

西部地区荒漠生态系统空间分析

任鸿昌¹, 吕永龙¹, 姜英², 孙景梅²

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 国家林业局西北设计院, 陕西 西安 710048)

摘要: 土地荒漠化是困扰人类发展的主要问题之一, 荒漠生态系统是荒漠化地区可持续发展的基础。以资源环境数据库中的植被空间分布信息为本底, 结合最新的调查和遥感资料, 利用地理信息、遥感技术和统计手段, 对中国荒漠生态系统的空间分布格局进行了详细的分析。中国的荒漠生态系统可以分为 5 个基本类型, 15 类生态系统, 在海拔、经向和纬向的分布上都存在一定的规律性。在研究各类荒漠生态系统空间分布特征的基础上, 分析了荒漠化生态系统的总体特征。

关键词: 荒漠生态系统; 空间分异规律; 可持续发展

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X (2004) 05—0054—06

中图分类号: S288

Spatial Pattern Analysis on Desert Ecosystem in Western China

REN Hong-chang¹, LU Yong-long¹, JIANG Ying², SUN Jing-mei²

(1. Research Center for Eco-environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

2. Northwest Forest Planning Institute, Forest Administration of China, Beijing 100714, China)

Abstract: Desertification is a serious environmental problem, particularly because desert ecosystem support sustainable development in desertified regions. Based on spatial information of vegetation in an environmental database and on associated remote sensing data and survey information, the authors analyze the spatial pattern of desert ecosystems in western China. Desert ecosystems are classified into five groups and fifteen subtypes. Their spatial distribution is related to elevation, latitude and longitude. Their spatial characteristics are then presented, along with some recommendations for combating desertification.

Keywords: desert ecosystem; spatial pattern; sustainable development

1 研究背景

生态系统(Ecosystem)这一概念在 1935 年以前就被 Tansley (1935) 提出^[1], 但直到目前仍难以准确地界定, 其边界通常是模糊的^[2-3]。生态系统是一个将生物与环境作为统一体, 由生物群落中的一切有机体与其环境组成的具有一定功能、空间范围不太确定的矛盾统一体, 与周围其它系统有明显区别的营养结构、物种组成、物质循环的独立单位^[4], 可以适用于各种大小不同的生物群落及其生境^[5]。

人们对在各个层次进行生态系统研究必要性的认识日益增强, 包括自然和社会科学信息整合, 生态系统提供的全系列产品和服务^[6]。对土地退化研究的有关项目和行动也应在各机构和区域合作的基础上进行^[7]。研究中国荒漠化生态系统分布, 为以后的荒漠化地区生态系统评价, 乃至土地荒漠化的控制与治理提供基础信息, 已经成了一项重要工作。

荒漠生态系统是最脆弱、分布较广的一类系统, 是陆地生态系统的一个重要子系统, 已经引起世界范围的关注, 联合国已确定每年的 6 月 17 日为“防治荒漠化及干旱日”。随着西部大开发的到来, 对西部干旱区生态环境越来越重视。荒漠生态系统分布于地球上的干旱地区, 气候干燥, 降雨量小, 蒸发强烈, 植被以旱生和超旱生的小乔木、灌木和半灌木群落为主, 是以荒漠为基质的生态系统类型, 具有一定的结构和功能, 它在外界干扰和自身演替的作用下, 呈现出动态的特点。各系统内部进行着物能交换, 各系统之间也进行着物能交换, 并相互作用, 相互制约, 形成一定的空间格局^[8], 在空间上也呈现出一定的规律性, 包括在生态系统的“垂直”方向上、区域的“水平”方向上的分布特征和规律。

中国荒漠化土地总面积为 $2.67 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占国土面积的 27.9% (国家林业局, 2000), 占荒漠化地区总面积 80.6%, 远高于全球 69.0% 的平均水平^[9]。

收稿日期: 2004-05-19

资助项目: 国家科技攻关计划项目 (2001BA 606A); 国家林业局西北设计院资助

作者简介: 任鸿昌 (1967—), 男 (汉族), 山东郓城人, 博士。主要研究方向为土地荒漠化及其防治。电话 (010) 6291790, Email: renhch@sina.com。

