

# 和田河流域生态保护红线划定初探

郭宏伟<sup>1,2</sup>, 徐海量<sup>1</sup>, 凌红波<sup>1</sup>, 闫俊杰<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 生态保护红线的划定对保障干旱区内陆河流域可持续发展具有重要意义, 以探讨适宜于该区域的生态保护红线划定方案为目标, 选取和田河流域为研究区, 在分析该区天然植被分布特征的基础上将其划分为两个不同等级的生态保护红线区, 同时采用潜水蒸发法及基流比例法计算从而划定了该区天然植被生态需水红线, 生态流量保护红线及地下水保护红线。结果表明: (1) 流域天然植被被划分为重点生态功能区和生态敏感区/脆弱区; (2) 下游重点生态功能区和生态敏感区/脆弱区主要分布在距河道 5~8 km 和 8~15 km 范围内; (3) 天然植被生态需水红线为  $8.85 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; (4) 在丰、平、枯水年, 生态流量保护红线分别为  $13.79 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $12.14 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $10.68 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; (5) 天然和人工绿洲区地下水位红线分别为 2.0~4.0 m 和 2.0~2.5 m, 地下水开采量红线为  $6.07 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。本研究不仅为和田河流域“社会—经济—生态”协调发展提供科学指导, 也为干旱区相似流域生态保护红线划定提供借鉴。

**关键词:** 生态保护红线; 和田河流域; 生态需水; 生态基流; 地下水保护

**中图分类号:** S181.6 **文献标志码:** A

## Preliminary study on delimitation of ecological protection red line in Hotan River Basin

GUO Hong-wei<sup>1,2</sup>, XU Hai-liang<sup>1</sup>, LING Hong-bo<sup>1</sup>, YAN Jun-jie<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The delimitation of ecological protection red line is possessed important significance to guarantee the sustainable development of continental river basin in arid zone. Therefore, the objective of this paper was to discuss the suitable delimitation scheme of ecological protection red lines, and choose the Hotan River Basin as study area. Based on analysis of the distribution characteristics of the natural vegetation, the two different grade of ecological protection red line zones were divided, meanwhile the natural vegetation ecological water demand red line, ecological flow protection red line and groundwater protection red line were calculated and delimited by the phreatic evaporation method and base flow proportion method. The results showed that: (1) The natural vegetation in the Hotan River Basin was divided into the key ecological function area and ecological sensitive or fragile area. (2) The key ecological function area and ecological sensitive or fragile area in the lower reaches were major distributed 5~8 km and 8~15 km from the river course, respectively. (3) The natural vegetation ecological water demand red line was  $8.85 \times 10^8 \text{ m}^3$ . (4) In the wet year, normal year and dry year, the ecological flow protection red lines were  $13.79 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $12.14 \times 10^8 \text{ m}^3$  and  $10.68 \times 10^8 \text{ m}^3$  respectively. (5) The groundwater table red line for natural and artificial oasis were 2.0~4.0 m and 2.0~2.5 m respectively, the groundwater exploitation red line was  $6.07 \times 10^8 \text{ m}^3$ . This research not only provides scientific guidance for the coordinated development of “society – economy – ecology” in the Hotan River Basin, but also offers reference for the delimitation of ecological protection red lines in similar basin of arid area.

**Keywords:** ecological protection red line; Hotan River Basin; ecological water requirements; ecological basic flow; groundwater protection

收稿日期: 2016-06-24

修回日期: 2017-10-21

基金项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划(XBBS-2014-13); 国家自然科学基金项目(41471099)

作者简介: 郭宏伟(1991—), 男, 山西忻州人, 硕士, 主要从事恢复生态研究。E-mail: ghwxzsy@163.com。

通信作者: 徐海量(1971—), 男, 江苏宝应人, 研究员, 主要从事干旱区生态环境研究。E-mail: xuhl@ms.xjb.ac.cn。

生态保护红线是指依法在重点生态功能区、生态环境敏感区/脆弱区等区域划定的严格管控边界,是国家及区域生态安全的底线。生态保护红线所包围的区域为生态保护红线区,对于维护生态安全格局、保障生态系统功能、支撑经济社会可持续发展具有重要作用。近年来,随着工业化和城镇化快速发展,我国资源环境形势日益严峻,在全国范围内规划生态保护红线已成为当前保障国家生态安全、维护经济社会可持续发展的基础<sup>[1-2]</sup>。新疆和田河流域是全疆范围内生态环境最脆弱的地区,是我国北方特强沙尘暴的高发区之一;该地区河道两岸天然植被不断被破坏,植被丰富度指数和覆盖度指数在 1990—2010 年分别降低了 1.4% 和 3.7%<sup>[3]</sup>;该区地表水资源承载力已过饱和,绿洲破碎化严重,且与沙漠呈镶嵌交叉分布<sup>[4]</sup>。绿洲生态系统一旦失衡,该地区极易被风沙侵蚀,进而导致绿洲的沙漠化。同时,作为丝绸之路经济带核心区建设的重点和难点地区,和田地区人均 GDP 仅为全疆平均水平的 21%,是全疆生产、生活条件最艰苦、农牧民收入最低的地区,促进经济发展是当务之急。但不当的经济发展方式易引发一系列的生态环境问题,如随着和田地区人口数量和耕地面积的快速增加,生态用水被国民经济用水大量挤占,生态系统的稳定性遭到破坏,而生态环境恶化又将限制经济的进一步发展,如不尽快在该区划定严格的生态保护红线,为当地居民的生产、生活创造良好的生态环境条件,将很难保证该区“社会-经济-生态”的协调持续发展。

