

内陆干旱区水分驱动的生态演变机理

陈敏建,王 浩,王 芳

(中国水利水电科学研究院,北京 100044)

摘要:我国内陆河流域约占国土面积 1/3,降水集中在山区,盆地干旱少雨,形成内陆河平原独特的非地带性生态群落。针对内陆河干旱区水资源条件与生态特点,从水分-生态相互作用机理入手,系统研究了以绿洲为中心的内陆干旱区沿河平原生态问题,以此作为干旱区生态需水研究的基础。由于径流运动的作用,平原生态系统表现出有序的层次结构:以河流为中心向两岸依次为绿洲、过渡带、荒漠;植被等级和盖度逐渐由高向低演变,分别为有林地、灌木林、疏林地和高盖度草地、中盖度草地、低盖度草地、沙漠、戈壁。植被生态系统的这种规律性反映了地下径流(潜流场)的变化。在干旱少雨(年降雨量小于 100mm)的环境中,来自河川补给的潜水蒸发,成为植被水分最主要来源,对植被生态系统起决定性的作用。根据生态景观的需水补给条件界定内陆河盆地生态系统的组成,给出了平原生态圈层结构的定义。当水资源开发利用方式和土地利用方式发生变化时,水资源分布和补给条件相应发生变化,并导致生态系统圈层结构随之发生变化。生态圈层结构理论成为干旱区生态需水计算的理论依据和方法基础,据此构造定量化的水分驱动生态演变模型。

利用 20 世纪 70 年代和 90 年代遥感影像 1:10 万解译图,结合地面观测资料,分析了西北内陆区 20 世纪 70~90 年代生态环境的变化情况,结果与生态圈层结构理论分析完全相吻合。总体趋势是:人工绿洲普遍扩张,天然绿洲普遍退缩。绿洲和荒漠之间的交错过渡带严重退化。荒漠化面积持续扩大。

关键词:水分来源;生态结构;演变机理

Water-driven ecological evolution mechanism in inland arid region

CHEN Min-Jian, WANG Hao, WANG Fang (China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2108~2114.

Abstract: In the inland river basin, the area of which is about 1/3 of China, the precipitation mainly concentrates in the mountain area but it is arid and rainless in basins. Then the special azonal ecosystem has been formed. In the inland river basin, according to the water resources condition and ecological characteristic point, starting with the interaction mechanism of between water and ecosystem, this paper systemically researched the plain ecological problems along the narrow belt of riverbank as the center of oasis, and regarded this as the foundation of researching the ecological water demand. Because of the runoff movement action, the plain ecosystem configuration is presented in a sequential hierarchy. From the river bank to the outside area are distributed as oasis, transition zone, and desert. The plant ecosystem and vegetation cover rate change as forest, shrub, sparse shrub, high cover rate grassland, low cover rate grassland, sand desert and Gobi. The arrangement rule of the vegetation ecosystem reflects the change of groundwater runoff. In the arid and rainless environment (yearly precipitation less than 100mm), the groundwater evaporation from river runoff supply is vitally useful for vegetation ecosystem, for it is the main source of vegetation water demand. The inland river basin ecosystem configuration, namely the definition of plain ecological ring and layer structure, is plotted out according to the water demand and supply conditions of the local ecological landscape. When the mode of water and land resources development and utilization was changed, correspondingly the distribution and nourishment condition of water resources was also altered, and further resulted in the

基金项目:国家“九五”科技攻关资助项目(96-912-01-04,96-912-01-01S);国家水利部创新资助项目(SCX2002-10)

收稿日期:2004-05-11;修订日期:2004-06-18

作者简介:陈敏建(1957~),男,江西人,博士,教授,主要从事水资源规划与管理、生态水文等方面研究。E-mail:chenmj@iwhr.com

Foundation item: the Ninth Five-year National Key Project (No. 96-912-01-04,96-912-01-01S);Research Program of the Ministry of Water Resources,PRC(No. SCX2002-10)

Received date: 2004-05-11;**Accepted date:** 2004-06-18

Biography: CHEN Min-jian, Ph. D., Professor, mainly engaged in water resources planning and management, ecological hydrology.

change of the ecological structure of ring and layer. The ecological structure of ring and layer was regarded as the foundation of theory and method about calculating the ecological water demand in arid region, hereby the quantitative water-driven ecological evolution model was formed.

