

塔里木河流域生态系统健康评价

付爱红^{1,2}, 陈亚宁^{1,2,*}, 李卫红^{1,2}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 乌鲁木齐 830011)

摘要:通过收集 2000 年以来塔里木河流域的生态、经济和社会状况资料, 分析影响该流域生态系统健康的因素, 采用指标体系分析法和专家咨询法, 确立塔里木河流域生态系统健康评价指标体系和评价标准, 计算得出流域生态健康评价指标权重, 并对流域生态健康状况进行了评价。结果表明: 塔里木河源流的阿克苏河、叶尔羌河和开都河-孔雀河流域的山区生态系统的健康状况处于“中等”级别, 和田河流域的山区生态处于“优”级别; 阿克苏河、叶尔羌河和和田河流域的平原绿洲区生态处于“优”级别, 开都河-孔雀河流域的平原绿洲区生态处于“中等”级别; 四源流的荒漠区生态处于“差”级别; 塔里木河干流上游生态处于“优”级别, 中游生态处于“中等”级别, 下游生态处于“差”级别。评价结果基本与实际相符, 说明使用的评价方法是切实可行的。该研究结论将为流域生态环境的综合治理提供科学依据。

关键词:生态系统; 健康评价; 指标体系; 塔里木河流域

文章编号: 1000-0933(2009)05-2418-09 中图分类号: Q146, X171, X82 文献标识码: A

Assessment on ecosystem health in the Tarim River Basin

FU Ai-Hong^{1,2}, CHEN Ya-Ning^{1,2,*}, LI Wei-Hong^{1,2}

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, 830011, China

2 Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environment, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2418 ~ 2426.

Abstract: Based on information on ecology and socio-economics over the Tarim River Basin from 2000, we analyzed factors influencing ecosystem health, using index system method and expert score sheet, developed index weighting scheme of ecosystem health assessment, and evaluated ecosystem health in this basin. We found that the ecosystems in the mountainous areas of Aksu, Yarkant and kaidu-Konqi River Basin were sub-healthy, those in the Hetian River Basin was healthy; ecosystems in plain-oasis areas of Aksu, Yarkant and Hetian River Basin were healthy, those of Kaidu-Konqi River Basin were sub-healthy; the desert ecosystems of four headstreams were unhealthy; the ecosystems of the upper reaches of Tarim River were healthy, those of the middle reaches were sub-healthy, and those of the lower reaches were unhealthy. Evaluation results are consistent with the actual situation, indicating that our method is suitable for ecosystem health assessment in the Tarim River Basin. The resulting data provide scientific basis for integrative ecosystem management of the Tarim River Basin.

Key Words: ecosystem health assessment; index system; The Tarim River Basin

生态系统健康是一个新概念, 属于新领域。过去对生态系统健康的研究主要集中在生态健康概念的辨析、生态健康诊断指标的确定、生态系统健康的恢复、生态系统健康的研究尺度等几个方面^[1~20]。对森林、农田、草原、湿地、河流、湖泊等单个生态系统的健康状况研究较多^[6~20], 对集森林、草原、湿地、河流和荒漠为一体的流域生态健康关注较少^[21,22]。总体上看, 流域生态系统健康研究仍处在初步阶段, 还没有形成一套完整

基金项目:中国科学院西部行动计划资助项目(KZCX2-XB2-03), 国家自然科学基金资助项目(40701052, 90502004, 30500081)

收稿日期: 2008-01-10; 修订日期: 2008-07-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenyn@ms.xjb.ac.cn

的理论体系和可行性的评价方法。

塔里木河流域是一个集森林、草原、湿地、河流和荒漠为一体的复合生态系统类型。塔里木河流域,作为中国最大的内陆河流域,近 50 年来在以水资源开发利用为核心的大强度人类经济和社会活动的作用下,流域生态系统出现了一系列诸如河道断流、枯竭、生物多样性散失、水质污染以及沙尘天气频繁等问题,严重破坏了流域应有的服务功能和生态系统健康。本文在分析塔里木河流域生态系统健康影响因素以及收集与整理流域生态、经济和社会资料的基础上,对流域生态系统健康现状进行了初步评价。该研究结论将促进流域生态、经济和社会的协调发展,为流域生态环境的综合治理提供科学依据。

1 研究区概况与资料采集

1.1 研究区概况

塔里木河流域主要包括“四源一干”^[23],其中,源流主要包括阿克苏河流域、和田河流域、叶尔羌河流域和开都河—孔雀河流域,干流为阿拉尔至台特玛湖河段,由上游的阿拉尔、新渠满和英巴扎断面,中游的沙吉力克、沙子河、乌斯满、阿其克、铁依孜和恰拉断面以及下游的阿克墩、亚合甫马汗、英苏、阿布达勒、喀尔达依、吐格买莱、阿拉干、依干不及麻和考干共 18 个断面组成(图 1)。