目前,国外并没有明确提出“生态红线”这一概念,但是在生物保护、生态系统研究以及城市建设等领域渗透了“生态红线”的本质理论,如构建保护区(Protected Areas)<sup>[5]</sup>、生态网络(Ecological Network)<sup>[6]</sup>和绿道(Greenways)<sup>[7]</sup>保护区域生物多样性,土地利用规划中生态基础设施优先<sup>[8]</sup>等。在国内,“生态红线”的划定总体上处在起步阶段,现有研究虽主要集中于“生态红线”的划定方法和技术路线上<sup>[10-12]</sup>,但由于研究区域地理特征差别较大,其它地区的生态保护红线划定方法并不完全适用于干旱区。在干旱区内陆河流域,天然植被是绿洲的主要构成部分,水则是限制绿洲发生、发展的关键因子,生态保护红线的划定应该在“用水总量、水质、用水效率”三条保护红线的基础上,进一步强调天然植被的保护和生态用水的保障。因此,本研究选取和田河流域为研究区,在分析流域天然植被分布特征的基础上将天然植被划分为不同等级的保护红线区,进而划定天

然植被的生态需水红线,维系河流水文过程完整性的生态流量红线以及保障地下水资源可持续开发利用和适宜植被生长繁育的地下水保护红线,从而为干旱区内陆、河流域划定合理的生态保护红线(区)提供科学依据。

## 1 研究区概况

和田河流域位于新疆维吾尔自治区南部,塔里木盆地西南缘,空间跨度为 77°25′~81°43′E, 34°52′~40°28′N,流域总面积 48 870 km<sup>2</sup>。和田河发源于昆仑山和喀喇昆仑山,自南向北纵贯全流域,穿过塔克拉玛干沙漠汇入塔里木河,中上游由东西两支流组成,东支为玉龙喀什河,长 513 km,多年平均径流量为 21.95 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>;西支为喀拉喀什河,长 808 km,多年平均径流量为 21.51 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。出山口以上为上游,出山口至两支流交汇处阔什拉什为中游,丘陵倾斜平原区河床较为开阔,两岸阶地明显,公路干线以北为连片平原,沿河为绿洲农业区;下游为阔什拉什以下至肖塔水文站段,河长 319 km,沿河为天然绿洲区。

和田河流域地处欧亚大陆腹地,由于昆仑山和帕米尔高原的阻挡作用,使印度洋的暖湿气流难以进入,形成了该流域极度干旱的暖温带大陆性气候。流域年均温 12.2℃,年降水量 19.6 mm,年蒸发量 2 648.7 mm,全年浮尘天气平均达 200 d。

## 2 数据来源与研究方法

本研究通过解译遥感影像获得 2010 年和田河流域天然植被分布图,在此基础上分析了流域天然植被分布特征,利用潜水蒸发法计算了天然植被生态需水量,利用基流比例法计算了和田河丰、平、枯水年的生态基流。

### 2.1 数据来源

本文收集了和田河流域内的 Landsat-TM 影像数据,分辨率 30 m,成像时间为 2010 年 8 月份,这一时期为流域丰水期,河流、水库等水量较大,自然植被及农作物生长茂盛,地物特征明显。对该影像进行数字化,获得和田河流域天然植被的空间分布特征图(图 1)。根据《土地利用现状分类》(GB/T21010—2007)并结合相关研究,将不同植被类型划分为:疏林地,郁闭度介于 10%~20%,包括各种疏散的乔灌木;有林地,郁闭度 20%以上,主要包括较为茂密的灰杨、胡杨、柽柳林;高覆盖度草地,覆盖度大于 20%的天然草地,一般水分条件较好,生长较

茂密;低覆盖度草地,覆盖度在 10% ~ 20% 的天然草地,水分条件差,植被生长稀疏,牧业利用条件差。河历年径流量和相关气象数据来源于乌鲁瓦提和通古孜洛克水文站实测资料,地下水资源数据来源于《新疆和田地区水资源评价》;社会经济资料来源于《和田地区社会经济统计年鉴》<sup>[13]</sup>。

在和田河流域高覆盖植被区和低覆盖植被区分别以潜水埋深 2.0 m 和 3.5 m 的蒸发量作为最低生态需水量; $h_{max}$  为潜水蒸发极限埋深(m),在和田河取值 4.5 m; $E_{\phi_{20}}$  为直径 20 cm 蒸发皿蒸发量(mm),各河段  $E_{\phi_{20}}$  根据乌鲁瓦提水文站 1980—2010 年监测资料获得,为 2 882.6 mm。

表 1 不同地下水埋深下的  $k_p$  值

Table 1 The  $k_p$  values under different groundwater tables

地下水埋深/m Groundwater table	植被影响系数 Vegetation influence coefficient
< 1.25	1.98
1.25 ~ 1.75	1.63
1.75 ~ 2.25	1.56
2.25 ~ 2.75	1.45
2.75 ~ 3.25	1.38
3.25 ~ 4	1.29
> 4	1.00

2.3 基流比例法

生态基流是维持河流基本生态功能和河道基本形态的最小流量。我国干旱区内陆河径流存在明显的丰枯变化,用一个值来代替河道某一断面任何时间的流量保障值是不合理的。因此本研究通过基流比例法<sup>[17]</sup>计算和田河在丰、平、枯水年的生态基流,以便在不同年型进行更加合理的水资源调度。

2.3.1 丰、平、枯水年划定  $Z$  指数能够较好地反映某一时段径流量的丰枯实况,假设和田河 1957—2010 年同古孜洛克和吐直鲁克水文站统计的多年来水量服从皮尔逊 III 型分布,本研究通过  $Z$  指数法划分 3 个等级作为丰枯年型(表 2)。鉴于该方法已有大量文献介绍<sup>[18]</sup>,本文不再赘述。

表 2 丰枯指数等级

Table 2 The grade of met-dry year index

丰枯等级 Met- and dry- year grade	累积频率 Cumulative frequency	丰枯变化 $Z$ 指数 Wet- and dry year variation index( $Z$ )	丰枯年型 Wet- and dry-year type
1	> 70%	$Z > 0.54$	丰水年 Wet-year
2	30% ~ 70%	$-0.54 < Z \leq 0.54$	平水年 Normal-year
3	< 30%	$Z \leq -0.54$	枯水年 Dry year

