



黑河中上游典型地区草地植被变化 及其生态功能损失分析 ——以山丹县为例

杜自强^{1,2}, 王 建¹, 陈正华¹, 沈宇丹³

(1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 2 甘肃农业大学 资源与环境学院, 兰州 730070; 3 甘肃农业大学 经济管理学院, 兰州 730070)

摘 要:以黑河流域山丹县 1986 年和 2000 年 TM 影像资料为主要数据源, 运用遥感信息解译与地理信息系统技术, 分析了研究区 10 多年来草地植被覆盖的时空变化。并参照 Costanza 等的生态系统服务功能的单位价值和谢高地等人的中国自然草地生态系统服务价值, 初步估算退化型草地植被覆盖变化的生态损失价值, 对草地植被覆盖变化给研究区生态系统宏观经济所造成的影响进行了分析研究。结果表明: 在 1986~2000 年间, 该区域草地植被覆盖总的变化趋势是草地、林地向其它类型转化, 即草地植被覆盖总量在逐年减少。高、中、低覆盖度各类草地, 分别减少达 35%、9.9% 和 13.8%。草地植被覆盖类型也呈减少趋势, 其中高覆盖度草地减幅最大, 其次是低覆盖度草地和中覆盖度草地。草地植被利用过度或退化较为严重, 生态环境将趋于恶化。由此导致草地生态系统宏观经济价值损失约 $9\,466.8 \times 10^4$ CNY/(km²·a)。

关键词:草地覆盖; 动态变化; 生态退化; 经济损失; 遥感; 地理信息系统

中图分类号: Q151.93; Q948.15⁺6 **文献标识码:** A

Variation and Ecological Function Loss of Grassland Vegetations in Typical Regions in the Upper Reaches of Heihe River —A Case of Shandan County in the Upper-middle Reaches of Heihe Basin

DU Zi-qiang^{1,2}, WANG Jian¹, CHEN Zheng-hua¹, SHEN Yu-dan³

(1 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2 College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3 College of Economy and Management, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Mainly based on the TM images of Shandan County in the reaches of Heihe River collected in 1986 and 2000, the paper use the Remote Sensing Translation and GIS spatial analysis technique to study the spatial variation of grassland vegetations in the area under study over more than ten years. With the per-unit value of ecosystem services by Costanza *et al* and the per-unit value of the ecosystem services in natural grasslands of China by Xie Gaodi *et al* for reference, the paper preliminarily estimates the ecological loss of the vegetation-coverage variation of degenerated grasslands, and analyzes the effects of the vegetation-coverage variation of grassland on the macro-economy in the ecosystem of the area under study. The results showed that between 1986 and 2000 the types of vegetation coverage appeared to transform from

收稿日期: 2005-12-15; 修改稿收到日期: 2006-03-20

基金项目: 中国科学院“西部之光”项目(2002407)

作者简介: 杜自强(1974—), 男, 讲师、硕士, 主要从事土地利用/土地覆盖、遥感与地理信息系统方面的教学和研究。

grassland and forestland to other types of lands in the region as a whole, i. e. the coverage of grassland vegetations declined in its proportion to the total coverage year by year. The grasslands with high, middle and low coverage decreased by 35%, 9.9% and 13.8%, respectively. The coverage types of grassland vegetations also appeared to decline and herein the grassland with high coverage decreased with the highest decrement and the grasslands with low and middle coverage followed. The grassland vegetations suffered over-exploitation or sever degeneration so that the ecological environment tended to deteriorate. Consequently, this resulted in a macro-economic loss of $9\,446.8 \times 10^1$ CNY/(km² · a).

Key words: grassland coverage; dynamic change; ecological degeneration; remote sensing; GIS

地处祁连山和河西走廊中段的黑河流域,是我国典型的内陆河流域。该流域由上游祁连山地、中游绿洲走廊平原、下游北部山地和阿拉善高原三部分组成。其中,中上游为山地草原牧区。甘肃省山丹县位于 100.6°E~101.7°E, 38°N~39°N, 地处河西走廊中部,东邻永昌,西与民乐县相邻,南接青海、北靠内蒙古阿拉善右旗,南北长约 148 km,东西宽约 89 km,总面积 5.1 万 hm² (包括山丹军马场),海拔 1 550~4 441 m,地势三面环山,东南高,西北低,属大陆性高寒半干旱气候,是一个半农半牧县,也是黑河上游和中游过渡带的重要水土涵养区和我国传统畜牧业生产和军马养殖基地。草地约占全县土地总面积的 45%,是当地人民赖以生存的基础,草地畜牧业是收入的主要来源。近年来,随着牧区人口的增长以及科技含量低、效益很差的粗放经营、过度开垦等导致草地退化、产草量和载畜量严重下降,草地生态环境日趋恶化。目前,这些地区已成为我国生态环境建设的重点区域。