By satellite image analysis with a scale of 1 : 100000 from 1970's to 1990's combined with some field observation, the northwest inland region ecological and environmental situation analysis from 1970 to 1990 was carried out. The result shows that it completely coincides with the ecological structure of ring and layer theory. The general trends of the ecological zone pattern; the artificial oasis has been expanded widespread and the natural oasis shrunk; the interlaced transition zone between the desert and the oasis has been in serious degradation; the desert area has gradually increased.

Key words:source of water; ecological structure; ecological evolution mechanism

文章编号:1000-0933(2004)10-2108-07 中图分类号:P333,Q148,X143 文献标识码:A

西北内陆河流依靠高山截留水汽,降水集中在山区,平原区降水稀少,却是水资源消耗的主要区域。河川径流(包括与河川径流相互转化的地下潜流)维系着平原地区整个生命系统,这里也是人类活动集中地区。内陆河水资源不仅支撑着社会经济发展,更要维系生态系统的安全。水资源开发利用引起的内陆河干旱区突出的生态环境问题是:下游尾间湖泊干涸,河湖周围植被退化,引起土地沙化,同时伴生严重的次生盐渍化,以此为栖息地的其他生物灭绝,使本来十分脆弱的生态环境更加恶化。因此,在水资源开发利用中处理好经济用水与生态用水的关系是关键。

水分条件改变是导致生态系统状态变化的驱动因素。揭示水与生态系统稳定性的依存关系是最为关键的问题。由于内陆河干旱区水文循环的独特性以及水资源在生态保护中的突出作用,从机理入手研究水分条件与生态演变的关系,是解决干旱区生态问题的基础,将为干旱区生态需水计算、生态系统稳定性的定量分析,直接提供理论依据和具有清晰物理机制的分析方法。

国外对水文循环过程生态微观机理研究近十几年开展较多,注意力主要集中于水体中的生物需水特性,以及湿地植被需水微观机理。研究的方法和手段可以分成两类,一类以微观机理分析为主,研究生物需水特性,一类以统计分析为主,研究水体生态需水宏观统计规律。干旱区的绿洲生态需水问题,以往国内外针对干旱区水对生态影响的认识,仅限于现象的定性描述和生态需水的半定量估算。

20 世纪 90 年代末期,国家九五科技攻关计划对西北干旱区水资源开发利用与生态环境保护进行了大规模研究。针对我国西北内陆河干旱区生态与水问题,从机理上研究干旱区水分驱动的生态演变,对生态演变的自然现象进行定量机理描述,并以此为基础进行预测。以水文循环为依据,将干旱区各种类型植被与径流(河川径流与地下径流)范围与强度建立定量联系,并分离出水分来源(降雨或径流),与水资源配置理论有机结合。本文旨在介绍这些研究,其中数据均来源于攻关研究成果。

1 内陆干旱区水分条件和生态基本格局

生态系统的构成(景观形态和空间分布)取决于水循环运动和水量分布条件。根据九五国家科技攻关“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”项目最新水资源评价成果,包括新疆、柴达木盆地、河西走廊在内的西北内陆河流域平均降水 146mm。84%的降水量集中在山区,平均降水 270mm,其中有 97mm 形成径流,由出山口进入平原。总径流量按平原面积折合深度不足 81mm,加上平原平均降水 43mm,平原地区总水量深度不足 124mm。对干旱地区而言,维持植被正常成长的水量必须在 250~300mm 以上,西北内陆干旱区水量显然相差甚远。因此盆地的植被生态系统只是在沿河岸的狭小空间里孕育而成,人类依靠这个荒漠中的绿洲生存和发展。西北内陆干旱区的水分条件和水平衡如图 1 所示。

降水的数量和分布条件决定了西北内陆干旱区生态景观的变化规律,形成了生态总格局。西北干旱区的 84%的降水发生在山区,山区生态垂直带谱发育。带谱的一般特征是自上而下依次出现:冰川积雪带、高山砾漠、高山草甸(冰雪补给为主);亚高山和山地草甸(雨雪混合补给);森林带、山地草原(降雨补给为主)。

