

近 30 年来青海三江源地区草地退化的时空特征

刘纪远, 徐新良, 邵全琴

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 在 20 世纪 70 年代中后期 MSS 图像、90 年代初期 TM 图像和 2004 年 TM/ETM 图像支持下, 通过三期遥感影像的直接对比分析, 获得了三江源地区草地退化空间数据集, 并在此基础上分析了 70 年代以来青海三江源地区草地退化的主要时空特征。结果表明: 三江源地区草地退化是一个在空间格局上影响范围大, 在时间过程上持续时间长的连续变化过程。研究发现, 三江源草地退化的格局在 70 年代中后期已基本形成, 70 年代中后期至今, 草地的退化过程一直在继续发生, 总体上不存在 90 年代至今的草地退化急剧加强现象。草地退化的过程在不同区域和地带有明显不同的表现, 如在湿润半湿润地带的草甸类草地上, 发生着草地破碎化先导, 随后发生覆盖度持续降低, 最后形成黑土滩的退化过程; 在干旱、半干旱地带的草原类草地上, 发生着覆盖度持续降低, 最后形成沙地和荒漠化草地的退化过程。三江源地区草地退化具有明显的区域差异, 草地退化可以分为 7 个区, 各区草地退化在类型、程度、范围与时间过程方面具有明显不同的特点。

关键词: 三江源; 青海; 草地退化; 遥感; 空间格局; 时间过程

1 引言

三江源地区位于青海省南部, 地处青藏高原腹地, 是长江、黄河、澜沧江三大河流的发源地, 素有“中华水塔”之称。近年来, 受全球气候变暖及日趋频繁的人类经济活动的共同影响, 三江源地区草地生态系统持续退化, 已引起各方面的高度关注, 并成为草地生态学界的研究热点。草地退化是由于人为活动或不利自然因素所引起的草地(包括植物及土壤)质量衰退, 生产力、经济潜力及服务功能降低, 环境变劣以及生物多样性或复杂程度降低, 恢复功能减弱或失去恢复功能的过程^[1]。据调查, 三江源区的草地已呈现全面退化的趋势, 其中中度以上退化草场面积达 $0.12 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 占本区可利用草场面积的 58%。同 20 世纪 50 年代相比, 单位面积产草量下降 30%~50%, 优质牧草比例下降 20%~30%, 有毒有害类杂草增加 70%~80%, 草地植被覆盖度减少 15%~25%, 优势牧草高度下降了 30%~50%, 其中黄河源头 80-90 年代平均草场退化速率比 70 年代增加了 1 倍以上^[2]。陈国明研究发现中度退化草地面积为 $5.7 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占可利用草地面积的 55.4%, 其中, “黑土滩”(重度退化草地)面积为 $1.8 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占退化草地面积的 32.1%^[3]; 王根绪等研究发现江河源区 6 县(达日、玛多、玛沁、治多、曲麻莱、杂多)草地退化面积占草地总面积的 34.34%, 其中重度退化草地面积占退化草地面积的 26.79%, 退化草地以及重度退化草地主要发生在达日、玛多、曲麻莱等县, 表明黄河源区草地退化比较严重^[4]。草地覆盖度下降、沙化和荒漠化是该区草地退化的典型特征^[5, 6]; 达日县作为三江源地区草地退化最严重的一个县, 从 70 年代中期到 2000 年高寒草甸的质量持续下降, 发生退化的草地总面积约 $42.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占全县面积的 29.39%^[7]。

收稿日期: 2007-10-23; 修订日期: 2007-12-24

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-06-03); 国家科技支撑计划项目(2006BAC08B00) [Foundation: The CAS Action-plan for West Development, No.KZCX2-XB2-06-03; National Key Project of Scientific and Technical Supporting Programs, No.2006BAC08B00]

作者简介: 刘纪远 (1947-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向: 土地利用 / 土地覆被变化及其环境效应。

E-mail: liujy@igsnrr.ac.cn

草地生态系统是三江源地区的主体生态系统，对区域生态系统服务功能的保持具有决定性作用，因此对于草地退化面积、程度和速率的准确把握，成为认识该区域生态系统本底状况和演变规律的关键。近年来，部分学者采用遥感技术手段对三江源地区的草地退化进行了研究^[8, 9-13]，但由于研究范围、研究方法以及对草地退化等级划分标准的不同，所获得的草地退化结论存在较大差异。特别是由于注重退化现状，这些研究工作多集中采用同期遥感数据进行分析，没有强调对近几十年来草地退化过程的全面把握。

为了对三江源区草地退化的时空过程规律取得全面客观的科学认识，我们将草地退化过程的分析追溯到了 20 世纪 70 年代中后期。在建立草地退化分类体系和草地退化类型遥感解译标志的基础上，通过对比分析 70 年代中后期 MSS 图像、90 年代初期 TM 图像和 2004 年 TM/ETM 图像，获得了三江源地区草地退化过程的空间数据集，并进而分析掌握了 70 年代以来青海三江源地区草地退化的空间格局与时间过程特征。

2 数据基础与处理

目前，基于遥感的草地退化信息提取方法可以归纳为两大类：① 基于遥感反演参数与草地退化指标相关关系的草地退化信息间接提取法；② 基于遥感影像的草地退化信息直接目视综合判读法。第一种草地退化信息提取方法目前在基于植被指数与草地退化指标关系的退化分析方面得到较广泛应用^[14-16]。但受到遥感可反演参数与草地退化指标不能直接对应的限制，以及反演参数和草地退化指标相关关系中各种不确定因素的影响，可提供的草地退化分类特征信息与草地学研究实际需求差距较大，信息提取的精度不尽人意。而第二种方法不仅对遥感影像的选取、时相的选择和后期处理具有严格的要求，而且要求解译人员对研究区草地退化状况有比较完整的认识，但是草地退化分类特征信息的提取效率和分析精度较高^[8-10, 17-18]，我们在三江源草地退化的研究中主要应用该方法。

在构建三江源草地退化数据集的过程中，我们制订了三江源草地退化遥感分类体系。参照“天然草地退化、沙化、盐渍化分级指标”国家标准 (GB19377-2003)^[19]将三江源草地退化的类型划分为破碎化退化、覆盖度下降退化、破碎化和覆盖度下降组合型退化、沼泽化草甸趋干化、沙化/盐化退化、草地转好以及无退化 7 个一级类型，并在此基础上根据退化程度的轻重进一步细分为 21 个二级类型，进而设计了以遥感图像计算机屏幕人机交互直接判读为核心的三江源草地退化信息获取技术方案 (图 1)，形成了一致的判读标准，保证了草地退化遥感人工解译的精度。

