

三江源区“黑土滩”型退化草地时空变化

朱霞¹, 钞振华², 杨永顺¹, 张晓明¹

(1.青海省环境监测中心站, 青海 西宁 810007; 2.南通大学地理科学学院, 江苏 南通 226007)

摘要:“黑土滩”型退化草地易引起三江源区生态环境的急剧恶化,准确及时地了解“黑土滩”型退化草地的时空分布,对三江源地区草地退化的治理和生态环境的保护具有重要作用。本研究以三江源区典型“黑土滩”型退化草地——青海达日县境内的项目试验区作为研究区,对比该区域2007年6月29日的QuickBird影像和7月1日的Landsat TM影像,结果表明,Landsat TM影像解译精度较低,但足以满足“黑土滩”退化草地的监测。利用Landsat TM资料分析了该区域2000、2007和2011年“黑土滩”退化草地的时空变化,结果显示,2000—2007年,非黑土滩总面积减小,草地呈现退化趋势,黑土滩总面积增大;2007—2011年,非黑土滩总面积增大,黑土滩总面积减小,草地退化和黑土滩扩展趋势得到有效遏制。说明三江源区生态保护和建设工程在“黑土滩”综合治理方面成效显著。

关键词:三江源区;“黑土滩”型退化草地;QuickBird;Landsat TM;时空变化

中图分类号:S812.6⁺8

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2014)09-1628-09^{*}

Spatial and temporal variations of Black Soil Type degraded grassland in the Three River Source Region

ZHU Xia¹, CHAO Zhen-hua², YANG Yong-shun¹, ZHANG Xiao-ming¹

(1.Qinghai Environmental Monitoring Center, Xining 810007, China;

2.College of Geographic Science, Nantong University, Nantong 226007, China)

Abstract: The Black Soil Type Degraded grassland can lead to rapidly ecological environment deteriorated in Three River Source Region. The accurate and timely investigation of the spatial and temporal variations characteristics played an important role for the protection of ecological environment in Three River Source Region. The comparisons of the QuickBird images on June 29, 2007 and the Landsat TM images on July 1, 2007 in Dari County in Qinghai showed that Landsat TM images had low interpretation precision although it was still enough for the present area monitor. The spatial and temporal variations of Black Soil Type Degraded grassland in 2000, 2007, and 2011 were analyzed using Landsat TM data. From 2000 to 2007, the total areas of the non black soil patch decreased and the areas of the black soil patch increased which suggested that the grassland tended to degrade. From 2007 to 2011, the total areas of the non black soil patch increased and the areas of the black soil patch decreased which suggested the grassland degradation and black soil patch extension trend were effectively inhibited. These inhibitions suggested that the ecological protection and construction in Three River Source Region had achieved remarkable success in comprehensive treatments of Black Soil Type Degraded grassland.

Key words: Three River Source Region; black soil type degraded grassland; QuickBird; Landsat TM; spa-

^{*} 收稿日期:2013-09-12 接受日期:2014-08-05

基金项目:国家科技支撑计划(2012BAH31B00)

第一作者:朱霞(1961-),女,青海西宁人,工程师,本科,研究方向为三江源生态修复。E-mail:chinarenys@163.com

通信作者:杨永顺(1980-),男,陕西富平人,工程师,硕士,研究方向为3S技术应用和环境监测与评价。E-mail:chinarenys@163.com

tial and temporal variations

Corresponding author: YANG Yong-shun E-mail: chinarenys@163.com

“黑土滩”退化草地是青藏高原高寒环境条件下,以嵩草属(*Kobresia*)植物为建群种的高寒草甸严重退化后形成的一种大面积次生裸地,或原生植被退化后形成的丘岛状的自然景观,主要由未破坏草皮和秃斑地组成^[1]。素有“江河源”之称的三江源区地处青藏高原腹地,是长江、黄河和澜沧江的发源地,是保障整个三江流域中下游地区乃至东南亚国家水安全极为重要的生态功能区。作为源区自然生态系统的主体,高寒草甸既是支撑高原畜牧业发展、维系农牧民生活水平的重要物质基础,又对涵养水源、保护生物多样性等生态功能有着不可替代的作用^[2-3]。在气候变暖和长期超载放牧的影响下,江河源区的草地退化现象明显,形成了大面积“黑土滩”型退化草地,主要表现为嵩草属植物在草群中的比例显著下降,可食牧草比例及地下根量随之下降,而毒草比例显著增加。“黑土滩”型退化草地如不及时加以综合恢复治理,很容易变成风蚀草地,进而失去利用价值^[4-8]。及时准确地了解“黑土滩”型退化草地的空间分布及动态变化,对治理三江源地区草原退化和推进该地区生态环境保护尤为重要。