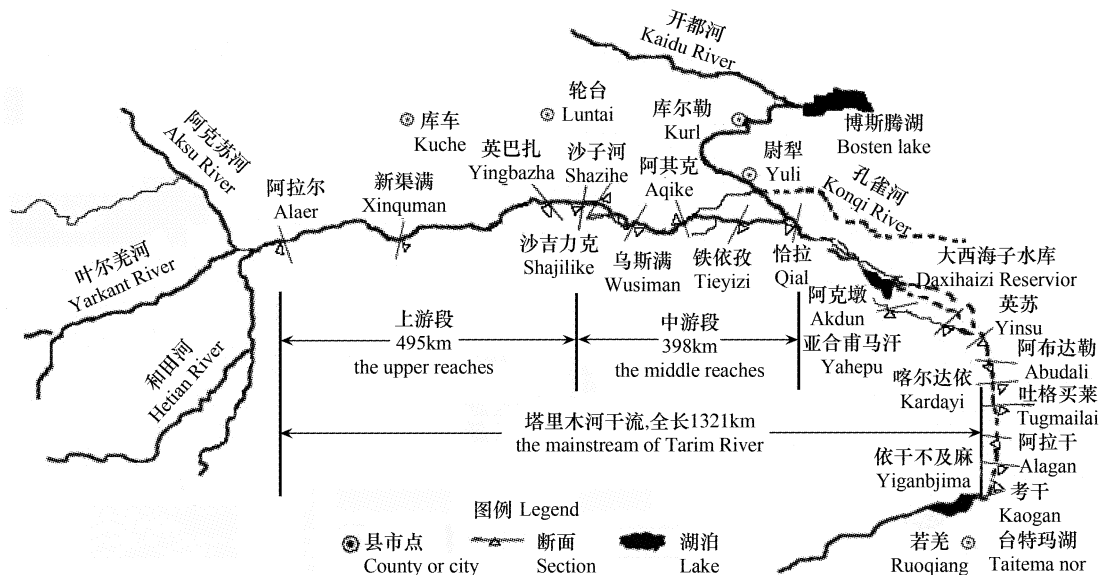


图 1 塔里木河流域各断面示意图

Fig. 1 Sketch map on sections in the Tairim River Basin

四条源流流域面积 347263 km²,从叶尔羌河源到台特玛湖,塔里木河全长 2437 km^[24]。流域内有 5 个地(州)的 42 个县(市)和生产建设兵团 4 个师的 55 个团场。塔里木河干流全长 1321 km,由上游、中游和下游 3 部分构成,在行政区域上隶属于新疆维吾尔自治区阿克苏地区的阿克苏市、沙雅县、新和县、库车县和巴音郭楞蒙古自治州的轮台县、库尔勒市、尉犁县、若羌县以及生产建设兵团农一师、农二师所属的 15 个团场。

塔里木河流域地处欧亚大陆腹地,因远离海洋和高山阻隔,形成中纬度干旱区典型大陆性暖温带、极端干旱沙漠性气候。干燥少雨,蒸发强烈,多风,年温差较大,日照充足,热量丰富,年日照时数 2550 ~ 3500 h,平均太阳总辐射量为 1740 kW·h/(m²·a),年降水量 17.4 ~ 42.8 mm,年蒸发量高达 1800 ~ 2900 mm,其中山区为 800 ~ 1200 mm,平原盆地为 1600 ~ 2200 mm,无霜期为 190 ~ 220 d。流域平均气温多大于 10 ℃,流域最高气温可达 39 ~ 42 ℃,大于 10 ℃年积温多在 4000 ℃以上,其中最高的和田河流域为 4361 ℃,塔里木河干流区多在 4039 ~ 4274 ℃^[24]。

1.2 资料收集

(1)查阅大量相关文献、统计年鉴和有关报告等,掌握塔里木河流域生态和社会经济状况,确定流域生态

健康评价指标体系,获得反映系统结构、功能、服务功能和社会发展的指标数据。

(2)采用专家咨询法,共邀请生态学家、水文学家、环境质量评价专家等 20 名,比对生态健康评价指标的重要性,运用层次分析法计算生态健康评价指标的权重数据。

(3)在借鉴国家标准与相关研究成果的基础上,通过实地考察、专家咨询、公众参与等方法确定生态健康评价标准,提出基于塔里木河流域现状的合理的指标标准和人类期望的目标。

