

塔里木河流域荒漠化的生态环境损害赔偿模式

颜华茹^{1,2}, 王让会^{1,2}, 宁虎森³, 彭擎^{1,2}, 周露^{1,2}, 李成^{1,2}

(1. 南京信息工程大学 应用气象学院, 江苏 南京 210044; 2. 江苏省农业气象重点实验室, 江苏 南京 210044; 3. 新疆林业科学研究院 造林治沙研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: [目的] 评估塔里木河干流区域风蚀损害程度, 并针对不同荒漠化地区的风蚀量, 进行相应的经济赔偿计算, 以期为解决塔里木河生态损害的信息及流域生态的恢复和改善提供相应参考。[方法] 基于MOD13A1和MCD43A3数据, 通过建立归一化植被指数(NDVI)和地表反照率(Albedo)的空间关系, 构建荒漠化差值指数(DDI), 并用土壤风蚀模型计算损害固沙量, 再进行相应的风蚀损害赔偿计算。[结果] ①2010—2015年, 研究区荒漠化程度有了一定的改善, 但也存在退化现象。②2010—2015年, 研究区整体荒漠化状况有所缓解, 中高等级的荒漠化土地面积出现不同程度的下降, 主要发生“强度荒漠化”向“中度荒漠化”的转移。③2015年不同荒漠化土地的损害固沙量分别为: 极度荒漠化地区 4.49×10^5 t/a; 强度荒漠化地区 1.33×10^5 t/a; 中度荒漠化地区 3.72×10^4 t/a; 轻度荒漠化地区 2.04×10^4 t/a。[结论] 2015年, 塔里木干流生态损害总经济赔偿金额为 3.23×10^6 元人民币, 符合当地经济发展水平。

关键词: 塔里木河流域; 生态环境损害赔偿; 荒漠化差值指数(DDI); 风蚀

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)01-0262-07

中图分类号: X171.1

文献参数: 颜华茹, 王让会, 宁虎森, 等. 塔里木河流域荒漠化的生态环境损害赔偿模式[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 262-268. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.01.038; Yan Huaru, Wang Ranghui, Ning Husen, et al. Assessment and compensation mode of ecological environment damage of Tarim River basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 262-268.

Assessment and Compensation Mode of Ecological Environment Damage of Tarim River Basin

Yan Huaru^{1,2}, Wang Ranghui^{1,2}, Ning Husen³, Peng Qing^{1,2}, Zhou Lu^{1,2}, Li Cheng^{1,2}

(1. School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Agriculture Meteorology, Nanjing, Jiangsu 210044, China; 3. Institute of Afforestation and Sand Control, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi, Xinjiang 830063, China)

Abstract: [Objective] This paper evaluated the degree of wind erosion damage in the mainstream of the Tarim River basin and calculated the economic compensation for the wind erosion in different desertified areas in order to provide reference for interpreting the information of ecological damage of Tarim River basin, and the restoration and improvement of the basin ecology. [Methods] Based on the MOD13A1 and MCD43A3 data, the desertification difference index (DDI) was established by determining the spatial relationship between the normalized difference vegetation index (NDVI) and Albedo. The soil wind erosion model was used to calculate the amount of sand damage and further, the corresponding wind erosion damage compensation [Results] ① From 2010 to 2015, there was degradation but an improvement in the degree of desertification in the study area. ② During 2010—2015, the overall desertification status of the study area alleviated, and the area of desertified

收稿日期: 2019-06-22

修回日期: 2019-09-25

资助项目: 国家科技支撑计划“古尔班通古特沙漠绿洲防护体系与农牧业综合开发试验示范研究”, “天山云水资源潜力评估与增雨雪技术开发应用”(2012BAD16B0305, 2012BAC23B01); 江苏省农业气象重点实验室开放基金(JKLAM1802); 中国科学院先导专项课题(XDA20030101-02); 国家自然科学基金(41801013)

第一作者: 颜华茹(1994—), 女(汉族), 四川省西昌市人, 硕士研究生, 研究方向为环境生态。Email: yhr_work@foxmail.com。

通讯作者: 王让会(1963—), 男(汉族), 陕西省宝鸡市人, 教授, 博士生导师, 主要从事生态过程与地理信息耦合关系研究。Email: rhwang@nuist.edu.cn。

land in the middle and high grades declined to varying degrees i. e., “intense desertification” to “moderate desertification”. ③ In 2015, the damage of different desertified land was 4.49×10^5 t/a for extreme desertification areas, 1.33×10^5 t/a for intense desertification areas, 3.72×10^4 t/a for moderate desertification areas, and 2.04×10^4 t/a for mild desertification areas. [Conclusion] In 2015, the total economic compensation amount was 3.23 million yuan i. e., in line with the local economic development level.

