

# 防治荒漠化的“三圈”生态-生产范式机理及其功能

慈龙骏<sup>1</sup> 杨晓晖<sup>1</sup> 张新时<sup>2,\*</sup>

( 1. 中国林业科学研究院林业研究所,北京 100091 2. 中国科学院植物研究所,北京 100093 )

**摘要:** 防治荒漠化的“三圈”生态-生产范式,是干旱生态系统优化与重建的新结构。根据在鄂尔多斯和新疆等地的研究和实践,从干旱生态系统结构、过程和功能来讨论荒漠化防治的“三圈”范式。地理圈层结构(地理地带性)是“三圈”范式的自然地理背景。从宏观尺度和功能方面划分,“三圈”范式在空间尺度上有大“三圈”和小“三圈”之分,大“三圈”控制洲际范围的荒漠化扩展及沙尘暴蔓延,小“三圈”则以控制区域性风沙活动、沙尘暴和就地起沙的危害。防治荒漠化工程是复杂的多元组合和多功能的系统,我国西北地区受荒漠化影响严重,宏观的大“三圈”与多区域的小“三圈”有机结合,形成圈层相护、层层设防的严密防护与生产系统,有效地控制大范围风沙危害、改善地方气候与小气候,并对发展经济,提高人民生活发挥重要作用。因此,“三圈”范式的概念与结构既是以自然地理地带性为基础,又是人类对自然、环境与生态系统格局的规律认识,更是科学的人类恢复、重建干旱区生态环境与可持续发展的生态设计范式。

**关键词:** 沙尘暴;人类影响;生态设计;干旱、半干旱和干燥的亚湿润区

文章编号: 1000-0933(2007)04-1450-11 中图分类号: Q143 文献标识码: A

## The mechanism and function of “3-Circles”—— an eco-productive paradigm for desertification combating in China

CI Long-Jun<sup>1</sup>, YANG Xiao-Hui<sup>1</sup>, ZHANG Xin-Shi<sup>2</sup>

1 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 10091, China

2 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

*Acta Ecologica Sinica* 2007 27(4) 1450 ~ 1460.

**Abstract:** The “3-Circles” eco-productive paradigm for combating desertification is an optimized and reconstructed new structure for arid ecosystems. The structure, process/dynamic and function of the system are comprehensively based on a brand-new viewpoint of systematology. This paper studies the control, creation and feedback of the “3-Circles” paradigm for combating desertification using Chaos theory. We discuss the causes of desertification and the process of chaos. The geographical sphere structure (geographical zonality) is the natural background of the “3-Circles” ecological paradigm; the driving force of the “3-Circles” paradigm is the process of chaos. In the modern material world, the ecosystem and environment are all dominated by Chaos theory. The chaos movement exists in the complex degradation and rehabilitation processes of arid ecosystems, *i. e.* the “order comes from the chaos”. The structure of the eco-productive paradigm is divided; the big “3-Circles” mainly controls expansion of desertification and extension of large scale sandstorms; the small “3-Circles” mainly controls regional desertification and the damage produced by sandstorms while the small “3-Circles” are formed in accordance with the concrete patterns of the natural geography and social economic conditions of different types of

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30571529, 30671722)

收稿日期: 2007-02-27; 修订日期: 2007-03-30

作者简介: 慈龙骏(1935~),女,安徽桐城人,博士,研究员,主要从事荒漠化和景观生态学研究. E-mail: zcjlj@forestry.ac.cn

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xinshiz@yahoo.com

**Foundation item:** The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30571529, 30671722)

**Received date:** 2007-02-27; **Accepted date:** 2007-03-30

**Biography:** CI Long-Jun, Ph. D., Professor, mainly engaged in desertification combating and landscape ecology. E-mail: zcjlj@forestry.ac.cn

landscape ,including the oases. Chaos theory provides us with the " organic , antibacklash and flowing world" : a new holistic concept ,combating desertification requires complicated multi-functional systems. In China's northern arid areas and the areas affected by desertification ,the big " 3-Circles " and the small " 3-Circles " are the organically combined network which forms a strict protection system with mutual protective functions from circle to circle and defense from belt to belt. So that large scale effects of wind-drift sand movement are effectively controlled ,the local climate and microclimate are improved and the quality of people's lives is promoted so as to build up Northwest China. Consequently ,the concept and structure of the " 3-Circles " system is based on natural geographical zonality and provides a rationally designed ecological solution for the interaction between the human and natural environments and the patterns of ecosystems. It represents science towards the " realm of freedom" ,in which the paradigm for restoration of the environment in arid regions and for sustainable development is defined humans.

**Key Words** : sandstorm ; human impact ; ecological design ; arid ; semiarid and dry sub-humid regions

当前全球变化对地球中纬度地区的影响和复杂的人类活动等因素持续地加剧着我国干旱区( 包括半干旱和干燥的亚湿润区 ,下同 )的生态与环境恶化<sup>[1]</sup> ,如大面积土地沙化、频发的沙尘天气、土壤盐渍化的发展及水土流失的加剧。地球上生态与环境的破坏速度已远远超过自然生态恢复与重建的速度 ,人类赖以生存的自然服务功能愈益难以维持 ,生态与环境未来的可持续发展要求建立人工设计的生态解决方案<sup>[2]</sup>。生态-生产范式是指根据区域的景观( 地形、气候、植被、土壤、基质、水文等因子的结合 )有规律重复出现的复合体及其能流与物流运转途径 ,合理地配置土地利用类型与管理方式 ,以发挥其最大或最佳的生态功能、生产潜力与经济效益<sup>[3]</sup> ,建立科学合理的生态-生产范式将为防治荒漠化相关的生态工程( 包括全国荒漠化防治工程、环北京防治沙工程、“三北”防护林建设工程、退耕还林工程等 )提供科学理论支撑和至关重要的结构性保证与基础。

本文基于定位和半定位研究观测的结果 ,运用景观生态学理论分析了荒漠化过程中的系统结构、功能和动态 ,形成和发展了荒漠化地区生态-生产范式的基本概念与结构 ,即防治荒漠化的“三圈”生态-生产范式。该范式实质上是“人工设计的生态方案” ,在我国西北有一定的特殊性和普遍性 ,适应当地的荒漠化防治、农林牧工业社会发展的实践与需求。