平原区的降水不足以支撑植被生长,且由于没有其它水分支持,盆地中央为荒漠无流区,降水被无效蒸发。因此,荒漠是平原地区最典型的地带性生态类型。北疆准噶尔盆地边缘,以及河西走廊石羊河盆地边缘的降水量在 100mm 以上,维持着低盖度干旱草原,因此这两个地区的低盖度干旱草原属于地带性生态类型。

2 内陆河平原生态系统水分来源和补给机制

西北内陆河平原区干旱少雨,全部 122.3 万 km² 的面积上,多年平均降水 524 亿 m³,仅占降水总量的 16%。盆地地势低洼,是内陆河流的归宿地,降水量自四周向中央减少。因此,平原区降水在空间上基本上分为两大均匀分布的区域,一是盆地边缘地区,此处降水量较高,另一是除此之外的盆地中央,降水量较小些。如北疆准噶尔盆地边缘的降水量在 100~200mm 左右,盆地中心在 50mm 左右。南疆塔里木盆地边缘的降水量:西缘、北缘在 50~70mm 左右;东缘、南缘在 20~30mm 左右,盆地中心在 10mm 左右。东疆的吐鲁番盆地和哈密盆地的平均降水量在 25mm 左右。全西北内陆河盆地中央的荒漠区平均降水 32mm。

山区形成的径流是平原地区最重要的水分来源。补给平原盆地生态系统的水分由两部分组成,第一是当地少量降水,第二是河川径流,后者起决定性作用。由于径流的作用,内陆河平原沿河岸形成了非地带性生态群落:林地和高盖度草地以及湿地等,组成绿洲。河川径流向两岸侧渗形成一定影响范围的地下潜水。潜水蒸发的加入,“激活”了潜水影响区域内降水的“有效功能”,由降水与地下潜水共同补给,在非地带性的绿洲生态与地带性的荒漠生态之间形成了一个相对绿洲而言要宽阔得多的过渡带。过渡带植被以(中)低盖度草地为主,是从非地带性绿洲生态向地带性荒漠生态的过渡形式。

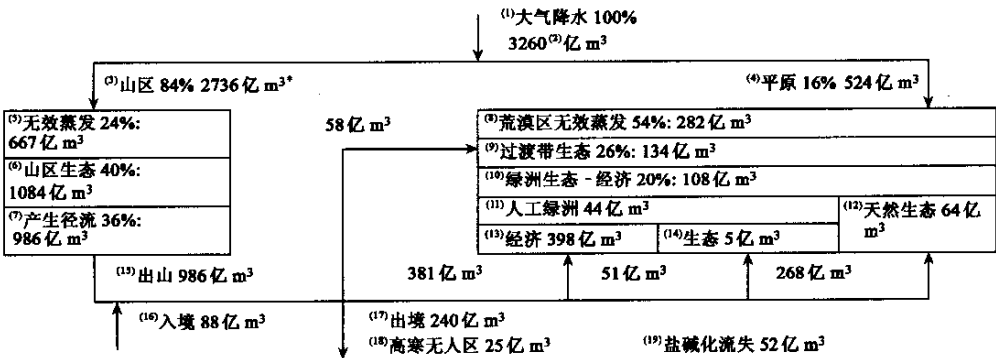


图1 西北内陆干旱区生态-经济与降水-径流平衡关系

Fig. 1 Relation between precipitation and runoff and for ecology and economy using

(1) Precipitation; (2) A hundred million; (3) Mountain area; (4) Plain; (5) Unavailable evaporation; (6) The ecosystem of mountain area; (7) Formed runoff; (8) Unavailable evaporation in desert area; (9) The ecosystem of interlaced transition zone; (10) The ecosystem and economy of oasis; (11) The artificial oasis; (12) The natural ecosystem; (13) Economy; (14) Ecosystem; (15) From mountain; (16) Influx; (17) Effluent; (18) High frigid and unmanned zone; (19) Leaking for alkaline saline