Keywords: Tarim River basin; compensation for ecological damage; desertification difference index (DDI); wind erosion

荒漠化是由于干旱少雨、植被破坏、大风吹蚀、流水侵蚀、土壤盐渍化等因素造成的大片土壤生产力下降或丧失的自然(非自然)现象。荒漠化程度的加深会影响区域生态系统的正常运行,造成较为严重的经济损失,损害社会经济的发展。根据全球气候变化预测,未来干旱半干旱区面积将继续扩展^[1]。因此,如何有效的进行荒漠化地区的防治和相应的损害赔偿,成了十分严峻的问题。

新疆维吾尔自治区地处亚欧大陆腹地,受全球气候变化的影响较大,旱涝灾害日趋严峻^[2]。风蚀荒漠化问题在塔里木河流域极为突出,流域东部生态脆弱。在具有频繁人为干扰的干流区域处于荒漠化敏感区^[3]。人口压力大,水资源利用低效^[4],抑制了塔里木河生态功能的恢复,加速了绿洲外围荒漠化过程的发展^[5]。在人工绿洲类型和湿地类型比例较高的地区,沙漠化程度较低^[6],说明生态输水对塔里木河下游植被恢复和沙漠化逆转起到了明显的作用^[7],但生态输水带来的逐年加剧的人为干扰,导致干流湿地的保护与破坏共存^[8]。

《生态环境损害赔偿制度改革方案》(以下简称《方案》)中强调,到 2020 年,力争在全国范围内初步构建责任明确、途径畅通、技术规范、保障有力、赔偿到位、修复有效的生态环境损害赔偿制度。而中国的赔偿性项目在产权明确,责任实现,执行效率,有效性,可持续性等方面落后于国外^[9]。实施生态赔偿是实现环境保护与社会公平的重要途径,也是实现可持续发展的必由之路^[10]。目前的相关赔偿研究多围绕海洋生态^[11]、水污染^[12]等事件展开,对荒漠化的赔偿大多是政策的研究^[13],而缺乏荒漠化的损害赔偿方法和具体措施的研究,因此对塔里木河流域荒漠化的生态损害赔偿研究是有必要的。研究利用 2010, 2015 年 MODIS MOD13A1 及 MCD43A3 数据产品,综合利用遥感及 GIS 空间分析技术,分析塔里木河干流荒漠化差值指数及土壤风蚀程度,在计算土壤风蚀程度的基础上,从沙尘清理费用、土壤肥力流失损害价值、农田经济损害价值方面进行当地损害赔偿的

计算,以期了解塔里木河生态损害的信息及流域生态的恢复和改善提供相应参考。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究划定区域为中国科学院环境资源数据平台发布的(<http://www.resdc.cn/>)中国三级流域空间分布数据中的塔里木河干流区域($81^{\circ}1' - 81^{\circ}34' E$, $38^{\circ}60' - 41^{\circ}9' N$),总面积约 3.40×10^4 km²。塔里木河干流全长 1 321 km,为中国第一大内陆河,是当地水资源的主要来源。区域内降雨稀少,是典型的大陆性暖温带极端干旱气候,植被覆盖度低,河道作为荒漠河岸林的主要水源控制植被的空间分布和结构^[14],由于水资源匮乏,使得大部分地区生态环境十分脆弱。

1.2 数据来源与预处理

MODIS 数据产品已在全球各地区的荒漠化研究中得到了广泛应用,研究使用 MODIS 归一化植被指数(normalized difference vegetation Index, NDVI), MOD13A1-NDVI-16d 产品,和地表反照率(Albedo) MCD43A3-Albedo 日值产品,空间分辨率均为 500 m × 500 m。以合成植被指数产品 MOD13A1 提取的 2010, 2015 年 NDVI 数据和地表反照率产品 MCD43A3 提取的 Albedo 数据为数据源,数据行带号为 h24v04 和 h24v05,数据来源为美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)数据下载地址为:<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>。利用 MRT(MODIS reprojection tool)对数据进行处理,采用最大值合成法(maximum value composite, MVC)提取研究区 NDVI 数据集,用最小合成法提取研究区 Albedo 数据集。风速数据由当地气象站提供。