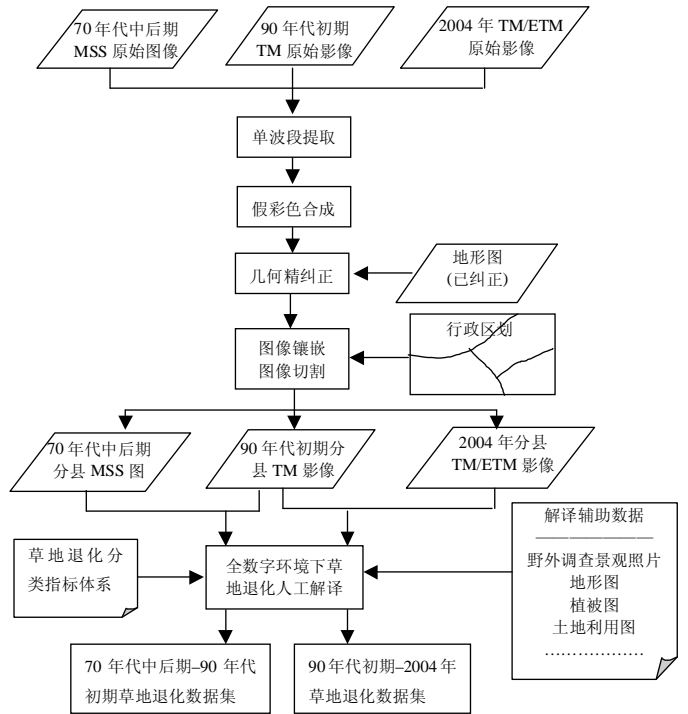


图 1 三江源草地退化信息遥感获取技术流程图

Fig. 1 The technical process of interpreting grassland degradation by RS in the Three-River Headwaters Region

本研究选择的遥感信息源包括 70 年代中后期的 MSS 图像, 90 年代初期 TM 图像和 2004 年 TM/ETM 图像, 覆盖整个三江源地区的三期遥感影像各 28 景。为了更好地反映三江源草地的生长状况, 我们选择的三期遥感影像成像时间主要集中在 7、8 月份。MSS 遥感影像的空间分辨率为 80 m, 但可以将草地退化的研究时段回推到 70 年代, 通过与 TM 图像对比分析, 可以保证草地退化信息的遥感获取精度。三期遥感影像均进行了单波段提取、假彩色合成、几何精纠正、图像镶嵌、图像切割等处理, 形成了以三江源县级行政单元为基础的标准假彩色影像。通过两期遥感影像的直接对比分析, 采用草地退化分类判读(即直接解译草地退化类型斑块)的方式对草地退化动态信息进行提取, 并加以定性与集成, 完成了三江源地区 20 世纪 70 年代中后期—90 年代初期、90 年代初期—2004 年两期 1:10 万草地退化遥感解译专题图。

3 三江源草地生态系统空间分布的基本特征

草地生态系统是三江源地区最主要的生态系统类型, 广泛分布于三江源地区, 其分布面积占三江源地区总面积的 65.37%。从 2004 年草地类型的空间分布看(图 2), 本区草地主要以高寒草甸和高寒草原为主, 面积分别占草地总面积的 76.18%和 23.36%。高寒草甸在三江源地区占绝对优势, 可进一步分为高寒草原化草甸、典型高寒草甸、高寒沼泽化草甸三个植被亚类。高寒草原化草甸是介于草甸和草原之间的中间类型, 主要分布于海拔 3200~4700 m 的山地阳坡下部、宽谷、河谷阶地、低丘, 植被生长茂密, 覆盖度一般 70%~90%, 优良牧草种类多、草质好、营养丰富, 是三江源地区利用价值高的草场。典型高寒草甸是三江源高寒草甸中分布普遍、面积较大的一种, 主要分布于海拔 3200~5000 m, 排水条件良好、中等湿度的滩地、宽谷和平缓地, 群落外貌整齐, 生长茂盛, 覆盖度一般 50%~90%, 结构简单, 层次分化不明显。高寒沼泽化草甸是沼泽与草甸之间的过渡类型, 一般不连续分布于地势低洼、排水不畅、土壤潮湿、通气性不好和非盐渍化的湖滨、山间盆地、河流两岸低阶地, 高山分水岭的鞍部、山麓潜水溢出带和高山冰雪带下缘。植被种类组成丰富, 覆盖度一般可达 80%~90%, 产草量高, 放牧价值大。

从草地覆盖度空间分布状况看(图 3), 三江源地区高、中、低覆盖度草地分别占草地生态系统总面积的 38.02%、21.39%和 40.60%, 高覆盖度草地集中分布于东部和中南部地区, 这些地区水热条件较好, 草被生长茂密, 草地覆盖度在 50%以上; 中覆盖度草地比较集中分布于达日、玛多北部、杂多县局部地区, 这些区域人类活动较强而且水分条件较差, 草被较稀疏, 覆盖度在 20%~50%之间; 低覆盖度草地集中分布于三江源的西部和北部地区, 如唐古拉山乡、治多西部、曲麻莱北部地区, 这些区域水分条件欠缺, 草被稀疏, 覆盖度在 5%~20%之间, 牧业利用条件差。

4 三江源地区草地退化的时空特征分析

4.1 三江源草地退化的基本特征

通过对 20 世纪 70 年代中后期、90 年代初期和 2004 年三期陆地卫星遥感影像的多期对比分析发现, 三江源草地退化类型和退化程度的空间分异明显, 而且从 70 年代中后期至今, 三江源地区草地的退化过程一直在继续。尤其重要的是, 在 90 年代初和 2004 年遥感卫星图像上可以识别的草地退化部位上, 在 70 年代中后期的 MSS 遥感影像中基本上都可以看到草地退化的基本特征, 且草地退化图斑的影纹相似(图 4、图 5)。由此可见, 三江源地区退化草地的空间分布格局在 70 年代已经基本形成, 而且草地退化过程自

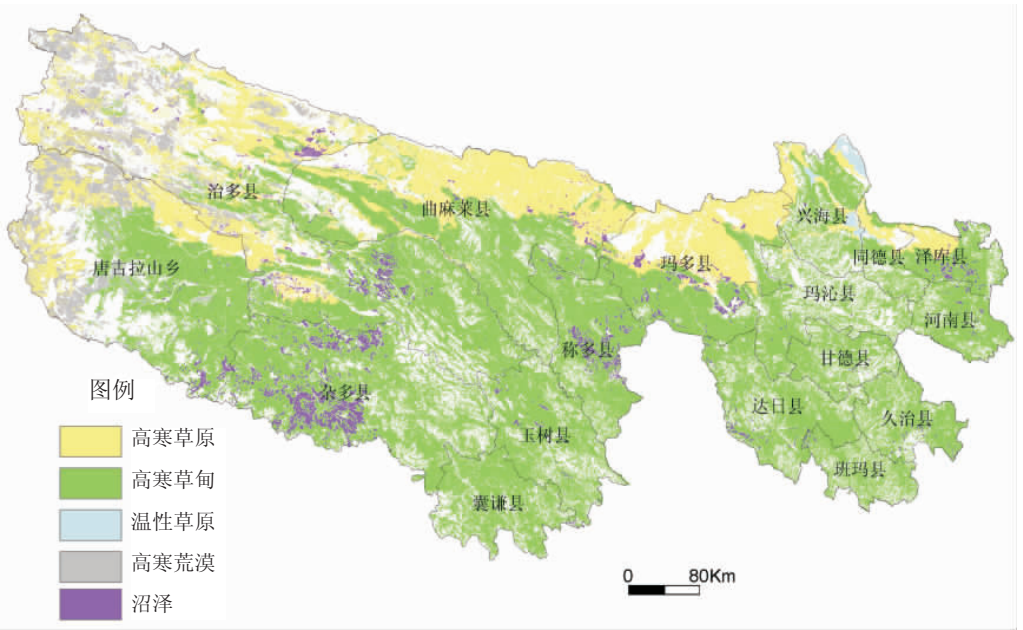


图 2 2004 年三江源地区草地类型空间分布图

Fig. 2 Spatial pattern of grassland type in the Three-River Headwaters Region in 2004