遥感技术具有实现大面积同步监测和时效性强等特点,在生态环境变化、草地资源监测等方面的应用得到了肯定^[9-12],在草地类型、草产量、载畜量及草地退化成因等调查方面都起到了重要作用^[13-15]。目前,利用遥感技术针对“黑土滩”型退化草地的动态变化及空间分布的监测研究鲜有报道。李永花等^[13]利用 TM 卫星遥感图像,采用人工目视判读的方法对三江源地区黑土滩退化草地进行了解译,形成该地区黑土滩退化草地本底资料数据。其他研究倾向于从生态学角度研究不同退化程度黑土滩草地群落特征的变化、危害以及治理方案等方面的探讨^[14-16]。“黑土滩”特殊的秃斑状形态是利用遥感技术对其进行监测的难题。本研究利用高分辨率遥感数据 QuickBird 影像和中分辨率的 Landsat TM 影像,研究了三江源区达日县项目试验区典型“黑土滩”退化草地的空间分布范围,对比了两种遥感资料在“黑土滩”退化草地监测的优势,并利用 TM 资料分析了研究区 2000—2011 年“黑土滩”退化草地的时空变化规律。

1 研究区概况

达日县位于青海省果洛藏族自治州东南部,98°15′—100°33′ E, 32°37′—34°15′ N, 全县东西长 162 km, 南北宽 126 km, 总面积约 1.5 万 km²。地形呈蝴蝶状,地势西北高,东南低,全县平均海拔 4 000 m,巴颜喀拉山脉从西北向东南延伸,将达日分为长江、黄河两大水系。该县气候变化剧烈,昼夜温差大,冬长夏短,四季不分明,年均降水量 569 mm,属半湿润高寒气候^[17-18]。天然草地约占全县土地面积的 94%,草地每年 5 月中旬开始返青,牧草生长期只有 120 d 左右。目前,达日全县“黑土滩”退化草地面积达到 5 488 km²,占全县中度以上退化草地面积的 56.8%。为更好地了解三江源生态恢复保护和建设的成效,本研究在达日县东部(以满掌乡布东牧区为主)建立了项目研究区,并利用 GPS 在项目区监测了 90 个样点进行了“黑土滩”退化草地实地调查(图 1)。

2 数据与方法

2.1 数据介绍

QuickBird 卫星是由美国 Digital Global 公司于 2007 年 10 月 18 日发射的,全色波段地面分辨率为 0.61 m,多光谱波段空间分辨率为 2.44 m,重访周期为 1~6 d,成像幅宽 16.5 km×16.5 km,是目前世界上应用较为广泛的高分辨率商业卫星之一。Landsat-5 卫星是美国于 1984 年 3 月发射的光学对地观测卫星,空间分辨率为 30 m,扫描带宽 185 km。针对 2005 年 1 月 26 日经国务院常务会议批准的青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划以及相应具体生态工程项目在研究区的实施,本研究选用的遥感资料主要包括:2007 年 6 月 29 日 QuickBird 影像,2000 年 7 月 1 日、2007 年 7 月 14 日和 2011 年 8 月 1 日共 3 期 Landsat TM 影像,其中 QuickBird 影像主要用于评价 Landsat TM 影像对黑土滩的解译结果。虽然 QuickBird 影像空间分辨率高、解译精度高,但其覆盖范围小、价格昂贵,而 Landsat TM 影像覆盖范围大,经济上可行。因此,利用 2000、2007 和 2011 年的 Landsat TM 影像分