土地的荒漠化严重制约了荒漠化地区乃至中国人口、资源与环境的协调发展^[9-10]。荒漠生态系统主要分布在老、少、边、贫地区, 自然条件差, 经济发展较为落后。由于受自然条件的制约, 居民大多数集中分布于绿洲、河谷、平原等地区, 广大的荒漠、戈壁和草原地区人烟稀少, 而不少绿洲农耕区人口密度超过全国水平, 有的高达 500 人/km²。有荒漠化生态系统分布的中国北方省区人口密度为 24 人/km², 在整体上超过了干旱和半干旱地区人口的理论承载极限(国家林业局西北设计院, 1996), 人类的生产、生活活动对周围荒漠生态系统的破坏非常严重。由于环境的严酷性决定了荒漠生态系统的脆弱性和不稳定性, 也正因为如此, 从荒漠生态系统的特殊功能和生态环境建设的要求考虑, 荒漠生态的研究则更具有重要的现实意义, 是解决当前中国土地荒漠化严峻形势的基础之一。

对于生态系统类型的划分, 目前尚无统一完整的分类原则。应用比较多的是根据生态系统的环境性质和形态特征划分为水生生态系统和陆生生态系统两类, 其下再根据水体理化性质对水生生态系统影响, 地貌、气候类型和植被类型对陆生生态系统影响, 作进一步细划分^[11]。生物是生态系统的核心, 没有生物就不存在生态系统, 而生物中的绿色植物是一切生物的基础, 是能流和物流的根本。环境是生物生存的依托, 与生物共同构成生态系统。因此, 根据荒漠生态系统植物群落和环境的特征, 划分为 5 种基本生态类型, 15 类生态系统(见表 1)。

表 1 荒漠生态系统类型

生态类型	生态系统
矮半灌木荒漠	含头草低山岩漠
	假木贼砾漠
	琵琶柴砾漠
	蒿属—短期生草壤漠
半乔木荒漠	梭梭沙漠
	梭梭柴—琵琶柴壤漠
	梭梭砾漠
多汁盐生矮半灌木	盐爪爪盐漠
灌木—半灌木荒漠	膜果麻黄砾漠
	驼绒藜沙砾漠
	三瓣蔷薇—沙冬青—
	四合木沙砾漠
	油蒿—白沙蒿沙漠
	沙拐枣沙漠
高寒匍匐矮半灌木荒漠	极稀疏柽柳沙漠
	垫状驼绒藜—藏亚菊沙砾漠

2 数据处理

本文以全国基础地理信息数据库为基础地理信息数据源, 利用资源环境数据库生成荒漠生态系统范

围图, 对资源环境数据库中的植被信息与 30 s 分辨率的土地覆盖图⁺和 1:25 万土地利用图进行空间叠加分析, 剔除冗余信息, 作为本次分析研究的基础数据; 以 2002 年 NOAA /AVHRR 卫星遥感数据为依据, 结合第 2 次荒漠化监测数据, 对经处理获得的基础数据中有关专题信息进行校正、更新, 得出荒漠生态系统特征数据库, 以此为基础, 对经以上过程处理的数据进行分析判定, 得出荒漠化地区生态系统分布特征和规律, 为今后从生态系统的角度进行土地荒漠化的控制打下良好的基础。

根据全国 1:25 万土地利用数据库, 对荒漠生态系统数据中明显属于非自然生态系统以及非荒漠生态系统的数据库加以剔除, 即剔除土地利用方式为农田、林地、中高覆盖度草地、水域、永久冻土、无植被地段、人工建筑用地、沼泽地; 根据 30 s 分辨率土地覆盖空间数据, 对荒漠生态系统空间数据中土地覆盖类型为森林和灌木林、沼泽、无植被或水生植被)等类型的土地加以剔除(图 1)。