遥感(RS)与地理信息系统(GIS)技术的集成不仅为快速高效地进行大范围草地资源调查和监测提供了有力工具,也极大地推动了草地信息科学的快速发展^[1]。早在 1989 年, Tueller^[2]就系统地介绍了遥感技术在草地管理中的应用。在 RS 与 GIS 技术的支持下,国内外已经开展了大量与草地相关的研究工作。如草地资源调查与评估^[3,4]、草地生物量估算^[5~8]、草地变化监测^[5,9,10]、草地退化研究^[11,12]等。通过多年的应用研究,这些技术进一步拓宽了草地科学的研究深度和广度。近年来,生态系统服务功能的价值评估引起了生态学界的广泛兴趣^[13],主要研究集中在区域生态系统服务功能的评估^[13~17]、区域生态系统可持续发展的生态评价^[18,19]、生态环境损失价值估算^[20,21]、生态系统恢复价值评估^[22]等方面。目前,诸如生态破坏对国家资产的影响、全球生态系统资本价值量的估算等课题正在不同国家进行探索研究^[17]。

在典型区域利用遥感图像分析和地理信息系统方法得到不同时期土地利用/土地覆盖的时空变化,是认识区域土地覆盖变化与资源、环境问题关系的关键,也是协调人地关系保持区域持续发展的关键^[23]。草地资源具有极其重要的生态、经济和社会价值,但草地资源利用效率不高,退化日趋严重,无疑会影响区域经济的可持续发展。地处黑河流域中上游的山丹县,大量草地不仅作为土地资源的主要组成部分,决定了本区域位于干旱、半干旱和高寒地区的土地利用终将以草地畜牧业为主;草地也作为本区域土地覆盖的主要形式,具有十分重要的生态环境保护功能。因此,对本区域草地动态监测以及草地资源现状清晰准确的认知、分析及评价是制定和实施草地资源时空利用优化格局的关键;进一步估算区域草地资源生态系统服务损失价值是绿色国民生产总值计算的重要组成部分,也是可持续发展国民生产总值核算的基础工作。这对于揭示草地变化规律、阐明草地生态系统结构与环境之间的关系,科学合理的利用、保护草地资源以及维持草地畜牧业的可持续发展具有重要意义。

1 研究方法

1.1 数据资料来源

根据研究对象的空间尺度,选用了 Landsat 数据。对于省区或县级中尺度的研究, Landsat TM/ETM 遥感数据适中的多光谱特征、空间分辨率、性价比等,目前依然是其它遥感数据无法比拟^[24]。主要数据来源于中国西部环境与生态科学数据中心和数字黑河网站提供的 1986 年 9 月 8 日和 2000 年 8 月 23 日的 TM 数据,部分地区使用了 1990 年和 1999 年的 ETM 影像、TM 和 ETM 数据解译^[25]的山丹县土地利用/覆盖图像数据以及通过 GIS 空间分析得到的数字高程、地质、地貌、土壤等专题图层和河流、道路、居民点等背景图层数据等。

1.2 土地利用类型分类标准选取

中国科学院“八五”重大应用项目“国家资源环境遥感宏观调查与动态分析”，建立起了一套基于 30m TM 遥感数据的二级土地分类系统——包括 6 个一级类和 24 个二级类，每一级土地类型都用文字和覆盖度(或郁闭度)指标进行了定义，其特点主要是从土地覆盖遥感监测实用性出发，紧密结合全国县级土地利用现状分类系统，便于遥感监测成果与地面调查成果的联系和数据追加处理(刘纪远，1996)。据此分类系统再参照国家农委土地利用现状分类系统^[26]，将土地利用分为耕地、草地、林地、城乡建设用地、水域滩涂和难利用土地 6 种一级类型，草地分为高覆盖度草地(覆盖度>50%的天然草地、改良草地和割草地。一般水分条件较好，草被生长茂密)、中覆盖度草地(覆盖度在 20%~50%、含 50%的天然草地和改良草地。一般水分不足，草被较稀疏)和低覆盖度草地(覆盖度在 5%~20%、含 20%天然草地。水分缺乏，草被稀疏，牧业利用条件差)3 类^[27]。根据国家标准(GB19377-2003)，采用 20 世纪