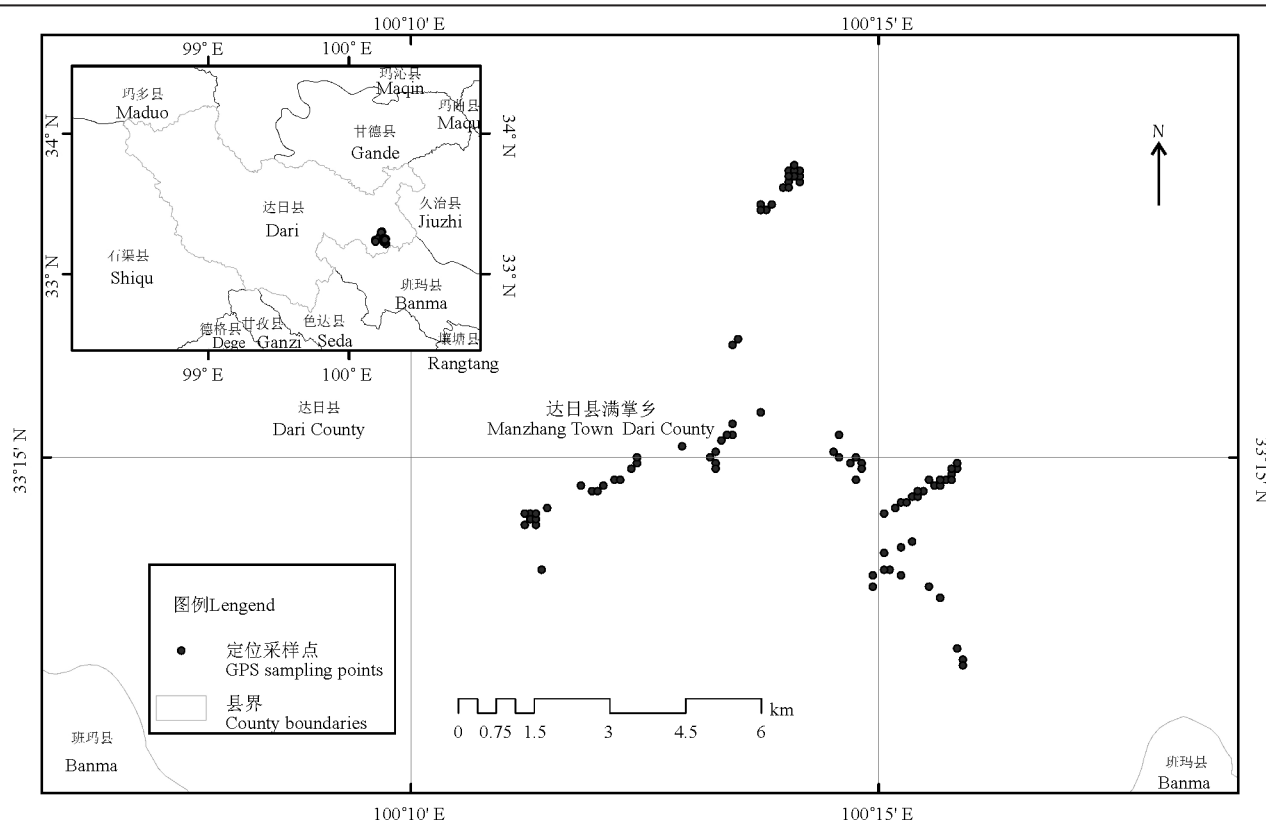


图 1 研究区及 GPS 采样点

Fig.1 The study area and GPS sampling points

析以放牧为主要利用方式的试验区的“黑土滩”型退化草地的时空变化。

2.2 研究方法

单景影像往往不能覆盖项目试验区,借助影像镶嵌技术将多幅遥感图像拼接在一起,构成试验区的整体图像。为了提高影像目视解译和自动识别的精度,充分利用全色波段的高空间分辨率和多光谱波段丰富的光谱信息,对遥感影像进行图像融合以实现增强多光谱图像空间分辨率。然后利用野外的调查结果建立判读标志库,利用人机交互的方式对影像进行目视解译,并对解译结果进行验证修整,最终获取研究区“黑土滩”空间分布范围(图 2)。

另外,依据青海省地方标准《“黑土型”退化草地登记划分及综合治理技术规程》(DB63),将“黑土滩”退化草地的等级划分为轻度、中度和重度三级。

3 结果与分析

3.1 QuickBird 与 Landsat TM 影像对比分析

高分辨率的 QuickBird 影像能很好地反映地面

真实土地利用状况(表 1),根据纹理、阴影等特征对该试验区的 QuickBird 影像进行遥感解译,土地

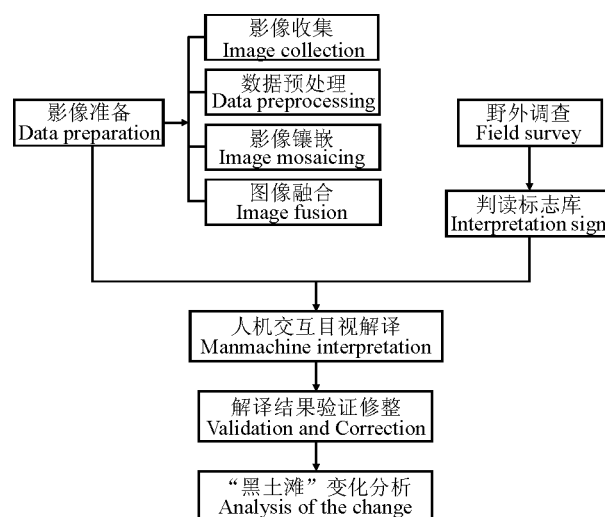


图 2 “黑土滩”退化草地变化分析的遥感监测技术路线图

Fig.2 Remote sensing monitoring technology roadmap of Black Soil Type Degraded grassland spatial-temporal variations

表 1 2007 年 7 月 1 日 TM 影像与 6 月 29 日 QuickBird 影像的试验区土地利用类型比较

Table 1 Comparing the land-use type of QuickBird image on June 29, 2007 with the Landsat TM images on July 1, 2007