3 自然分布特征

半乔木型荒漠在古尔班通古特沙漠的大部分地区、天山山脉南麓、阿拉善高原北段中部地区和柴达木盆地周边部分地区有分布, 面积 1.52 × 10⁵ km², 占荒漠生态系统的 12.40%, 破坏严重, 包括梭梭柴—琵琶柴壤漠、梭梭砾漠和沙漠 3 类生态系统, 植物种群以梭梭为主。其中, 梭梭柴、琵琶柴荒漠生态系统主要分布在准格尔盆地的南部, 在阿拉善高原和鄂尔多斯高原南部有少量分布, 面积 1.70 × 10⁴ km²; 梭梭砾漠分布于天山山脉南麓一线、准格尔盆地东端中部和阿拉善高原西端, 呈现戈壁景观, 面积 8.50 × 10⁴ km²; 梭梭沙漠主要分布于准格尔盆地中部, 是准格尔盆地中部地区的主要生态系统, 在阴山山脉西端北部也有少量分布, 面积 5.00 × 10⁴ km²。

多汁盐生矮半灌木型荒漠仅包含盐爪爪盐漠一类生态系统, 面积有 1.40 × 10⁴ km², 不足荒漠生态系统的 1.2%, 主要分布在内陆河末端平缓地区和湖相沉积区, 包括塔克拉玛干沙漠的北端和东端、柴达木盆地的东南端以及贺兰山以北的荒漠化地区, 植物群落以盐爪爪为主, 呈现盐漠景观。

灌木—半灌木型荒漠是荒漠生态系统的主要组成部分, 总面积 4.73 × 10⁵ km², 占荒漠生态系统 38.6%, 包括膜果麻黄砾漠、驼绒藜沙砾漠、三瓣蔷薇—沙冬青—四合木沙砾漠、沙拐枣沙漠、极稀疏柽柳沙漠、油蒿—白沙蒿沙漠 6 类生态系统。集中分布在东至鄂尔多斯高原、南至青藏高原北部、西至塔里木

盆地西端和北至准格尔盆地的广大地区。膜果麻黄砾漠主要分布在柴达木盆地除西南部以外其它边缘地区、塔里木盆地南端中部至甘肃西南部的青藏高原北麓沿线和塔里木盆地北端沿天山山脉南麓至内蒙古西部的两条狭长地带,面积 $2.37 \times 10^5 \text{ km}^2$,分布区以山前冲积平原为主,植物群落的主体是膜果麻黄。极稀疏柽柳沙漠生态系统面积共 $7.80 \times 10^4 \text{ km}^2$,集中分布在塔里木盆地的两片区域,其它地区仅有少量分布,植物群落以柽柳为主。油蒿—白沙蒿沙漠生态系统分布在阿拉善高原和鄂尔多斯高原,相对集中,植物群落以油蒿和白沙蒿为主,典型的沙漠化景观,面积 $1.07 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。沙拐枣沙漠生态系统集中分布于准格尔盆地的中部和西北端,面积 $2.20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。驼绒藜沙砾漠分布在鄂尔多斯高原和青藏高原的西端中部面积 $1.60 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。三瓣薔薇—沙冬青—四合木沙砾漠分布在巴丹吉林沙漠西南角,内蒙古阿拉善右旗、额济纳旗、甘肃的临泽、金塔 4 县交界处,乌兰布和沙漠与巴丹吉林沙漠过渡地带中部,乌兰布和沙漠与库布齐沙漠过渡地带,及面积 $1.20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

矮半灌木型荒漠面积 $3.20 \times 10^5 \text{ km}^2$,占荒漠生态系统的 26.2%,包括琵琶柴砾漠为主的 4 类生态系统,分布规律与灌木—半灌木荒漠相似,只是在青藏高原上没有分布,且相邻分布区的海拔比灌木—半灌木型荒漠略高。其中,含头草低山岩漠分布在天山山脉东端山麓地带和青藏高原南麓以及阴山山脉西端的岩石裸露区,面积 $9.60 \times 10^4 \text{ km}^2$;琵琶柴砾漠 $1.52 \times 10^5 \text{ km}^2$,主要分布在塔里木盆地西北、东南边缘靠近山区的地带、内蒙古和甘肃西部和贺兰山周边地区,呈现戈壁景观;蒿属—短期生草壤漠 $2.80 \times 10^4 \text{ km}^2$,主要分布在准格尔盆地的中部一条狭长地带和西段中部、北部中间地区;假木贼砾漠 $4.40 \times 10^4 \text{ km}^2$,集中分布于准格尔盆地的北端,其它地区仅有少量分布,呈戈壁景观。