盆地降水与河川径流(客水)的相互作用而形成的水分分布与转化条件,是形成内陆盆地生态系统的关键。内陆河的流向一般从盆地边缘向中央汇集,根据降水的分布规律,与流向垂直方向上的降水量相同。而沿同一方向河流向两岸侧渗的地下水,经历潜水埋深由浅到深、潜水蒸发量由强到弱的变化,相应对植被的水分补给由多渐少、植被等级和盖度逐渐由高向低演变;最终,地下潜水消失导致径流作用终止、微弱的降水成为唯一的水分来源,植被基本消失、开始进入浩瀚无际的荒漠地带。上述分析表明,河川径流是支撑盆地植被生态系统的最重要水源,降水只是起辅助作用。即使在以降水为主要水源的过渡带,径流起的也是“关键少数”的作用,因为缺少径流的补充,降水不能独立支撑植被生长,被荒漠吞噬,沦为无效蒸发。因此,平原地区降水的有效性需要河川径流(客水)的帮助才能体现。

由于径流运动的作用,平原生态系统结构表现出类似带谱的规律性:以河流为中心向两岸依次为绿洲、过渡带、荒漠;植被等级和盖度逐渐由高向低演变,分别为有林地、灌木林、疏林地和高盖度草地、中盖度草地、低盖度草地、沙漠、戈壁。

对平原盆地各类植被的水分补给来源分析计算表明,内陆河区低盖度草地主要由降水支撑,北疆与石羊河的中盖度草地也由降水主要补给。其它群落都以径流补给为主。内陆河流域平原区生态耗水的补给来源,见表1。

表1 内陆河平原生态系统水分补给来源(径流占%)

Table 1 Water source of ecological system in inland plain(runoff%)

项目 Item	林地 Woodland			草地 Grassland			滩地沼泽 Bottomland
	有林地 Forestry	灌木林 Shrub	疏林地 Rare wood	高盖度 High degree of coverage	中盖度 Middle degree of coverage	低盖度 Low degree of coverage	
新疆 All Xinjiang	81.9	77.9	78.2	82.8	59.7	26.9	90.8
北疆 North Xinjiang	76.7	66.5	60.0	75.7	40.0	0.8	82.5
东疆 East Xinjiang	93.3	89.4	86.7	93.8	80.6	48.7	—
南疆 South Xinjiang	91.1	86.3	83.4	91.2	75.3	48.4	93.4
河西走廊 All Hexi basins	86.1	82.2	69.4	84.9	65.1	20.9	89.7
疏勒河 Sulehe basin	93.6	89.8	87.1	—	80.7	46.6	95.4
黑河 Heihe basin	88.2	82.4	78.6	88.5	67.6	19.0	88.9
石羊河 Shiyanghe basin	74.1	65.5	60.0	73.5	39.4	0.0	82.5
柴达木盆地 Chadamu basins	94.4	91.1	88.8	94.8	83.1	49.4	96.0
合计 Total 万方数据	82.1	80.3	78.6	83.2	62.0	27.8	91.6

3 内陆河平原生态结构

通过上述机理分析并计算各类植被的水分补给结构,根据生态景观的需水补给条件界定内陆河盆地生态系统的组成,定义荒漠、绿洲荒漠交错过渡带、绿洲三大生态单元。按人类活动进一步将绿洲划分人工绿洲和天然绿洲。在遥感信息解读的土地利用图上,根据水分条件和生态演变关系,给出平原生态圈层结构的如下定义:

(1)荒漠 为地带性生态类型,无径流活动、降水不足以维持最低限度的植被生存条件的不毛之地,包括沙漠、戈壁、裸岩裸土、盐碱地;位于生态圈层结构的最外层,面积辽阔。全西北内陆区荒漠面积 87.6 万 km²,占平原面积的 72%。此类面积上降水被视为无效蒸发,全西北干旱区共计 282 亿 m³。折合水深 32mm。