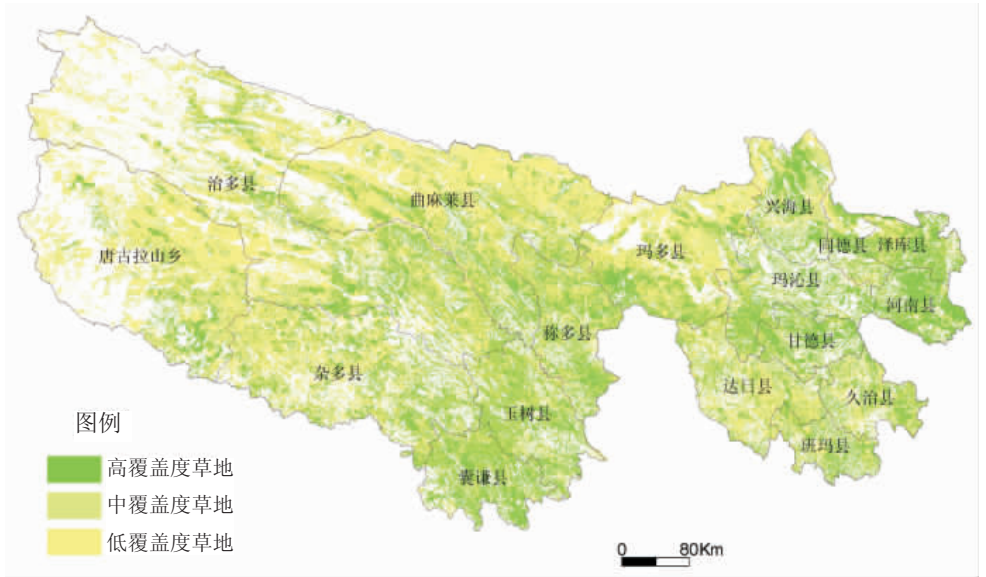


图 3 2004 年三江源地区草地覆盖度遥感解译图

Fig. 3 Spatial pattern of grassland coverage in the Three-River Headwaters Region in 2004

70 年代中后期—2004 年仍在继续发生 (图 6、图 7)。70 年代中后期之前及其后近 30 年以来草地退化过程的叠加构成了三江源区草地退化的当前状况。

从三江源地区草地退化空间数据集的统计结果看 (表 1)，20 世纪 70 年代中后期—90 年代初三江源地区草地退化面积 $764 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，占全区草地面积的 32.83%；90 年代初—2004 年该区草地退化面积 $841 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，占全区草地面积的 36.12%。前后两个时段对比草地退化面积增长 3.87%。

从退化程度 (表 2) 看，三江源地区草地退化以轻、中度退化为主，重度退化仅发生

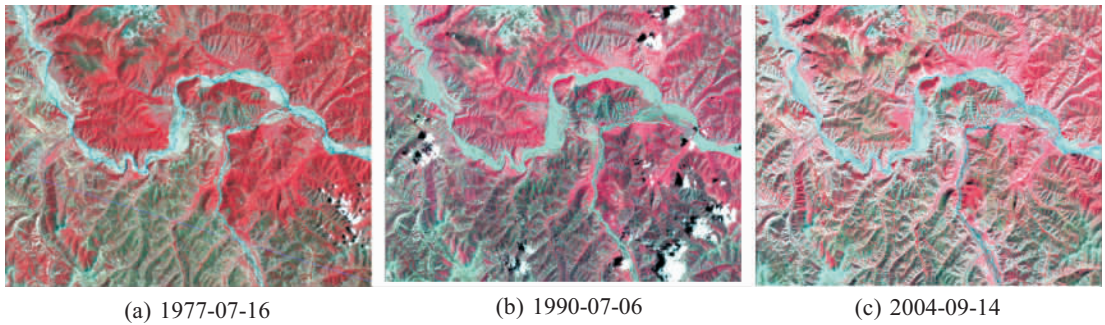


图4 达日北部建设乡一带草地退化遥感影像特征对比

Fig. 4 Remote sensing image characteristics of grassland degradation in Jianshe of north Dagri

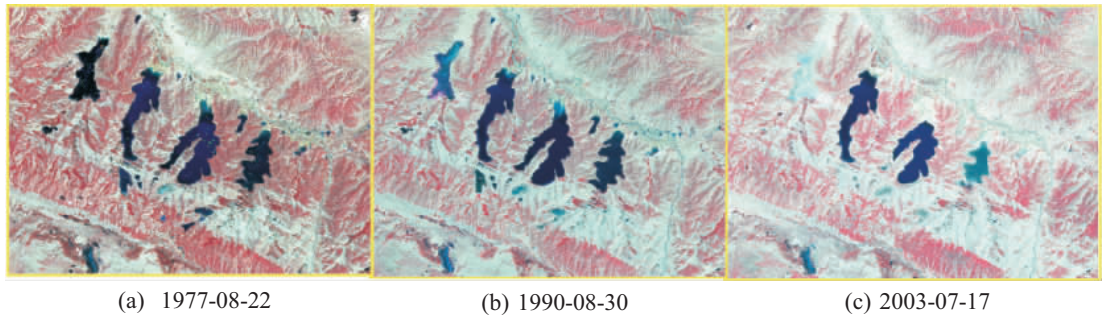


图5 玛多中部星星海草地退化遥感影像特征对比

Fig. 5 Remote sensing image features of grassland degradation in Xingxinghai of middle Maduo

