

三江源区草地生态系统综合评估指标体系

刘纪远, 邵全琴, 樊江文

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 基于联合国新千年全球生态系统评估(MA)概念框架, 提出了系统完整的三江源区草地生态系统评估指标体系, 包括生态系统结构、支持功能、调节功能和供给功能的 4 大类 15 个一级指标、75 个二级指标。针对位于青藏高原东部江河源区的草地生态系统的区域特点和人类对其功能的需求分析, 设计了以土地覆盖结构和草地退化结构为核心的生态系统结构指标群; 以初级生产力为核心的支持功能指标群; 以水、碳调节为核心的调节功能指标群, 以及以水供给和草地承载力为核心的供给功能指标群。在该指标体系中, 设计了草地退化遥感分类系统, 以实现年代际时间尺度草地生态系统退化过程的动态分析评估; 提出了退化草地态势遥感分类系统, 以实现大型生态工程实施后年际时间尺度草地生态系统退化态势的分析和评估。

关键词: 三江源; 草地生态系统; 评估指标体系; 草地退化遥感分类体系

文章编号: 1000-0585(2009)02-0273-11

1 引言

三江源生态系统是对我国生态环境影响最大的生态系统之一, 被认为是我国生态安全的重要屏障。三江源作为黄河、长江和澜沧江的发源地, 素有“中华水塔”之美誉, 以其丰富的水源供给为全流域广大地区人们的生存和生活以及区域的社会经济发展提供最基本的保障。但是, 三江源地区因地表风化强烈、土层薄、质地粗、气候寒冷、植物生长期短, 生态系统自身的调节能力很弱, 恢复能力极差, 十分脆弱。近几十年来, 由于全球气候变暖和人类活动加剧的双重影响, 该区域生态环境发生了重大改变: 草场退化与沙化加剧, 水土流失日趋严重, 草原鼠害猖獗, 源头产水量逐年减少, 生物多样性急剧萎缩。为此, 2005 年国务院批准了《青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划》^[1], 将青海省玉树、果洛、海南、黄南 4 个藏族自治州的 16 个县和格尔木市的唐古拉山乡纳入了重点保护与建设范围, 18 个自然保护区麦秀、中铁- 军功、阿尼玛卿、星星海、年保玉则、多可河、通天河沿、东仲、江西、白扎、昂赛、当曲、索加- 曲麻河、各拉丹东、约古宗列、扎陵- 鄂陵湖、果宗木查、玛可河等的总面积达 15 23 km², 占青海省总面积的 21%, 占三江源地区总面积的 42%。《规划》项目总投资达 76 亿元, 实施以退牧还草、退耕还林、恶化退化草场治理、森林草原防火、草地鼠害治理、水土保持等为主要内容的生态环境保护与建设项目, 以禁牧搬迁、小城镇建设、草地保护配套工程和人畜饮水等为主要内容的农牧民生产生活基础设施建设项目, 以人工增雨、生态监测、科技支撑为主要

收稿日期: 2009-01-24; 修订日期: 2009-02-16

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAC08B00); 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-06-03)

作者简介: 刘纪远(1947), 研究员, 中国自然资源学会理事长。从事土地利用/土地覆被变化及其宏观生态效应研究。E-mail: Liujiy@igsnrr.ac.cn

内容的生态保护支撑项目。作者的研究团队,承担了“青海三江源区生态系统本底综合评估”和“青海三江源区生态保护和建设工程生态成效的中期评估”任务。作者以联合国千年生态系统评估概念框架^[2,3]为基础,针对三江源区的生态功能定位和区域特点,构建三江源区生态系统综合评估指标体系,并完成了实现评估指标的技术体系。由于草地生态系统是三江源区的主体生态系统,对该区域生态系统的各项服务功能起着决定性作用,因此,本文主要介绍三江源区草地生态系统综合评估指标体系,限于篇幅,三江源区草地生态系统综合评估技术体系将另文介绍。