80 年代初同一监测区域相同草地类型的草地植被特征、土壤水分条件以及生长状况为评判基准。

按草地植被覆盖变化的性质，1986~2000 年山丹县草地植被覆盖变化可概括为退化型(不同类型覆盖度草地向难利用土地的转换，以及高覆盖草地向中、低覆盖草地的转换，中覆盖草地向低覆盖草地的转换)、恢复型(低覆盖草地向中、高覆盖草地的转换，中覆盖草地向高覆盖草地的转换)和替换型(草地转化为耕地、林地、水域滩涂和城乡居民建设用地等可利用土地，以及上述可利用土地转化为草地)3 种。从草地植被资源利用的角度来看，恢复型和替换型变化属于草地生态系统的补偿性变化，可以认为这种变化不会带来草地生态系统的宏观经济价值损失，本文只分析草地植被退化所带来的生态价值损失状况。由于山丹县近乎一半是草地，为便于计算草地覆盖变化的生态功能损失，文中仅考虑退化型变化。根据退化草地的类型转移情况，对变化草地的各个斑块进行等级划分(表 1)，共分为 4 级，0、1、2、3 分别代表无变化、轻度变化、中度变化、重度变化。

表 1 草地覆盖变化评价标准

Table 1 Criteria of the grassland coverage evaluation

草地类型 Grassland		2000 年		
		中覆盖度草地 Middle coverage grassland	低覆盖度草地 Low coverage grassland	难利用土地 Non-used land
1986 年	高覆盖度草地 High coverage grassland	1	2	3
	中覆盖度草地 Middle coverage grassland	0	1	2
	低覆盖度草地 Low coverage grassland	0	0	1

1.3 数据资料处理

山丹县分属于 R33 和 R34，需同期两景数据进行裁减镶嵌，所以，需要利用 4 景 TM/ETM 数据。数据的预处理主要是对数据进行几何校正、影像镶嵌、裁减以及图像增强处理。

首先，利用 ERDAS IMAGINE 遥感图像处理软件，对 1986 年、2000 年各两期的 TM 遥感数据进行几何校正。使用 30 个地面控制点，二次多边形变换和最邻近插值法进行几何纠正和配准，均方根误差小于 0.4 个像元，投影为高斯-克吕格投影，北京 54 坐标系。然后，对同时期两景影像镶嵌，按行政区划进行裁减，并通过多波段彩色合成进行增强处理，产生山丹县多波段影像。

结合野外调查统计记录、解译标志和工作地理底图，根据区域性土地自然及社会经济要素差异，对生成山丹县多波段影像目视解译，得到山丹县 1986

年和 2000 年草地覆盖矢量数据(图 1、图 2)。利用 ArcGIS 提供的空间分析功能，进行研究区土地覆盖格局变化分析。运用 ArcGIS 中 ArcMap 模块，对 1986 和 2000 年土地利用图进行空间叠置分析，用 ArcCatalog 模块提取数据，得到各土地利用类型动态演变数据(表 2)，获得这一时段草地覆盖变化并做出 1986~2000 年草地植被覆盖变化图(图 3)。

草地覆盖动态变化分析按赵健等^[28]的方法，主要采用草地利用动态度、开发度和耗减度 3 个指数，对草地利用动态变化速度、新开发速度和被耗费速度的度量，从净变化和实际变化两个方面对土地利用变化速度进行研究的。其中，草地利用动态度虽能较好地度量草地利用的净变化速度，但由于增减变化的抵消，这种净变化速度往往在一定程度上掩盖了草地利用变化的实际情况。为此，采用草地利用开发度和耗减度两个指标，可以揭示各类型土地利用