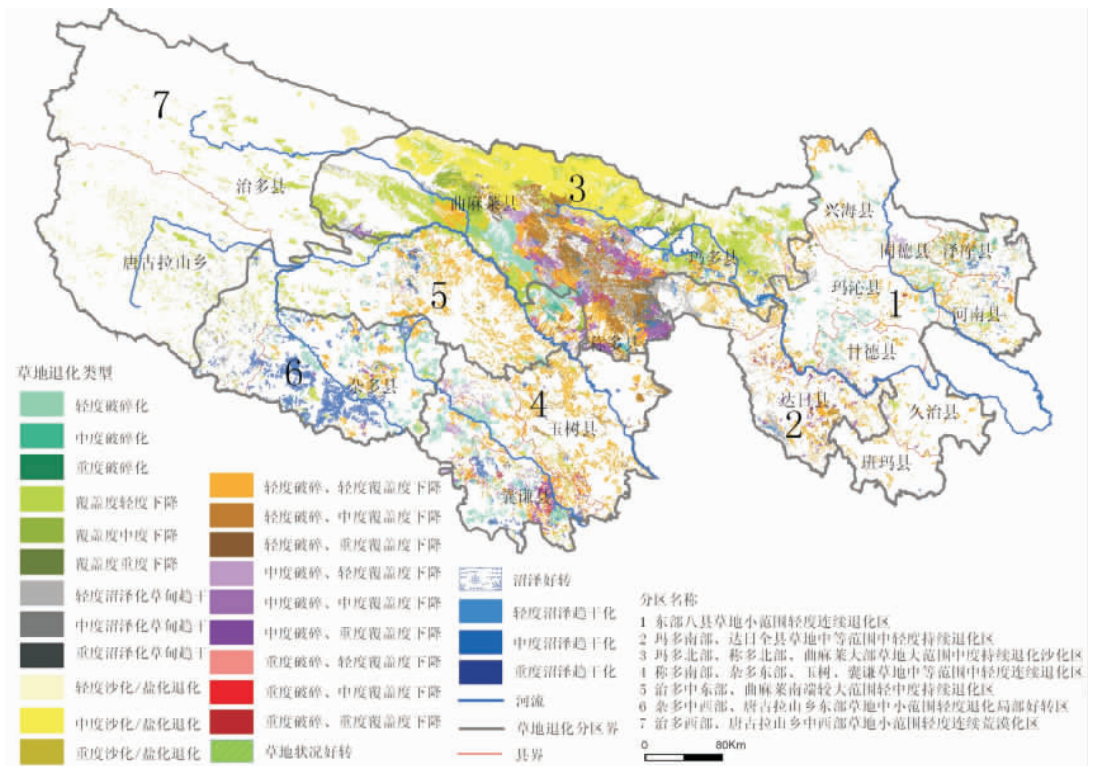


图6 20世纪70年代中后期—90年代初三江源地区草地退化图

Fig. 6 Grassland degradation from the middle and late 1970s to early 1990s in the Three-River Headwaters Region

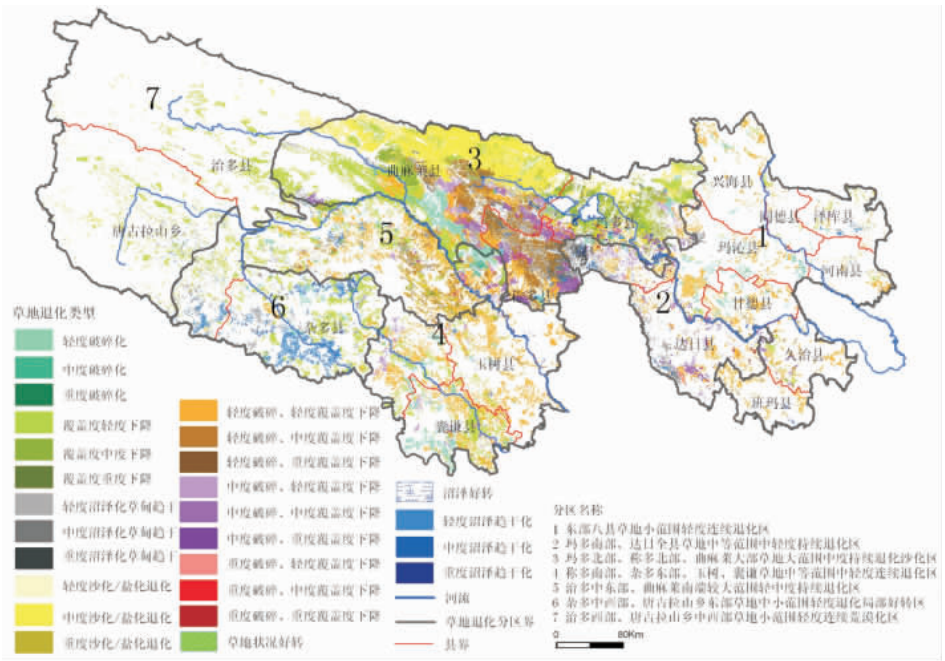


图 7 20 世纪 90 年代初—2004 年三江源地区草地退化图

Fig. 7 Grassland degradation from the early 1990s to 2004 in the Three-River Headwaters Region

表 1 三江源地区草地退化面积统计表

Tab. 1 Grassland degraded area in the Three-River Headwaters Region

退化类型	70 年代中后期-90 年代初		90 年代初-2004 年	
	退化面积 (hm ²)	比重 (%)	退化面积 (hm ²)	比重 (%)
轻度破碎化	689432	2.96	473532	2.03
中度破碎化	36040	0.15	36008	0.15
重度破碎化	247	0.00	1257	0.01
覆盖度轻度下降	1652559	7.10	2092898	8.99
覆盖度中度下降	152600	0.66	457746	1.97
覆盖度重度下降	48002	0.21	26324	0.11
沼泽化草甸轻度趋干化	594230	2.55	688219	2.96
沼泽化草甸中度趋干化	138384	0.59	183209	0.79
沼泽化草甸重度趋干化	0	0.00	18383	0.08
轻度沙化/盐化退化	280167	1.20	342064	1.47
中度沙化/盐化退化	831431	3.57	915731	3.93
重度沙化/盐化退化	0	0.00	3303	0.01
轻度破碎化、轻度覆盖度下降	2111929	9.07	1975692	8.48
轻度破碎化、中度覆盖度下降	577295	2.48	608128	2.61
轻度破碎化、重度覆盖度下降	6452	0.03	2954	0.01
中度破碎化、轻度覆盖度下降	205266	0.88	265766	1.14
中度破碎化、中度覆盖度下降	271200	1.16	268191	1.15
中度破碎化、重度覆盖度下降	29496	0.13	30752	0.13
重度破碎化、轻度覆盖度下降	1134	0.00	5858	0.03
重度破碎化、中度覆盖度下降	5202	0.02	3910	0.02
重度破碎化、重度覆盖度下降	13424	0.06	10341	0.04
草地好转	67465	0.29	6159	0.03
沼泽轻度变干	185576	5.72	308155	11.74
沼泽中度变干	25117	1.02	68468	2.20
沼泽重度变干	853	0.05	16729	0.40
沼泽好转	98212	0.43	0	0.00
沼泽退化合计	211546	6.79	393352	14.34
草地退化合计	7644490	32.83	8410266	36.12

在局部地区(图4)。20世纪70年代中后期—90年代初轻度退化草地面积占全区草地总面积的比重为22.88%，而到90年代初—2004年该比重上升为23.93%，

增长了1.05个百分点。70年代中后期—90年代初中度退化草地面积占全区草地总面积的比重为9.5%，而到90年代初—2004年该比重上升为11.74%，增长了2.24个百分点。

从三江源各县草地退化面积看(表3)，70年代以来草地退化主要发生在曲麻莱、称多、玛多等县，草地退化面积占该县总草地面积的40%以上。其中，曲麻莱和称多草地退化面积较大，占全县草地总面积的60%以上，而兴海、班玛、久治和唐古拉山乡等县草地退化程度较轻，占全县草地总面积的10%左右。