2.3.2 生态基流计算 基流比例法根据丰、平、枯水年平均径流量之间的比值,推求基流比例之间的关系,可更准确地计算丰、平、枯水年的基流比例及生态基流值。其计算过程为:首先采用根据 Tennant 法确定某一年型的基流比例并对其进行验证;其次按照各年型平均径流量之间的比值,推求彼此基流

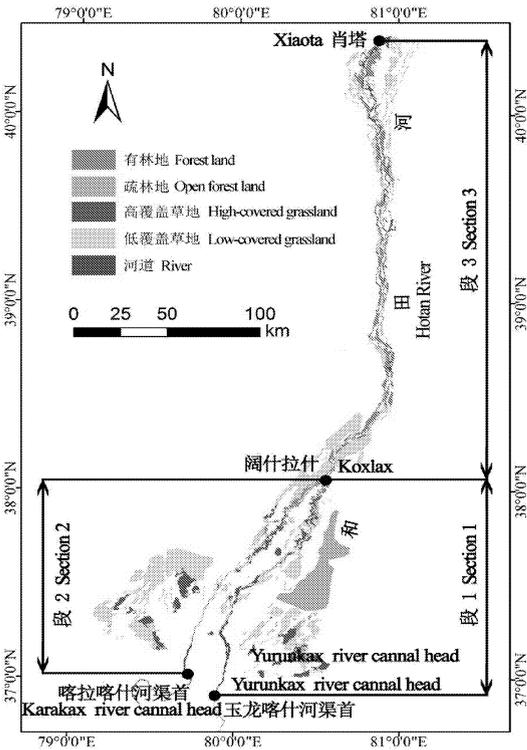


图 1 和田河流域天然植被分布图

Fig.1 The natural vegetation distribution in the Hotan River Basin

2.2 潜水蒸发模型

和田河流域平原区降水稀少,两岸多为中旱生的非地带性植被,主要依靠地下水来维持生命。因此,本研究基于研究区植被景观类型遥感解译的基础上,选择潜水蒸发法来间接估算天然植被需水量<sup>[14]</sup>。计算公式为:

$$W = \sum 10^3 A_i W_{gi} k_p \quad (1)$$

式中,  $W$  为植被需水量( $m^3$ );  $A_i$  为植被类型  $i$  的面积( $km^2$ );  $W_{gi}$  为植被类型  $i$  在某一地下水埋深时的潜水蒸发量(mm);  $k_p$  为植被影响系数,并可定义如表 1。

植被面积通过遥感解译获得,潜水蒸发量  $W_{gi}$  是潜水蒸发法计算植被生态需水量的关键,以阿维利扬诺夫公式计算较为常见<sup>[15]</sup>,计算公式如下:

$$W_{gi} = a(1 - h_i/h_{max})^b E_{\phi_{20}} \quad (2)$$

式中,  $a$ 、 $b$  为经验系数,在和田河  $a$ 、 $b$  分别取值为 0.52 和 2.51;  $h_i$  为植被类型  $i$  的地下水埋深(m),通过地下水及野外监测数据及相关研究成果确定<sup>[16]</sup>;

比例的关系;再根据已确定的某一年型的基流比例计算出其它各年型的基流比例,平均径流量大的年型基流比例低,反之则高;同一年型内各个时段的基流比例相同。计算公式为:

$$T_{i+1} = [1 + (Q_i/Q_{i+1} - 1) \times \mu] \times T_i \quad (8)$$

令  $\alpha = 1 + (Q_i/Q_{i+1} - 1) \times \mu$

则  $T_{i+1} = \alpha \times T_i \quad (9)$

式中,  $T_i$  为已知的断面第  $i$  年型的基流比例(%);  $i = 1, 2, 3$ , 依此为丰水年, 平水年, 枯水年, 一般  $T_{i+1} > T_i$ ;  $Q_i$  为断面第  $i$  年型的平均径流量( $\times 10^8 \text{ m}^3$ );  $Q_i > Q_{i+1}$ ,  $Q_i/Q_{i+1} - 1$  为第  $i$  年型径流量比第  $i+1$  年型增加的比值;  $\alpha$  为比例倍数, 即第  $i+1$  年型与第  $i$  年型基流比例的比值;  $\mu$  为比例削减系数,  $0 \leq \mu \leq 1$ ,  $\mu = 1$  时表示比例不削减, 基流比例与径流量之间的比值为直接关系, 各年型的生态基流量一样,  $\mu = 0$  时表示比例完全削减, 基流比例与径流量之间的比值没有关系, 各年型的基流比例一样。

各时段的生态基流为其基流比例与平均径流量的乘积, 计算公式为:

$$S_i = Q_i \times T_i \quad (10)$$

式中,  $S_i$  为断面第  $i$  时段的生态基流量( $\times 10^8 \text{ m}^3$ )。

## 3 结果与分析

### 3.1 生活用水红线

水资源分配过程中应首先保证生活必需用水。2014 年和田河流域城镇和农村人口分别为 432 174 人和 1 722 326 人, 每人每天耗水定额分别为  $0.096 \text{ m}^3$  和  $0.08 \text{ m}^3$ <sup>[19]</sup>, 结合水资源利用系数(0.9)计算, 流域人口耗水量为  $0.727 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此, 和田河流域生活用水红线应划定为  $0.727 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

### 3.2 天然植被分布特征及生态保护红线区

3.2.1 流域天然植被分布特征 和田河流域属极度干旱的暖温带大陆性气候, 故降水对植被生长的作用可以忽略不计, 干流天然植被分布主要受地表径流的影响, 呈现以河道为中心的带状分布。因而, 分析和田河流域天然植被的分布特征, 是划定天然植被生态保护红线区及计算该区生态需水量的前提和关键。本研究将和田河划分为 3 个河段, 中游玉龙喀什河渠首至阔什拉什为段 1, 喀拉喀什河渠首至阔什拉什为段 2, 下游即阔什拉什至肖塔段为段 3 (图 1)。利用 ArcGIS 提取河道两岸天然植被数据, 分析研究区天然植被的空间分布特征。