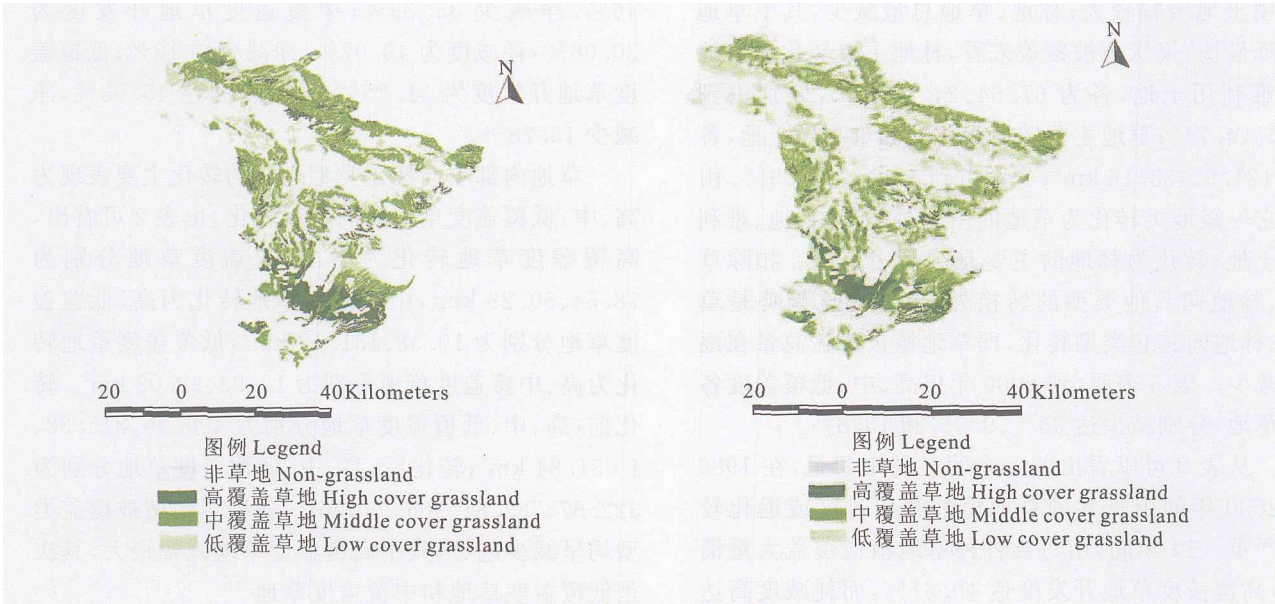


图 1 山丹县 1986 年草地植被覆盖图

图 2 山丹县 2000 年草地植被覆盖图

Fig. 1 Grassland vegetation coverage image in 1986

Fig. 2 Grassland vegetation coverage image in 2000

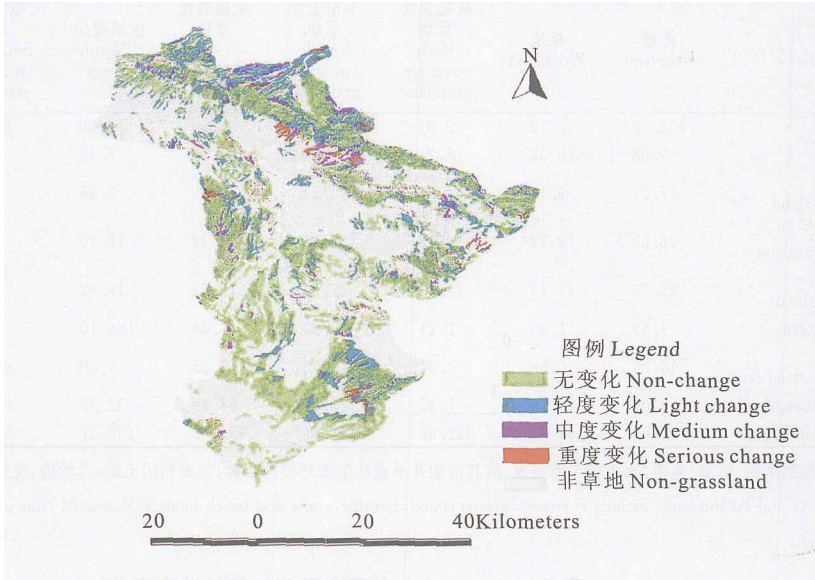


图 3 山丹县 1986~2000 年草地植被覆盖变化图

Fig. 3 Grassland vegetation coverage change between 1986~2000

实际新开发和实际被耗减的速率。山丹县区两个时期各类型草地覆盖动态变化指数计算结果见表 3。

对于草地植被变化的生态价值损失,参考 Costanza 等^[29]的生态系统服务功能的单位价值和谢高地等^[17]的中国自然草地生态系统服务价值,初步估算生态损失价值。根据徐中民等^[21]的研究,概括而言,按照 4 个步骤计算草地生态经济损失:(1)弄清问题的类型和确定分析范围;(2)找出生态环境要素与功能损失之间的关系;(3)用价值量来表示损害和效果;(4)综合评价总的生态环境损失。