1.3 塔河流域荒漠化程度划分

土地荒漠化类型有风蚀荒漠化、水蚀荒漠化、盐渍化荒漠化、冻融荒漠化等,研究主要考虑风蚀对荒漠化的影响。

根据 Albedo 与 NDVI 之间存在负相关关系,利

用沙漠化差值指数模型^[15],构建沙漠化差值指数(DDI),并分析塔里木河沙漠化的状况。

基于上述认识,利用 ArcGIS 10.2 平台,提取研究区 2010 年和 2015 年归一化处理后的 NDVI 和 Albedo 的值。以 NDVI 值为自变量,Albedo 值为因变量,构建 Albedo-NDVI 特征空间(见图 1),取 AC 边构建二者之间的线性回归方程(公式 1),最后根据线性回归方程的系数 a 以及 Albedo, NDVI 构建荒漠化差值指数(DDI)的计算模型(公式 2)。

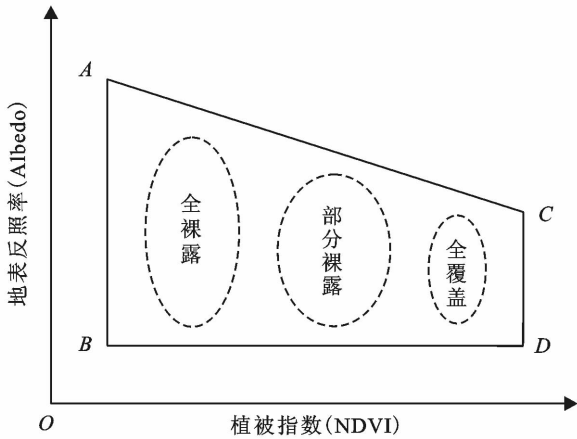


图 1 Albedo-NDVI 空间特征

$$\text{Albedo} = a \times \text{NDVI} + b \quad (1)$$

$$\text{DDI} = k \times \text{NDVI} - \text{Albedo} \quad (2)$$

$$a \times k = -1 \quad (3)$$

式中:Albedo, NDVI 均已做归一化处理; a 为特征函数的系数; DDI 为沙漠化差值指数; k 为 Albedo 和 NDVI 特征空间拟合直线斜率(a)的倒数。

1.4 风蚀量计算

荒漠化灾害与植被防风固沙能力息息相关,风蚀也是造成荒漠化变严重的原因之一,因此,生态损失主要从防风固沙损害考虑。

1.4.1 风蚀输沙率计算 研究采用应用较广的用 Bagnold 公式(4)^[16]与 Lettau 公式(5)^[17]分别计算输沙率后取平均值(6)。即:

$$q_1 = C_1 \sqrt{\frac{d}{D}} \frac{\rho}{g} U_*^3 \quad (4)$$

$$q_2 = C_2 \sqrt{\frac{d}{D}} \frac{\rho}{g} (U_* - U_{*t}) U_*^2 \quad (5)$$

$$q = \frac{1}{2} (q_1 + q_2) \quad (6)$$

式中: q 为风蚀输沙率($\text{g}/\text{cm} \cdot \text{s}$); C_1, C_2 为系数,分别为 1.8, 4.2; d 为沙粒粒径,取 0.025 cm ^[18]; D 为标准沙粒粒径,取 0.025 cm ; ρ 为空气密度,取 0.001

$25 \text{ g}/\text{cm}^3$; g 为重力加速度,取 $980 \text{ cm}/\text{s}^2$; U_* 为摩擦风速(cm/s); U_{*t} 为临界起沙风速(cm/s)。下同。

根据戚隆溪等^[19]的研究,摩擦风速与风速的关系为:

$$U_* = 0.0507 \times U \quad (7)$$

式中: U 为当地 2 m 高处的风速(m/s)。

临界起沙风速由 Bagnold 公式(8)^[16]计算:

$$U_{*t} = A \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d} \quad (8)$$

式中: A 为系数,取 0.1; ρ_s 为沙粒密度,取 $2.6 \text{ g}/\text{cm}^3$,可得 $U_{*t} = 22.8 \text{ cm}/\text{s}$ 。它对应的起沙风速为 $4.5 \text{ m}/\text{s}$ 。因此,选取 2 m 高处最大风速大于 $4.5 \text{ m}/\text{s}$ 的风速取平均值并将最大风速大于 $4.5 \text{ m}/\text{s}$ 的天数记为起沙天数。