根据图 2, 和田河流域天然植被总面积为  $4 968.87 \text{ km}^2$ , 有林地、疏林地、高覆盖草地和低覆盖

草地的面积占总面积的比例分别为 14.08%、14.98%、13.16% 和 57.78%。另外, 各种植被类型在 3 个河段的面积分布比例具有明显的空间差异性, 例如有林地在 3 个河段分别为 2.13%、5.68% 和 34.24%, 主要分布在下游, 而高覆盖草地则分别为 19.42%、17.78% 和 2.38%, 主要分布在中游。

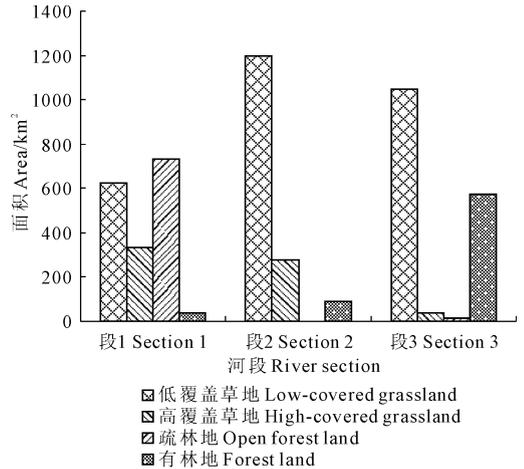


图 2 和田河流域天然植被分布面积

Fig.2 The natural vegetation distribution areas in the Hotan River Basin

从和田河不同河段天然植被分布面积来看(表 3), 3 个河段的天然植被面积分别占总面积的 34.75%、31.52% 和 33.73%。整体来看, 由于受水资源空间分布差异的影响, 河流中游(段 1 和段 2)天然植被分布最多, 占总面积的 66.27%, 而下游天然植被占总面积的 33.73%。从河道两岸来看, 受地形影响, 段 1 和段 2 东西岸天然植被面积差异较大, 段 1 东岸比西岸多  $1 377.14 \text{ km}^2$ , 段 2 西岸比东岸多  $1 299.41 \text{ km}^2$ , 段 3 河道西岸天然植被面积比东岸多  $135.99 \text{ km}^2$ , 两岸天然植被面积相近。

表 3 和田河流域天然植被分布面积/ $\text{km}^2$

Table 3 The natural vegetation distribution areas in the Hotan River Basin

项目 Item	段 1 Section 1	段 2 Section 2	段 3 Section 3	总计 Total
东岸 East bank	1551.94	133.48	769.89	2455.30
西岸 West bank	174.80	1432.88	905.88	2513.57
河段 River bank	1726.74	1566.36	1675.78	4968.87

3.2.2 流域天然植被分布频率分析 在和田河流域, 天然植被分布随水资源的时空分布变化而变化。根据流域天然植被覆盖度, 将有林地和高覆盖草地合并为高覆盖植被区, 疏林地和低覆盖草地合并为低覆盖植被区。利用 ArcGIS 10 的空间分析工具, 分

别提取距河道每 1 km 的高覆盖植被区和低覆盖植被区面积,并通过计算距河道不同距离范围内的高覆盖和低覆盖植被区面积占总面积的比例计算每公里高覆盖和低覆盖植被分布频率。进而,对每公里

频率值进行累加,得到研究区高覆盖和低覆盖植被累积频率分布曲线(图 3)。

天然植被累积频率分布拟合曲线方程及参数如表 4 所示。

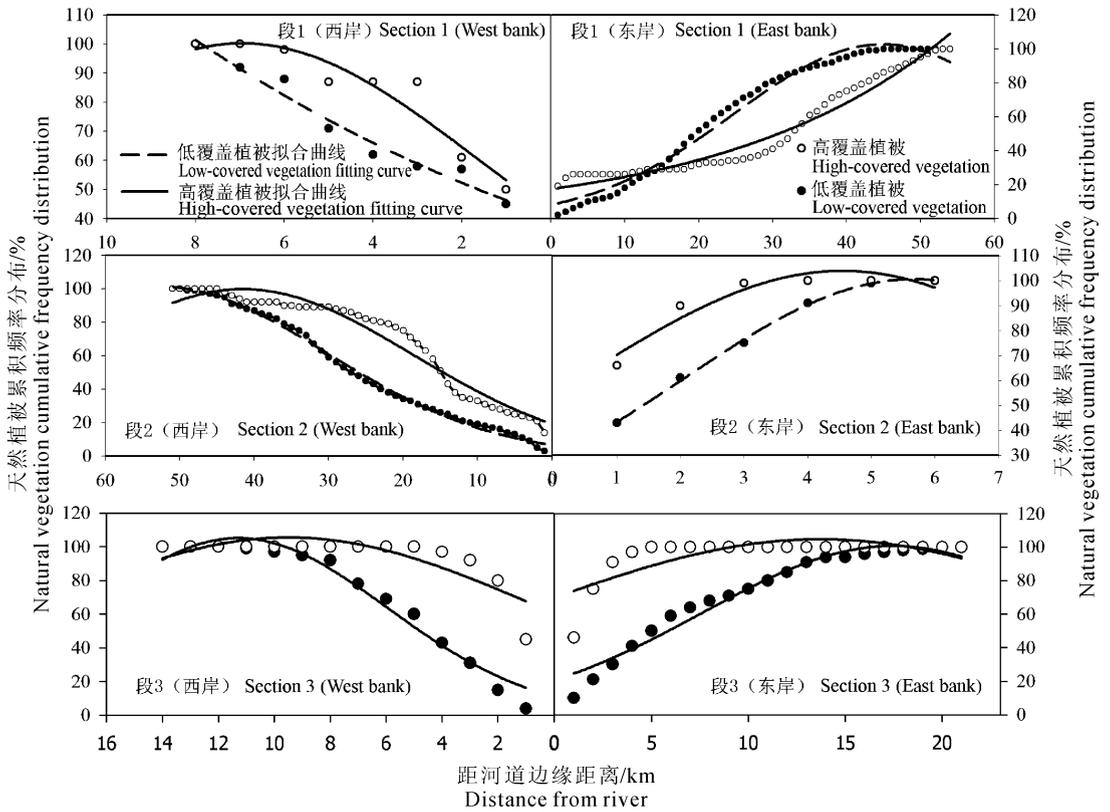


图 3 和田河流域天然植被累积频率分布

Fig.3 The cumulative frequency distribution of the natural vegetation in Hotan River Basin