1.3 健康评价方法

根据塔里木河流域生态环境现状,以可持续发展为目的,把流域生态系统健康各指标分为:优、良、中等、差和极差 5 个标准并分别赋予 5、4、3、2 和 1 的分值,对其进行加权平均,得到流域生态系统健康综合评价度,计算公式如下:

$$E = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n \lambda_i M_i$$

式中, E 为流域生态系统健康综合评价度; n 为指标数; M_i 为第 i 个指标的得分; λ_i 为权重,表示各指标在整个指标体系中的相对重要性程度。

在计算得出塔里木河流域生态系统健康综合评价度值的基础上,咨询相关专家,将最终评价结果分为优($E \geq 0.85$)、中($0.60 \leq E < 0.85$)和差($E < 0.60$)三等。

2 生态健康影响因子分析

塔里木河流域生态系统健康受多种因素制约。总体分为自然因子和人为因子。

2.1 自然因子

影响塔里木河流域生态系统健康的因素首先是地质、地貌与气候因子。塔里木河流域四周高山环列,流域内高山、盆地相间,整个地势南高北低、西高东低。盆地边缘为一系列山麓石砾带,石砾带以下则是片状绿洲,中部为浩瀚的大沙漠——塔克拉玛干沙漠。因远离海洋和高山阻隔,形成中纬度干旱区典型的大陆性气候。干燥少雨、蒸发强烈、多风、气温年较差大,日照足,热量丰富。流域最高气温可达 $39 \sim 42\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均气温多大于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,且塔里木河干流区大于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 年积温多在 $4039 \sim 4274\text{ }^{\circ}\text{C}$ [24]。年蒸发量 $1800 \sim 2900\text{ mm}$,而降水量仅 $18.6 \sim 50\text{ mm}$ 。流域多风沙、浮尘天气,多年平均最大风速在 $17 \sim 35\text{ m/s}$ [24]。由于此类地质、地貌与气候条件等因素的影响,该流域形成了生态系统规模小、生物过程微弱、生态系统稳定性低的特点。水分因素是影响塔里木河流域生态系统健康的主要因素,它制约着植被的生长与分布,对土壤等其他环境资源的发育和稳定构成威胁,是该流域生态系统退化的内因。

2.2 人为因子

生态系统健康既决定于其内在的自然因素,也决定于外在的人为干扰。人类活动包含的内容很多,主要有水利、农业、城市发展、畜牧、旅游、林业生产以及科技和教育等,这些活动都不同程度地影响着流域生态系统的健康。水利工程的修建改变了河流的原有流动方式,如大坝水库改变了河流流速、流量的时空分布和水温,对大坝两侧的植被生长造成影响。城市建设和工农业生产通过改变土地利用格局和土地利用方式,改变了流域或区域的植被覆盖度和水资源时空分布特征。1958 年以后农垦团场建立,垦荒面积扩大,引用水量不断增加,下游河道因逐年无水下泄而干涸,两岸植被受损,荒漠化程度加剧,生态系统退化。科技和教育决定着人类对流域生态系统的认识水平和开发方式,因而也通过人类的意识间接影响着流域生态系统的健康。综上所述,塔里木河流域生态系统健康受损是其自身脆弱的生态基质和外界干扰共同作用的结果,起因于人口的增加、需求的增长。系统本身的脆弱和不稳定性是影响系统健康的内因,人为干扰则是健康受损的驱动力。

3 流域生态健康评价

3.1 评价指标体系的确定

3.1.1 指标体系建立的原则

生态系统健康评价指标必须达到 3 个目标:指标体系能完整准确地反映生态系统健康状况;对各类生态系统的生物物理状况和人类胁迫进行监测,寻求自然、人为压力与生态系统健康变化之间的联系,并探求生态

系统健康衰退的原因;定期地为政府决策、科研及公众要求等提供生态系统健康现状、变化及趋势的统计总结和解释报告。指标的筛选应该遵循以下原则:

(1)可持续性原则 流域生态系统是为人类提供服务的重要来源。必须遵循可持续性原则,实现流域资源的科学开发和永续利用。

(2)指标定量性与可操作性原则 目前,在一些研究领域,建立的指标体系往往在理论上反映较好,但实践性不强。因此,所确定的各项指标,不能脱离指标相关资料信息条件的实际。尽量选择那些关键性的具有综合性的指标,使得建立的指标体系简单明了、有较强的可比性、参数易于获取以及便于计算和分析等。由于现阶段流域生态系统的生态环境监测与评价处在起步阶段,系列资料极其缺乏,因此,指标的定量性和可操作性显得尤为重要。

(3)整体性原则 建立流域生态系统健康评价指标体系,要求指标体系覆盖面较广,从众多的影响因子和指标中,提取能全面概括流域生态环境系统结构和功能的本质特征和现状、并可衡量系统中各种生态关系的紧密程度及其整体效应的指标,并通过这些指标去剖析系统整体功能的形成原因和发展变化机制。