(2)绿洲荒漠交错过渡带 为地带性生态与非地带性生态的过渡形态,维持植被生态以降水为主、径流为辅,径流补给量占 50%以下,包括全部低盖度草地,北疆与石羊河流域降水较多因而还包括中盖度草地;位于生态圈层结构的中间地带,为绿洲与荒漠之间的开阔地带,对荒漠的扩张有遏止作用。全西北内陆区过渡带的总面积 18.9 万 km²,占平原面积的 15%。此类区域是径流活动(潜水)的外缘区,对河川径流变化反映敏感,因此基础脆弱,最易引起退化而导致荒漠化的扩张。过渡带是水资源开发利用条件下生态保护的难点,其变化对内陆平原生态圈层的稳定起指标性作用。全西北干旱区过渡带现状生态耗水 192 亿 m³,降水、径流分别占其水分来源的 70%和 30%,折合水深 102mm,其中径流为 32mm。

(3)绿洲 为非地带性生态类型,径流为生态需水主要来源,包括除过渡带以外的所有植被、水面以及一切人工景观,包括各类林地、高(中)盖度草地、各类水面、湿地、人工建设用地、耕地;位于生态圈层的中心,沿河分布。全西北内陆区过渡带的总面积 15.8 万 km²,占平原面积的 13%。绿洲消耗了全部出山口径流量的 90%以上,是由水土资源组合构成的生态环境对社会经济发展的自然支撑体系。全西北干旱区绿洲现状总生态耗水 388 亿 m³,降水、径流分别占 18%和 82%,其中不包括农田和灌溉林草的耗水。另有 52 亿 m³的径流被消耗于盐碱地,这是水资源合理开发利用需要解决的问题。全西北干旱区天然绿洲生态耗水 332 亿 m³,降水、径流分别占 15%和 85%。折合耗水深度 401mm,其中径流 331mm。

(4)人工绿洲 人类在绿洲中进行社会经济发展而进行水土资源开发,通过侵占天然生态面积,在绿洲内部形成的由人工供水支撑的生态系统,由耕地(包括人工草地)、人工建设用地、水库塘坝、河渠、果园苗圃(包括人工林)等土地利用类型构成。全西北内陆区人工绿洲总面积 7.536 万 km²,占总绿洲面积的 48%。人工绿洲是干旱区社会经济的载体,水资源利用的主要地点。通过引水灌溉等手段,将径流向人工绿洲集中,提高人工绿洲及其周边的地下水位,在天然绿洲内部形成了人工生态。人工绿洲耗水情况是:消耗径流性水资源 432 亿 m³,其中 381 亿 m³为国民经济和生活用水,51 亿 m³为农田和灌溉林草以外的、由经济用水退水间接支撑的人工生态耗水;人工绿洲消耗的降雨性水资源(有效降雨)44 亿 m³,其中有 39 亿 m³被耕地(包括灌溉林草)吸收,5 亿 m³被水库、渠系、防护林、城乡用地和其它设施消耗。全西北干旱区人工绿洲总耗水(包括经济与生态用水)深度 666mm,其中径流 596mm。西北内陆干旱区平原生态系统的圈层结构见表 2。

表 2 西北内陆河平原生态系统组成(圈层结构)

Table 2 Composition of plain ecological system in northwest inland area										
项目 Item	总面积 Total area (×100km ²)	荒漠 Desert (×100km ²)	过渡带 Transition zone (×100km ²)	总绿洲 Total oasis (×100km ²)	面积分布(%) Area distribution			绿洲 Oasis (×100km ²)		
					荒漠 Desert	过渡带 Transition zone	绿洲 Oasis	人工 Manual oasis	天然 Natural oasis	人工/天然 Manual/ Natural
新疆 All Xinjiang	9338	6648	1456	1235	71	16	13	632.8	602.3	1.05
北疆 North Xinjiang	2603	1426	683	494	55	26	19	326.7	167.7	1.95
东疆 East Xinjiang	1539	1436	66	37	93	4	2	22.6	14.4	1.57
南疆 South Xinjiang	5196	3786	706	704	73	14	14	283.4	420.1	0.67
河西走廊 All Hexi basins	1870	1474	245	151	79	13	8	113.4	37.7	3.01
疏勒河 Sulehe basin	707	611	76	20	86	11	3	12.6	7.6	1.66
黑河 Heihe basin	896	700	120	76	78	13	9	53.1	23.3	2.28
石羊河 Shiyanghe basin	267	164	49	54	61	18	20	47.7	6.7	7.10
柴达木盆地 Chadamu basins	1020	639	189	193	63	19	19	7.4	185.2	0.04
合计 Total	12228	8760	1889	1579	72	15	13	753.6	825.1	0.91