分类 Classification	一级类型 First-class	二级类型 Second-class	Landsat TM/km ²	Quick Bird/ km ²	差值 Difference/ km ²	判定误差 Error for judge/%
非黑土滩类 Non-black Soil Type	林地 Forest	灌木林地 Shrub land	0.00	0.61	-0.61	100.00
	草地 Grassland	天然草地 Grassland	4.07	5.92	-1.85	31.25
		栽培草地 Pasture	0.42	0.26	0.16	61.54
	住宅用地 Residential sites	农村宅基地 Rural villages	0.00	0.07	-0.07	100.00
	交通运输用地 Traffic land	农村道路 Rural road	0.00	0.05	-0.05	100.00
	水域及水利设施用地 Water area	河流水面 River	1.25	0.29	0.96	331.03
		内陆滩涂 Inland beach	0.56	0.91	-0.35	38.46
	其他土地 Other land	沼泽地 Marshland	0.97	1.08	-0.11	10.19
总计 Total			7.27	9.19	-1.92	20.89
黑土滩类 Black Soil Type	轻度黑土滩(秃斑地比例 40%~60%) Mild black soil(Barren patch proportion 40%~60%)		59.92	48.17	11.75	24.39
	中度黑土滩(秃斑地比例 60%~80%) Moderate black soil(Barren patch proportion 60%~80%)		1.64	6.60	-4.96	75.15
	重度黑土滩(秃斑地比例 ≥80%) Serious black soil(Barren patch proportion ≥80%)		26.74	29.61	-2.87	9.69
	总计 Total		88.30	84.38	3.92	4.64

利用状况与 GPS 采样点实际调查结果基本吻合(图 3、4),因此,将 QuickBird 影像解译结果作为真值。同样对中分辨率的 Landsat TM 影像进行遥感解译,与真值影像对比,发现 Landsat TM 影像解译结果较差,不能很好地识别灌木类植被覆盖、交通运输用地及住宅用地等土地利用状况。

对占地面积较大的土地利用类型,Landsat TM 影像的判别误差较小,相反对占地面积较小的土地类型的判别误差较大。非黑土滩类中河流水面的判读误差最大,为 331.03%;沼泽地的判读误差最小,为 10.19%;对占地面积较小的灌木林地、农村宅基

地和农村道路没有判别出来,天然草地、栽培草地和内陆滩涂判读误差介于 31%~62%,非黑土滩类整体判读误差为 20.89%,黑土滩类中度黑土滩的判别误差最大,为 75.15%,重度黑土滩的判别误差最小,为 9.69%,轻度黑土滩的判别误差为 24.39%,黑土滩类整体判读误差为 4.64%。这表明 Landsat TM 影像解译结果对非黑土滩类土地利用类型的判读误差较大,对黑土滩类土地利用类型的判读误差较小,能够满足“黑土滩”型退化草地的监测研究。

非黑土滩类中天然草地主要分布于海拔为 4 300 m 左右的试验区东南部;栽培草地受人类活

动影响较大,主要分布在河谷地;内陆滩涂和沼泽地面积较小,主要分布在河流附近区域;黑土滩类土地分布较广,约占研究区面积的 92%;其中轻度黑土滩主要分布在海拔 4 100—4 250 m,占黑土滩类面积的 67%,中度黑土滩零散地分布在各种土地利用