(4)主导性原则 生态环境系统是一个非常复杂的系统,决定系统特征的因子很多。流域生态系统健康评价指标的选择,必须在充分研究系统功能与目标之间相互关系的基础上,提取那些信息量大、综合性强的指标,并力求简明,易于操作。

(5)指标敏感性与稳定性原则 流域生态系统健康评价指标体系的选取应具有对生态环境变化的敏感性,同时也应具有一定的稳定性。

3.1.2 指标体系的建立

在遵循指标体系构建原则的基础上,结合对塔里木河流域生态健康影响因素和生态环境现状的分析,从流域生态系统结构、功能、生态系统服务功能以及社会发展和人类健康等 5 个方面,提出了 11 个流域生态系统健康评价指标,指标涵盖了流域生态、经济和社会 3 方面,对流域生态、经济和社会状况的代表性较高,运用该指标所做的健康评价准确性较高。塔里木河流域生态健康评价指标体系及其统计值见表1和2所示。由

表 1 塔里木河流域生态系统健康评价指标及其统计值

Table 1 Indicators and statistic values of ecosystem health assessment in the Tarim River Basin

区域 Region		植被生产力 ($g/(m^2 \cdot d)$) Vegetation productivity	物种多样性 Plant species diversity	恢复能力 (%) Resilience	水资源利用率 (%) Utilization of water resources	防风阻沙效应 (%) Effect of wind prevention and sand resistance
阿克苏河 Aksu River	山区 Mountainous area	12	1.60	85	30	80
	平原绿洲区 Plain-oasis area	10.50	1.50	75	58	72
	荒漠区 Desert area	5	0.40	40	15	50
叶尔羌河 Yarkant River	山区 Mountainous area	11	1.50	83	35	76
	平原绿洲区 Plain-oasis area	10.20	1.66	75	65	68
	荒漠区 Desert area	4	0.40	40	12	46
和田河 Hetian River	山区 Mountainous area	11.50	1.50	83	40	78
	平原绿洲区 Plain-oasis area	12	1.65	70	65	70
	荒漠区 Desert area	4	0.30	35	14	45
开都河-孔雀河 Kaidu-Konqi River	山区 Mountainous area	11	1.38	80	38	76
	平原绿洲区 Plain-oasis area	10.20	1.70	65	58	68
	荒漠区 Desert area	3	0.30	30	11	40
上游 The upper reaches		11	1.60	70	40	68
中游 The middle reaches		8	0.80	68	30	65
下游 The lower reaches		2	0.30	30	10	30

表 2 塔里木河流域生态系统健康评价指标及其统计值

Table 2 Indicators and statistic values of ecosystem health assessment in the Tarim River Basin

区域 Region		人口变化 趋势(%) Trend of population change	人类发展 指数 Human development index	农牧民人均纯 收入(元/年) Human average net income of farmers and herdsmen (Yuan/a)	公众参与 得分 Public participation	环境意识 得分 Environmental awareness	法制完善 程度得分 The level of improving the legal system
阿克苏河 Aksu River	山区 Mountainous area	0.60	0.44	2800	70	70	70
	平原绿洲区 Plain-oasis area	1.37	0.78	4000	80	80	80
	荒漠区 Desert area	0.20	0.18	2200	72	72	72
叶尔羌河 Yarkant River	山区 Mountainous area	0.50	0.46	2500	65	65	65
	平原绿洲区 Plain-oasis area	1.20	0.85	3700	75	75	75
	荒漠区 Desert area	0.10	0.15	1800	68	68	68
和田河 Hetian River	山区 Mountainous area	0.60	0.50	2800	70	70	70
	平原绿洲区 Plain-oasis area	1.37	0.80	4000	80	80	80
	荒漠区 Desert area	0.20	0.10	2200	72	72	72
开都河-孔雀河 Kaidu-Konqi River	山区 Mountainous area	0.50	0.30	2500	65	65	65
	平原绿洲区 Plain-oasis area	1.20	0.70	3700	75	75	75
	荒漠区 Desert area	0.10	0.10	1800	68	68	68
上游 The upper reaches		1.20	0.70	4000	75	75	75
中游 The middle reaches		1.30	0.60	3800	75	75	75
下游 The lower reaches		0.10	0.20	3000	72	72	72