1.4.2 防风固沙量损害估算 风蚀深度的估算采用土壤风蚀模型式^[20]:

$$h = \frac{q}{M \cdot \rho_s \cdot \sin \alpha} t \quad (9)$$

式中: h 为风蚀深度(cm); M 为坡长(m); α 为坡度; t 为风速大于 $4.5 \text{ m}/\text{s}$ 的时间(d)。下同。

通过计算塔里木河干流地区不同荒漠程度的地区的风蚀量与非荒漠化地区风蚀量作差作为塔里木河干流区域不同荒漠程度的地区的损害固沙量。即:

$$Q = \rho_a \cdot (h_w - h_s) \quad (10)$$

式中: Q 为单位面积年风蚀量($\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$); h_w 为不同程度荒漠化地区风蚀深度(cm); h_s 为非荒漠化地区风蚀深度(cm); ρ_a 为沙物质密度,此处取 $1.27 \text{ g}/\text{cm}^3$,为当地土壤容量^[21]。下同。

$$G_i = Q \cdot S_i \quad (11)$$

式中: G_i 为不同荒漠化程度地区估算年损害固沙量(t/a); Q 为单位面积年风蚀量 [$\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$]; S_i 为不同荒漠化程度地区面积(km^2), $i = 1, 2, 3, 4$, 分别对应不同荒漠化程度。

1.5 经济赔偿计算方法

1.5.1 沙尘清理费用计算

$$V_{1i} = C \cdot G_i \quad (12)$$

式中: V_{1i} 为不同程度荒漠化地区沙尘清理的费用(元); C 为单位重量沙尘清理费用或沙尘造成的经济损失(元/ t),采用工业粉尘排污收费标准 $150 \text{ 元}/\text{t}$ 。

1.5.2 土壤肥力损害估算

$$V_{2i} = G_i \cdot \left(\sum_{j=1}^3 P_j S_j / K_j + P_c S_c \right) \quad (13)$$

式中: V_{2i} 为不同荒漠化程度地区土壤肥力损害价值(元/ a); $j = 1, 2, 3$ 分别代表 N, P, K; S_j 为土壤中 j 类养分的含量(%); P_j 为化肥市场价格(元/ t); K_j

为化肥中 j 类养分的含量(%)； P_c 为有机质市场价格(元/t)； S_c 为土壤中有有机质的含量(%)。下同。

研究区土壤中全氮含量 0.002 6%，全磷含量 0.236 3%，全钾含量 2.026%，有机质含量 0.054 7%^[21]；尿素、过磷酸钙和氯化钾 3 种化肥中，N,P,K 所占比例分别为 46%，27%，52%。化肥与有机质的市场价格以 2015 年的平均零售价计：尿素约 1 573 元/t，过磷酸钙约 700 元/t；氯化钾化肥约 3 250 元/t；有机质约 360 元/t。

1.5.3 农田经济损失估算

$$V_{3i} = B \cdot G_i / (H \cdot \rho \times 10\ 000) \quad (14)$$

式中： V_{3i} 为不同荒漠化程度地区农田经济损失价值(元/a)； B 为土地的年平均收益[元/(km² · a)]； H 为土壤层厚度(m)； ρ 为土壤容重(g/cm³)。土地年均收益取 13 945 元/(km² · a)^[22]，土壤层厚度按当地平均土壤厚度 0.689 m 计，土壤容重为 1.27 g/cm³^[21]。

1.5.4 不同荒漠化损害程度地区总经济价值赔偿计算

$$V_i = \alpha_i \cdot \sum_{i=1}^4 (V_{1i} + V_{2i} + V_{3i}) \cdot P \quad (15)$$

式中： V_i 为不同荒漠化程度损害赔偿金额(元)； α 为权重系数； P 为贴现率，考虑到当地经济发展等因素，进行经济赔偿时，贴现率定位 5%。

权重系数取该荒漠化土地类型占总荒漠化土地面积的比例(见表 1)。

表 1 不同荒漠化类型权重

荒漠化类型	权重
极度荒漠化	0.53
强度荒漠化	0.24
中度荒漠化	0.14
轻度荒漠化	0.09
合计	1

2 结果与分析

2.1 2010—2015 塔里木河流域荒漠化状况及空间演化特征

2010 年，由公式(1)—(3)计算后得：

$$\text{Albedo} = -0.140\ 0 \times \text{NDVI} + 0.318\ 3 \quad (16)$$

$(R^2 = 0.803\ 7)$

$$\text{DDI} = 7.143 \times \text{NDVI} - \text{Albedo} \quad (17)$$

2015 年，由公式(1)—(3)计算后得：

$$\text{Albedo} = -0.167\ 7 \times \text{NDVI} + 0.304\ 1 \quad (18)$$

$(R^2 = 0.810\ 8)$

$$\text{DDI} = 5.963 \times \text{NDVI} - \text{Albedo} \quad (19)$$

对 2010,2015 年流域 DDI 的计算结果按自然间断点分类法分为 5 类，将分级结果进行空间化表达(见图 2)。观察图 2 可知，研究区大面积的极度荒漠化和强度荒漠化土地呈板块状或片状分布在流域中下游，少部分分布在上游区域，源头荒漠化状况良好。