类型中,占黑土滩类面积的 2%;重度黑土滩广泛分布于整个试验区,占黑土滩类面积的 31%(图 3、4)。

3.2 “黑土滩”型退化草地的时空变化

如表 2 所示,与 2000 年相比,2007 年非黑土滩总面积减小了 2.60 km²,其中天然草地面积减小了

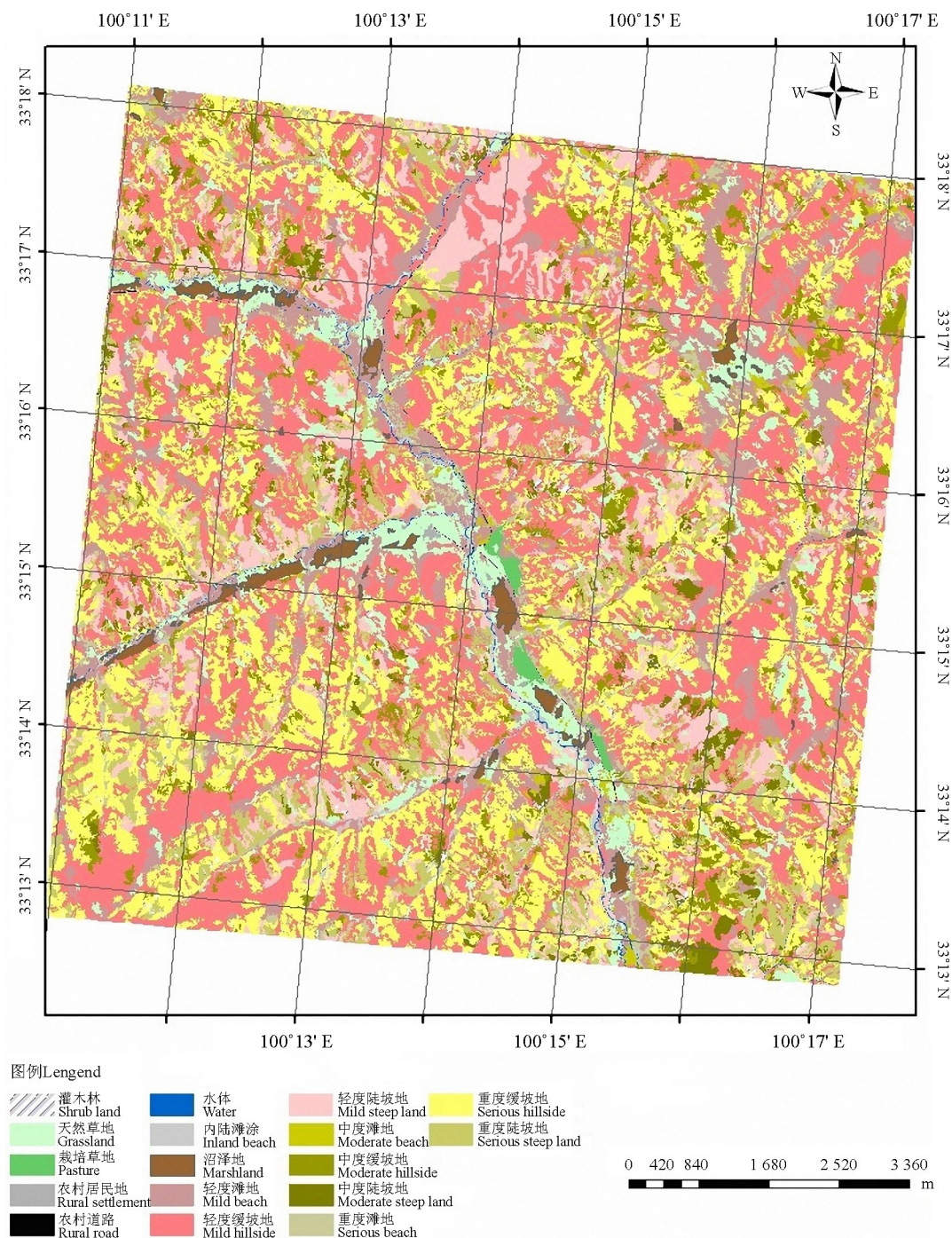


图 3 2007 年 6 月 29 日 QuickBird 影像的试验区土地利用类型图

Fig.3 The land use type of QuickBird image on June 29, 2007

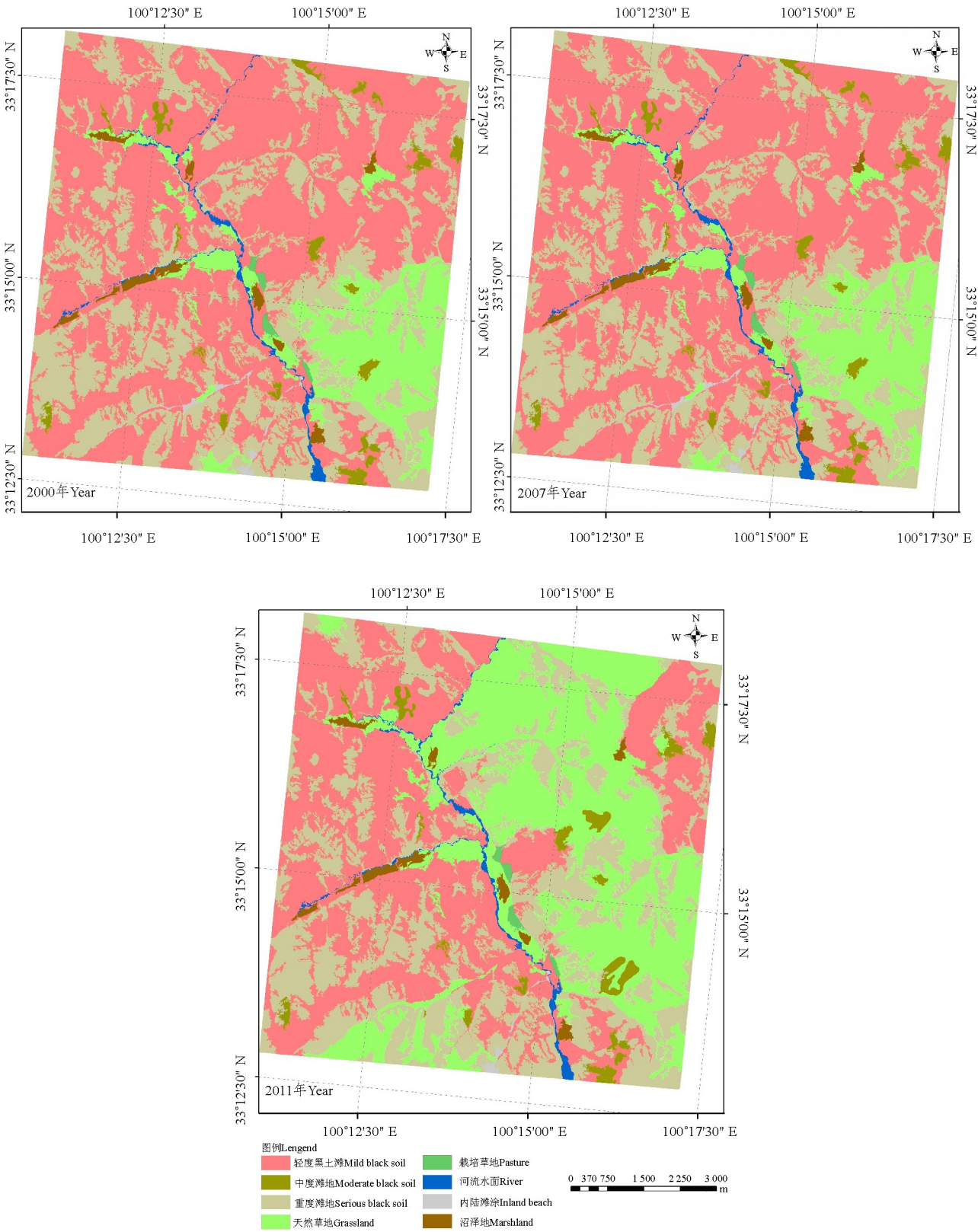


图 4 2000、2007、2011 年 Landsat TM 影像的试验区土地利用类型图

Fig.4 The land use type based on the Landsat TM image taken in 2000, 2007 and 2011

表 2 2000、2007 及 2011 年试验区“黑土滩”退化草地面积比较变化统计
Table 2 The area statistics of Black Soil Type Degraded grassland in 2000, 2007, and 2011 km²

分类 Classification	一级类型 First-class	二级类型 Second-class	2000 年 Year	2007 年 Year	2011 年 Year	动态变化 Dynamic change		
						2000—2007	2007—2011	2000—2011
非黑土滩类 Non-black Soil Type	林地 Forest	灌木林地 Shrub land	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	草地 Grassland	天然草地 Grassland	7.00	4.07	10.99	-2.93	6.92	3.99
		栽培草地 Pasture	0.19	0.42	1.39	0.23	0.97	1.20