高寒匍匐矮半灌木型荒漠面积有 $2.65 \times 10^5 \text{ km}^2$,占荒漠生态系统的 21.7%,在中国仅有垫状驼绒藜—藏亚菊沙砾漠一类生态系统,集中分布于青藏高原北部昆仑山和阿尔金山地区,呈现典型的高寒荒漠景观(图 2, 3)。

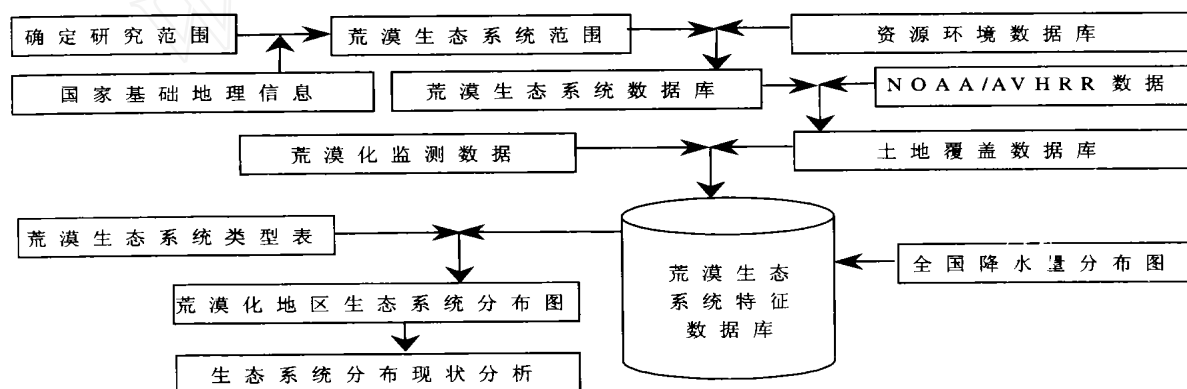


图 1 技术路线图

4 空间分异规律

4.1 荒漠生态系统随海拔高度变化

中国荒漠生态系统的分布随海拔高度的变化具有明显的规律,主要分布在 500~2500m 之间^[12]。三瓣薔薇—沙冬青—四合木沙砾漠生态系统仅分布在海拔 1500m 左右的阿拉善高原地区;垫状驼绒藜—藏亚菊沙砾漠生态系统分布在海拔 3500~6600m 范围内,在海拔 5000m 和 5600m 处集中分布,在低于 3500m 的地区没有分布,属于高山荒漠;琵琶柴砾漠虽然分布在海拔 1000~5200m 之间,但是其中,将近 50% 分布在海拔 1600m 的地区,有超过 90% 分布在 1000~2000m 范围内,在海拔 1000,

1600 和 2000m 处分布相对集中;蒿属—短期生草壤漠主要分布在 400~1200m 之间,400m 和 4800m 分别是其分布的最低和最高极限,集中分布于海拔 600~1000m;假木贼砾漠生态系统分布的高度范围在 600~3600m 之间,有近 75% 分布在 1000m 以下,海拔 600~1000m 是其集中分布区,分布规律与蒿属—短期生草壤漠相类似;含头草低山岩漠主要分布在 1600~2000m 分布在 400~2600 范围内,极端最高分布区高度是海拔 5200m;极稀疏柽柳沙漠虽然在 600~3000m 之间都有分布,但分布在 1000~1600m 之间的面积超过 91%,分布区最低和最高极限是 600m 和 3000m,在海拔 1000m 和 1600m 处集中分布;膜果麻黄砾漠在 5200 以下都有分布,超

过 95% 分布在 600~ 3 600m 的地区, 分别在海拔 1 000, 1 500 和 3 000m 高度附近有 3 个集中分布区。

沙拐枣沙漠集中分布在海拔 600~ 1 400m 和 3 200~ 3 800m 的地区; 梭梭沙漠在海拔 600m 处分布相对集中, 超过总面积的 60%, 分布区最高和最低分别是海拔 1 600m 和 200m; 梭梭柴—琵琶柴壤漠的分布规律与梭梭沙漠基本相同, 只是在海拔 1 200~ 1 400m 范围内没有分布; 驼绒藜沙砾漠随海拔高度的变化趋势不明显, 只是在海拔 1 600m 和 4 400m

