高,反映出荒漠化发展与地表径流存在的密切关系,而在绿洲内部零星出

现的荒漠化程度高的斑块,则和过度放牧和人为砍伐有关。

3 重大工程风沙危害与防治

沙漠面积约占全球陆地面积的三分之一,我国是世界上沙漠分布最多的国家之一,大部分沙漠分布于西部干旱区,其中包括塔克拉玛干沙漠和古尔班通古特沙漠。随着社会经济发展和资源开发利用的需要,近年来在沙漠中建成包括道路、水利、油田等工程。在强烈风沙活动作用下,工程安全运行受到巨大威胁。因此,沙漠地区工程风沙危害防治是一个亟待解决的重要课题。

3.1 孕灾环境与成灾机理

从风动力条件、地形地貌特征、沙物质来源状况等致灾环境方面,结合工程特点,分别研究了流动沙漠、固定半固定沙漠、戈壁风沙危害形成的环境背景,阐明了其各自风沙危害形成过程的异同,即,流动沙漠地区的流沙直接侵入危害、固定半固定沙漠地区的沙面活化侵入危害、戈壁地区的风沙流滞留侵入危害。同时,依据工程形状和风沙环境,将塔里木沙漠公路沿线划分为5个大区、4个等级、7种类型,新疆北水南调工程沙漠段沿线划分为6个大区等。

在总结流动沙漠、固定半固定沙漠、戈壁三种下垫面风沙运动规律的基础上,将工程风沙危害划分为3种具体表现形式,即风蚀危害、风沙流滞留积沙危害和沙丘前移压埋危害;通过监测地形地貌、防沙体系、工程性状对地面风场、输沙率、沙面蚀积、沙丘移动的影响,揭示了3种风沙危害的形成过程:风蚀危害的原因有受阻沙栅栏底部的反向掏蚀和后部的正向吹蚀、沙丘迎风坡的正向吹蚀和落沙坡前部的反向掏蚀、在沙脊线前后反向风的迎面吹蚀;风沙流滞留积沙危害主要源于来自防沙体系内外形成的风沙流遇阻、堆积所形成的沙埋危害;沙丘前移压埋危害的形成一方面是防沙体系外围沙丘前移形成的压埋危害,另一方面是防沙体系内部沙丘截获风沙流中的沙物质并形成以落沙坡前移压埋草方格^[10,11,14]。

3.2 重大工程防护体系建设技术

通过对风沙环境致灾能力值和防沙体系受灾程度值的计算和建模分析,综合评价了塔里木沙漠公路机械防沙体系的防沙效益,揭示了沙漠公路沿线五大地貌单元和三个地貌部位的差异性;针对防沙存在的问题,从防沙体系结构完善和全线整体防沙效益提高等方面出发,提出了“均衡布设”、“因害设

防”和“以固为主”的机械防沙体系优化原则;结合现场试验与实地监测,提出了不同地貌部位及地貌类型防沙体系优化结构布局的四种模式,即高大复合沙垄垄体或哑口路段“以固为主”、过渡区路段“阻固结合”、高大复合沙垄间稀疏沙丘(垄)路段“以阻为主、阻固结合”、高大复合沙垄间平沙地路段“阻、固、输结合”的防沙体系布局模式。

针对塔里木沙漠公路沿线特殊环境条件,通过试验示范研究,形成了融高矿化度育苗技术、流沙种植技术、咸水灌溉技术、管理养护技术等为一体的,就地利用高矿化度地下水灌溉的流沙地造林技术体系。结合塔里木沙漠公路立地条件差异性研究,确定了塔里木沙漠公路防护林生态工程建设的“因害设防、阻固结合的三大结构布局模式”、“以防沙为主、兼顾其他功能的植物种配置模式”、“依托沙漠公路地下水、相对均匀布井的供水方案”^[15]。从而为南北贯通塔克拉玛干沙漠的塔里木沙漠公路防护林生态工程建设提供了理论依据和技术支撑。

针对新疆北水南调工程古尔班通古特沙漠段沿线环境特点,在对土壤含水率时空分布和自然植物时相变化监测的基础上,通过植物种选择、林带结构优化、种植技术方法确定和试验示范区建设,形成了利用降水形成悬湿沙层进行无灌溉造林技术体系。以此技术体系为支撑,在古尔班通古特沙漠腹地建成长达 20 km 的沙漠明渠生物防沙试验示范工程。

在对敦煌莫高窟风沙危害类型与戈壁风沙流运动特点进行研究的基础上,提出了在敦煌莫高窟顶部空间上建设由阻沙区、固沙区和输沙区组成的、以机械、生物、化学为主的“六带一体”防护体系的技术方案。

4 结 语

中国西部干旱区具有世界干旱环境最典型的意义。首先是典型山盆格局的自然环境,然后是耦合于山盆之间的、典型的绿洲生态系统,不仅地域辽阔,自然环境因素复杂,生态类型多样,而且社会经济发展建设中的环境问题突出。系统的科学考察和长期的观测实验积累使我们对干旱区的环境以及生态问题的认识有了显著提高,但是在众多的重大科学问题和关键技术面前,科学和技术工作者的任务仍然十分艰巨。从科学意义上讲,对干旱化的动力机制及其过程的研究仍然需要突破建立相关关系的认识,对陆地生态系统的隐域性特征及其在区域环境变化背景上的表现,以及对全球变化的响应规律