于没有对塔里木河流域不同地区进行长期的野外监测,用于计算指标的数据不全,所以,植被生产力、物种多样性、水资源利用率、人口变化趋势和农牧民人均纯收入数据是通过资料收集法获得的,而恢复能力(自然干扰的恢复速度和生态系统对自然干扰抵抗力)可用 0~1 的数值定性表示^[25]、防风阻沙效应、人类发展指数(联合国发展署(UNDP)1992 年提出的测度各国经济水平、受教育程度和健康水平的综合指数,HDI=0 表示最差,HDI=1 表示最好)、公众参与、环境意识和法制完善程度数据是通过专家咨询法获得的。

3.2 评价指标权重的确定

采用专家问卷调查法,邀请生态学家、水文学家、环境质量评价专家等,比较各指标之间的相对重要性,填写各指标权重的判断矩阵,采用层次分析法计算指标的权重,具体步骤如下:①将判断矩阵每一列正规化;②将每一列正规化的判断矩阵按行相加得到向量;③对向量做正规化处理,依次得到的列向量即为所求特征向量;④计算判断矩阵的最大特征根;⑤对判断矩阵进行一致性检验,得到各个评价指标的权重。结果见表 3。

3.3 评价指标标准的确定

将塔里木河流域生态系统健康评价指标分为优、良、中等、差和极差 5 个标准,采用专家咨询等方法对每个指标的各健康标准进行了范围界定,如表 4 所示。由表 4 可知,当植被生产力高于 10 g/(m²·d)、物种多样性大于 1.6、水资源利用率超过 40%、恢复能力和防风阻沙效应超过 75%、人口变化趋势小于 8.5%、人类发展指数达 1、农牧民人均纯收入超过 3000 元/a、公众参与、环境意识和法制完善程度超过 75 分时,流域生态系统处于“优”状态;当植被生产力低于 3 g/(m²·d)、物种多样性低于 0.4、水资源利用率低于 25%、恢复能力和防风阻沙效应低于 60%、人口变化趋势大于 10%、农牧民人均纯收入低于 1500 元/a、公众参与、环境意识和法制完善程度低于 50 分时,流域生态系统处于“极差”状态;当植被生产力达 6~8 g/(m²·d)、物种多样性达 0.8~1.2、水资源利用率达 30%~35%、恢复能力和防风阻沙效应达 65%~70%、人口变化趋势达 9%~9.5%、人类发展指数达 0.3~0.6、农牧民人均纯收入达 2000~2500 元/a、公众参与、环境意识和法制完善程

度达 60 ~ 65 分时,流域生态系统处于“中等”级别。

表 3 塔里木河流域生态系统健康评价指标体系的权重
Table 3 Index weighting of ecosystem health assessment in the Tarim River Basin

指标 Indicators	权重 Weight	数据收集方法 Methods of data collection
植被生产力(g/(m ² ·d)) Vegetation productivity	0.02	资料收集法 Data collection method
物种多样性 Plant species diversity	0.02	资料收集法 Data collection method
恢复能力(%) Resilience	0.05	专家咨询法 Expert advisory method
水资源利用率(%) Utilization of water resources	0.10	资料收集法 Data collection method
防风阻沙效应(%) Effect of wind prevention and sand resistance	0.23	专家咨询法 Expert advisory method
人口变化趋势(‰) Trend of population change	0.16	资料收集法 Data collection method
人类发展指数 Human development index	0.26	专家咨询法 Expert advisory method
农牧民人均纯收入(Yuan/a) Human average net income of farmers and herdsmen	0.04	资料收集法 Data collection method
公众参与得分 Public participation	0.04	专家咨询法 Expert advisory method
环境意识得分 Environmental awareness	0.04	专家咨询法 Expert advisory method
法制完善程度得分 The level of improving the legal system	0.04	专家咨询法 Expert advisory method

表 4 塔里木河流域生态系统健康评价指标标准
Table 4 Index criterion of ecosystem health assessment in the Tarim River Basin

指标 Indicators	等级 Rating				
	优 Excellent	良 Good	中等 Medium	差 Poor	极差 Very poor
植被生产力 Vegetation productivity(g/(m ² ·d))	≥10	8 ~ 10	6 ~ 8	3 ~ 6	≤3
物种多样性 Plant species diversity	≥1.60	1.20 ~ 1.60	0.80 ~ 1.20	0.40 ~ 0.80	≤0.40
恢复能力 Resilience(%)	≥75	70 ~ 75	65 ~ 70	60 ~ 65	≤60
水资源利用率 Utilization of water resources(%)	≥40	35 ~ 40	30 ~ 35	25 ~ 30	≤25
防风阻沙效应 Effect of wind prevention and sand resistance(%)	≥75	70 ~ 75	65 ~ 70	60 ~ 65	≤60
人口变化趋势 Trend of population change(‰)	≤8.50	8.50 ~ 9.00	9.00 ~ 9.50	9.50 ~ 10.00	≥10.00
人类发展指数 Human development index	1	0.60 ~ 0.90	0.30 ~ 0.60	0 ~ 0.30	0
农牧民人均纯收入(Yuan/a) Human average net income of farmers and herdsmen	≥3000	2500 ~ 3000	2000 ~ 2500	1500 ~ 2000	≤1500
公众参与得分 Public participation	≥75	65 ~ 75	60 ~ 65	50 ~ 60	≤50
环境意识得分 Environmental awareness	≥75	65 ~ 75	60 ~ 65	50 ~ 60	≤50
法制完善程度得分 The level of improving the legal system	≥75	65 ~ 75	60 ~ 65	50 ~ 60	≤50