表 4 天然植被累积频率分布拟合曲线方程

Table 4 The fitted curve equations of the natural vegetation cumulative frequency distribution

河段 River section	河岸 River bank	天然植被 Natural vegetation	拟合方程 Fitting equation: $f(x) = ae^{-0.5(\frac{x-x_0}{b})^2}$				
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>x</i> <sub>0</sub>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>P</i>
段 1 Section 1	西岸 West bank	高覆盖 High-covered	100.24	5.28	6.95	0.92	< 0.01
		低覆盖 Low-covered	522.45	17.93	40.47	0.97	< 0.01
	东岸 East bank	高覆盖 High-covered	$2.41 \times 10^{10}$	186.56	1210.49	0.97	< 0.01
		低覆盖 Low-covered	102.64	19.87	44.78	0.99	< 0.01
段 2 Section 2	西岸 West bank	高覆盖 High-covered	99.77	22.89	41.52	0.96	< 0.01
		低覆盖 Low-covered	101.40	22.61	52.79	0.99	< 0.01
	东岸 East bank	高覆盖 High-covered	103.92	4.00	4.54	0.92	0.02
		低覆盖 Low-covered	100.57	3.59	5.66	0.99	< 0.01
段 3 Section 3	西岸 West bank	高覆盖 High-covered	105.47	9.01	9.49	0.68	< 0.01
		低覆盖 Low-covered	105.11	5.34	11.29	0.97	< 0.01
	东岸 East bank	高覆盖 High-covered	104.72	15.24	13.71	0.57	< 0.01
		低覆盖 Low-covered	100.68	9.80	17.46	0.96	< 0.01

对图 3 不同距离河边缘距离下高覆盖植被和低覆盖植被被累积分布频率曲线的拟合方程进行求解,得到和田河各河段两岸高、低覆盖植被的分布范围。具体来讲,段 1 西岸 90% 以上的高覆盖植被和低覆盖植被分别分布在距河道 4.5~6.6 km 和 6.8~7.9 km,而东岸在 48.2~51.5 km 和 34.7~40.3 km;段 2 西岸 90% 以上的高覆盖植被和低覆盖植被分布宽幅分别为距河道 31.3~41.6 km 和 41.8~49.0 km,东岸为 2.4~3.5 km 和 4.0~5.3 km;段 3 西岸 90% 以上的高覆盖植被和低覆盖植被分别分布在 4.5~6.6 km 和 8.3~9.7 km,东岸为 5.3~9.1 km 和 12.8~16.3 km。流域天然植被分布整体呈现高覆盖植被距离河道较近,低覆盖植被距离河道较远的规律。

3.2.3 天然植被生态保护红线区 2008 年 7 月国家环境保护部和中国科学院联合编制的《全国生态

功能区划》<sup>[20]</sup>将我国不同地域单元划分为包括水源涵养区、水土保持区、防风固沙区等的重点生态功能区和包括水土流失敏感区、土地沙化敏感区、石漠化敏感区等生态敏感区/脆弱区。根据和田河各河段两岸植被累积频率分布曲线及植物群落的生态功能,以河道为中线,平行于河道划定 2 个不同级别的天然植被生态红线区:一是重点生态功能区,为河流主河道两岸的高覆盖植被区,植被类型为郁闭度 20% 以上的灰杨、胡杨、怪柳以及覆盖度大于 20% 的天然草地。二是生态敏感区/脆弱区,河流主河道两岸的低覆盖植被区,植被类型为郁闭度介于 10%~20% 的各种疏散的乔灌木以及覆盖度在 10%~20% 的天然草地(图 4)。各保护区分布范围(以距离河岸边缘的公里数表示)见表 5。

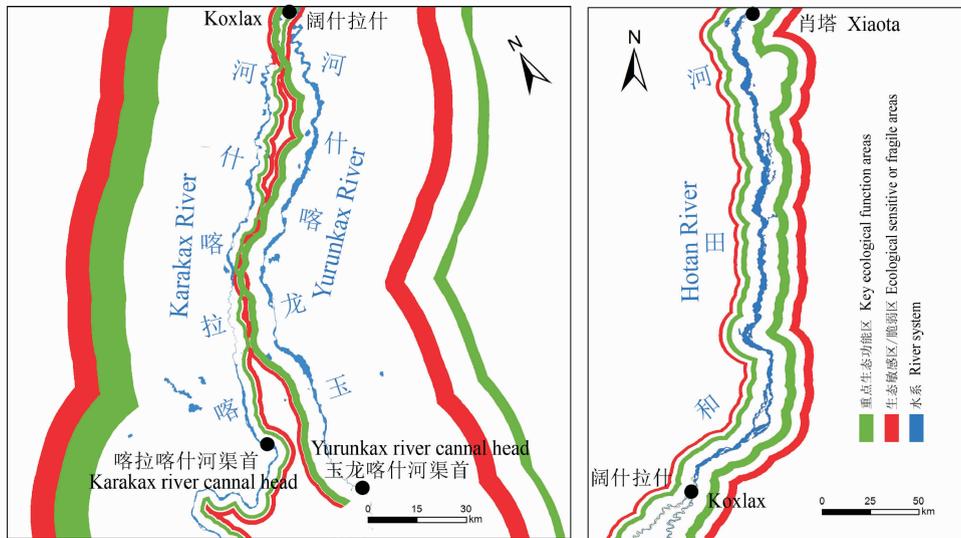


图 4 和田河流域天然植被生态保护红线区

Fig.4 Ecological protection red line areas of natural vegetation in Hotan River Basin