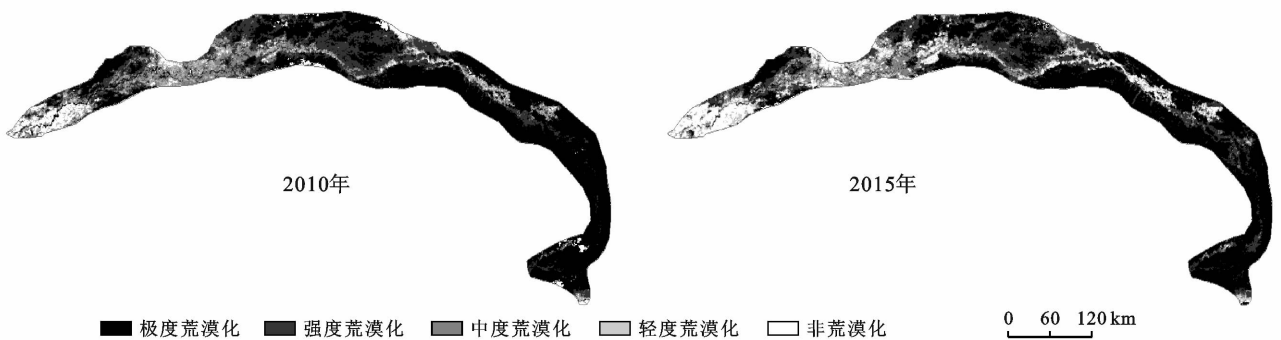


图 2 2010,2015 年塔里木河流域不同程度荒漠化分布

利用转移矩阵数学模型表达 2010,2015 年不同类型荒漠化土地的空间演化特征，得到 2010—2015 年塔里木河干流上游的荒漠化程度面积转移矩阵(见表 2)，整体改变情况如图 3 所示。

由图 3 可知，2010—2015 年期间，研究区土地荒漠化恶化的区域较少，零散分布，而土地荒漠化改善的区域则集中分布在塔里木河沿岸地区。观察表 2 可知，

研究区转入主要发生在“极度荒漠化”向“强度荒漠化”的转移，转移面积 2 542.69 km²；转出主要发生在“强度荒漠化”向“中度荒漠化”的转移，转移面积为 1 739.87 km²。研究区中高度等级荒漠化土地转出面积均高于转入面积，由此表明，生态输水和一系列的政策对荒漠化改善有正效应。将干流上游放大，可较为明显地观察到荒漠化程度有改善(见图 4)。

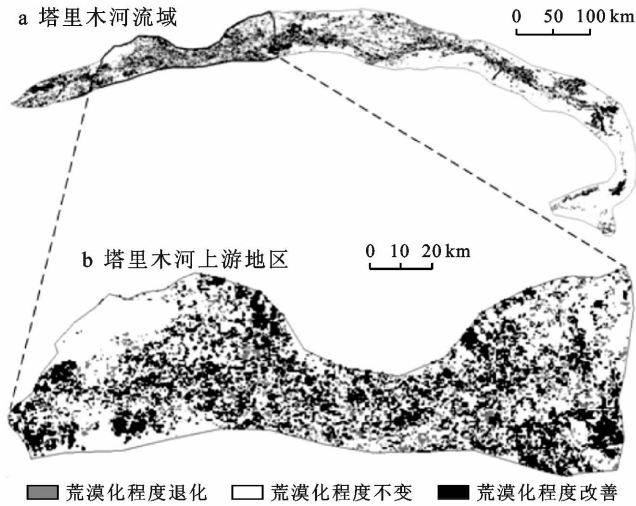


图 3 2010—2015 年塔里木河干流上游荒漠化土地变化分布特征

2.2 风蚀量估算结果

本研究所使用的气象站点记录的风速数据为 10 m 高度,而在公式(7)中所使用的风速为 2 m 高度处的风速,且与公式(8)–(9)时间对应。因此,在计算风蚀量时用下式对风速进行换算。

$$U_2 = U_z = \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (20)$$

式中: U_2 为 2 m 高处风速(m/s); U_z 为高度 z 处风速(m/s); z 为风速计高度(m)。

将公式(20)的结果带入公式(4)–公式(11)计算得:极度荒漠化地区损害固沙量 4.49×10^5 t/a; 强度荒漠化地区损害固沙 1.33×10^5 t/a; 中度荒漠化地区损害固沙量 3.72×10^4 t/a; 轻度荒漠化地区损害固沙量 2.04×10^4 t/a。