两处分布比较集中; 油蒿—白沙蒿沙漠生态系统集中分布于海拔 1 600m 处, 在海拔 1 000m 处分布也相对集中的, 分布区的最高和最低海拔分别是 2 000m 和 1 000m; 梭梭砾漠分布高度范围较广, 在海拔 200~ 4 600m 之间都有分布, 在海拔 1 000m 和 3 000m 处分布相对集中; 盐爪爪盐漠生态系统的分布随高度变化规律与梭梭砾漠相似, 但范围相对小, 仅在 200~ 400, 1 000~ 2 000 和 3 000m 范围内有分布。

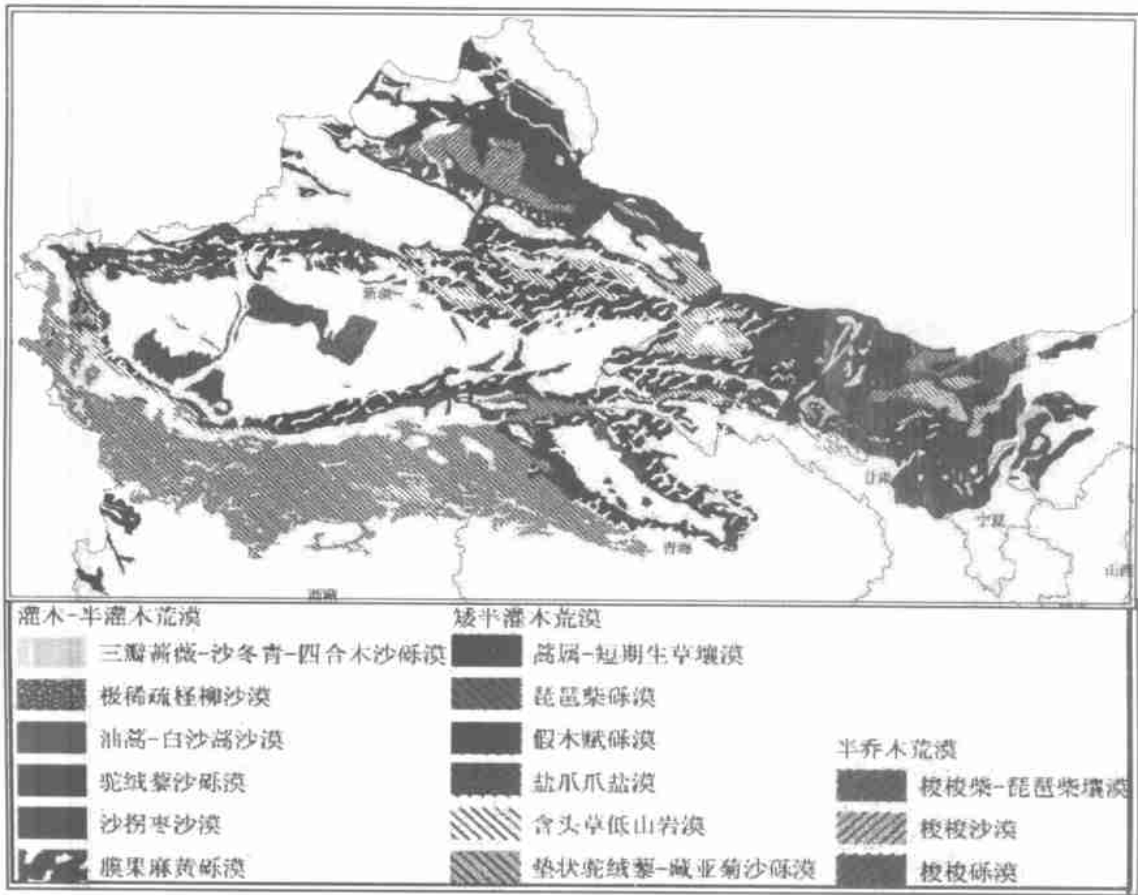


图 2 中国荒漠生态系统分布图

4 2 荒漠生态系统随纬度变化

各类荒漠生态系统的分布随纬度的变化也呈现一定的规律性, 主要分布在 33°30'N—48°30'N 之间。三瓣蔷薇—沙冬青—四合木沙砾漠生态系统仅分布在 38°00'N—40°30'N 之间; 垫状驼绒藜—藏亚菊沙砾漠生态系统分布在 33°30'N—39°30'N 范围内, 在 35°00'N—37°00'N 处集中分布; 琵琶柴砾漠虽然分布在 36°30'N—45°00'N 之间, 但是其中超过 85% 分布在 38°30'N—42°00'N 的地区, 没有明显的集中分

布区; 蒿属—短期生草壤漠主要分布在 38°00'N—48°30'N 之间, 近 70% 分布在 44°30'N—47°30'N, 集中分布于 46°N 左右的区域; 假木贼砾漠生态系统分布的纬度范围在 38°30'N—47°30'N 之间, 有近 94% 分布在 43°30'N—47°30'N 范围内, 以 46°00'N 为中心线南北 1°范围内是其集中分布区, 分布规律与蒿属—短期生草壤漠相类似; 含头草低山岩漠主要分布在 36°30'N—45°00'N 之间, 基本成正态分布; 极稀疏怪柳沙漠在 37°00'N—45°00'N 之间都有分布, 集中