	住宅用地 Residential land	农村宅基地 Rural villages	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	交通运输用地 Traffic land	农村道路 Rural road	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	水域及水利设 施用地 Water area	河流水面 River	1.25	1.25	1.25	0.00	0.00	0.00
		内陆滩涂 Inland beach	0.31	0.56	0.25	0.25	-0.31	-0.06
	其他土地 Other land	沼泽地 Marshland	1.12	0.97	1.07	-0.15	0.10	-0.05
总计 Total			9.87	7.27	14.95	-2.60	7.68	5.08
黑土滩类 Black soil type	轻度黑土滩(秃斑地比例 40%~60%)Mild black soil (Barren patch proportion 40%~60%)		55.75	57.92	52.70	2.17	-5.22	-3.05
	中度黑土滩(秃斑地比例 60%~80%)Moderate black soil (Barren patch proportion 60%~80%)		2.43	1.64	2.16	-0.79	0.52	-0.27
	重度黑土滩(秃斑地比例 ≥80%)Serious black soil (Barren patch proportion ≥80%)		25.52	26.74	23.76	1.22	-2.98	-1.76
	总计 Total		83.70	86.30	78.62	2.60	-7.68	-5.08

2.93 km²,栽培草地面积增大了 0.23 km²,草地类总面积减小了 2.70 km²,年均减小 0.39 km²;灌木林地、农村宅基地、农村道路和河流水面的面积均无变化;内陆滩涂面积增大了 0.25 km²,沼泽地面积减小了 0.15 km²。与 2000 年相比,2011 年非黑土滩总面积增大了 5.08 km²,其中天然草地面积增加了 3.99 km²,栽培草地面积增大了 1.20 km²,草地类总面积增大了 5.19 km²,年均增大 0.47 km²;灌木林地、农村宅基地、农村道路和河流水面的面积均无变