表 2 2010—2015 塔里木河干流上游荒漠化变化矩阵

项目	2015 年面积					转入合计
	极度荒漠化	强度荒漠化	中度荒漠化	轻度荒漠化	非荒漠化	
2010 年 面积	0.00	792.89	12.78	2.16	0.01	807.84
极度荒漠化	2 542.69	0.00	307.70	27.87	12.59	2 890.85
强度荒漠化	330.44	1 739.87	0.00	280.58	47.50	2 398.39
中度荒漠化	75.23	425.95	1 043.17	0.00	206.98	1 751.33
轻度荒漠化	25.63	158.83	386.90	961.87	0.00	1 533.23
非荒漠化	2 973.99	3 117.53	1 750.55	1 272.49	267.08	—
转出合计						

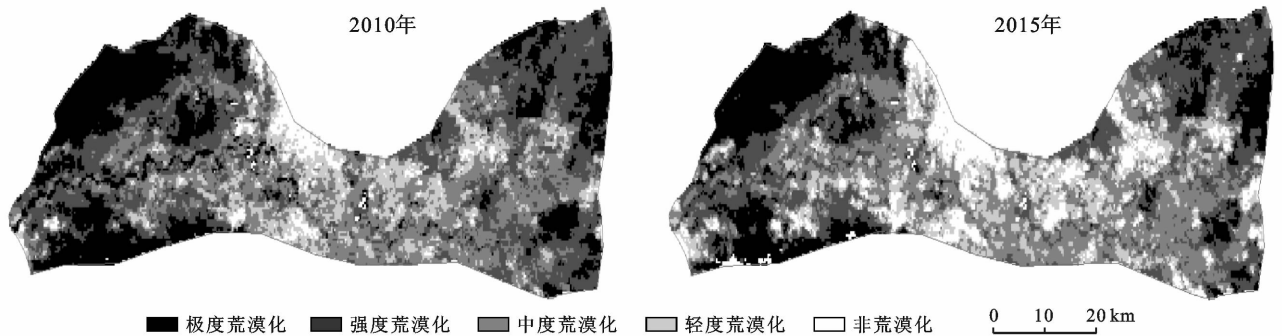


图 4 2010、2015 年塔里木河干流上游荒漠化程度对比

2.3 经济赔偿方案

将计算所得的损害固沙量带入公式(12)–(15),得到 2015 年塔里木河干流上游不同荒漠化地区对应

的沙尘清理损害价值、农田经济损失价值、保持土壤肥力损害价值。详细结果如表 3 所示。

表 3 塔里木河干流上游荒漠化地区经济赔偿方案

项目	极度荒漠化	强度荒漠化	中度荒漠化	轻度荒漠化	合计
沙尘清理损害价值/ 10^4 元	5 485.28	1 623.27	453.86	249.52	7 811.93
农田经济损失价值/ 10^4 元	56.40	16.69	4.67	2.57	80.32
土壤肥力损害价值/ 10^4 元	4 929.78	1 458.88	407.90	224.25	7 020.81
合计损害价值/ 10^4 元	10 471.47	3 098.85	866.42	476.33	14 913.07
权重	0.53	0.24	0.14	0.09	1.00
经济赔偿金额/ 10^4 元	277.49	37.19	6.06	2.14	322.89

从表 3 可以看出,主要的损害赔偿集中在极度荒漠化地区,这是由于研究区极度荒漠化面积占比较大,所需要的赔偿相应增加。在各程度的荒漠化损害中,沙尘清理损害价值与土壤肥力损害价值所占比重较大。

在贴现率 5% 的情况下,极度荒漠化地区,经济赔偿 2.77×10^6 元;强度荒漠化地区,经济赔偿 3.72×10^5 元;中度荒漠化地区,经济赔偿约 6.06×10^4 元;轻度荒漠化地区,经济赔偿约 2.14×10^4 元,总赔偿金额为 3.23×10^6 元,符合当地经济水平。

3 讨论

由 NDVI-Albed 特征空间分布可以看出,植被盖度较高的地区荒漠化程度较低,地表反照率较低,植被的减少也会导致荒漠化的进一步恶化,与前人研究一致^[23]。荒漠化差值指数(DDI)相较用单一植被指数衡量荒漠化程度精度更高,适用于荒漠化的监测^[24]。

防风固沙量的准确估算是进行荒漠风蚀损害损害赔偿的基础。对此,国内外学者做了大量研究,提出了诸多估算模型。但是,由于风蚀过程复杂,影响因素繁多,使得风蚀量无法精确估算,自然条件难以精准模拟且野外测定也有一定的困难。除了风蚀模型本身的缺陷,中国气象站数据为 10 m 高处风速,研究计算时使用的 2 m 高处风速是用《中华人民共和国气象行业标准 QX/T 81-2007》提供的校正方式校正得到,因缺乏实地风速的检测与校正,与真实值相比存在一些偏差;公式中使用的沙粒粒径为前人研究所得,在计算过程中缺乏当地实测。在今后的研究中,可增加实地勘测,以提高测算的准确性。