1 “三圈”生态-生产范式建立的自然地理背景

“三圈”范式建立的基本理论是干旱、半干旱及干燥的亚湿润区的自然地理结构规律和地理地带性规律( 地理圈层结构 )。

1.1 气候的地理地带规律

干旱区生物气候类型分布格局遵循地理地带性的规律<sup>[4-6]</sup>。从西北-东南走向 ,由塔克拉玛干沙漠边缘向中部 ,在蒙古-西伯利亚反气旋的影响下 ,呈极端干旱-干旱-半干旱-亚湿润干旱-湿润等圈环分布。我国沙漠、沙地及其周边地区的沙化土地的生物气候类型不相同 ,如塔克拉玛干沙漠及其周边地区沙化土地为暖温带干旱荒漠 ,古尔班通古特沙漠及其周边沙化土地属温带干旱荒漠 ,柴达木盆地沙漠属寒温性干旱荒漠 ,藏北为高寒荒漠 ,鄂尔多斯草地沙地及广大的沙化土地为温带荒漠草原 ,科尔沁沙地及其东部沙地、松嫩平原沙化土地等属于温带半湿润地区的草原地带。

《联合国防治荒漠化公约》根据全球荒漠化气候地理地带规律规定<sup>[4,7]</sup>：“干旱、半干旱和亚湿润干旱地区是指年降水量与潜在总蒸发散之比在 0.05 ~0.65 之间的地区 ,但不包括极区和副极区”。以中国 1914 个气象站、点的 10a 气象资料为基础 ,采用国际广泛应用的 Thornthwaite 公式与气候分类方法<sup>[4,8,9]</sup> ,划分了中国干旱区生物气候类型。极端干旱区主要分布在塔克拉玛干大沙漠及西北荒漠部分地区 ,土地面积约 17.2 万 km<sup>2</sup> ,由于极端干旱区生物生产力很低 ,本文不将其计算在干旱区面积内。干旱区的分布面积最大 ,除极端干旱区外 ,分布于天山山脉以南 ,帕米尔高原以东 ,贺兰山以西 ,昆仑山脉、祁连山脉以北及青藏高原西北部的广

大地区,半干旱区东部由典型草原和荒漠草原组成,主要为半荒漠及农牧交错带呈东北到西南方向,进入青藏高原后为高寒高原和高寒荒漠。新疆北部大部为半干旱区,主要由荒漠及半荒漠组成,亚湿润干旱区北起大兴安岭西部的呼伦贝尔高原,东界接近典型草原与草甸草原之间,穿过黄土高原北部后,沿青藏高原北缘向西,然后绕过柴达木盆地抵达青藏高原西南部。

## 1.2 干旱区同心圆规律

世界上的干旱土地主要分布在地球南北回归线附近  $15 \sim 30^\circ$  之间地区,为副热带高压带的控制范围。由于青藏高原的隆起和存在,我国的干旱区、半干旱区向北推移到北纬  $35 \sim 50^\circ$ ,造成了我国西北地区一系列景观格局的改变,导致了复杂多样的生态界面或地理边缘,对丰富和造就我国干旱区地理地带多样性具有极其重要作用。

### 1.2.1 干旱区荒漠地貌同心分布的规律,是构建大“三圈”范式的地理基础

著名地质学家 V. A. Obruchev 通过考察中国和蒙古的(风成)荒漠,提出了经典的荒漠同心分布的观念<sup>[5]</sup>,蒙古-西伯利亚高压反气旋是亚洲中部最强大、频繁发生的荒漠风源系统,是亚洲中部石质戈壁荒漠-沙漠-黄土高原分布格局的驱动因素<sup>[1,5]</sup>,其基本分布规律如下(1)砾质或石质荒漠(戈壁):在反气旋控制区的中心,风力最强,冬季受西伯利亚-蒙古高压反气旋控制,气候干燥寒冷,夏季风受高山高原阻挡,气候极端干旱,不断风化产生的细粒、沙与粉尘被吹扬而形成砾质或石质荒漠(戈壁)(2)沙漠、沙地:在反气旋控制区的边缘,风力减弱,地表有少量的超旱生、旱生植物,细粉尘仍被吹走,沙被吹扬或堆积而成沙漠、沙地;(3)堆积黄土:在反气旋控制区的外围,紧靠荒漠的地方,高空中所携带的粉尘与高山山坡相遇,或在干旱区与湿润区交界处与季风湿气流接触,粉尘即降落堆积成黄土,黄土高原即是在干旱区外围的粉尘沉降带。

### 1.2.2 高山-盆地-沙漠/沙地相间的地貌特点,是构建区域性小“三圈”范式的地理基础

我国沙漠/沙地多处在为山地、高原环绕之中的盆地内,如塔里木盆地中的世界上流动性最大的塔克拉玛干沙漠,准噶尔盆地中的库尔班通古特沙漠,东部的毛乌素沙地、浑善达克沙地、科尔沁沙地与呼伦贝尔沙地等的分布格局皆如出于一辙。

## 2 “三圈”生态-生产范式的结构

“三圈”生态-生产范式是基于干旱区生态系统与景观的空间格局及其生态和环境因素分配与流动趋势的机理而进行优化生态管理与生态设计的生态-生产范式。它虽然脱胎于鄂尔多斯高原上的毛乌素沙地,但总体上遵循干旱地区地体圈层结构的自然地理地带规律<sup>[3]</sup>。这种以地质地貌为骨架和基质所构成的特殊干旱地形上所形成的景观通过对水分、能量、基质和盐分的再分配,制约着其上不同类型生态系统的异质性,包括生物组成种类、生产力、生物地球化学循环、生物地球物理作用过程和生物地球社会(人类活动)关系的差异,以及在景观系列上各个生态系统间的相互关系和能量、物质的交换和流通。