2 结果与分析

2.1 草地植被覆盖变化分析

草地植被覆盖变化包括草地植被类型的面积变化、空间变化和质量变化。这种变化一方面表现为草地与其它一级地类之间的转化,另一方面则是草地植被内部不同覆盖类型之间的转化。

从表 2 可知,14 年来研究区域的土地利用/覆盖的基本特征表现为:耕地、水域滩涂和难利用土地和城乡居住建设用地总量增加,其中水域滩涂和难

利用土地增幅较大;林地、草地总量减少,其中草地下降最快。仅从植被覆盖来看,林地主要转化为草地和难利用土地,各为 67.64、24.67 km²,分别占到 13%、4.7%;草地主要转换为耕地和难利用土地,各为 121.6、433.16 km²;分别占到 5.14%、18.3%。由其它一级地类转化为草地的主要是耕地、林地、难利用土地;转化为林地的主要是难利用土地。扣除非草地、林地向其他类型的转换外,总的变化趋势是草地、林地向其它类型转化,即草地植被覆盖总量在逐年减少。表 3 表明,到 2000 年仅高、中、低覆盖度各类草地,分别减少达 35%、9.9%和 13.8%。

从表 3 可以看出的一个明显的现象是,在 1986~2000 年间山丹县的草地植被利用过度或退化较为严重。14 年间,山丹县各种草地植被覆盖大量消耗,高覆盖度草地开发度达 10.61%,而耗减度高达

46%,净减少 35.39%;中覆盖度草地开发度为 30.08%,耗减度为 40.07%,净减少约 10%;低覆盖度草地开发度为 31.25%,耗减度高达 45.03%,净减少 13.78%。

草地内部不同覆盖类型之间的转化主要表现为高、中、低覆盖度草地间的相互转化。由表 2 可看出,高覆盖度草地转化为中、低覆盖度草地分别为 78.54、50.29 km²,中覆盖度草地转化为高、低覆盖度草地分别为 10.38、151.12 km²,低覆盖度草地转化为高、中覆盖度草地分别为 12.93、92.02 km²。转化前,高、中、低覆盖度草地分别为 499.36、815.32、1 051.84 km²;转化后,高、中、低覆盖度草地分别为 322.67、733.81、906.95 km²。各种草地植被覆盖类型均呈减少趋势,其中高覆盖度草地减幅最大,其次是低覆盖度草地和中覆盖度草地。

表 2 1986~2000 年研究区土地利用/土地覆盖变化

Table 2 Land uses/land coverage between 1986~2000 in Shandan County(km²)

类型 Land cover class	耕地 Cropland	林地 Woodland	高覆盖度 草地 High coverage grassland	中覆盖度 草地 Middle coverage grassland	低覆盖度 草地 Low coverage grassland	水域滩涂 ^① Water area	城乡建设 用地 Settlement and indu- strial land	难利用 土地 ^② Non-used land	1986 年 总计 Total in 1986
耕地 Cropland	632.18	8.13	9.61	17.48	36.87	12.30	17.35	41.19	775.11
林地 Woodland	9.08	410.38	17.21	26.45	23.98	7.50	0.72	24.67	519.99
高覆盖度草地 High coverage grassland	47.25	9.16	269.67	78.54	50.29	3.86	1.06	39.53	499.36
中覆盖度草地 Middle coverage grassland	28.59	12.78	10.38	488.60	151.12	18.10	1.51	104.22	815.3
低覆盖度草地 Low coverage grassland	45.76	11.13	12.93	92.02	578.22	19.92	2.45	289.41	1 051.84
水域滩涂 ^① Water area	3.69	1.85	1.21	7.24	7.38	106.10	0.20	8.17	135.84
城乡建设用地 Settlement and industrial land	16.05	0.63	0.31	0.38	0.93	0.39	39.69	1.52	59.9
难利用土地 ^② Non-used land	53.09	14.16	1.35	23.10	58.16	22.20	4.81	1 067.02	1 243.89
2000 年总计 Total in 2000	835.69	468.22	322.67	733.81	906.95	190.37	67.79	1 575.73	5 101.23

注:①水域滩涂,包括水库、坑塘、冰川、永久积雪和滩地,故其增加并不意味着生态环境的改善;②难利用土地,含沙地、戈壁、盐碱地和裸岩石砾地。

Note: ①The waters and bottomlands include reservoir, glacier, pond, riverine, snow and beach land; ②Non-used land include sandy soil, rock salina and bare land.