3.4 流域生态健康评价结果

基于塔里木河流域生态环境现状,应用上文建立的指标体系和评价方法对塔里木河流域生态系统健康状况进行评价,评价结果见表 5。

由表 5 可以看出,位于塔里木河源流的阿克苏河、叶尔羌河和开都河-孔雀河流域的山区生态系统健康状况处于“中等”级别,综合评价度小于 0.85,但接近于 0.85,和田河流域的山区生态处于“优”级别,综合评价

度大于 0.85;阿克苏河、叶尔羌河和和田河流域的平原绿洲区生态处于“优”级别,开都河-孔雀河流域的平原绿洲区生态处于“中等”级别;四源流的荒漠区生态处于“差”级别;塔里木河干流的上游生态处于“优”级别,中游生态处于“中等”级别,下游生态环境“差”。

表 5 塔里木河流域生态系统健康评价结果
Table 5 Results of ecosystem health assessment in the Tarim River Basin

区域 Region		综合评价度 Degree of comprehensive assessment	健康标准 Health criterion
阿克苏河 Aksu River	山区 Mountainous area	0.82	中等 Medium
	平原绿洲区 Plain-oasis area	0.89	优 Excellent
	荒漠区 Desert area	0.47	差 Poor
叶尔羌河 Yarkant River	山区 Mountainous area	0.84	中等 Medium
	平原绿洲区 Plain-oasis area	0.86	优 Excellent
	荒漠区 Desert area	0.46	差 Poor
和田河 Hetian River	山区 Mountainous area	0.86	优 Excellent
	平原绿洲区 Plain-oasis area	0.89	优 Excellent
	荒漠区 Desert area	0.47	差 Poor
开都河-孔雀河 Kaidu-Konqi River	山区 Mountainous area	0.84	中等 Medium
	平原绿洲区 Plain-oasis area	0.84	中等 Medium
	荒漠区 Desert area	0.46	差 Poor
塔里木河干流 The mainstream of Tarim River	上游 The upper reaches	0.85	优 Excellent
	中游 The middle reaches	0.78	中等 Medium
	下游 The lower reaches	0.48	差 Poor

3.5 流域生态健康机理

塔里木河源流的山区分布于塔里木盆地南部、西北部和北部,由天山、昆仑山、喀喇昆仑山和帕米尔高原组成。高山带山势巍峨、陡峻,高峰林立,海拔高程都在 2000 m 以上,5000 m 以上山峰常年积雪,冰川发育,是塔里木河源流的径流形成区。该区山地植被发育,植被生产力较高,盖度较大,防风阻沙效应较高。2000 年以来当地居民的环境保护意识逐渐增强,流域山区生态环境处于“中等”偏“优”级别。

塔里木河源流的平原绿洲区上接低山丘陵,下抵沙漠边缘,宽 50 ~ 70 km,从山区向盆地内倾斜,海拔高程都在 2000 m 以下,一般为 900 ~ 1200 m,地形平缓,农业经济历史悠久,是粮食和棉花的主要产区及人类生存的基地,也是水资源的主要利用与消耗区。该区平原区植被发育,植被生产力较高,盖度较大,防风阻沙效应较高。2000 年以来当地居民越来越意识到生态保护的重要性,在当地政府的大力支持下,全面开展生态节水农业,有效提高了水资源利用率,平原绿洲区生态处于“中等”偏“优”级别。

塔里木河源流的荒漠区位于盆地底部和边缘,以塔克拉玛干沙漠为主,属于第四纪沉积物。海拔高度为 800 ~ 900 m,物质组成为细砂和粉细砂。地貌类型为新月形沙丘链、复合新月形沙丘链、纵向沙垄与灌丛沙堆等。从沙漠边缘到腹地由固定、半固定沙丘过渡到流动沙丘,沙丘高度一般为 5 ~ 10 m。植被一般为半灌木荒漠、灌木荒漠和砾石戈壁,植被生产力很低,盖度很小,防风阻沙效应很弱,风沙天气频繁。脆弱的生态环境使得该区生态处于“差”级别。