荒漠有多种地表形态,生态功能繁多,而不同的植被覆盖也对荒漠地表有不同的防护功能^[25]。本研究选取了防风固沙损害价值估算,定量地进行了沙尘清理、农田经济损失、土壤肥力损害的计算。受研究方法、技术手段的限制,防风固沙功能中对减少蒸发、降温产生的价值难以计算,且未考虑由于荒漠化引起的气候变化、植被退化的生态赔偿,这些价值的核算还有待于之后的发现与研究。

与流域生态恢复治理工程不同,生态赔偿机制应是国家、地方、区域、行业多层次组成的综合性赔偿体系,可通过公众参与机制,发挥公众对政府、企业等的监督作用,进一步完善流域内行政考核奖惩制度,以确保生态赔偿机制作用的有效发挥^[26]。以政府为主体,包含对流域生态恢复与改善有所贡献的公民、企业或其他组织,增加“受益者付费”和“损害者付费”原

则。流域资源的开发利用者作为受益者,应履行生态补偿义务^[27],对受益者征收一定的税费,作为生态赔偿的资金。“损害者付费”对环境污染者(公民、法人和其他组织)采取排污收费措施,以利于生态环境的保护。此外,流域需要通过建立公共监督体系,在生态修复、生态保护等方面发挥积极作用。

自 2000 年以来,塔里木河流域先后实施了一系列保护生态的重大项目,这些生态恢复工程有效保护了塔里木河流域生态系统,遏制了荒漠化的恶化,整体改善了流域荒漠化状况。今后,塔里木河流域在继续实施生态恢复工程的同时,应做到因地制宜,这样才能加速生态恢复,实现经济、生态、社会和谐发展。

4 结论

研究通过建立 NDVI 和 Albedo 的空间关系,解译了塔里木河干流区域土地荒漠化信息,利用土壤风蚀模型估算了不同荒漠化地区损害固沙量,并进行相应生态损害赔偿计算。

(1) 2010—2015 年,研究区整体荒漠化状况有所缓解,中度及以上的荒漠化土地面积出现不同程度的下降,主要发生在“强度荒漠化”向“中度荒漠化”的转移。

(2) 研究区 2015 年不同荒漠化土地的损害固沙量分别为:极度荒漠化地区 4.49×10^5 t/a;强度荒漠化地区 1.33×10^5 t/a;中度荒漠化地区 3.72×10^4 t/a;轻度荒漠化地区 2.04×10^4 t/a。

(3) 2015 年,在贴现率 5% 的情况下,极度荒漠化地区,经济赔偿 2.77×10^6 元;强度荒漠化地区,经济赔偿 3.72×10^5 元;中度荒漠化地区,经济赔偿约 6.06×10^4 元;轻度荒漠化地区,经济赔偿约 2.14×10^4 元,总赔偿金额为 3.23×10^6 元,符合当地经济水平,证明了本赔偿模式的可行性。

[参 考 文 献]

- [1] Feng Song, Fu Q. Expansion of global drylands under a warming climate[J]. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 2013,13(6):14637-14665.
- [2] 彭擎,王让会,蒋焯林,等. 植被—地温指数(NDVI-LST)在新疆干旱监测中的适用性[J]. 生态学报,2018,38(13):4694-4703.
- [3] Xu Duanyang, You Xiaogang, Xia Chunlin. Assessing the spatial-temporal pattern and evolution of areas sensitive to land desertification in North China[J]. Ecological Indicators, 2019,97:150-158.
- [4] 毋兆鹏,王明霞,赵晓. 基于荒漠化差值指数(DDI)的精河流域荒漠化研究[J]. 水土保持通报,2014,34(4):188-192.