表 3 1986~2000 年研究区草地植被动态变化

Table 3 Grassland coverage change from 1986 to 2000 in Shandan County

草地类型 Grassland type	1986 (km ²)	2000 (km ²)	变化值 Land-cover change(km ²)	动态度 Dynamic change (%)	开发度 Use index(%)	耗减度 Consume index(%)
高覆盖度草地 High coverage grassland	499.36	322.67	-176.69	-35	10.61	46
中覆盖度草地 Middle coverage grassland	815.30	733.81	-81.49	-9.9	30.08	40.07
低覆盖度草地 Low coverage grassland	1 051.84	906.95	-144.89	-13.8	31.25	45.03
合计 Total	2 366.5	1 963.43	-403.07	-17	—	—

2.2 草地覆盖变化的生态价值损失估算

由于长期以来山丹县对草地资源采取自然粗放经营的方式,过牧超载、乱开滥垦,草原破坏严重,草原建设缺乏统一计划管理,投入少、建设速度慢,草原退化、沙化、碱化面积日益扩展。目前,该区域的草

地植被利用过度或退化较为严重,其引发的后果直接表现为:草地面积减少,退化速度加剧;草地生产能力下降显著;自然灾害频繁;生物多样性遭到严重破坏。草地生态危机的日益加剧,已严重影响到流域的生产和生活环境^[30]。

为进一步分析草地植被覆盖变化对生态环境和研究区社会经济所造成的影响,参考 Costanza 等^[29]的生态系统服务功能的单位价值和谢高地等^[17]的中国自然草地生态系统服务价值。由于 Costanza 等研究的是全球生态系统,未考虑生态系统内部差异,其单位价值只是反映了全球平均状况,因此将

Costanza 等所定义的草地单位价值 20×10^4 CNY/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)作为山丹县中覆盖草地的单位生态价值,则高覆盖草地、低覆盖草地的单位生态价值分别为 30×10^4 、 10×10^4 CNY/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),难利用土地的单位生态价值为 0,得出山丹县退化草地的生态价值损失的单位价值(表 4)。

表 4 山丹县退化草地生态价值损失单位价值表
Table 4 Economic value of ecological deterioration[10^4 CNY/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)]

草地类型 Grassland		2000 年		
		中覆盖度草地 Middle coverage grassland	低覆盖度草地 Low coverage grassland	难利用土地 Non-used land
1986 年	高覆盖度草地 High coverage grassland	10	20	30
	中覆盖度草地 Middle coverage grassland	0	10	20
	低覆盖度草地 Low coverage grassland	0	0	10

草地生态系统损失总价值

$$V = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 A_{ij} \cdot P_{ij}; (i, j = 1, 2, 3)$$

式中, V 为上述草地生态系统损失总价值, A_{ij} 为 i 类草地覆盖类型转化为 j 类草地覆盖类型的面积(表 2), P_{ij} 为 i 类草地覆盖类型转化为 j 类草地覆盖类型的价值损失单价(表 4)。可知草地植被覆盖变化带来的价值损失 $V = 9466.8 \times 10^4$ CNY/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)。计算出的草地植被覆盖变化带来的价值损失,包括草地生态系统破坏所引起的气体管理、气候管理、干扰管理、水管理、水供应、侵蚀控制、土壤形成、营养循环、废物处理、授粉、生物控制、息栖地、食物生产、原材料、基因资源、娱乐、文化等生态服务功能损失的价值总和。

3 结语与讨论

(1)在 1986~2000 年期间,山丹县草地植被覆盖总的变化趋势是草地、林地向耕地、水域滩涂、城乡居住建设用地、难利用土地转化,草地植被覆盖总量在逐年减少。仅从植被覆盖来看,林地主要转化为草地和难利用土地,各为 67.64、24.67 km^2 ,分别占到 13%、4.7%;草地主要转换为耕地和难利用土地,各为 121.6、433.16 km^2 ;分别占到 5.14%、