化;内陆滩涂面积减小了 0.06 km²,沼泽地面积减小了 0.05 km²。与 2007 年相比,2011 年非黑土滩总面积增大了 7.68 km²,其中天然草地面积增加了 6.92 km²,栽培草地面积增大了 0.97 km²,草地类总面积增大了 7.89 km²,年均增大 1.97 km²;灌木林地、农村宅基地、农村道路和河流水面的面积均无变化;内陆滩涂面积减小了 0.31 km²,沼泽地面积增加了 0.10 km²。结果显示,2000—2007 年研究区非黑土滩总面积缓慢减小,草地类总面积缓慢减小,2007

—2011 年非黑土滩总面积快速增大,表明三江源区生态保护和建设工程实施后,研究区非黑土滩总面积增大,草地退化的趋势得到了有效遏制,草地覆被状况有所好转。

与 2000 年相比,2007 年黑土滩类总面积增大了 2.60 km^2 ,年均增加 0.37 km^2 ;其中轻度黑土滩面积增加了 2.17 km^2 ,年均增加 0.31 km^2 ;中度黑土滩面积减小了 0.79 km^2 ,年均减小了 0.11 km^2 ;重度黑土滩面积增加了 1.22 km^2 ,年均增加了 0.17 km^2 。与 2000 年相比,2011 年黑土滩类总面积减小了 5.08 km^2 ,年均减小了 0.46 km^2 ;其中轻度黑土滩面积减小了 3.05 km^2 ,年均减小 0.28 km^2 ;中度黑土滩面积减小了 0.27 km^2 ,年均减小了 0.02 km^2 ;重度黑土滩面积减小了 1.76 km^2 ,年均减小 0.16 km^2 。与 2007 年相比,2011 年黑土滩类总面积减小了 7.68 km^2 ,年均减小 1.92 km^2 ;其中轻度黑土滩面积减小了 5.22 km^2 ,年均减小 1.31 km^2 ;中度黑土滩面积增大了 0.52 km^2 ,年均增大 0.13 km^2 ;重度黑土滩面积减小了 2.98 km^2 ,年均减小 0.75 km^2 。结果显示,2000—2007 年研究区黑土滩总面积缓慢增大,2007—2011 年黑土滩总面积快速缩减,表明三江源区生态保护和建设工程实施后,研究区黑土滩的扩展趋势得到有效遏制。

4 讨论

“黑土滩”是青藏高原高寒草甸草原独有的草地退化现象,草地退化成“秃斑”状,易引起毒杂草丛生、鼠害横行、草皮融冻剥离,造成植被盖度降低、土壤肥力不断降低,进而对草地畜牧业的发展和人文环境带来严重的负作用。周强等^[19]指出达日县人口稀少,虽然居民和工矿用地面积增长很快,但总量不大,不会对土地利用结构产生直接影响。虽然三江源区生态保护和建设工程的实施有效地保护了草地,植被得到了恢复,“黑土滩”型草地得到了有效改良,其增长趋势得到了有效遏制,目前共识是三江源地区的草地退化是自然因素和人类活动共同作用的结果,但对草地退化原因的认知仍不够全面^[20-23],应

针对高原“黑土滩”发生面积、分布规律进行深入研究并分析引起高寒草甸退化的原因。此外,草地农业生态系统是一个复杂的社会经济系统,受多种因素的综合影响,如何保持草地生态长期稳定恢复和可持续发展,仍需进行长期系统的科学监测和实时保护。

5 结论

本研究利用高分辨率 QuickBird 影像分析和中分辨率 Landsat TM 影像,通过比较 2000 年、2007 年及 2011 年 Landsat TM 影像解译的试验区土地利用类型面积,分析 2000—2011 年试验区“黑土滩”型草地的动态变化。主要结果如下:

1)通过与高分辨率 QuickBird 影像的对比,中分辨率 Landsat TM 影像虽然不能很好地反映灌木类植被覆盖、交通运输用地及住宅用地等土地利用状况,但其解译结果能够满足“黑土滩”退化草地的监测。虽然 QuickBird 影像空间分辨率高、解译精度高,但其覆盖范围小、价格昂贵,而 Landsat TM 影像覆盖范围大,经济上可行。因此,从经济和实用两方面来说,本研究选取中分辨率 Landsat TM 影像作为三江源区“黑土滩”型退化草地的动态监测的遥感影像数据。

2)2000—2007 年,研究区非黑土滩总面积缓慢减小,草地类总面积缓慢减小,黑土滩类总面积增大。由于受人为破坏等多种因素的影响较大,草地类总面积年均减小,草地呈现退化趋势;黑土滩总面积年均增大,黑土滩呈现蔓延趋势。

3)2007—2011 年,研究区非黑土滩总面积增大了 7.68 km^2 ,其中草地类总面积增大了 7.89 km^2 ,年均增大 1.97 km^2 ;内陆滩涂面积略有减小。黑土滩类总面积减小 1.92 km^2 ,其中轻度和重度黑土滩面积减小较快。结果表明,三江源区生态保护和建设工程实施后,研究区非黑土滩总面积增大,草地退化的趋势得到了有效遏制,草地覆被状况有所好转;黑土滩总面积减小,其扩展趋势得到有效遏制。

参考文献

- [1] 伊晨刚,马玉寿,李世雄,王彦龙,杨慧茹.江河源区“黑土滩”退化草地及人工草地土壤种子库多样性[J].西北农业学报,2012,21(11):43-48.