万方数据
西北干旱区平原生态系统的圈层耗水深度见表 3。

降水决定了全西北干旱区平原生态系统的总体格局:荒漠、过渡带、绿洲的面积比为 72 : 15 : 13。降水条件好或者水资源开发利用程度低的地方,荒漠比重小;降水稀少且水资源开发利用程度高的地区,如东疆,荒漠化面积达 93%。水资源开发利用强度大的地区,人工绿洲比重高,随之过渡带的比重下降,甚至小于绿洲面积,这是造成荒漠化的重要证据。—分析各生态圈层的耗水量及其水源组成,进一步证实了径流活动范围及其强度是形成平原圈层结构的主导因素,水资源利用改变了自然状态下的水分供应条件,因此影响了生态构成。总体上,全西北干旱区荒漠、过渡带、天然绿洲、人工绿洲的耗水模数之比大约是 3 : 10 : 40 : 67,与面积比成反对称。

表 3 内陆河平原生态圈层现状耗水深度
Table 3 Depth of ecological used water in inland plain

项目 Item	总耗水 Total used water(mm)				消耗径流 Used runoff(mm)		
	荒漠	过渡带	天然绿洲	人工绿洲	过渡带	天然绿洲	人工绿洲
	Desert	Transition zone	Natural oasis	Manual oasis	Transition zone	Natural oasis	Manual oasis
新疆 All Xinjiang	34	111	453	666	35	377	590
北疆 North Xinjiang	61	136	637	523	22	523	409
东疆 East Xinjiang	21	70	555	766	34	519	730
南疆 South Xinjiang	28	90	376	822	44	329	776
河西走廊 All Hexi basins	29	80	605	659	12	537	591
疏勒河 Sulehe basin	20	65	662	803	30	628	769
黑河 Heihe basin	28	74	534	633	14	474	573
石羊河 Shiyanghe basin	65	119	787	649	5	673	535
柴达木盆地 Chadamu basins	25	60	190	760	30	160	730
合计 Total	32	102	401	666	32	331	596

内陆河平原基于径流运动的生态圈层结构概念性模型示意如图 2。 h_1 为临界地下水埋深,当 $h < h_1$,潜水蒸发强烈,成为地表植被水分主要来源;当 $h > h_1$,地表植被水分主要来源于降水,但潜水蒸发是重要依赖。 h_2 为潜水消失点埋深,此处地表为荒漠与过渡带交界处。

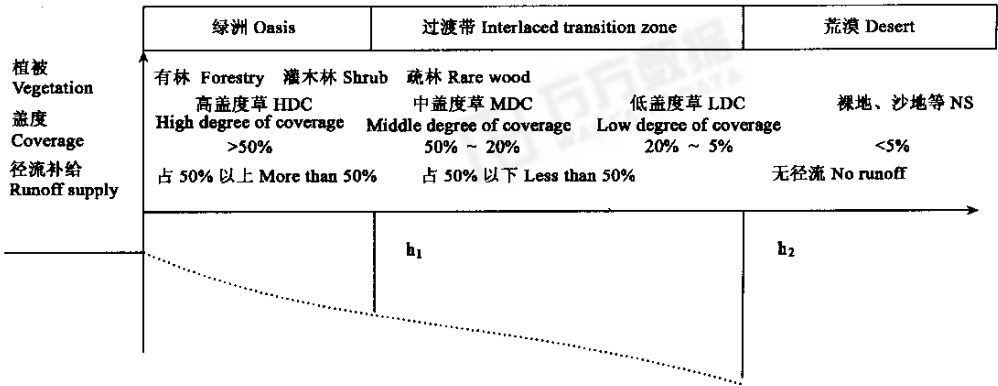


图 2 内陆河平原水分驱动生态圈层模型
Fig. 2 Water-driven inland ecological “ring and layer” model

生态圈层结构空间分布特点:出山口附近由于有大量地下水,潜流场较宽,比降梯度与河流向几乎平行,因此河流两岸植被带较宽,并且与山麓植被相连。对于单一河流,潜流场宽度沿程逐渐收缩,直至最终消失或注入尾间湖泊,因此单一流场的植被带沿河逐渐减少、直至尖灭,此种情形如塔里木河下游、黑河下游。对于有水力联系的近乎平行的河流,地下水连通,形成复合型潜流场,因此上游植被带连通,此种情形如天山北坡诸河流。