- [5] 王非,毋兆鹏,汪洋,等. 基于 RS 和 GIS 的塔里木盆地荒漠化动态监测[J]. 生态学杂志, 2017, 36(4):1029-1037.
- [6] Liu Fang, Zhang Hongqi, Qin Yuanwei, et al. Semi-natural areas of Tarim Basin in Northwest China: Linkage to desertification[J]. Science of the Total Environment, 2016, 573:178-188.
- [7] 杨家军,吐尔逊·哈斯木,郝永娟,等. 塔里木河下游生态输水对植被恢复和沙漠化逆转的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(4):323-327.
- [8] 刘洪霞,管文轲,扎依达·斯迪克,等. 塔里木胡杨国家自然保护区湿地面积在生态输水工程前后的变化[J]. 林业科学, 2018, 54(9):1-8.
- [9] Shang Wenxiu, Gong Yicheng, Wang Zhongjing, et al. Eco-compensation in China: Theory, practices and suggestions for the future[J]. Journal of Environmental Management, 2018, 210:162-170.
- [10] 王让会. 环境负效应的生态补偿模式[J]. 新疆环境保护, 2007, 29(4):1-4.
- [11] Rao Huanhuan, Lin Chenchen, Kong Hao, et al. Ecological damage compensation for coastal sea area uses[J]. Ecological Indicators, 2014, 38:149-158.
- [12] Chen Shuzhen, Wu Desheng. Adapting ecological risk valuation for natural resource damage assessment in water pollution[J]. Environmental Research, 2018, 164:85-92.
- [13] 程多威,王灿发. 生态环境损害赔偿制度的体系定位与完善路径[J]. 国家行政学院学报, 2016(5):81-85, 143.
- [14] 白玉锋,陈超群,徐海量,等. 塔里木河下游荒漠植被地上生物量空间分布与地下水埋深关系[J]. 林业科学, 2016, 52(11):1-10.
- [15] 曾永年,向南平,冯兆东,等. Albedo-NDVI 特征空间及沙漠化遥感监测指数研究[J]. 地理科学, 2006, 26(1):75-81.
- [16] Bagnold R A. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes[M]. Dordrecht: Springer Netherlands, 1971.
- [17] Lettau K, Lettau H H. Experimental and micro-meteorological field studies of dune migration[C]// Lettau H H, Lettau K. Exploring the World's Driest Climates. University of Wisconsin-Madison, Institute of Environmental Science Report 101, University of Wisconsin, 1977, 110-147.
- [18] 董治宝,陈广庭,韩致文,等. 塔里木沙漠石油公路风沙危害[J]. 环境科学, 1997, 18(1):4-9.
- [19] 戚隆溪,董飞,陈强,等. 沙粒起动风速研究[J]. 力学与实践, 2001, 23(4):13-14.
- [20] 高君亮,郝玉光,丁国栋,等. 乌兰布和荒漠生态系统防风固沙功能价值初步评估[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(12):41-46.
- [21] 贡璐,张雪妮,冉启洋. 基于最小数据集的塔里木河上游绿洲土壤质量评价[J]. 土壤学报, 2015, 52(3):682-689.
- [22] 何静,张建军,李永红,等. 新疆地区水土保持功能价值评估方法及生态服务价值估算[J]. 水土保持通报, 2012, 32(6):110-115.
- [23] Yuan Guofu, Zhang Pei, Shao Mingan, et al. Energy and water exchanges over a riparian Tamarix spp. stand in the lower Tarim River basin under a hyper-arid climate[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2014, 194:144-154.
- [24] 付爱红,陈亚宁,李卫红. 中国黑河下游荒漠河岸林植物群落水分利用策略研究[J]. 中国科学(地球科学), 2014, 44(4):693-705.
- [25] 程皓,李霞,马兰菊,等. 塔里木河下游不同生活型植被对地表的防护效果[J]. 干旱区地理, 2008, 31(3):373-378.
- [26] 王让会,薛英,宁虎森,等. 基于生态风险评价的流域生态补偿策略[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(8):1-5.
- [27] 谭克龙,王晓峰,高会军,等. 塔里木河流域综合治理生态要素变化的遥感分析[J]. 地球信息科学学报, 2013, 15(4):604-610.

(上接第 261 页)

- [15] 庄源益,戴树桂,张明顺. 水中氨氮挥发影响因素探讨[J]. 环境化学, 1995, 14(4):343-346.
- [16] 李如忠,刘科峰,钱靖,等. 合肥市典型景观水体氮磷污染特征及富营养化评价[J]. 环境科学, 2014, 35(5):1718-1726.
- [17] 李勇,王超,杨金虎. 蓄集雨水污染成因分析及防治对策[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(4):108-112.
- [18] 王广周. 窖水水质影响因素的初步研究[D]. 陕西 杨凌:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2008:22-23.
- [19] 唐莲,白丹. 农业活动非点源污染与水环境恶化[J]. 环境保护, 2003, 31(3):18-20.
- [20] 刘桂平,周永春,方炎,等. 我国农业污染的现状与建议[J]. 国际技术经济研究, 2006(4):17-21.
- [21] 郭红雨. 城市滨水景观设计研究[J]. 华中建筑, 1998, 16(3):75-77.
- [22] 魏明强,刘有录,张乐婷. 生态建筑的新材料在水池中的应用[J]. 中国建材科技, 2014, 23(6):29-31.