- [2] 曾永年,冯兆东,曹广超,薛亮.黄河源区高寒草地土壤有机碳储量及分布特征[J].地理学报,2004,59(4):497-504.
- [3] 任继周,林慧龙.江河源区草地生态建设构想[J].草业学报,2005,14(2):1-8.
- [4] 周华坤,周立,赵新全,刘伟,严作良,师燕.江河源区“黑土滩”型退化草场的形成过程和综合治理[J].生态学杂志,2003,22(5):51-55.
- [5] 曹广民,龙瑞军.三江源区“黑土滩”型退化草地自然恢复的瓶颈及解决途径[J].草地学报,2009,17(1):4-9.
- [6] 马玉寿,尚占环,施建军,董全民,王彦龙,杨时海.黄河源区“黑土滩”退化草地群落类型多样性及其群落机构研究[J].草业科学,2006,23(12):6-12.
- [7] 黎与.青海省三江源“黑土滩”形成的自然、人为因素和生物学机制[J].草业与畜牧,2007(4):30-32.
- [8] 韩立辉,尚占环,任国华,王彦龙,马玉寿,李希来,龙瑞军.青藏高原“黑土滩”退化草地植物和土壤对秃斑面积变化的响应[J].草业学报,2011,20(1):1-6.
- [9] 王桥.卫星遥感技术在环境保护领域中应用的进展与挑战[J].中国环境监测,2009,25(4):53-56.
- [10] 罗海江,白海玲,王文杰,申文明,张峰,刘小曼.面向生态监测与管理的国家级土地生态分类方案研究[J].中国环境监测,2006,22(5):57-61.
- [11] 陈全功,卫亚星,梁天刚.青海省达日县退化草地研究 I 退化草地遥感调查[J].草业学报,1998,7(2):58-63.
- [12] 卫亚星,王莉雯,刘闯.利用遥感手段监测草场退化[J].自然灾害学报,2009,18(2):120-123.
- [13] 李永花,王苑,赵成福.三江源地区黑土滩的遥感图像解译[J].测绘技术装备,2008,10(4):38-41.
- [14] 王宝山,咖玛加,张玉.青藏高原“黑土滩”退化高寒草甸草原的形成机制和治理方法的研究进展[J].草原与草坪,2007(2):72-77.
- [15] 尚占环,龙瑞军,马玉寿.江河源区“黑土滩”退化草地特征、危害及治理思路探讨[J].中国草地学报,2006,28(1):69-74.
- [16] 石德军,李希来,杨力军,孙海群,杨元武.不同退化程度“黑土滩”草地群落特征的变化及其恢复对策[J].草业科学,2006,23(7):1-3.
- [17] Harris R B. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan plateau: A review of the evidence of its magnitude and causes [J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74(1): 1-12.
- [18] Yu L, Zhou L, Liu W, Zhou H K. Using remote sensing and GIS technologies to estimate grass yield and livestock carrying capacity of Alpine grasslands in Golog Prefecture, China [J]. Pedosphere, 2010, 20(3): 342-251.
- [19] 周强,刘林山,张懿铨,陈琼,张海峰,刘峰贵.高原牧区草地变化对牧民粮食安全的应用——以青海省达日县为例[J].自然资源学报,2011,26(8):1333-1345.
- [20] Miede G, Miede S, Bach K, Nölling J, Hanspach J, Reudenbach C, Kaiser K, Wesche K, Mosbrugger V, Yang Y P, Ma Y M. Plant communities of central Tibetan pastures in the alpine steppe/*Kobresia pygmaea* ecotone [J]. Journal of Arid Environments, 2011, 75(8): 711-723.
- [21] 陈克龙,李双成,周巧富,肖景义.江河源区达日县近 50 年气候变化的多尺度分析[J].地理研究,2007,26(3):526-532.
- [22] 吕继强,沈冰,莫淑红,邵年华,秦毅.黄河上游高寒区水资源变化的气候响应特征[J].自然资源学报,2011,26(12): 2131-2140.
- [23] 张琴琴,摆万奇,张懿铨,刘林山.黄河源地区牧民对草地退化的感知——以达日县为例[J].资源科学,2011,33(5): 942-949.

(责任编辑 武艳培)