18.3%。由其它一级地类转化为草地的主要是耕地、林地和难利用土地;转化为林地的主要是难利用土地。高、中、低覆盖度各类草地,分别减少达 35%、9.9%和 13.8%。草地植被覆盖类型也呈减少趋势,其中高覆盖度草地减幅最大,其次是低覆盖度草地和中覆盖度草地。草地植被利用过度或退化较为严重,生态环境将趋于恶化。由此导致草地生态系统宏观经济价值损失约 $9\,466.8 \times 10^4$ CNY/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),草地生态系统的生态服务功能降低甚至丧失。

(2)通过目视解译、自动分类来实现对草地变化的监测,此法多用于宏观监测草地覆盖范围大小和变化,人为误差较大。草地植被变化监测中最具挑战性的应用领域应是定量遥感。

(3)草地覆盖变化是反映草地植被“量”变的一个重要指标。目前还难以利用遥感手段和地理信息方区分毒草与牧草,所以草地种群特征、优势种更替等反映草地“质”的变化只能在野外调查工作基础之上进行定性评价^[31]。

(4)黑河流域各种生态环境问题十分突出又各有特点,本文对山丹县草地植被损失价值的计算只是一个初步的估算和尝试。诸如恢复型和替换型草地变化是否会给区域草地生态系统带来价值补偿等问题,仍有待于对区域生态价值更加深入的研究。

参考文献:

[1] LI J L(李建龙),JIANG P(蒋平),LIANG T G(梁天刚). The developing processes,contents and prospects of grassland remote sensing science in China[J]. *Grassland of China*(中国草地),1998,20(3):53—56(in Chinese).
[2] TUELLER P T. Remote sensing technology for rangeland management applications[J]. *Journal of Range Management*,1989,42(6):442—453.
[3] PARUELO J M,GOLLUSCIO R A. Range assessment using remote sensing in Northwest Patagonia[J]. *Journal of Range Management*. 1994,47(6):498—502.
[4] RITCHIE J C,EVERITT J H,et al. Airborne laser measurements of rangeland canopy cover and distribution[J]. *Journal of Range Man-*