以荒漠化气候分区、地理圈层结构、自然区划等为依据,在不同空间尺度上形成防治荒漠化的系统圈层防护网络。

### 2.1 “大三圈”范式

“大三圈”是大尺度的荒漠化防护圈,是从全国的尺度上安排、解决土地沙化、沙尘暴和生态-生产建设的宏观格局,主要由荒漠、草原和农牧交错带3部分组成。

#### 2.1.1 干旱荒漠圈

西北和北方的干旱荒漠地带是该范式的最外圈,包括从新疆、甘肃河西走廊到内蒙古西部和蒙古国交界的沙漠戈壁、准噶尔沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和库布其沙漠等及其周边地区,该区域内沙漠的沙物质在大风的作用下,为沙尘暴的发生提供了充足的沙源,同时沙漠与绿洲间的植被带(胡杨、梭梭、柽柳等)被破坏后的沙化土地、沙漠边缘和绿洲开垦的农田,在冬春季节处于无覆被的状态,也已成为沙尘天气或沙尘暴的重要沙源和风沙危害。因此该区域的荒漠化防治的重点是保护天然植被,合理利用土地,沿各级河流、各类道路及水文网系统及有灌溉条件的地带大力营造人工林和防护林网(多带式窄林带),与沙漠(沙地)相邻地段

利用冬季闲水和夏季洪水灌溉营造防沙灌草带和防沙林带。

2.1.2 草原圈

中间的过渡圈是北方的温带草原地带,我国六大草原省区中有五个省在沙区,占全国草地面积的 57.2%<sup>[2]</sup>,全国沙区草地面积主要集中于内蒙古、新疆、青海、甘肃四省占沙区草地面积的 94%,其中退化草地约占草原总面积的 70%~80%。草原沙化是草原退化的一种重要类型,提供的沙尘物质是大范围沙尘暴的重要沙源。因此减少草原放牧的压力,通过人工种草改游牧为舍饲养畜,恢复与提高天然草原覆盖度有助于防风固沙,遏制土地荒漠化的扩展。

2.1.3 农牧交错带圈

该范式的内圈是农牧交错带或森林-草原过渡带,现代的农牧交错带大致位于东北-西南向对角线的轴线两侧,年降水量约在 400~450mm 之间。由于它的“过渡”性特点,生态系统不稳定,在自然和人为因素的双重压力下,生态系统以旱化的正反馈为主,系统的不稳定性和脆弱性不断增大,以致“沙化”日趋严重。如多伦、张北的丘陵山地,在连年旱灾的背景下,滥开垦、过度放牧、肆意樵采严重地破坏了生态环境,呼伦贝尔草甸草原的厚层黑土在滥垦与过牧后,在风的扰动下形成大面积“黑风暴”,破坏力极大。因此这些地区急需加大力度退牧还草,进而实行“人工种草,舍饲养畜”,并落实退耕还林(草)政策,增加林、草覆被,以控制土地沙化,改善人民生活。

2.2 “小三圈”范式

“小三圈”是区域性荒漠化防治和农牧业可持续发展的设计格局;“小三圈”寓于“大三圈”之中。一个地理单元、流域或一个绿洲的荒漠化防治、生态建设都可以按不同的地理地带性和防护目标来构建“小三圈”。现以鄂尔多斯沙地的“三圈”生态-生产范式为例说明。

2.2.1 鄂尔多斯沙地的地形地貌特征

鄂尔多斯高原沙地、草地属温带草原或森林草原性的半干旱气候,是一个构造隆起剥蚀的地块,其海拔高度一般在 1200~1550m,由西北向东南微斜,在高压西风带与蒙古-西伯利亚反气旋高压中心向东南季风作用区的过渡带,形成该地一系列的地理地带特征。鄂尔多斯沙地的地貌以中生代侏罗纪与白垩纪的砂岩为骨架,经过新生代第三、四纪洪积与冲积过程而形成广阔缓斜的台地,因风力的分选与搬运而发育风沙地貌遍布沙丘沙地,属于干旱区风成的戈壁-沙漠-黄土环带格局中的沙漠/沙地带。再经晚第四纪,尤其是全新世与近代的流水切割与积水而形成低凹谷地与湖盆,以及对风化和洪积-冲积物的风蚀-风积过程的风沙作用而造就今日的地表外貌,即低山(残丘)、洪积-冲积台地、冲积谷地、湖盆滩地与沙地相间的格局(图 1)<sup>[2,10,11]</sup>。

低山/残丘:白垩纪(间有侏罗纪)的绿色或红色砂岩经剥蚀而成为低山与丘陵状的梁地,一般海拔在 1500~1600m 以下,其平缓的顶部与坡地残积或坡积粗骨质的砂岩风化物基质,掺有细土,土层十分浅薄、贫瘠,当地称之为“硬梁”。西部的硬梁风化程度强,常形成缓斜的石质台地状,东南缘的低山顶部则开始有黄土状母质堆积,厚度 2~10m 不等,逐渐向黄土高原过渡。

台地:在硬梁下部与宽谷中则充填着下部为第三纪,上部为第四纪的深厚洪积物与冲积物堆积层,厚度在 10m 以上,通常为沙壤质、细沙质与砂砾质的间层,常间有厚约 20~30cm 的卵砾石层。洪积-冲积层以下经胶结很差的松软红色砂岩层过渡为中生代的基岩-砂岩、砾岩或板岩。这些洪积-冲积物形成的缓斜平坦的台地常被水蚀切割成梁丘状,当地称之为“软梁”,它们在较高和凸起的“硬梁”之下形成第二级台阶,常呈准平原状,台地边缘的局部地方还可以发现被埋藏的古土壤层。

滩地与谷地:在梁地之间或台地上被河流切割而成宽阔的河谷,或在低洼处的湖盆中形成大面积河湖冲积的滩地。其基质为细沙质或沙壤质的近代冲积物,滩地与谷地是现代侵蚀的基底,亦即前述“硬梁”与“软梁”两级台阶下的谷底。

沙地与沙丘:在台地与滩地上,基质多为沙质或沙壤质河湖冲积物,在干旱气候条件下,或由于人为活动对植被的破坏,受到风力的吹蚀形成本地区地表广泛分布的沙地与沙丘,也有第四纪初期时的固结古沙地又