4.2 三江源草地退化的空间格局特征

由于气候、水热条件、地形地貌和人类活动的区域差异，三江源草地退化类型、退化程度的空间分异明显(图6、图7)。根据草地退化的空间分布、范围、程度、退化过程特征，用定性和定量相结合的方法(表4)，我们研究制定了三江源草地退化特征区的命名原则及依据，并据此将三江源区草地退化划分为7个特征区(图6、图7)，其命名如下：①东部8县草地小范围轻度连续退化区；②玛多南部、达日全县草地中等范围中轻度持续退化区；③玛多北部、称多北部、曲麻莱大部草地大范围中度持续退化沙化区；④称多南部、玉树、囊谦、杂多东部草地中等范围中轻度连续退

表2 三江源地区草地退化程度统计表

Tab. 2 Grassland degradation degree in the Three-River Headwaters Region

退化程度	70中后期-90年代初			90年代初-2004年		
	面积 (hm ²)	比例 (%)	速度 (hm ² /a)	面积 (hm ²)	比例 (%)	速度 (hm ² /a)
轻度退化	5328317	22.88	380594	5572405	23.93	428647
中度退化	2212216	9.50	158015	2734779	11.74	210368
重度退化	103957	0.45	7426	103082	0.44	7929
草地转好	67465	0.29	4819	6159	0.03	474

表3 三江源地区各县草地退化面积统计表

Tab. 3 Grassland degraded area in different counties in the Three-River Headwaters Region

县	70年代中后期-90年代初		90年代初-2004年	
	面积 (hm ²)	比重 (%)	面积 (hm ²)	比重 (%)
班玛县	25371	5.74	65537	14.85
称多县	747397	63.33	750358	63.58
达日县	260586	24.21	220124	20.45
甘德县	79020	15.76	100207	19.97
河南县	90617	17.22	35989	6.85
久治县	49508	8.20	93828	15.52
玛多县	890278	46.69	1056578	55.42
玛沁县	155738	19.97	184835	23.70
囊谦县	329156	36.42	402500	44.58
曲麻莱县	2864930	79.54	2932230	81.41
唐古拉山乡	279657	10.94	354684	13.88
同德县	76360	24.35	19106	6.10
兴海县	101524	12.07	89089	10.60
玉树县	308819	27.61	304566	27.22
杂多县	550366	23.02	648990	27.14
泽库县	118740	21.78	38269	7.02
治多县	716423	17.80	1113376	27.66

表4 三江源草地退化特征区命名原则及依据

Tab. 4 The nominating principle of regionalization of grassland degradation in the Three-River Headwaters Region

范围	命名	小范围、中小范围	中等范围	较大范围、大范围
依据		草地退化面积占草地总面积的比重<20%，其中任意一期比重>20%，则定义为中小范围	草地退化面积占草地总面积的比重在20%~35%之间	草地退化面积占总面积的比重>35%，其中>50%的定义为大范围
程度	命名	轻度	中轻度	轻中度、中度
依据		轻度退化草地面积占草地面积的比重<15%，或中度退化草地面积占草地面积的比重<5%	轻度退化草地面积占草地面积的比重在15%~30%之间，且中度退化草地面积占草地面积的比重在5%~10%之间	轻度退化草地面积的比重>30%，其中中度退化草地面积的比重在10%~30%之间定义为轻中度，>30%定义为中度
过程	命名	连续	持续	
依据		前后两期草地退化面积相当，后期中度退化类型草地无明显增加	前后两期草地退化面积相当，后期中度退化类型草地明显增加	

化区;⑤ 治多中东部、曲麻莱南端较大范围轻中度持续退化区;⑥ 杂多中西部、唐古拉山乡东部草地中小范围轻度退化局部好转区;⑦ 治多西部、唐古拉山乡中西部草地小范围轻度连续荒漠化区。

各区草地退化的空间分布特征如下:

(1) 东部8县草地小范围轻度连续退化区。该区草地退化面积较小,北部退化程度大于南部,东部退化程度重于西部。草地退化主要分布在海拔高度较高地区,表现为以阿尼玛卿山的年保玉则为中心的环式分布。另外本区东部泽库、河南局部地势比较平坦的沟谷阶地和低洼的滩地上隐域性的沼泽化草甸多发生轻度趋干化退化、轻度盐碱化退化。

(2) 玛多南部、达日全县草地中等范围中轻度持续退化区。该区草地退化面积比重近30%,退化多发生在海拔较低的山体阳坡、缓坡地带。70年代中后期以来高寒灌丛、沼泽化草甸和高寒稀疏植被的面积持续下降,裸地的面积不断上升,其中高寒草甸的退化最为严重。另外居民点附近及放牧活动强度较大的沟谷地带草地退化比较严重。从总体看,本区草地退化格局在早期已经形成,后期退化速率趋于缓慢。

(3) 玛多北部、称多北部、曲麻莱大部草地大范围中度持续退化沙化区。该区70年代中后期以来草地退化面积比重大于70%,是三江源地区草地退化最为严重的地区,表现为北部草地沙化/盐碱化退化显著,南部山体上部裸岩石砾地下缘草地覆盖度下降趋势明显,而在山体阳坡、缓坡、山间台地、河流阶地、河滩地上草地破碎化、覆盖度下降复合型退化现象明显。

(4) 称多南部、玉树、囊谦、杂多东部草地中等范围中轻度连续退化区。该区草地退化面积比重高于30%,主要表现为从山体顶部到山麓地带,草地退化类型由高山流石坡周边稀疏植被和垫状植被的覆盖度下降向高寒草甸破碎化及覆盖度下降和沼泽化草甸轻度趋干化转变;从南向北,草地退化类型从轻度破碎化过渡到双重退化类型;另外在部分河谷地段、背风坡和局地阳坡上,草地退化出现覆盖度下降现象。

(5) 治多中东部、曲麻莱南端较大范围轻中度持续退化区。该区草地退化空间格局呈现由东部向西部、由北部向南部退化减弱的趋势。东部通天河以南的曲麻莱部分是本区草地退化最为严重的区域,隐域性的沼泽化草甸趋干化主要分布在牙曲流域、口前曲以东的河流附近、高寒草甸区及高山峡谷区。

(6) 杂多中西部、唐古拉山乡东部草地中小范围轻度退化局部好转区。该区草地退化由东向西退化类型逐渐减少,退化程度降低。其中草地破碎化和覆盖度降低复合型退化以东部区居多,同时也零星分布于西部地区。另外在唐古拉山脉冰川下缘由于近期气候变暖冰川融水增加,水分条件较好,局部出现草地好转的迹象。

(7) 治多西部、唐古拉山乡中西部草地小范围轻度连续荒漠化区。该区草地退化面积占区域草地总面积的10%左右,退化增强的趋势不明显,由于该区的地带性自然条件,荒漠化草地已经占据主导地位,人类活动相对较弱,因此新的草地退化现象不十分突出。

4.3 三江源草地退化的时间过程特征

在20世纪70年代中后期、90年代初期和2004年三期陆地卫星遥感影像的支持下,经过上述分析,可以清楚地看出:从70年代中后期至今,三江源地区草地的退化过程一直在继续。退化过程的规律在不同区域和地带有明显不同的表现。在从东南向西北的水平地带分类上,草甸和草原生态系统存在着不同的退化过程规律,即:在湿润半湿润的草甸类草地上,发生着草地破碎化先导,随后发生覆盖度持续降低,最后形成黑土滩的退化过程;在干旱、半干旱的草原类草地上,发生着覆盖度持续降低,最后形成沙地和荒漠化草地的退化过程。