塔里木河干流即英巴扎至台特玛湖段,全长 1321 km。2000 年以来,对塔里木河干流实施全面治理,但仍然具有植被稀疏、盖度较低、风沙较大、土壤盐渍化和沙漠化程度较强的特点,因此,该区生态环境仍然处于“差”级别。

4 讨论

(1)随着可持续发展战略的实施,健康的流域生态系统必将成为流域管理的主要目标,所以很有必要开

展相关研究,建立一套适用于我国流域的生态系统健康评价理论体系,对主要流域进行健康评价,为流域管理提供基础数据和决策依据,以期实现社会、经济 and 环境的可持续发展。本文基于对塔里木河流域生态健康影响因素的分析,建立了流域生态健康评价指标体系和方法,评价了流域生态健康现状。评价结果基本与实际情况相吻合,说明该方法可行,并具有灵活、简单的特点。

(2)研究结果表明,塔里木河源流的山区和平原绿洲区以及干流的上游和中游生态系统处于“中等”偏“优”级别,今后应继续提高该区域的生态健康水平,努力培育新产业,从源头做起,建立生态经济新格局;在生态严重破坏区大量种植优良牧草,有效提高当地农牧民人均纯收入,使草业成为前途光明的希望产业;加强对流域水资源的合理调配和有效利用,探索出适宜当地条件的农牧业节水新模式,从根本上解决全流域生产与生态、源流与干流、上游与下游的用水矛盾问题。四源流的荒漠区和塔里木河干流下游生态系统处于“差”级别,今后应提高该区的生态健康水平,大面积实施退耕还林和沙荒地造林工程,全面提高塔里木河河岸两侧地表植被覆盖率,增加物种多样性,增强植被防风固沙效应,提高塔里木河流域生态系统服务功能。

(3)由于流域生态健康涉及的研究领域较宽,内容较多,制约流域生态系统维持和发展的因素以及相互之间的关系也较为复杂,因此其健康评价还处于实验和摸索阶段,尚未形成一套成熟的方法。

References:

- [1] Peter G W. Assessing health of the Bay of Fundy — concepts and framework. *Marine Pollution Bulletin*, 2003,46:1059 — 1077.
- [2] Harvey S, Nancy S S, Paul B, *et al.* The development and implementation of indicators of ecosystem health in the Great Lakes Basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003,88(1-3):119 — 151.
- [3] Samuel A A, Craig J P. Forest health monitoring in the United States: First four years. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1999,55(2):267 — 277.
- [4] Aamlid D, T rseth K, Venn K, *et al.* Changes of forest health in Norwegian boreal forests during 15 years. *Forest Ecology and Management*, 2000,127:103 — 118.
- [5] Xu F L, Tao S, Dawson R W, *et al.* Lake ecosystem health assessment: indicators and methods. *Water Resources*, 2001,35(13):3157 — 3167.
- [6] Cong P T, Wang R L, Wang S L, *et al.* Study on the simulation and evaluation of forestry ecosystem health of *Quercus liaotungensis* in Donglingshan. *Journal of System Simulation*, 2003,(15):640 — 642.
- [7] Peng T, Gao W S, Sui P. Discussion on indicator system of farmland ecosystem health assessment. *Journal of China Agricultural University*, 2004,9(1):21 — 25.
- [8] Xiao F J, Ouyang H, Sun J H, *et al.* Evaluation indicators and method of forestry ecosystem health. *Forestry Resources Management*, 2004,1:27 — 30.
- [9] Cui B S, Yang Z F. Establishing an indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands I. A theoretical framework. *Acta Ecologica Sinica*, 2002,22(7):1005 — 1011.
- [10] Cui B S, Yang Z F. Establishing an indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands II. An application. *Acta Ecologica Sinica*, 2002,22(8):1231 — 1239.
- [11] Wu J G, Chang X X. Assessment of the health of desert ecosystem. *Journal of Desert Research*, 2005,25(4):604 — 611.
- [12] Ouyang Y, Gui F L. Establishment of mathematics model on ecosystem health diagnoses. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000,7(3):194 — 197.
- [13] Song X, Du L P, Li S R, *et al.* Study advances in the concept, influencing factors and assessment of ecosystem health. *Journal of Henan Agricultural University*, 2003,37(4):375 — 379.
- [14] Gao Y H, Lu G H, Liu Q J. Advances in assessment of ecological restoration. *Jiangxi Science*, 2003,21(3):168 — 182.
- [15] Song L L, Lu G H, Lu L. Current situation of health evaluation of ecological system. *Journal of Henan University*, 2004,32(5):539 — 541.
- [16] Zeng X D, Jing C R, Zheng X J. Ecosystem health valuation and the existing problems. *Ecology and Environment*, 2004,13(2):287 — 289.
- [17] Li Q, Chen L J. Research progress of agroecosystem health. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003,11(2):144 — 146.
- [18] Zhong Y X, Peng W. Assessment of urban ecosystem health. *Jiangxi Science*, 2003,21(3):253 — 256.
- [19] Yuan M P, Yan H. Assessment of urban ecosystem health based on Analytic Hierarchy Process. *Science of Science and Management of Science and Technology*, 2003,24(8):84 — 86.
- [20] Liu Y, Guo H C, Dai Y L, *et al.* An assessment approach for lake ecosystem health. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004,24(4):723 — 730.