5 水分驱动的生态演变机理

内陆河盆地生态圈层结构反映了以水分驱动的生态演变概念性模型。在西北干旱区,水分条件是导致生态系统状态变化的驱动因素。平原生态圈层结构实际上反映的是径流分布、运动,及其与降水的相互联系。人类通过水资源利用建立了人工绿洲,改变了天然生态系统的组成。水资源开发利用使径流的空间分布发生变化,水资源向人工绿洲集中的结果使得地下潜水位的水力坡度加大、潜水消失点向河岸收缩,结果是局部地区的水分通量加大,而径流活动的空间范围在缩小。

上述分析已经表明,水分条件的变化必然会导致生态结构的改变。降水与径流之和及其比例决定了植被等级,当潜水蒸发量减少、径流与降水之和小于地表植被正常生长所需要的耗水量时,植被盖度下降,生态系统退化,直到演变成需要水分更少的植被类型,生态系统的状态才达至新的稳定。

如图3所示,水资源利用导致径流活动区向河岸收缩。结果形成两个演变趋势:首先是过渡带显著消退,过渡带外缘在地下潜水蒸发消失后,降水维持不了植被的最低需水条件,低盖度草死亡,被荒漠取代;其次是人类活动的人工绿洲及其周边生态异乎寻常地茂盛,充足的水分条件使得植被生长充分,并且盖度不断提高,在水分过剩的条件下,甚至出现次生盐渍化。

两个趋势同时作用,结果使平原生态圈层结构发生系统性的演变:人工绿洲的发展最早引起过渡带向后退缩直趋消亡,荒漠带向绿洲推进,绿洲在逐渐失去过渡带的缓冲作用后,将不得不直接面对荒漠的威胁。由于人工绿洲是在天然绿洲的基础上开发、建立,因此人工绿洲扩张的过程就是平原生态圈层结构的变化调整过程,其趋势是一致的,人工绿洲扩大、天然绿洲缩小、过渡带大幅减少、荒漠带大幅扩张。只有北疆和石羊河流域两个地区的变化趋势与此不同,由于存在主要由降水支撑的平原地带性植被(低盖度草地),可以与荒漠带分庭抗礼,有力地阻止荒漠带的推进。这一类地区的变化趋势是:人工绿洲扩大、天然绿洲和过渡带均小幅缩小、荒漠带基本稳定。

6 西北干旱区水分驱动的生态演变事实分析

对20世纪70年代和90年代遥感影像1:10万解译图进行分析,结合地面观资料,20世纪70~90年代西北内陆区生态环境的变化情况见表4,列出各类生态面积的变化和变化率,正数表示增加,负数表示萎缩。

表4 20世纪70~90年代西北干旱区生态环境变化情况
Table 4 70s~90s ecological transform in northwest arid region

区域 Region	人工绿洲 Manual oasis		天然绿洲 Natural oasis		绿洲总和 Total oasis		交错过渡带 Transition zone		荒漠区 Desert	
	面积变化 ^①	变化率 ^②	面积变化 ^①	变化率 ^②	面积变化 ^①	变化率 ^②	面积变化 ^①	变化率 ^②	面积变化 ^①	变化率 ^②
	(×10 ⁴ km ²)	(%)	(×10 ⁴ km ²)	(%)	(×10 ⁴ km ²)	(%)	(×10 ⁴ km ²)	(%)	(×10 ⁴ km ²)	(%)
北疆 North Xinjiang	1.28	54	−0.02	−1	1.26	27	−1.29	−9	0.03	0
东疆 East Xinjiang	0.03	13	−0.06	−31	−0.03	−8	−0.23	−12	0.26	2
南疆 South Xinjiang	0.15	5	−0.31	−10	−0.17	−3	−1.15	−16	1.32	3
新疆 All Xinjiang	1.45	27	−0.39	−7	1.06	10	−2.66	−12	1.60	3
疏勒河 Sulehe basin	0.02	19	−0.01	−11	0.01	7	−0.09	−6	0.07	2
黑河 Heihe basin	−0.01	−1	−0.08	−29	−0.09	−11	−1.18	−37	1.27	26
石羊河 Shiyanghe basin	0.05	7	−0.08	−52	−0.03	−4	−0.32	−34	0.36	31
河西走廊 All Hexi basins	0.06	5	−0.18	−34	−0.11	−6	−1.58	−28	1.70	17
柴达木盆地 Chadamu basins	0.02	28	−0.12	−10	−0.10	−8	−0.20	−8	0.30	3
合计 Total	1.53	23	−0.68	−9	0.85	6	−4.44	−14	3.60	5