从不同县份草地退化的时间过程上看(表3),前期退化,后期加剧的有班玛、治多、囊谦、曲麻莱、玛多等县,前后期退化趋势一致的有称多、玉树、兴海等县,而后期减

轻的有同德、泽库、达日等县。如玛多县前期草地退化所占比重为46.69%。后期增加到55.42%，净增长8.73个百分点；玉树县前后两期草地退化所占比重均保持在27%左右，变化不大；而同德前期草地退化所占比重为24.35%，后期降低到6.1%，降低了18.25个百分点，草地退化呈明显减弱趋势。

从各区草地退化面积统计结果看(表5)，3区玛多北部、称多北部、曲麻莱大部草地大范围中度持续退化沙化区草地退化最为严重，70年代中后期—90年代初该区草地退化面积4 096 271 hm²，占全区草地总面积的73.91%，1990-2004年该区草地退化面积4 256 363 hm²，占全区草地面积的76.79%，后期较前期草地退化面积增长2.88个百分点。5区治多中东部、曲麻莱南端较大范围轻中度持续退化区草地退化较为严重，退化程度仅次于3区，70年代中后期—90年代初该区草地退化面积761 240 hm²，占全区草地总面积的33.13%，90年代初—2004年该区草地退化面积1 097 348 hm²，占全区草地面积的47.75%，后期较前期草地退化面积增长14.62个百分点。

从20世纪70年代后期到2004年，三江源区草地退化过程空间差异显著，草地退化的时间过程在7个特征区表现出明显的差异性(图8、图9)，各区草地退化的动态过程特征如下：

(1) 东部八县草地小范围轻度连续退化区。本区草地退化以轻度破碎化/覆盖度下降为主，近20多年来，草地退化仍然在持续，草地退化的总面积呈轻微减少趋势，20世纪70年代中后期—90年代初草地退化面积696 778 hm²，1990-2004年草地退化面积

表5 三江源各区草地退化面积统计表

Tab. 5 Grassland degraded area in different zones in the Three-River Headwaters Region

退化分区	70年代中后期-90年代初		90年代初-2004年	
	面积 (hm ²)	比重 (%)	面积 (hm ²)	比重 (%)
I区	696778	15.35	626838	13.78
II区	418906	26.39	442177	27.86
III区	4096271	73.91	4256363	76.79
IV区	915657	29.84	1009415	32.88
V区	761240	33.13	1097348	47.75
VI区	421575	17.31	524510	21.56
VII区	334063	8.74	453615	11.86
合计	7644490	32.83	8410266	36.12

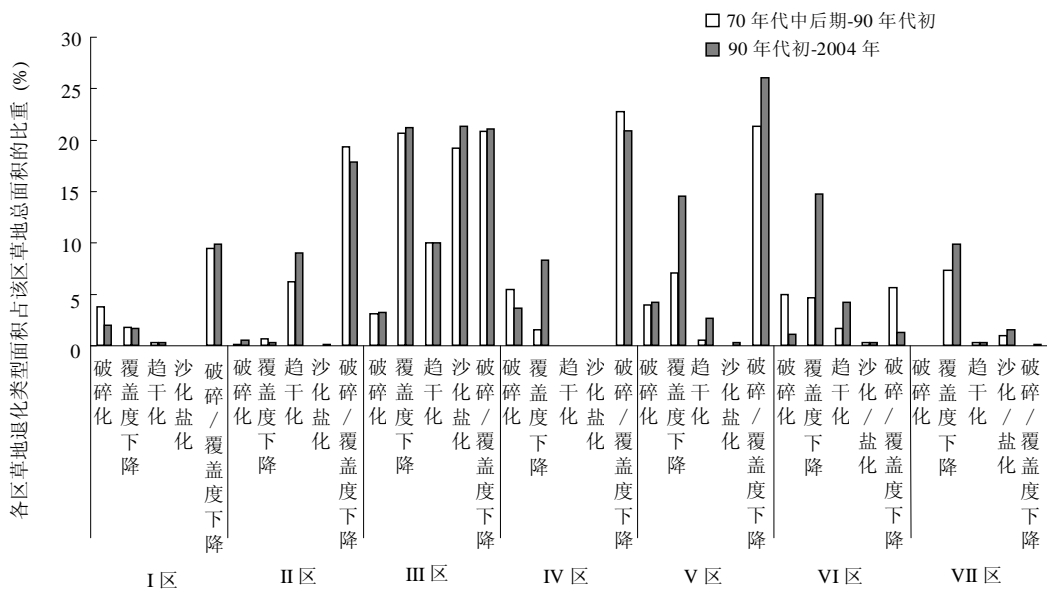


图8 70年代初—2004年三江源不同草地退化区的草地退化类型统计

Fig. 8 The chart of grassland degradation type in different zones in the Three-River Headwaters Region

from the middle and late 1970s to 2004

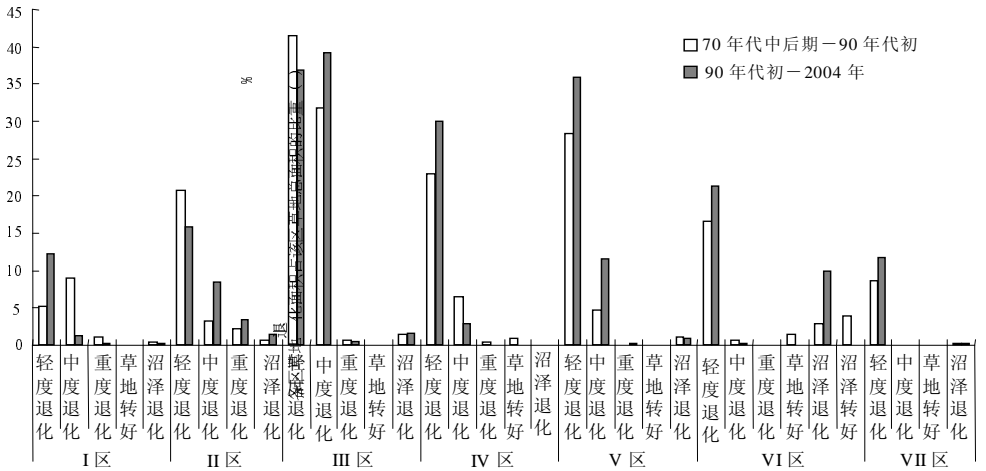


图 9 70 年代初—2004 年三江源不同草地退化区的草地退化程度统计

Fig. 9 The chart of grassland degradation degree in different zones in the Three-River Headwaters Region from the middle and late 1970s to 2004