表 5 重点生态功能区和生态敏感区/脆弱区分布范围/km

Table 5 The distribution ranges of the key ecological function areas and ecological sensitive or fragile areas

河段 River section	河岸 River bank	重点生态功能区 Key ecological function areas	生态敏感区/脆弱区 Ecological sensitive or fragile areas
段 1 Section 1	西岸 West bank	4.5~6.6	6.8~7.9
	东岸 East bank	48.2~51.5	34.7~40.3
段 2 Section 2	西岸 West bank	31.3~41.6	41.8~49.0
	东岸 East bank	2.4~3.5	4.0~5.3
段 3 Section 3	西岸 West bank	4.5~6.6	8.3~9.7
	东岸 East bank	5.3~9.1	12.8~16.3

重点生态功能区内植被是和田河绿色走廊的主要构成部分,为当地野生动物和人类的生存提供了必要条件,所以要严格保证其生态用水,并在此基础上通过漫溢干扰来进一步保护和恢复保护区内植被。根据前人研究成果,适宜漫溢频次为每年 1~2 次,不仅能够维持较高的生物多样性,而且有利于乔灌木的生长,维持乔灌木在群落中起到主导地位<sup>[21]</sup>。生态敏感区/脆弱区是和田河流域沙漠化的敏感区,区内植被虽然稀疏,却有效减缓新月形沙丘链的移动速度,对保障绿洲生态系统安全具有重要意义。由于其植被组成以多年生草本、怪柳以及残存灰杨、胡杨为主,这些植被耐旱性较好,在丰、平水期一次满足其生态需水后,5 年内漫溢 1~2 次即可

保证该保护区植被不退化<sup>[22]</sup>。

### 3.3 天然植被生态需水红线

本研究借助潜水蒸发模型,分别计算和田河各个河段重点生态功能区内和生态敏感区/脆弱区的生态需水量(表 6)。

由表 6 知,和田河重点生态功能区和生态敏感区/脆弱区生态需水量分别为  $7.25 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $1.60 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,生态需水总量为  $8.85 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中,中游(段 1~段 2)重点生态功能区内和生态敏感区/脆

弱区生态需水量分别为  $3.96 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $1.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,生态需水总量为  $5.13 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;下游(段 3)重点生态功能区内和生态敏感区/脆弱区生态需水量分别为  $3.27 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $0.45 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,生态需水总量为  $3.72 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

### 3.4 河流生态流量保护红线

将和田河 1957—2010 年按年均径流量划分为丰水年、平水年和枯水年(图 5)。

表 6 重点生态功能区内和生态敏感区/脆弱区生态需水量/ $10^8 \text{ m}^3$

Table 6 The ecological water requirements of the key ecological function areas and ecological sensitive or fragile areas

生态红线区 Ecological red line area	段 1 Section 1		段 2 Section 2		段 3 Section 3	
	西岸 West bank	东岸 East bank	西岸 West bank	东岸 East bank	西岸 West bank	东岸 East bank
重点生态功能区 Key ecological function areas	0.67	1.33	1.55	0.42	1.65	1.63
生态敏感区/脆弱区 Ecological sensitive or fragile areas	0.02	0.58	0.51	0.02	0.26	0.21
总计 Total	0.69	1.91	2.06	0.44	1.91	1.84

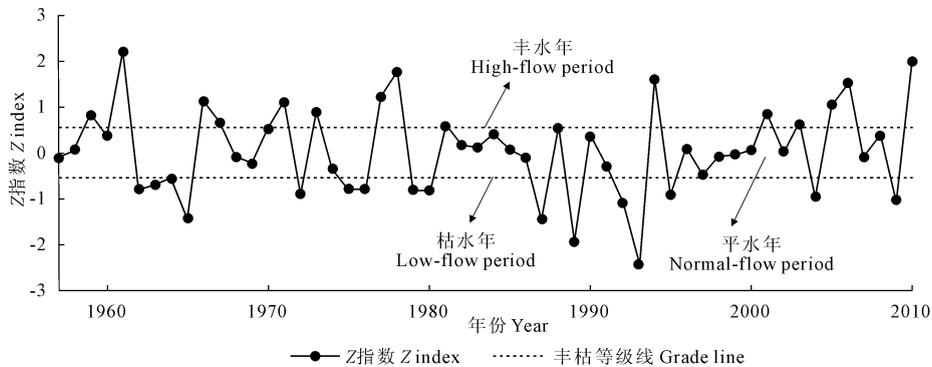


图 5 和田河丰枯变化

Fig.5 The variation of wet and dry year-flow of the Hotan River

根据 Tennant 法,假定丰水年的生态基流占其平均径流的 25%,计算后生态基流值为多年平均流量的 31%。根据公式(3)和公式(4)分别计算各年型的基流比例及基流值,公式(3)中比例削减系数在本研究中取 0.4<sup>[23]</sup>,结果见表 7。

根据表 7,和田河在丰水期、平水期和枯水期生态基流应分别为  $13.79 \times 10^8$ 、 $12.14 \times 10^8$ 、 $10.68 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,均可满足和田河每年应向塔里木河干流下泄  $9.2 \times 10^8 \text{ m}^3$  水量的任务。

### 3.5 地下水保护红线

近年来,由于地下水的不合理开发利用导致了诸如地下水位持续下降、土壤次生盐渍化、天然植被衰败和土地沙漠化等生态环境问题<sup>[24]</sup>。人工绿洲的主要生态问题是土壤盐渍化,因此地下水位控制

的原则是不发生土壤次生盐渍化或者使盐渍化的程

表 7 和田河各年型生态基流

Table 7 The ecological basic flow in different hydrological year of the Hotan River