分布在 38°N 和 40°N 这 2 个区域;膜果麻黄砾漠在 36°00'N—45°00'N 都有分布,在分布区内无明显规律,在 42°N 附近分布相对集中。

沙拐枣沙漠集中分布在 36°00'N—38°00'N 和 45°30'N—48°00'N 的地区,没有明显随纬度变化的规律性;梭梭沙漠集中分布在 40°30'N—42°00'N 和 44°30'N—46°00'N 的地区;梭梭柴—琵琶柴壤漠的分布在纬度上与梭梭沙漠基本相同,相比较更为集中;驼绒藜沙砾漠随纬度的变化趋势不明显,只是在 33°30'N 和 40°30'N 两处分布比较集中;油蒿—白沙蒿沙漠生态系统分布于 37°30'N—42°00'N 之间的地区;梭梭砾漠分布范围在 36°00'N—45°30'N 之间,有约 75% 分布在 42°00'N—45°00'N 之间的区域;盐爪爪盐漠生态系统的分布在 36°30'N—45°00'N 范围内,集中分布区位于 39°30'N—41°30'N 之间。

4.3 荒漠生态系统随经度变化

荒漠生态系统分布在 73°E—112°E 之间。三瓣蔷薇—沙冬青—四合木沙砾漠生态系统仅分布在 100°E—108°E 之间,在 100°E 和 105°E 这 2 个区域分布集中;垫状驼绒藜—藏亚菊沙砾漠生态系统分布在 95°E 以西的地区,基本成均匀分布,无明显规律性;琵琶柴砾漠分布范围广,在 75°E—112°E 之间都有分布,在 98°E—106°E 之间分布相对集中;蒿属—短期

生草壤漠主要分布在 74°E—103°E 之间,近 70% 分布在 84°E—90°E 之间,集中分布于 85°E 左右的区域;假木贼砾漠生态系统分布的经度范围在 75°E—106°E 之间,有近 87% 分布在 87°E—91°E 范围内;含头草低山岩漠主要分布在 75°E—106°E 之间,以 95°E 为中心基本成正态分布;极稀疏怪柳沙漠在 78°E—95°E 之间都有分布,集中分布在 79°E—85°E 之间的区域;膜果麻黄砾漠在 75°E—104°E 都有分布,在分布区内无明显规律,在 95°E 附近分布相对集中。