626 838 hm², 退化面积占全区草地的比例由 15.35%, 下降到 13.78%, 降低了 1.57 个百分点。

(2) 玛多南部、达日全县草地中等范围中轻度持续退化区。本区草地退化以轻度破碎化 / 覆盖度下降为主, 该退化类型主要发生在前期 (20 世纪 70 年代中后期 -90 年代初), 后期 (90 年代初—2004 年) 沼泽化草甸趋干和沼泽变干的现象急剧增多。70 年代中后期—90 年代初草地退化面积 418 906 hm², 占全区草地的面积比重为 26.39%, 而 90 年代初—2004 年草地退化面积 442 177 hm², 占全区草地的面积比重为 27.86%, 前后两个时段对比草地退化程度有所增强, 草地退化面积占全区草地的面积比重净增加了 1.47 个百分点。

(3) 玛多北部、称多北部、曲麻莱大部草地大范围中度持续退化沙化区。本区草地破碎化 / 覆盖度下降、破碎化、覆盖度下降、沼泽化草甸趋干化、沙化盐碱化等退化类型均有发生。退化程度以中、轻度为主。90 年代以来草地退化呈明显加剧趋势, 20 世纪 70 年代中后期—90 年代初草地退化面积 4 096 271 hm², 占全区草地面积的 73.91%, 90 年代初—2004 年草地退化面积 4 256 363 hm², 占全区的 76.79%, 前后两个时段之间草地退化面积增长 2.88 个百分点。

(4) 称多南部、玉树、囊谦、杂多东部草地中等范围中轻度连续退化区。本区草地退化类型以轻度破碎化所引导的破碎化 / 覆盖度下降双重退化为主。20 世纪 70 年代以来草地退化程度有所增强, 70 年代中后期—90 年代初草地退化面积 915 657 hm², 占全区草地面积的 29.84%, 而 90 年代初—2004 年草地退化面积 1 009 415 hm², 占全区草地面积的 32.88%, 同前期相比草地退化面积占全区草地面积比重净增了 3.04 个百分点。

(5) 治多中东部、曲麻莱南端较大范围轻中度持续退化区。本区草地退化以轻度破碎化 / 覆盖度下降为主, 退化过程大多伴有沼泽化草甸趋干化现象, 草地退化的总体趋势是持续退化, 退化后期比前期更加剧烈。前期草地退化面积 761 240 hm², 占全区草地面积的 33.13%, 而后期草地退化面积 1 097 348 hm², 占全区草地面积的 47.75%, 前后两期比较, 后期草地退化面积占全区草地面积比重净增了 14.62 个百分点。

(6) 杂多中西部、唐古拉山乡东部草地中小范围轻度退化局部好转区。本区草地退化类型以轻度覆盖度下降为主, 不同时段不同草地类型的退化程度有所差异。70 年代中后

期—90年代初草地退化面积 421 575 hm², 占全区草地面积的 17.31%, 而 90年代初—2004年草地退化面积 524 510 hm², 占全区草地面积的 21.55%, 前后两个时段对比草地退化程度有所增强, 草地退化面积比重净增了 4.24 个百分点。

(7) 治多西部、唐古拉山乡中西部草地小范围轻度连续荒漠化区。本区草地退化类型以草地轻度覆盖度下降和草地轻度沙化/盐化为主, 前后两个时段对比草地荒漠化程度有所增强。20世纪70年代中后期—90年代初草地退化面积 334 063 hm², 占全区草地面积的 8.74%, 而 90年代初—2004年草地退化面积 453 615 hm², 占全区草地面积的 11.86%, 前后两个时段对比草地退化程度有所增强, 草地退化面积比重净增加了 3.12 个百分点。

5 结论与讨论

遥感调查发现, 近 30 年来三江源地区草地退化具有以下几个方面的显著特征:

(1) 20世纪70年代中后期, 三江源地区草地退化的格局已基本形成。在 90年代初—2004年遥感卫星图像上可以识别的草地退化部位上, 在 70年代影像上基本上都可以看到草地退化的基本特征, 且退化图斑的影纹相似。

(2) 从 20世纪70年代中后期至今, 三江源地区草地的退化过程一直在继续发生, 而且退化过程的规律在不同区域和地带有明显不同的表现。在从东南向西北的水平地带分异上, 草甸和草原生态系统存在着不同的退化过程规律, 即: 在湿润半湿润的草甸类草地上, 发生着草地破碎化先导, 随后发生覆盖度持续降低, 最后形成黑土滩的退化过程; 在干旱、半干旱的草原类草地上, 发生着覆盖度持续降低, 最后形成沙地和荒漠化草地的退化过程。

(3) 三江源区草地退化是一个在空间格局上影响范围大, 在时间过程上持续时间长的连续变化过程, 总体上不存在 20世纪90年代至今草地退化急剧加强的现象。

(4) 三江源区草地退化具有明显的区域差异, 草地退化可以分为 7 个区, 即: ① 东部八县草地小范围轻度连续退化区; ② 玛多南部、达日全县草地中等范围中轻度持续退化区; ③ 玛多北部、称多北部、曲麻莱大部草地大范围中度持续退化沙化区; ④ 称多南部、玉树、囊谦、杂多东部草地中等范围中轻度连续退化区; ⑤ 治多中东部、曲麻莱南端较大范围轻中度持续退化区; ⑥ 杂多中西部、唐古拉山乡东部草地中小范围轻度退化局部好转区; ⑦ 治多西部、唐古拉山乡中西部草地小范围轻度连续荒漠化区。

由于上述 7 个区域在地理背景、气候变化, 以及草畜矛盾三个方面的明显差异, 导致各区草地退化在类型、程度、范围与时间过程方面的巨大差异, 根据这些区域特征和差异, 对生态系统恢复进行针对性的规划与部署显得十分重要。

应该指出, 草地退化不仅表现在植被覆盖度、高度和生物量降低、草皮脱落、土壤裸露等方面, 还体现在草地优良牧草比重下降、杂类草和毒害草比重增加等草地群落结构变化等方面。杂类草和毒害草的增加可能导致草地植被覆盖度升高, 并掩盖草地退化信息, 造成遥感解译结果的不确定性。在未来的研究工作中, 将进一步扩大野外调查的范围, 将野外草地样方调查和遥感分析有机结合, 进一步提高草地退化过程遥感分析的精度。

致谢: 中国科学院地理科学与资源研究所“三江源生态监测本底年综合评估”项目组樊江文研究员、钟华平助理研究员、王军邦博士、邵景安博士、张小咏博士、卢鹤立博士生、卢清水博士生、陈卓奇博士生、黄麟博士生、吕宁博士生、张帅硕士生、赵志平硕士生、张文彦硕士生、白露等参加了三江源草地退化遥感解译和数据分析。在项目实施过程中, 青海省环境监测中心站给予了大力支持。此外, 美国密

歇根州立大学齐家国教授为项目组联系并提供美国地质调查局 EROS 数据中心陆地卫星 MSS 遥感影像,特此致谢。

参考文献 (References)