温带典型草原 Typical tempera steppe		软梁地与沙丘灌丛植被的复合体 Complex of sand dunes & valleys w/o dune bush vegetation		滩地草甸 Fluvial plain meadow	硬梁地与沙丘灌丛复合体 Bushland on dune complex	覆沙软梁地上的复合农林业系统 Agroforestry system on soft ridge covered sand	滩地草甸 Fluvial plain meadow	碱湖 Alkaline lake
含百里香 的砾质土 草原 <i>Thymus mongolicus</i> gravel loam steppe	本氏针茅 + 兴安胡枝子 草原 <i>Stipa bungeana</i> + <i>Lespedeza</i> steppe	光裸的流动沙丘与丘间低 地的沙柳灌丛、苔草草甸 与油蒿 Barren crescent sand dune and valley with <i>Salix cheilo- phila</i> bush & <i>Carex steno- phylla</i> meadow	固定半固定沙丘油蒿群落与丘间低地的 沙柳灌丛 Fixed & semi-fixed sand dunes with sand sage brush, <i>Artemisia ordosica</i> , and valleys with <i>Salix cheilophila</i> & <i>S. microstachya</i> <i>Bushland</i>	潜水草甸、盐化草甸 Phreatic meadow; <i>Carex stenophylla</i> , <i>Iris ensata</i>	固定与半固定沙丘上的柠 条灌丛与油蒿群落 <i>Caragana intermedia</i> & sage brush, <i>Artemisia ordo- sica</i> on fixed or semi-fixed sand dunes	灌溉与高能量投入集约经营的林带、灌木绿篱、 果园、农作物,人工饲养地与草地、菜园、鱼塘与 饲养场的人工景观复合体 Complex of tree alley ( <i>Salix cheilophila</i> , <i>Populus</i> spp. ), Shrub fence ( <i>Salix</i> ), agricultural crops, cultivated grassland, orchid, vegetable plantation, fish pond, domestic animal farm, etc.	滩地草甸与盐化草甸 Phreatic meadow; <i>Achnatherum splendens</i> , <i>Iris ensata</i> , <i>Carex stenophylla</i>	沿岸带的桤 柳灌丛、碱 蓬群落, 光 裸碱滩 <i>Temerix bush</i> <i>Suaeda</i> <i>corniculata</i> , <i>S. heteroptera</i> comm. barren alkalis







白垩纪与侏罗纪砂岩 构成的硬梁, 土壤为栗 钙土或 Ustolls Hard ridge of Cretaceous & Jurassic sandstone covered by kastanozems or ustolls	第四纪或第三纪洪积冲积层构成的台地构成的“软梁”, 常覆有更新 世的风积沙丘, 潜水位通常在 5 ~ 10m 以下, 丘间低地为 0.5 ~ 1m Quaternary wind-drift sand dunes moving rapidly or fixing by bush vege- tation above the “soft ridge” of Quaternary or Tertiary flood & alluvial deposit. Groundwater table is 0.5 ~ 1m in the valley and 5 ~ 10 or more for sand dunes	第四纪冲积或湖相沉积平 原构成的滩地, 潜水位在 0.5 ~ 1 ~ 3m, 多少盐渍化 Quaternary fluvial & lacus- trine deposit plain. Ground- water table is 0.5 ~ 1 ~ 3, m/l salinized	白垩纪与侏罗纪砂岩构成 的硬梁, 覆以沙丘 Hard ridge of Cretaceous & Jurassic sandstone covered by sand dunes	第四纪洪积冲积层的台地“软梁”, 有沙层覆 盖。潜水位 2 ~ 5m 或更甚, 通常为淡水 Soft ridge of Quaternary flood & alluvial deposit covered by sand. Groundwater table is 2 ~ 5m or more, usually fresh water	现代冲积或湖相沉积 平原。潜水位 0.5 ~ 1m, 盐渍化 Quaternary fluvial & la- custrine deposit plain. Groundwater table is 0.5 ~ 1m, salified/alkali- fied	湖岸带与河 漫滩平原, 常具盐碱 壳, 局部 积水 Lake shore zone & floor plain with salt/alkali- crust and water
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

基岩与母质符号:

Symbols of parent rocks, materials and soils

-  中生代砂岩 Mesozoic sandstone
-  风化母质 Weathering parent material
-  沙砾壤土 Sandy gravel loam soil
-  第四纪冲积与湖相沉积  
Quaternary fluvial & lacustrine deposit

-  第四纪风积沙 Quaternary Aeolian sand
-  晚第四纪洪积冲积层  
Late Quaternary flood & alluvial deposit
-  碱湖 Alkaline lake
-  潜水位 Groundwater table

植物符号

Symbols of plants














-  杨树 *Populus* spp.
-  旱柳 *Salix matsudana*
-  沙柳 *Salix cheilophila*  
*S. microstachys*
-  柽柳 *Tamarix*
-  柠条 *Caragana intermedia*
-  黑沙蒿 *Artemisia ordosica*
-  芨芨草 *Achnatherum splendens*
-  本氏针茅 *Stipa bungeana*
-  百里香 *Thymus mongolicus*
-  甘草 *Carex stenophylla*
-  碱蓬 *Suaeda corniculata*, *S. heteroptera*
-  玉米、农作物 Maize, crops
-  人工草地、饲料地 Cultivated grass

图 1 内蒙古毛乌素沙地的景观, 植被, 地形, 基质与土壤剖面图

Fig. 1 Schematical transect of vegetation and associated Topography, parent rocks, materials and soils typical for the Mu Us Sandland

被风蚀而活化。沙地的西北部多为流动性很大的裸露新月形沙丘链,东南部的沙丘则多为半固定和固定的中等高度(5~10m)的沙丘或沙地,但在植被遭到严重破坏的情况下则有高大的流动沙丘出现。

就上述鄂尔多斯地形的相对高度而言,由低山/残丘-台地-滩地是一个由高及低的三级“台阶”系列,因而也是一个地球重力作用导致的地表与地下径流由上而下的水分逐级集中系列。在相同的大气降水条件下,高处第一“台阶”的低山/残丘的降水大部分(40%~60%)形成地表径流和地下径流泄到下两级“台阶”的台地和滩地中去,所余的水分不到一半,作为第二“台阶”的广阔的洪积-冲积台地的所得大气降水,一部分流到下一“台阶”-滩地,但又得到上一“台阶”的一部分径流水分补给而大致持平或略有亏欠,唯独第三“台阶”的滩地不仅保留了大部分的大气降水,又集流了上两“台阶”大面积的外来径流水而成为隐域性的湿润区或灌溉区。这一地形、地貌和基质所决定的水分格局异域性就成为鄂尔多斯沙地生态、植被和农林牧业生产“三圈”结构的地球物理机制。