- [21] Luo Y C, Zhou Z X, Sun Y, *et al.* Assessment methods of watershed ecosystem health. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1606—1614.
- [22] Liu G B, Liang Z S, Hao M D. The development of watershed ecology and management. *Acta Bot. Boreal. Occident. Sin.*, 2003, 23(8): 1315—1319.
- [23] Wang S D, Wang Y G, Wang J, *et al.* Change of climate and hydrology in the Tarim River Basin during past 40 years and their impact. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(3): 315—320.
- [24] Hu C H, Wang Y G, Guo Q C, *et al.* Fluvial process and regulation of the Main Stem Tarim River. Beijing: Science Publishing Company, 2005. 24.
- [25] Yang H, Ma B L, Liang C Z, *et al.* Assessment research of grassland ecosystem health. *Inner Mongolia Environmental Protection*, 2006, 18(2): 3—5.

参考文献:

- [6] 丛沛桐,王瑞兰,王珊林,等. 东灵山辽东栎林生态系统健康仿真与评价研究. *系统仿真学报*, 2003, (15): 640~642.
- [7] 彭涛,高旺盛,隋鹏. 农田生态系统健康评价指标体系的探讨. *中国农业大学学报*, 2004, 9(1): 21~25.
- [8] 肖风劲,欧阳华,孙江华,等. 森林生态系统健康评价指标与方法. *林业资源管理*, 2004, 1: 27~30.
- [9] 崔保山,杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 I. 理论. *生态学报*, 2002, 22(7): 1005~1011.
- [10] 崔保山,杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 II. 方法与案例. *生态学报*, 2002, 22(8): 1231~1239.
- [11] 吴建国,常学向. 荒漠生态系统健康评价的探索. *中国沙漠*, 2005, 25(4): 604~611.
- [12] 欧阳毅,桂发亮. 浅议生态系统健康诊断数学模型的建立. *水土保持研究*, 2000, 7(3): 194~197.
- [13] 宋轩,杜丽平,李树人,等. 生态系统健康的概念、影响因素及其评价的研究进展. *河南农业大学学报*, 2003, 37(4): 375~379.
- [14] 高彦华,汪宏清,刘琪璟. 生态恢复评价研究进展. *江西科学*, 2003, 21(3): 168~182.
- [15] 宋兰兰,陆桂花,陆凌. 浅析生态系统健康评价研究现状. *河海大学学报(自然科学版)*, 2004, 32(5): 539~541.
- [16] 曾晓舵,丁常荣,郑习健. 生态系统健康评价及其问题. *生态环境*, 2004, 13(2): 287~289.
- [17] 李琪,陈立杰. 农业生态系统健康研究进展. *中国生态农业学报*, 2003, 11(2): 144~146.
- [18] 钟业喜,彭薇. 城市生态系统健康评价初探. *江西科学*, 2003, 21(3): 253~256.
- [19] 袁明鹏,严河. 城市生态系统健康评价的层次分析法应用研究. *科学学与科学技术管理*, 2003, 24(8): 84~86.
- [20] 刘永,郭怀成,戴永立,等. 湖泊生态系统健康评价方法研究. *环境科学学报*, 2004, 24(4): 723~730.
- [21] 罗跃初,周忠轩,孙轶,等. 流域生态系统健康评价方法. *生态学报*, 2003, 23(8): 1606~1614.
- [22] 刘国彬,梁宗锁,郝明德. 流域生态与管理学科发展及研究重点. *西北植物学报*, 2003, 23(8): 1315~1319.
- [23] 王顺德,王彦国,王进,等. 塔里木河流域近 40a 来气候、水文变化及其影响. *冰川冻土*, 2003, 25(3): 315~320.
- [24] 胡春宏,王延贵,郭庆超,等. 塔里木河干流河道演变与整治. 北京: 科学出版社, 2005. 24.
- [25] 燕红,马宝连,梁存柱,等. 草原生态系统健康与评价研究进展. *内蒙古环境保护*, 2006, 18(2): 3~5.