- [1] Li Bo. The degradation and countermeasure of grassland in North China. *Chinese Agriculture Science*, 1997, 6(2): 1-9. [李博. 中国北方草地退化及其防治对策. *中国农业科学*, 1997, 30(6): 1-9.]
- [2] Zhao Xinquan, Zhou Huakun. Eco-environmental degradation, vegetation regeneration and sustainable development in the headwaters of Three Rivers on Tibetan Plateau. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2005, 20(6): 471-476. [赵全新, 周华坤. 三江源区生态环境退化、恢复治理及其可持续发展. *中国科学院院刊*, 2005, 20(6): 471-476.]
- [3] Chen Guoming. The status of the degraded pasture and its strategies of management in black beach of the headwater region of the Three Rivers. *Sichuan Caoyuan*, 2005, (10): 37-44. [陈国明. 三江源地区“黑土滩”退化草地现状及治理对策. *四川草原*, 2005, (10): 37-44.]
- [4] Wang Genxu, Cheng Guodong. Characteristics of grassland and ecological changes of vegetations in the source regions of Yangtze and Yellow River. *Journal of Desert Research*, 2001, 21(2): 101-107. [王根绪, 程国栋. 江河源区的草地资源特征与草地生态变化. *中国沙漠*, 2001, 21(2): 101-107.]
- [5] Liu Linshan. Alpine grassland degradation in the source region of the Yellow River: A case study in Dalag county. Doctor Dissertation of Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2006. [刘林山. 黄河源地区高寒草地退化研究: 以达日县为例. *中国科学院研究生院博士学位论文*, 2006.]
- [6] Zhang Yili, Liu Linshan, Bai Wanqi et al. Grassland degradation in the source region of the Yellow River. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(1): 3-14. [张懿铨, 刘林山, 摆万奇等. 黄河源地区草地退化空间特征. *地理学报*, 2006, 61(1): 3-14.]
- [7] Liu Linshan, Zhang Yili, Bai Wanqi et al. Characteristics of grassland degradation and driving forces in the source region of the Yellow River from 1985 to 2000. *J Geographical Sciences*, 2006, 16(2): 131-142.
- [8] Chen Quangong, Liang Tiangang, Wei Yaxing. Causes of grassland degradation in Dari county of Qinghai province. *Acta Prataculturae Sinica*, 1998, 7(4): 44-48. [陈全功, 梁天刚, 卫亚星. 青海省达日县退化草地研究(II): 退化草地成因分析与评估. *草业学报*, 1998, 7(4): 44-48.]
- [9] Chen Quangong, Wei Yaxing, Liang Tiangang. The investigation of grassland degradation in Dari county of Qinghai province (I): Remote sensing and mapping. *Acta Prataculturae Sinica*, 1998, 7(2):58-63. [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. *草业学报*, 1998, 7(2): 58-63.]
- [10] Tu Jun, Xiong Yan, Shi Dejun. Study on alpine meadow and grassland degradation with remote sensing techniques in Qinghai. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 1999, 5(2): 131-135. [涂军, 熊燕, 石德军. 青海高寒草甸草地退化的遥感技术调查分析. *应用与环境生物学报*, 1999, 5(2): 131-135.]
- [11] Wang G, Qian J, Cheng G et al. Eco-environmental degradation and causal analysis in the source region of the Yellow River. *Environmental Geology*, 2001, 40(7): 884-890.
- [12] Yang Jianping, Ding Yongjian, Chen Rensheng. Spatial and temporal of variations of alpine vegetation cover in the source regions of the Yangtze and Yellow rivers of the Tibetan Plateau from 1982 to 2001. *Environ. Geol.*, 2006, 50: 313-322.
- [13] Feng Jianmin, Wang Tao, Qi Shanzhong et al. Land degradation in the source region of the Yellow River, northeast Qinghai-Xizang Plateau: Classification and evaluation. *Environ. Geol.*, 2005, 47: 459-466.
- [14] Zhong Cheng, He Xiaorong, Li Huixia. Application of remote sensing technology to grassland degradation assessment in Naqu, Tibet. *Remote Sensing Technology and Application*, 2003, 18(2): 99-102. [钟诚, 何晓蓉, 李辉霞. 遥感技术在西藏那曲地区草地退化评价中的应用. *遥感技术与应用*, 2003, 18(2): 99-102.]
- [15] Li Huixia, Liu Shuzhen. A model of grassland degradation assessment based on NDVI. *Journal of Mountain Science*, 21(suppl.): 69-71. [李辉霞, 刘淑珍. 基于 NDVI 的西藏自治区草地退化评价模型. *山地学报*, 2003, 21(增刊): 69-71.]
- [16] Dai Jiguang, Guo Wanqin, Yang Taibao. An analysis of grassland change and human factor function in headwater region of Yellow River based on NOAA-AVHRR data. *Scientific and Technological Management of Land and Resources*, 2006, 23: 109-112. [戴激光, 郭万钦, 杨太保. 基于 NOAA-AVHRR 的黄河源地区草地变化与人文因素作用分析. *国土资源科技管理*, 2006, 23: 109-112.]
- [17] Shi Dejun, Qiao Anhai, Sa Wenjun et al. Applied research of using remote sensing technology to investigate alpine meadow grassland resource and degradation. *Qinghai Prataculture*, 1999, 8(1): 1-6. [石德军, 乔安海, 洒文君等. 遥感技术在高寒草甸及其退化草地上的应用研究. *青海草业*, 1999, 8(1): 1-6.]
- [18] Liu Xiaoling. The investigation for degenerate grassland of "degenerated meadow" in Sanjiangyuan Nature Reserve. *Journal of Qinghai Normal University (Natural Science)*, 2007, (1): 93-96. [刘晓玲. 三江源自然保护区“黑土滩”退

化草地调查. 青海师范大学学报(自然科学版), 2007, (1): 93-96.]

- [19] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. National Standard of the People's Republic of China: Parameters for Degradation, Sandification and Salification of Rangelands. Beijing: Standards Press of China, 2004. [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国国家标准: 天然草地退化、沙化、盐渍化的分机指标. 北京: 中国标准出版社, 2004.]

The Spatial and Temporal Characteristics of Grassland Degradation in the Three-River Headwaters Region in Qinghai Province

LIU Jiyuan, XU Xinliang, SHAO Quanqin

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Using MSS images in the middle and late 1970s, TM images in the early 1990s and TM/ETM images in 2004, grassland degradation in the Three-River Headwaters Region is interpreted through analysis on RS images in two time series, then the spatial and temporal characteristics of grassland degradation since the 1970s in the Three-River Headwaters Region are analyzed. The results show that grassland degradation in the Three-River Headwaters Region is a continuous changing process which has large area of influence and long time scale, and the drastic intensification phenomenon does not exist in the 1990s as a whole. Grassland degradation pattern in the Three-River Headwaters Region took shape initially in the middle and late 1970s, since the 1970s, this degradation process has taken place continuously, characterizing obviously different rules in different regions. Such as, in humid and sub-humid meadow grassland, grassland firstly fragmentizes, then the degree of vegetation coverage decreases continuously, and finally "black-soil-patch" degraded grassland formed. But in semiarid and arid steppe regions, the degree of grassland vegetation coverage decreases continuously, and finally desertification formed. Because grassland degradation has obvious regional diversity, grassland degradation in the Three-River Headwaters Region could be classified into seven regions, and each region has different characteristics in type, grade, scale and time process of grassland degradation.

Key words: Three-River Headwaters Region; grassland degradation; remote sensing spatial pattern; temporal process; Qinghai