① Transformed area, ② Transformed rate

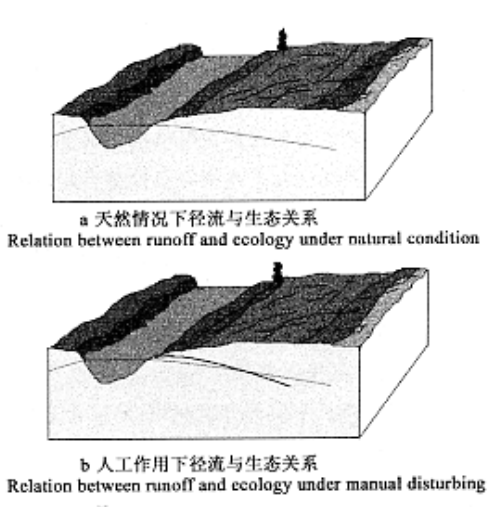


图3 水资源利用下生态圈层结构变化趋势原理
Fig. 3 Evolution trend of ecological structure based on water resource utilization

过去 20 多年来平原生态结构呈两端扩张、中间退缩的态势,变化趋势与生态圈层结构理论分析相吻合。

(1)人工绿洲普遍扩张,天然绿洲普遍退缩 从 20 世纪 70 年代以来,人工绿洲累计增长 1.53 万 km²,增加 15%;在人工绿洲面积增加的同时,天然绿洲萎缩 6800 km²,减少了 8%;减少较多的是石羊河流域、黑河流域、东疆,说明其水资源开发程度已到极限,经济用水和生态用水的竞争已极为明显。绿洲总面积扩大的地区只有北疆,而水资源还具有一定开发潜力的地区也只有北疆,这一事实清晰说明了水资源条件是西北地区可持续发展的首要影响因素。

(2)绿洲和荒漠之间的交错过渡带严重退化 水分向绿洲核心区的人工绿洲集中消耗,致使天然绿洲退化和交错带消亡,累计减少 4.44 万 km²,萎缩 27%。交错带破坏程度最大的是黑河、石羊河,20a 间退化率达 34%以上,其次是南疆和东疆,退化率分别为 16%和 12%。

荒漠化面积持续扩大。天然绿洲与过渡带的退化导致荒漠化进程不断推进,难利用土地扩大了 3.6 万 km²,增长 5%;荒漠化推进最严重的地区是黑河流域。

因此,在干旱区进行水资源开发利用、开发人工绿洲,必然存在一个安全限度,在这个规模下,保持平原生态系统圈层结构的完整性和稳定性,以达到保护人工绿洲安全的最终目的。

References:

[1] Tang Q C. The development of oasis and rational utilization of water resources. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1995, 9(3):107~112.

[2] Wang H, Chen M J. Water resources rational configuration and restructuring ecosystem. *Problems of desert prevention, the Yellow River water interception and water deficient north*. China Center of Advanced Science and Technology, CCAST-WL Workshop Series: Volume 98.

参考文献:

[1] 汤奇成. 绿洲的发展与水资源的合理利用. 干旱区资源与环境,1995, 9(3):107~112.

[2] 王浩,陈敏建. 西北地区水资源合理配置与生态重建. 荒漠化防治、黄河断流和北方缺水问题. 中国高等科学技术中心,CCAST-WL 系列 98 卷.