沙拐枣沙漠集中分布在 80°E—106°E 之间的地区,86°E—98°E 之间是其主要分布区,没有明显随经度变化的规律性;梭梭沙漠集中分布在 83°E—91°E 和 101°E—107°E 的地区,分别占 69.7% 和 30.3%,在 88°E 附近分布相对集中;梭梭柴—琵琶柴壤漠的分布在经度上与梭梭沙漠基本相同,相比较更为集中;驼绒藜沙砾漠在经度上也呈跨越式分布在 79°E—80°E 和 105°E—109°E 这 2 个区域,分别占 50.1% 和 49.9%;油蒿—白沙蒿沙漠生态系统分布于 99°E—109°E 之间的地区,分布相对集中;梭梭砾漠分布范围在 77°E—102°E 之间,在 92°E 和 100°E 附近分布相对集中;盐爪爪盐漠生态系统的分布在 76°E—107°E 范围内,呈跨越式分布,无明显规律。

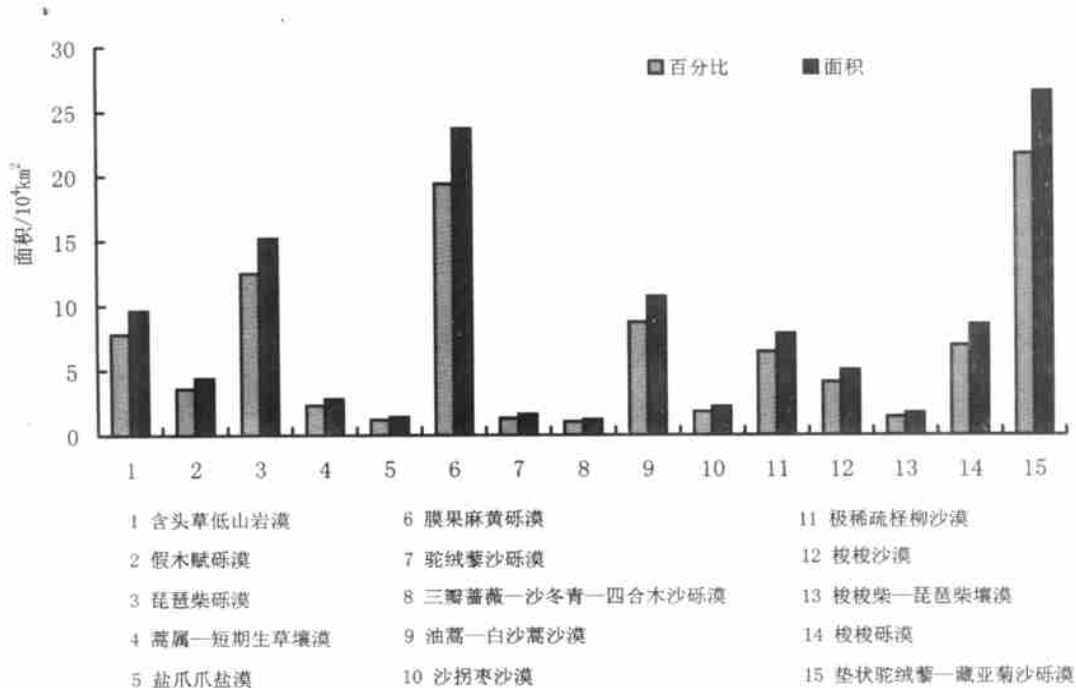


图 3 中国荒漠生态系统面积统计图

5 分析讨论

从以上的分析可以看出, 荒漠生态系统的分布与海拔高度有比较明显的对应关系, 纬度次之, 与经度关系不明显。国内外对荒漠生态系统的保护和利用途径、对策和措施方面, 明显地有别于此类地区内的其它生态系统类型。众所周知, 空间分异性是经典地理学理论, 道库恰耶夫首先阐述了这一理论的原理, 奠定了自然地带学说。现代自然科学的不断研究, 使这一学说有了新的发展并得到了广泛的应用。荒漠生态系统自然分布和地带性分异是对自然地带学说的应用。我国荒漠生态系统的空间分布明显地存在着规律性。荒漠位于干旱区内, 包括阿拉善高原、河西走廊、准噶尔盆地、塔里木盆地和柴达木盆地, 以及青藏高原的北部和西部的个别区域, 以旱生和超旱生灌木、半灌木为主, 覆盖度 $< 40\%$, 干旱缺水, 太阳辐射强烈。根据荒漠生态系统的分布规律, 利用各类荒漠生态系统优势种对荒漠环境的高度适应性, 可以以生物措施为主开展荒漠化防治。荒漠生态系统中的植物, 特别是半乔木和灌木、半灌木类植物能有效地摄取太阳能, 成为贮存能量的活材料, 蕴藏着巨大的能源潜力。这些特有的天然植物是目前油料、橡胶、石油、蜡、医药及农药的重要来源之一^[13]。因此对沙漠地区的特有植物的开发, 使沙漠有可能成为人类开拓新生活的空间和发展生产的最大潜在场所, 新能源、新原料的新型产地。总之, 随着现代科学的不断发展和对荒漠生态系统研究的深入, 生物措施治理和开发利用荒