项目 Item	丰水年 High-flow year	平水年 Normal-flow year	枯水年 Low-flow year
各年型平均流量/ $10^8 \text{ m}^3$ Average flow of high-and low-flow type	55.17	43.36	34.69
比例倍数 $\alpha$	1.11	1.10	
基流比例 $T_i/\%$	25	28	31
生态基流量 $S_i/10^8 \text{ m}^3$	13.79	12.14	10.68
占多年平均流量比例/ $\%$ Proportion accounting for of the annual average runoff	31	27	24

度有所减轻。根据中国科学院新疆生态与地理研究所<sup>[25]</sup>在塔里木盆地北部地区开展的土壤积盐速率试验,土壤积盐速度随着潜水埋深的增加而指数下降,以潜水埋深 2~2.5 m 为界,小于该值,土壤积盐速度明显加快;大于该值,土壤积盐速度就显著减慢。因此,和田河流域中游地下水适宜水位可以确定为 2.0~2.5 m,该试验与新疆土壤改良实验的结果(2.3~2.8 m)十分接近。天然绿洲的主要生态问题是天然植被衰败,因此地下水位控制的原则为既能减少地下水强烈蒸发返盐对植物生长的不利影响,又不造成土壤变干而影响植物繁殖。根据樊自立等<sup>[26]</sup>对塔里木河流域的地下水、土壤水和植被状况相互关系的研究,当潜水埋深小于 2 m 时,地表蒸发强烈,埋深大于 2 m 时,潜水蒸发受地下水位控制作用增强,土壤积盐速率加快,毛管水强烈上升,综合考虑地下水矿化度和土壤质地,塔里木河流域地下水临界深度平均为 1.7~2.0 m。潜水埋深大于其极限蒸发深度(4.0~4.5 m),土壤水分不能满足植物需求,植被因土壤干旱而开始衰败。因此,把和田河流域天然绿洲适宜生态水位确定在 2.0~4.0 m。

平原区地下水资源补给主要来源于大气降水入渗、山前侧向径流补给、河道渗漏、水库渗漏、渠系渗漏、灌区田间入渗、井泉回归。和田河流域干旱少雨,降水对地下水补给甚微,在此不做计算。根据《新疆和田地区水资源评价》,山前侧向径流补给量、河道渗漏补给量、水库渗漏补给量、渠系渗漏补给量、灌区田间入渗量、井泉回归补给量分别为  $4.29 \times 10^8$ 、 $3.32 \times 10^8$ 、 $0.44 \times 10^8$ 、 $3.98 \times 10^8$ 、 $3.14 \times 10^8$ 、 $0.83 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ,因此,和田河流域现状地下水总补给量为  $16.00 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ,和田河流域灌区主要分布于砾质平原下部、细土平原区,呈东西向带状和南北向沿河分布,而组成灌区地下水资源量除南部山前的侧向流入补给量外,其它全部为转化补给量,因此可以根据山前侧向流入量及转化补给量来计算灌区地下水资源量。山前侧向流入量为  $4.30 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ,扣除重复水量  $0.83 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ,转化补给量中除河道外,其它均在灌区内进行,均可计入灌区资源量,为  $11.71 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ,因此,和田河流域灌区地下水资源量为  $15.18 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ 。

在和田河流域,77.14%的地下水资源量均为地下水转化补给量,随着地下水埋深加大、渠系水利用效率的提高以及各种高新节水灌溉技术的应用,地表水转化补给地下水资源量会迅速减少,随之而来的是地下水水位下降,潜水蒸发蒸腾量减少,因此,

从长远考虑,为避免生态环境脆弱的和田流域地下水位的迅速下降,引起生态环境恶化,本文参照《新疆地下水资源》<sup>[27]</sup>,将开采系数取为 0.4(灌区内),地下水资源量乘以开采系数得到和田河流域现状地下水可开采量为  $6.07 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ 。

综上,地下水保护红线应划定为:人工(段 1 和段 2)和天然(段 3)绿洲区适宜生态水位分别为 2.0~2.5 m 和 2~4 m;地下水开采量不大于  $6.07 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ 。

## 4 讨 论

在干旱区内陆河流域,天然植被是绿洲生态系统的主要构成部分,它们的存在可以降低风速、调节气温、增加空气湿度、形成特殊小气候,为人类和其他动物提供了必要的生存条件。然而由于过去对保护沙漠生态环境的意义认识不足,破坏沿岸天然植被的情况时有发生,自阔什拉什开始,几十公里的地段胡杨林被不断砍伐,流动沙丘已逼近河岸。许多地段由于过度放牧、过量采挖药材,使植被覆盖度降低,加速了土壤风沙化程度,河岸阶地草甸已形成起伏沙地,严重威胁着人类的生存。所以,在干旱区内陆河流域划生态保护红线首先应该考虑到天然植被保护红线。高覆盖天然植被是构成绿洲生态环境的主体,其生态功能对绿洲生态环境的稳定发展起决定性作用,所以将这一植被区划定为重点生态功能区,重点保证该区天然植被不被破坏。绿洲外围的低覆盖植被区为绿洲-荒漠过渡带,是绿洲化和荒漠化最活跃、最敏感的地区<sup>[28]</sup>。虽然其植被稀疏,但在防风固沙、缓冲沙漠与绿洲间能流物流交换、保留乡土动植物物种等方面具有重要作用<sup>[29]</sup>,所以将该植被区划定为生态敏感区/脆弱区。另外,由于水资源利用方面的不足,和田河下泄水量减少,沿岸胡杨林与灰叶胡杨林不断萎缩。所以有必要划定生态需水保护红线,从水量上保证天然植被的正常需水。干旱区降水量极少,水资源较为贫乏,属于典型干旱荒漠类型区,植被多是由适应性和耐旱性极强的植物组成,生态环境极其脆弱,地下水资源具有不可替代的作用和地位,而河流可以有效补给河道两岸地下水,所以在干旱区生态保护红线划定工作中必须划定生态流量和地下水保护红线。