2.2.2 “三圈”生态-生产范式的建造及植被恢复重建的生态原则

根据多年的研究及当地经济发展的需要,防治荒漠化“三圈”范式的建造及植被恢复重建时应遵循或考虑下列生态原则<sup>[11,12]</sup>：

(1)以“水”为核心,生物气候条件为基础的生态规划原则

干旱、半干旱地带,水分是植物生长发育的限制因素。不同的生物气候区,水、热条件差异很大;“三圈”生态-生产范式的建造应根据不同的生物气候区进行规划。“三圈”生态范式建设首先对区域进行立地条件类型划分,第二对每种类型按“三圈”范式的标准进行规划设计,第三按规划要求选择良种壮苗,第四认真准备造林(种草)地。

(2)以灌木为主,丰富生物多样性原则

适地适树,选择优良树种是生态建设的保证。干旱半干旱地区的地理地貌条件、沙基质的普遍覆盖与水分特点决定了该地区的优势植物生活型是耐风沙与干旱的灌木,而不是中生的乔木和草原禾草。灌木类地上部分多分枝的木质化茎干,低矮稠密的植冠适应于风沙作用,具强大的景观形成作用。沙生灌木的根系分布广或深,其根茎比可超过1倍以上,远比中生乔木为高,不仅能较好地固定与维护沙层并从广大体积的沙层中吸收较多水分或深达潜水层。在强度石质化的生境,灌木根系可深入岩石缝吸取深层水分,从而形成密集的灌木群落。这些灌木不仅具有防风、固沙、耐旱、耐盐碱,能在各种生态条件严酷、贫瘠与粗砾基质的地段形成绿色覆盖层。若干种灌木又是良好的饲料,尤其是豆科的灌木可通过共生根瘤菌固氮在贫瘠基质上生长,且可增加土壤肥力。灌木在干旱、半干旱地区沙地自然生态-水分平衡、风-水-沙作用力的平衡,群落演替阶段的相对平衡以及畜-草平衡等方面均居于关键的地位和作为生态系统中不可缺的结构成分,对稳定与保护生态环境和支持草地畜牧业方面具重要意义。灌丛可供放牧和多次刈割,在合理的经营下可成为持续的多年生饲料基地和遭到气候灾害时的救荒之用。

在建设“三圈”范式时,选择树种十分重要,尊重本地区生物多样性的规律与特色。半干旱区沙地是灌木的王国,恢复与重建退化的沙地植被,对灌木应给予充分的重视和确立其地带性地位的优势,同时对当前广泛使用的杨树要特别慎重的清理和选择。

(3)防护林体系结构、配置的原则

防护林体系建设是“三圈”生态-生产范式的重要组成,是保护一个区域、一个单元的生物(或生物+非生物)防护网络,形成层层设防的综合体系,多年研究证明,完整的防护体系需具备以下原则<sup>[13]</sup>：①体系的综合性和完整性；②“窄林带、小林网”是干旱区防护体系中的核心。林带不是越宽越好,而需要有好的结构；③具有良好空间结构的林带,需要乔、灌、草相结合形成多层林冠和根系层,以充分进行地上的光合作用和吸取地下各层水分,保证林带最大生长量和最佳效益；④林带树种应进行混交预防病虫害；⑤干旱区林带体系建设应与农田基本建设和交通道路、河流灌排系统结合,保证高的生长量和高效益。

(4)半固定沙地及综合治理原则

风沙流是复杂的风沙物理过程 ,危害性很大。防治上采取生物和非生物结合的综合措施获得较好的效果。研究证明 ,流沙治理以半固定状态符合水分平衡的原则 ,在没有灌溉、地下水或侧方径流水分补给的条件 下建立人工植被时 ,必须考虑水分平衡 ,形成并基本上维持植被覆盖度大致在 25%(西部)、30%(中部)和 40%(东南部)的半固定沙地状态。在流动性较大的沙地 ,有时需要非生物治理措施结合 ,才可以成功 ,选用 无污染、无毒害、无副作用的非生物原料与生物治理相结合效果较好。

2.2.3 鄂尔多斯“小三圈”结构<sup>[2,12]</sup>

鄂尔多斯沙地的自然景观结构与复合农林牧系统的综合格局因地质地貌与地下水的分布而呈圈层性的配置格局 ,是沙地最显著和本质性的特征<sup>[11]</sup>。在此基础上 ,“三圈”范式的结构是在第一圈防护带的保护下 ,以软梁与中低沙丘为第二圈的复合农林牧(草)系统 ,形成若干个以滩地绿洲(第三圈)为核心的优质高产农林草生产圈层 ,它们有秩序地分布在干旱、半干旱生态 系统的大背景上 ,其比例大致为 3:6:1(图 2)。各类土地合理的分配比例应根据规划人工草地、饲料地、半人 工草地与天然草地的均衡载畜量和合理放牧强度与适当的畜群数量 ,以及农作物与林地、果园等的适当搭 配进行确定 ,但必须以不超过环境(水分、生物生产力)负 荷量并留有余地为原则。其发展方向应逐步扩大舍饲 养畜、育肥群与综合农林牧系统的产业化 ,以促进鄂 尔多斯沙地生态与经济整体上正负反馈相结合 ,产生 新的动态平衡。

第一圈 硬梁地与高大的流动沙丘群 ,以恢复和保 育天然灌(草)地 ,形成保护带和水源地

该圈位于沙地的外缘 ,占总面积的 30% 左右。硬 梁坡地上的针茅草原由于过度放牧而退化 ,生产力降 低 ,应人工辅助建立灌木带(柠条、沙棘等) ,在较湿润 的东部 ,则可种植油松带 ,在草层恢复后可有节制地分 区轻度轮牧。高的流动沙丘可播种白沙蒿等先锋植物 ,使逐步演替为半固定沙丘。在水份条件较好处则可采 用“前挡后拉”的措施 ,在垂直主风向的沙地前沿 ,播种草和小灌木 ,在沙丘的下部种植灌木带网 ,以逐渐削平 沙丘 ,改变地形 ,有利于种植。

第二圈 非灌溉或半人工“灌草林果”圈

该圈位于滩地绿洲周围的软梁台地与低矮沙丘带 ,约占全区总面积的 60% ,地貌与景观类型多样 ,目前 缺乏灌溉设施 ,不宜强度农业开发 ,而应以保护、防风治沙、水土保持为主 ,适度人工种草、舍饲养畜与径流园 林业等为发展方向。