- agement, 1992, **45**(2):189—193.
- [5] JUSTICE C O, HIERNAUX P H. Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA AVHRR data; Niger 1983[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, **7**(11):1 475—1 497.
- [6] PICKUP G. A simple model for predicting herbage production from rainfall in rangelands and is calibration using remotely-sensed data[J]. *Journal of Arid Environment*, 1995, **30**:227—245.
- [7] LI J L(李建龙), DAI R L(戴若兰), REN J ZH(任继周). Remote sensing technique in estimating grassland productivity in Fukang County[J]. *Grassland of China*(中国草地), 1998, (1):11—14(in Chinese).
- [8] HUANG J F(黄敬峰), WANG X ZH(王秀珍), WANG R CH(王人潮), et al. A study on monitoring and predicting models of grass yield in natural grassland using remote sensing data and meteorological data[J]. *Journal of Remote Sensing*(遥感学报), 2001, **5**(1):69—74(in Chinese).
- [9] CHEN Q G(陈全功), WEI Y X(卫亚星), LIANG T G(梁天刚). The monitoring of grassland resources using NOAA data[J]. *Practical Science*(草业科学), 1994, **11**(1):56—60(in Chinese).
- [10] ZOU Y R(邹亚荣), ZHAO X L(赵晓丽), ZHANG Z X(张增祥), et al. An analysis of dynamic changes of China's grassland on the basis of RS and GIS[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*(国土资源遥感), 2002, (1):29—33(in Chinese).
- [11] EVE M, WHITE W G, HAVSTADT K M. Applying satellite imagery to triage assessment of ecosystem health[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1999, **54**:205—227.
- [12] LIU ZH M(刘志明), YAN M(晏明), WANG G Q(王贵卿), et al. Analysis on grassland degeneration in the west Jinlin Province based on satellite RS[J]. *Geographical Science*(地理科学), 2001, **21**(5):452—456(in Chinese).
- [13] MIN Q W(闵庆文), XIE G D(谢高地), HU D(胡 聘), et al. Service valuation of grassland ecosystem in Qinghai Province[J]. *Resources Science*(资源科学), 2004, **26**(3):56—60(in Chinese).
- [14] LU CH X(鲁春霞), XIE G D(谢高地), XIAO Y(肖 玉), et al. Ecosystem diversity and economic valuation of Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Ecological Sinica*(生态学报), 2004, **24**(12):2 749—2 755(in Chinese).
- [15] REN ZH Y(任志远). Theories and method of evaluation regional ecosystem environment service economic value[J]. *Economic Geography*(经济地理), 2003, **23**(1):1—4(in Chinese).
- [16] LIU M CH(刘敏超), LI D Q(李迪强), LUAN X F(栾晓峰), et al. Ecosystem services and its value evaluation of Sanjiangyuan Region[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*(植物资源与环境学报), 2005, **14**(1):40—43(in Chinese).
- [17] XIE G D(谢高地), ZHANG Y L(张钰铨), LU CH X(鲁春霞), et al. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China[J]. *Journal of Natural Resources*(自然资源学报), 2001, **16**(1):47—53(in Chinese).
- [18] OUYANG ZH Y(欧阳志云), WANG R S(王如松). Ecosystem services and their economic valuation[J]. *World Sci-Tech R & D*(世界科技研究与发展), 2003, **22**(5):45—50(in Chinese).
- [19] ZONG Y G(宗跃光), ZHOU SH Y(周尚意), WEN L(温 良), et al. Assessment with eco-economic valuation of sustainable development of a regional ecosystem[J]. *Acta Ecological Sinica*(生态学报), 2002, **22**(10):1 573—1 580(in Chinese).
- [20] ZHAO SH L(赵善伦), YIN M(尹 民), SUN X H(孙希华). The assessment on economic and eco-value loss of soil and water loss in Shandong Province[J]. *Economic Geography*(经济地理), 2002, **22**(5):616—619(in Chinese).
- [21] XU ZH M(徐中民), CHENG G D(程国栋), WANG G X(王根绪). A study on the estimation of economic loss from ecological deterioration[J]. *Advance in Earth Sciences*(地球科学进展), 1999, **14**(5):498—504(in Chinese).
- [22] ZHANG ZH Q(张志强), XU ZH M(徐中民), LONG A H(龙爱华), et al. Measuring the economic value of restoring ecosystem services in Zhangye city of Heihe river Basin[J]. *Journal of Natural Resources*(自然资源学报), 2004, **19**(2):230—239(in Chinese).
- [23] YANG L M(杨立民), ZHU ZH L(朱智良). The status quo and expectation of global and local land cover and land use RS research[J]. *Journal of Natural Resources*(自然资源学报), 1999, **14**(4):340—344(in Chinese).
- [24] 高志海. 基于 RS 和 GIS 的绿洲植被与荒漠化动态研究[D]. 北京:北京林业大学, 2003.
- [25] CHEN G CH(陈桂琛), ZHOU L H(周立华), PENG M(彭 敏), et al. Remote sensing interpretation and its characteristics of the forest and shrub vegetation in Huangshui area, Qinghai province[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*(西北植物学报), 2001, **21**(4):719—725(in Chinese).
- [26] 国家计划委员会农业区划局. 土地利用现状调查手册[M]. 北京:农业出版社, 1998.
- [27] ZHANG Y L(张钰铨), LIU L SH(刘林山), BAI W Q(摆完奇), et al. Grassland degradation in the source region of the Yellow River[J]. *Acta Geographica Sinica*(地理学报), 2006, **61**(1):3—13(in Chinese).
- [28] ZHAO J(赵 健), WEI CH J(魏成阶), HUANG L F(黄丽芳), et al. Research methods of land use changes and the their applications in Hainan Island[J]. *Geographical Research*(地理研究), 2001, **20**(6):723—730(in Chinese).
- [29] COUSTANZA R, ARGE R, GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, **386**:253—260.
- [30] WANG J(王 建), JIAO Y M(角媛梅), WANG L H(王丽红), et al. Dynamic monitoring of grassland degradation with remote sensing and the strategy of ecological restoration in Shandan County of Heihe Basin[J]. *Proceedings of SPIE*, 2003, **4** 890.
- [31] LI H X(李辉霞), LIU SH ZH(刘淑珍). A model of grassland degradation assessment based on NDVI[J]. *Journal of Mountain Science*(Supplement)(山地学报)(增刊), 2003, **21**:69—71(in Chinese).