通过分析和和田河 1957—2010 年年平均径流量实测资料发现,和田河年均径流量存在明显的丰枯变化,故本研究将研究区天然植被划定为两个不同等级的生态保护红线区,在水充沛时同时满足两个区的生态需水,在枯水年则重点保护重点生态功能

区植被的生态需水,既有针对性的保护了研究区天然植被,又合理高效利用了水资源。在丰、平、枯水年,和田河生态基流分别应为  $13.79 \times 10^8$ 、 $12.14 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $10.68 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,分别占平均径流的 31%、27%和 24%,均符合 Tennant 法的推荐比例。地下水保护红线的划定从地下水适宜水位和可开采总量进行,根据研究区人工和天然绿洲不同的生态环境,人工绿洲区地下水适宜水位为不发生土壤次生盐渍化或者使盐渍化的程度有所减轻的水位,天然绿洲区地下水适宜地下水水位为天然植被的适宜生长水位,地下水可开采总量则根据《新疆和田地区水资源评价》(2014)中提供的相关水资源数据,结合流域实际情况进行核算,划定为  $6.07 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

## 5 结 论

1) 现阶段和田河流域生活用水红线为  $0.727 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2) 根据流域天然植被分布特征将天然植被划分为重点生态功能区和生态敏感区/脆弱区。和田河下游重点生态功能区和生态敏感区/脆弱区主要分布在距离河道 5~8 km 和 8~15 km 范围内。

3) 和田河流域重点生态功能区和生态敏感区/脆弱区生态需水量分别为  $7.25 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $1.60 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,生态需水红线为  $8.85 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

4) 在丰水年、平水年和枯水年,和田河生态基流红线分别为  $13.79 \times 10^8$ 、 $12.14 \times 10^8$ 、 $10.68 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

5) 和田河流域人工和天然绿洲地下水位红线分别为 2.0~2.5 m 和 2.0~4.0 m;地下水开采量红线为  $6.07 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

## 参 考 文 献:

- [1] 国务院.国务院关于加强环境保护重点工作的意见[R].2011.
- [2] 杨邦节,高吉喜,邹长新.划定生态保护红线的战略意义[J].中国发展,2014,14(1):1-4.
- [3] 程苗苗,江洪,陈健,等.基于 Landsat 数据的新疆和田地区植被覆盖变化研究[J].安徽农业科学,2009,37(3):1239-1244.
- [4] 彭茹燕.和田河中游地区景观格局遥感研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2001.
- [5] Geldmann J, Barnes M, Coad L, et al. Effectiveness of terrestrial protected areas in reducing habitat loss and population declines[J]. *Biological Conservation*, 2013,161(3):230-238.
- [6] Hess G R, Fischer R A. Communicating clearly about conservation corridors[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2001,55(3):195-208.
- [7] Zube E H. Greenways and the US national park system[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1995,33(94):17-25.
- [8] Honachefsky W. Ecologically based municipal planning[M]. Boca Raton, FL: Lewis Publisher, 1999.
- [9] 冯宇.呼伦贝尔草原生态红线区划定的方法研究[D].北京:中国环境科学研究院,2013.
- [10] 许妍,梁斌,鲍晨光,等.渤海生态红线划定的指标体系与技术方法研究[J].海洋通报,2013,32(4):361-367.
- [11] 喻本德,叶友华,郭威,等.生态保护红线分区建设模式研究——以广东大鹏半岛为例[J].生态环境学报,2014,23(6):962-971.
- [12] 万军,于雷,张培培,等.城市生态保护红线划定方法与实践[J].环境保护科学,2015,41(1):6-11.
- [13] 新疆和田年鉴编辑委员会.和田地区社会经济统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2012:18-256.
- [14] 关洪涛,杨泽慧,宋剑鹏,等.和田河绿色走廊天然生态需水量估算[J].水资源与水工程学报,2005,16(1):71-74.
- [15] 叶朝霞,陈亚宁,李卫红.基于生态水文过程的塔里木河下游植被生态需水量研究[J].地理学报,2007,62(6):451-461.
- [16] 胡顺军.塔里木河干流流域生态—环境需水研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [17] 吴喜军,李怀恩,董颖,等.基于基流比例法的渭河生态基流计算[J].农业工程学报,2011,27(10):154-159.
- [18] Ling H B, Xu H L, Zhang Q Q, et al. Runoff variation law and its response to climate change in the headstream area of the Keriya River Basin, Xinjiang[J]. *J Earth Sci*, 2011,22:780-791.
- [19] 许有鹏.干旱区水资源承载力综合评价研究——以新疆和田河流域为例[J].自然资源学报,1993,8(3):229-237.
- [20] 欧阳志云.中国生态功能区划[J].中国勘察设计,2007,1(3):21-22.
- [21] 傅彦仪,徐海量,赵新风,等.塔里木河下游漫溢干扰频次和持续时间对河岸植被和土壤的影响差异[J].草业学报,2013,22(6):11-20.
- [22] 徐海量,叶茂,李吉玫,等.河水漫溢对荒漠河岸林植物群落生态特征的影响[J].生态学报,2007,27(12):4990-4998.
- [23] Arthington A H, Bunn S E, Poff N L, et al. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems[J]. *Ecological Applications*, 2006,16(4):1311-1318.
- [24] WECD. Our Common Future - From One Earth to One World[M]. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [25] 中国科学院新疆生态与地理研究所,清华大学,新疆塔里木河流域管理局.塔里木河流域整治及生态环境保护研究[R].2000.
- [26] 樊自立,马英杰,张宏,等.塔里木河流域生态地下水位及其合理深度确定[J].干旱区地理,2004,27(1):8-13.
- [27] 董新光.新疆地下水资源[M].乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2005,192-207.
- [28] 赵成义,王玉朝,李国振.荒漠—绿洲边缘区研究[J].水土保持学报,2001,15(3):93-97.
- [29] 穆桂金,贺霞霞,雷加强,等.再议绿洲—沙漠过渡带—以策勒绿洲—沙漠过渡带为例[J].干旱区地理,2013,36(2):195-202.