漠资源的现状和前景, 必然会产生一个巨大的飞跃。

[参 考 文 献]

- [1] Tansley, A. G. The use and abuse of vegetation concepts and forms[J]. Ecology, 1935(16): 284—307.
- [2] 闻大中. 农村生态系统——农业景观刍议[J]. 农村生态环境, 1992(3): 52—55.
- [3] 蔡晓明. 生态系统生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 6—12.
- [4] 毛文永. 生态环境影响评价概论[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 5—71.
- [5] 李维东, 卓丽菲亚. 新疆生态系统的主要类型及分布研究[J]. 新疆环境保护, 2002, 24(2): 5—8.
- [6] Edward A yensu, Daniel van R. Claasen, Mark Collins, et al. International Ecosystem Assessment [J]. Science, 1999, 286: 685—686.
- [7] GEF/C. 14/4 November 1999. 13.
- [8] 周华荣, 马小明. 荒漠生态环境监测刍议[J]. 干旱环境监测, 2002, 14(2): 88—91.
- [9] 董光荣, 吴波, 慈龙骏, 等. 中国荒漠化现状、成因与防治对策[R]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 318—332.
- [10] 慈龙骏. 我国荒漠化发生机理与防治对策. 第四纪研究[J], 1998(2): 97—107.
- [11] 金以圣. 生态学基础[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1988. 19—22.
- [12] 常兆丰. 我国荒漠生态系统定位研究的现状与基本思路[J]. 干旱区资源与环境, 1997, 11(3): 53—57.
- [13] 马士威, 马玉明, 方天纵. 半荒漠景观的空间分布及景观生态总析[J]. 干旱地区农业研究, 15(4): 59—63.

(上接第48页)

重庆市的水土流失形势严峻, 对长江三峡工程的危害大。应科学地制定水土保持工程规划, 突出对土壤侵蚀敏感性高的重点地区水土保持工程安排, 应把三峡库区坡耕地土壤侵蚀控制与高敏感性地区的退耕还林, 及控制开发建设项目人为加速侵蚀作为重庆市水土流失防治的重点。

[参 考 文 献]

- [1] 叶学文. 重庆水土保持事业的发展与展望[J]. 中国水土保持, 2001(7): 11—13.
- [2] 段小梅. 重庆市的可持续发展与生态环境建设[J]. 重庆环境科学, 2002(2): 6—11.
- [3] 中华人民共和国水利部. 中华人民共和国行业标准, 土地侵蚀分类分级标准(SL 190-96) [R]. 1997.
- [4] 国务院西部地区开发领导小组办公室, 国家环境保护总局. 生态功能区划暂行规程[R]. 2002. 09. 01.

- [5] 王万忠. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1—20.
- [6] 刘新华. 中国地形起伏度的提取及在水土流失定量评价中的应用[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 57—62.
- [7] 朱波, 等. 紫色页岩风化侵蚀与环境效应[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 3(5): 33—37.
- [8] 周万村. 三峡库区土地自然坡度和高程对经济发展的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2001(1): 15—21.
- [9] 刘照光, 等. 长江上游陡坡耕地退耕的难点与对策[J]. 长江流域资源与环境, 2002(5): 426—431.
- [10] 徐刚. 重庆市退耕还林条件的区域比较研究[J]. 水土保持学报, 2001(4): 81—83.
- [11] 钟冰. 三峡库区水土流失及防治[J]. 水土保持研究, 2001(2): 147—149.
- [12] 崇婧. 长江三峡地区坡地发育研究初步研究[J]. 长江流域资源与环境, 2002(3): 264—268.