研究还要更加系统和完整,对山盆生态体系的资源消耗规律以及物质和能量转化机理等研究需要进一步量化;从国家需求讲,中国西部干旱区无论是在能源方面还是在生存空间上都属于未来的重要基地,绿洲永远是各种基地建设与发展的核心,以生态安全为目标的干旱区资源开发利用与工程建设,亟待科学理论的指导和配套的技术体系支撑。

参 考 文 献

- [1] Mu Guijin, Yan Shu, Endo K. Environmental change in the Northwest China during the last 2000 yr and its possible impact to the migration of the Silk Road. *Chinese Jour of Arid Land Res*, 2000, 12(3): 183—192.
- [2] 袁玉江, 穆桂金, 何清. 夏干萨特树轮年表中降水信息的探讨与 326 年降水重建. *生态学报*, 2002, 22(1): 2048—2053.
- [3] 袁玉江, 穆桂金. 天山山区近 40 年春季气候变化特征与南、北疆的比较. *干旱区地理*, 2004, 27(1): 47—51.
- [4] 穆桂金, 刘嘉麒. 绿洲演变及其调控因素分析. 第四纪研究, 2000, 20(6): 539—547.
- [5] Mu Guijin, Endo K, Sohma H et al. A Preliminary Study on the Evolution of the Tail-lakes Related to the Migration of the Lower-reaches Channels, Heihe, Inner Mongolia, China. *Proceeding of Hei-he Oases Study, International Symposium on Heihe Oases, Kyoto University 2003*, 23—32.
- [6] 樊自立, 穆桂金, 马英杰等. 天山北麓灌溉绿洲的形成和发展. *地理科学*, 2002, 22(2): 184—189.
- [7] 杨青, 雷加强, 魏文寿等. 人工绿洲对夏季气候变化趋势的影响. *生态学报*, 2004, 24(12): 2728—2734.
- [8] 杨青, 何清. 西天山山区气候变化与灌区绿洲气候效应. *冰川冻土*, 2003, 25(3): 336—341.
- [9] 李香云, 王立新, 张予舒等. 干旱区人类活动对土地荒漠化驱动作用定量研究. *资源科学*, 2004, 26(6): 1—8.
- [10] Lei Jiaqiang et al. The blown sand disaster to the Tarim Desert Highway in Xinjiang. *China, Science in China (Series D)*, 2002, 45(Supp.): 165—173.
- [11] 雷加强等. 塔里木沙漠公路风沙危害形成研究. *干旱区研究*, 2003, 20(1): 1—6.
- [12] Wang Lixin et al. Changes of characteristics in process of land desertification. *Proceedings of SPIE*, 2003, 4890: 187—192.
- [13] 章予舒. Prospect of Applying Catastrophe Theory in Desertification Study-A Case study of land desertification of Green Corridor in Lower Reach of The Tarim River. *干旱区地理*, 2003, 26(Supp.): 54—59.
- [14] Lei Jiaqiang et al. The characteristics of aeolian environment and its impacts on engineering Construction in the Gurbantonggut Desert. *China, Proceedings of SPIE*, 2003, 4890: 277—244.
- [15] Lei Jiaqiang et al. The Design for Shelter-forest Project of the Tarim Desert Highway in Xinjiang. *China, Proceedings of the China-EU Workshop on Integrated Approaches to Desertification*, 2003, 274—279.

(下转 276 页)

总之,重大研究计划的形式对生命科学研究是一个十分好的资助形式。2002年批准的课题虽然只进行了2年,已经取得了突出的成绩。建议在总结的基础上,继续和加强对该重大研究计划的支持。

A BRIEF INTRODUCTION ON THE PROGRESS OF SYSTEMATIC STUDIES ON MAIN BIOLOGICAL EVENTS IN THE EUKARYOTES

Yang Zhengzong

(*Department of Life Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085*)

Abstract In this article, the author gives a brief introduction on the general status of second round program on "Systematic Studies on Main Biological Events in the Eukaryotes" that was approved in 2001, and initiated in 2002, and summarizes the progression and achievements of the projects within the program after two years of execution. Based on some problems occurred in the projects and the evaluation in middle phase, the author suggests that the management of the projects during late phase be enhanced and the cross-talk and fusion between different research fields be encouraged.

Key words mayor research plan, eukaryotes, progress, review

(上接 271 页)

PROGRESS OF STUDY ON SIGNIFICANT PROBLEMS OF ECO-ENVIRONMENT IN CHINA WEST ARID LAND

Lei Jiaqiang¹ Mu Guijin¹ Wang Lixin²

(*1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011;*

2 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101)

Abstract Legionary theoretic problems of eco-environment in China West Arid Land, which are related with the multi-process of global change, local climatic instability and human disturbance, are typical for worldwide. Latest focused series study had new knowledge on the mechanism of desertification, evolution of oasis environment and principle of eco-construction for magnitude projects. Experimentation related with the projects achieved a series of key technology on the environmental renovation and protection from drifting sand disaster.

Key words China West Arid Land, environmental problems of magnitude projects, evolution of oasis environment, land desertification