在地形较平坦与土壤深厚的软梁台地可开发为半人工草地。建立柠条或沙柳的灌木带(2 行) ,在带间 (约 20~40m)播种草木樨、沙打旺、苜蓿或荞麦等 ,形成非灌溉的半人工二年生或多年生草地。如地形条件 许可 ,在上坡方位可建立径流集水区以向草地补充水分 ,保证较高的产草量。在地形起伏不平的软梁地则可 大量种植水平带状和有间隔的灌木带。

在有径流集水条件与土壤深厚的软梁台地与水分条件良好的低矮沙丘可建立局部的径流果园、葡萄园与 团块状树林 ,需采用各种集水技术。

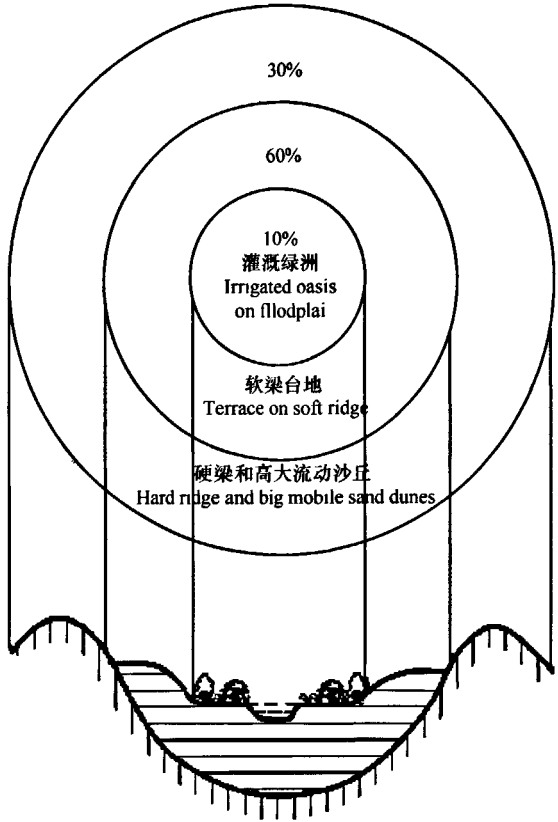


图2 鄂尔多斯沙地的景观格局与“三圈”范式  
Fig. 2 landscape patterns and “3-circles” paradigm in Ordos Sandland

大片的油蒿群落被用作天然放牧场,多因过度放牧而衰退,应进行人工种草,恢复草场以发展舍饲养畜。总之,在软梁台地与低矮沙丘上建立植被时,应特别注意种植的密度和保持足够的间距,以保证水分不致被过度消耗。

**第三圈 高产农牧业绿洲核心区**  
滩地绿洲所占面积不过 10%,但它是本地区农牧业精华所在的核心区。薄层覆沙(厚度在 30~40cm 以下)和地下水位适中(50cm 以下)的滩地是发展农林草复合系统的最适宜类型,多已被开垦为历史悠久的农业绿洲。绿洲具劳力相对集中,交通运输与电力方便的优点,可进行高投入与高产出的复合农林牧工副业,综合经营和采用各种现代化技术:温棚、地膜、高效有机肥与化肥、太阳能、风力发电等。

- (1) 绿洲农业 利用部分农地种植玉米、糜子、向日葵等粮油作物;
- (2) 大力发展人工草地 种植苏丹草、无芒雀麦、小黑麦、赖草、苜蓿、甜高粱、饲料玉米、甜菜等优良牧草,同时改良天然放牧草地,对已退化,生产力甚低的寸草滩,通过围栏分区轮牧以恢复提高其生产力,用作春、夏、秋三季优良母畜与幼畜的活动场所;对盐渍化较重的芨芨草滩与碱化的马蔺草滩亦应围栏轮牧。目前,在盐碱地和沙地上大面积种植芨芨草已有成功经验,它不仅改良土壤,而且产生良好的经济效益;
- (3) 建立果园 苹果梨、苹果、葡萄与干果,如巴旦杏、大樱桃等其它适应沙地的优良品种;
- (4) 规划乔灌木结合的防护林网与园林绿化 在风沙严重处可种植小网格的灌木(沙柳、柠条、紫穗槐等)带,在外部边缘营造宽大的草灌带,增加地表粗糙度,控制地表的风沙流;
- (5) 大力开展舍饲养畜业(羊、牛)与灌木围栏的山羊饲养场,建立饲料青贮与各种饲料加工业;
- (6) 适当发展养鱼与养禽(鸡、鸭、鹅)业。

滩地绿洲是高效益、高产出的集生态效益与经济效益为一体的生态产业带基地,形成了一个为本地区工矿业人员和农牧民提供乳、肉、蛋、禽、鱼、瓜、果、粮、油、蔬与小径材的农牧林产品基地,并发展成为生产与加工绒、毛、皮等外销畜产品的工贸基地。

3 “三圈”生态-生产范式的生态功能

防治荒漠化的“三圈”生态范式,以人工生态系统为主。“三圈”生态系统的功能是多样的,主要包括:

3.1 对全球变化的影响

“三圈”建设主要通过国家生态建设“六大工程”实现。三北地区各类森林面积增加,这不仅对于控制风沙危害,增加植被覆盖率,减少地面辐射,更由于森林作为 CO<sub>2</sub> 的汇,每亩森林每年可固定碳素 0.33~0.67 吨,对减缓全球气候变暖作出重要贡献<sup>[14]</sup>。

3.2 灌(草)带地表风沙流的作用<sup>[15]</sup>

- (1) 灌(草)带的防蚀阻沙作用  
灌(草)带的防蚀阻沙作用主要表现在改变地表面的粗糙度,增加地面对气流的阻力和对气流动能的消耗,减弱近地面层的风力,从而发挥防蚀阻沙的作用。土壤表面的粗糙度是指对气流有直接影响的一个参数,在风沙运动和土壤风蚀方面是一个十分重要的问题。根据在野外的测定(吐鲁番的灌草带)结果:不同性质的下垫面,具有不同的粗糙度几何尺寸,对于植被可以看成是一种特殊的表面粗糙率<sup>[16]</sup>。当气流进入灌(草)带以后,地面粗糙度大大提高,对气流的阻力也相应增加 17~26 倍,摩阻流速增加 4~5 倍,迫使近地面层气流产生了强烈的抬升,并随着气流进入草带距离的增加,抬高的高度也相应增加。例如在宽度为 244m 灌(草)处可将对照点 1m 和 0.5m 高度上的气流分别抬高到 3m 和 2.5m 左右,从而减少了上层气流对近地面层气流的动能量补给,降低了近地面层风速。

- (2) 灌(草)带降低风速的作用<sup>[12,15]</sup>  
气流进入植被层后,受到灌木和草类植物的摩阻,以及枝叶摇摆撞击,不仅消耗了气流的动能量,同时在植被层内乱流交换系数较对照点增加 1.2~1.5 倍,从而风速在植被层内大幅度降低。如对照点 0.5m 高度上的风速为 12.4m/s 时,植被层内的风速均在 7m/s 以下。



在草带内 ,下垫面粗糙度及风速变化随着草带的宽度增大相应增加 ,在 0.5m 高度处 ,当进入草带的风速为 12.4m/s 时 ,在距草带 53m 处为对照风速的 74.4% ,在距草带 244m 处为对照风速的 54.6%。据研究灌(草)带宽度的下限不应少于 200m(表 1)。

(3) 灌(草)带覆被率防止风蚀的作用

根据在新疆的多年测定<sup>[15]</sup> ,灌(草)带防沙作用取决于它的植被组成和覆盖度。测定在春季植物未完全展叶期 ,在植物层面 50cm 处 ,风速为 13m/s 的风蚀区 ,当植物覆盖度达 64.8% 时 ,表土免于风蚀 ,在积沙区 ,植物覆盖度需达到 40% 时 ,流沙地面不形成风沙流(表 2)。

表 1 灌(草)带降低风速的作用  
Table 1 The function of wind velocity reduction of shrub ( grass ) belts

观测点距灌草带前沿距离( m ) Distance between observation site and shrub( grass ) belts		对照 Control	53	106	159	212	244
观测点植被特征 Vegetation features in observation sites	覆盖度( % ) Coverage	0	18.30	51.70	53.00	55.30	60.70
	平均高( cm ) height mean	0	33.40	34.50	42.50	45.50	48.30
	风速( m·s <sup>-1</sup> ) Wind velocity	12.43	9.27	8.47	7.53	7.06	6.80
	为对照点( % ) % of control site	100	74.60	68.10	60.60	56.80	54.60
距地面高度 Height from earth	0.5m						
	风速( m·s <sup>-1</sup> ) Wind velocity	13.03	11.44	11.08	10.14	9.64	6.20
	为对照点( % ) % of control site	100	87.70	84.80	77.80	73.80	70.60
	1.0m						
	风速( m·s <sup>-1</sup> ) Wind velocity						
	为对照点( % ) % of control site						

表 2 植物覆盖度与土壤风蚀的关系  
Table 2 Relationship between plant coverage and wind erosion

样地号 No. of sites	植物密度 Density( 株/m <sup>2</sup> )	覆盖度 Coverage( % )	风蚀率 Wind erosion rate( % )
1	2.0	18.7	80.0
3	6.7	48.4	32.9
9	9.5	64.8	0

3.3 防护林体系综合防风沙效应

防护林体系是“三圈”生态范式的重要组成。在有灌溉条件下 ,田(园)、林(灌)、路、水系统相结合 ,形成科学的空间格局 ,维护和巩固绿洲的生态系统 ,对绿洲层层设防 ,防止风沙对绿洲的入侵和土壤次生盐渍化的威胁。

防护林体系的防护效应取决于林带的结构。林带结构取决于林带宽度、疏透度、透风系数、树种垂直分布和林网规格。林网系统防风沙的作用依赖于主林带的间距和林带的结构 ,主林带的间距不同 ,组成了不同规格的林网系统 ,其防风沙效果不同<sup>[12,15]</sup>。

根据野外观测和风洞试验<sup>[15]</sup> ,疏透结构林带(透风系数为 0.3 左右 ,林带垂直剖面均匀透光)具有最佳防护效应 ,其弱风区出现在林带后的 3~5 倍林带高的距离处 ,有效防护距离为 23~31 倍林带高处 ,平均降低风速 40%~47% ,疏透结构林带一般由 2-4-6 行林木组成 ,称为“窄林带”。

(1) “窄林带、小林网”的防护效益

小网格林带的防风作用 ,明显地优于大网格。这是由于小网格的主林带间距较短 ,气流进入林带后尚未恢复至空旷无林地风速时 ,又进入下一道林带的缘故。合理的主林带间距是以林网内不起沙为准。试验证明 ,在林带基本条件相同的情况下 ,主林带间距为 280m 的小林网内风速降低率比 500m 的大林网提高 20.2%。不同主林带间距形成林网的防风作用见表 3。

很明显 ,在风沙危害严重的地区 “ 窄林带、小林网 ”模式能发挥最佳防护作用。合理结构的“ 窄林带 ”具有良好的空气动力学效应和生物学稳定性 ,大小适宜的林带网格能最大限度地庇护林网内全部作物不受干旱、风沙和盐碱危害。

表 3 不同主林带间距形成林网的防风作用  
Table 3 effect of Windbreak belt with different inter-belt distances

项目 Item	林网 1 Windbreak network 1	林网 2 Windbreak network 2	林网 3 Windbreak network 3	林网 4 Windbreak network 4
主林带平均高 Mean height of windbreak belt( m )	7	6.6	7	8.1
主带间距 Inter-belt distance( m )	70	92	175	250
林网防护面积 Protected area( hm <sup>2</sup> )	1.8	2.33	8.8	13
网格内风速平均降低 Ratio of wind velocity reduction( % )	52.3	50.2	38.4	29.8

表 4 防治荒漠化“ 三圈 ”生态范式综合效益  
Table 4 Integrated benefits of “ 3-circles ” eco-productive paradigm for desertification combating

生态效益 Ecological benefit			经济效益 Economic benefit		
林(园)业 Forestry and orchards	牧业 Animal husbandry	农业 Agriculture	生态管理 Ecological management	生态工程系列化 Series of ecological projects	人均收益提高 ,达到小康水平 Income per capita increasing
防风治沙 Windbreak and sand fixation	禁牧养畜 Exclusion and Liveslock railing	特产农业 Special agriculture	土地利用 Land uses	速生丰产林经济林 Fast growth and cash forest	绿色文化 Green culture
减少 CO <sub>2</sub> 排放 Alleviating CO <sub>2</sub> emission	人工种草 Artificial grass-seeding	经济作物 Cash crops	水资源管理及生态用水 Water management and ecological water use	药用植物 Medicine herbs	文化素养和高尚情操 Cultural attainment
调节小气候 Modulating micro-climate	改良畜种 Animal species imrovement		结构改革 Structure reforms	深加工 Intensive processing	教育水平提高 Educational strengthening
涵养水源 Water conservation			工程设计与管理 Project designing and management		
饲料林业 Fodder forestry					
果园 Orchards					
绿化美化环境 Greening environment					
环境健康 Environment health					

( 2 ) 防护体系综合效益

防护体系是“ 三圈 ”生态范式的组成部分 ,是农、林、牧、工各业综合效益 ,各系统之间相互联系和相互影响 ,发挥生态效益和经济效益( 表 4 )。

References :

[ 1 ] Zhang X S. Boundary effects of eco-geology on the Qinghai-Xizang Plateau. In :Research Society of Qinghai-Xizang Plateau eds. Proceedings of the first symposium on the Qinghai-Xizang Plateau. Beijing :Scientific Press ,1992. 35 — 39.

[ 2 ] Palmer M A ,Bernhardt E ,Chornesky E *et al.* Ecology for a crowded planet. Science 2004 ,304 :1251 — 52.

[ 3 ] Zhang X S. Eco-economic functions of the grassland and its patterns. Science and Technology Review ,2000 8 3 — 7.

[ 4 ] Ci L J ,Wu B. Climatic type division and the potential extent determination of desertification in China ,Journal of Desert Research ,1997 ,17( 2 ) : 107 — 112.

[ 5 ] Федорович Б А ,translated by Li H ,*et al.* Geological problems in arid and loess zones ,Beijing :Scientific Press ,1958. 2 — 19.

[ 6 ] Johns T C , Carnell R E , Crossley J F ,*et al.* The Second Hadley Center Coupled Ocean-atmosphere GCM : Model Description , Spinup and Validation , *Climate Dynamics* , 1997 , 13 : 103 — 134.

[ 7 ] Ci L J. The impact of global change on desertification in China. *Natural resources* , 1994 9( 4 ) 289 — 303.

[ 8 ] Zhang X S. The potential evapotranspiration ( PE ) index for vegetation and vegetation-climatic classification ( 2 ) an introduction of main methods and PEP programs , *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* , 1989 13( 3 ) 197 — 207.

[ 9 ] Thornthwaite C W , Mather J R. Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance , Publication in *Climatology* , 1957 , 10( 8 ) 182 — 311.

[ 10 ] Department of Geography of Peking University. Commission for Integrated Survey of Natural Resources of Chinese Academy of Sciences , Lanzhou Institute of Desert Research of Chinese Academy of Sciences , *et al.* Natural Conditions and Its Improvement and Utilization in the Mu Us Sandland. Beijing : Scientific Press. 1983. 210.

[ 11 ] Zhang X S. Ecological background , principles of management and optimized models of the Mu Us sandy grasslands. *Acta Phytocologica Sinica* , 1994 , 18( 1 ) : 1 — 16.

[ 12 ] Ci L J. Desertification and its control in China. Beijing : Higher Education Press , 2005.

[ 13 ] Hare F K. Connections between climate and desertification. *Environmental Conservation* , 1977 , 4 : 22 — 26.

[ 14 ] Ci L J , Yang X H , Chen Z X. The potential impacts of climate change scenarios on desertification in China , *Earth Science Frontiers* , 2002 9( 2 ) : 287 — 294.

[ 15 ] Research Institute of Afforestation for Sand Fixation , Xinjiang Academy of Forestry. Construction of protective forest system in Xinjiang. Wulmuqi : Xinjiang People 's Press , 1980. 10 — 73.

[ 16 ] Geng K H. Blown-sand wind and mobile sand. *Journal of Geology* , 1952 25( 1 ) 21 — 39.

参考文献：

[ 1 ] 张新时. 青藏高原的生态地理边缘效应. 见 中国青藏高原研究会编, 中国青藏高原研究会第一届学术讨论会论文选. 北京 : 科学出版社 , 1992. 35 ~ 39.

[ 3 ] 张新时. 草地的生态经济功能及其范式. *科技导报* 2000 8 3 ~ 7.

[ 4 ] 慈龙骏, 吴波. 中国荒漠化气候类型划分与中国荒漠化潜在发生范围的确定. *中国沙漠* , 1997 17( 2 ) : 107 ~ 112.

[ 5 ] 费道罗维奇( Б. А. Федорович )( 苏 )等著 , 李恒, 等译. 干燥区黄土区的地理问题. 北京 : 科学出版社 , 1958 2 ~ 19.

[ 7 ] 慈龙骏. 全球变化对我国荒漠化的影响. *自然资源学报* , 1994 9( 4 ) 289 ~ 303

[ 8 ] 张新时. 植被的 PE( 可能蒸散 )指标与植被-气候分类 ( 二 )几种主要方法与 PEP 程序介绍. 1989 13( 3 ) : 197 ~ 207.

[ 10 ] 北京大学地理系 , 中国科学院自然资源综合考察委员会 , 兰州沙漠研究所 , 等. 毛乌素沙区自然条件及其改良作用. 北京 : 科学出版社 , 1983. 210.

[ 11 ] 张新时. 毛乌素沙地的生态背景及其草地建设的原则与优化模式. *植物生态学报* , 1994 18( 1 ) : 1 ~ 16.

[ 12 ] 慈龙骏, 等. 中国的荒漠化及其防治. 北京 : 高等教育出版社 , 2005.

[ 14 ] 慈龙骏, 杨晓晖, 陈仲新. 未来气候变化对中国荒漠化的潜在影响. *地学前缘* 2002 9( 2 ) 287 ~ 294.

[ 15 ] 新疆农科院造林治沙研究所. 新疆防护林体系的建设. 乌鲁木齐 : 新疆人民出版社 , 1980. 10 ~ 73.

[ 16 ] 耿宽宏. 起砂风和流沙. *地理学报* , 1952 25( 1 ) 21 ~ 39.