国内外学者进行的生态系统评估/评价,从方法和内容的角度可以归纳为三类:一是基于联合国经济合作发展组织(OECD)PSR模型(Pressure-State-Response)的生态系统评价^[4~7],二是生态系统服务功能价值评价^[8~12],三是基于联合国MA概念框架的生态系统评估^[2,3,13]。生态系统的价值评价可以应用于生态补偿,但无法评估生态系统的变化。压力-状态-响应评价模型是1990年经济合作与发展组织(OECD)在启动环境指标评价项目时首次提出的。PSR模型以“系统压力”、“系统状态”和“系统响应”作为生态安全判断准则,其中压力指标反映人类活动给环境造成的负荷;状态指标表征环境质量、自然资源与生态系统的状况;响应指标表征人类面临环境问题所采取的对策与措施。国内对生态系统健康/安全评价的指标体系几乎都是以PSR概念模型为基础建立的,包括草地生态系统的评价^[14~17]。千年生态系统评估(MA)是由联合国前秘书长安南于2000发起,2005年结束的的国际合作项目,有来自全球95个国家的1360位科学家参加,80人组成的独立编审委员会审核来自850位专家与政府部门的意见和来自33项亚全球评估的信息。它首次在全球尺度上系统、全面地揭示了各类生态系统的现状和变化趋势、未来变化的情景和应采取的对策,对国际社会和许多国家政府产生了重要影响,是迄今为止对地球生态系统健康开展的最大评估项目。

MA概念框架与环境的压力-状态-响应评估框架也有较大的差异:MA在评估过程中强调生态系统各组分之间的关系,压力-状态-响应评估框架主要强调环境影响因素对环境的影响及遏制环境恶化应该采取的行动。从某种意义上看,MA评估框架拓展了压力-状态-响应评估框架,它包含了对环境变化与人类福利之间关系的评价,能动态地评估环境变化对人类生存环境的影响,同时也能评估人类活动对环境与资源造成的压力的变化。更为重要的是,MA评估框架具备了压力-状态-响应评估框架与环境影响评估所不具备的多尺度评估的特征。在不同时空尺度上的评估有很强的针对性,从而保证了评估结果的科学性与合理性,为生态系统的管理与生态系统保护提供了有价值的决策信息。

美国科学界组织了150名科学家,利用103项生态指标,对美国农田、森林、草地、淡水、海洋与海岸带、城区等6类生态系统进行了全面评估,并于2003年正式发布了第一份美国《国家生态系统状况报告》^[18]。该报告为引导政府和公众对生态系统的认识发挥了巨大作用。美国对生态系统状况的评估已进入规范化阶段。

我国已经完成的西部生态评估是MA中33个亚全球评估项目之一,该项目充分利用了信息技术和已有参考文献,完成主要生态系统服务功能大尺度上的评估,但并没有发展出一套系统、全面的生态系统评估指标体系。我国2006年启动的国家科技支撑重点项目中国生态系统综合监测、评估与决策支持系统,以及2008启动的国家973项目中国主要类型生态系统服务功能与生态安全等,都是利用全新理念的MA框架体系,开展生态站点、区域和全国三个不同尺度的生态系统综合评估。

2 三江源区草地生态系统综合评估指标体系

2.1 指标体系的选取原则

(1) 遵循联合国 MA 概念框架原则

联合国新千年生态系统评估 (MA) 概念框架 (图 1), 将生态系统为人类福祉提供的各种服务作为评估过程中所关注的核心内容, 同时也充分考虑生态系统自身的健康状况。生态系统为人类提供着供给服务、调节服务和文化服务三方面的服务功能, 而这些服务功能的维持又依赖于生态系统的支持功能。

MA 在进行生态系统评估时, 首先考虑了生态系统各组分及其相互关系, 并强调对各组分在时空尺度上的复杂性问题理解与认识, 并且认识到各组分之间的关系不是一种简单的线形关系。这一评估框架体现了 MA 进行生态系统评估的理论依据, 是开展区域生态系统评估的一个重要参考。MA 评估框架强调关注生态系统服务功能的变化对人类福利的影响, 也强调人口增长、技术进步与人们生活方式等间接影响因素可以通过作用于影响生态系统服务功能的直接因素, 对生态系统产生影响。而且影响因素、生态系统服务功能与人类福利之间的相互作用的关系可以在一个或者多个时空尺度上发生。

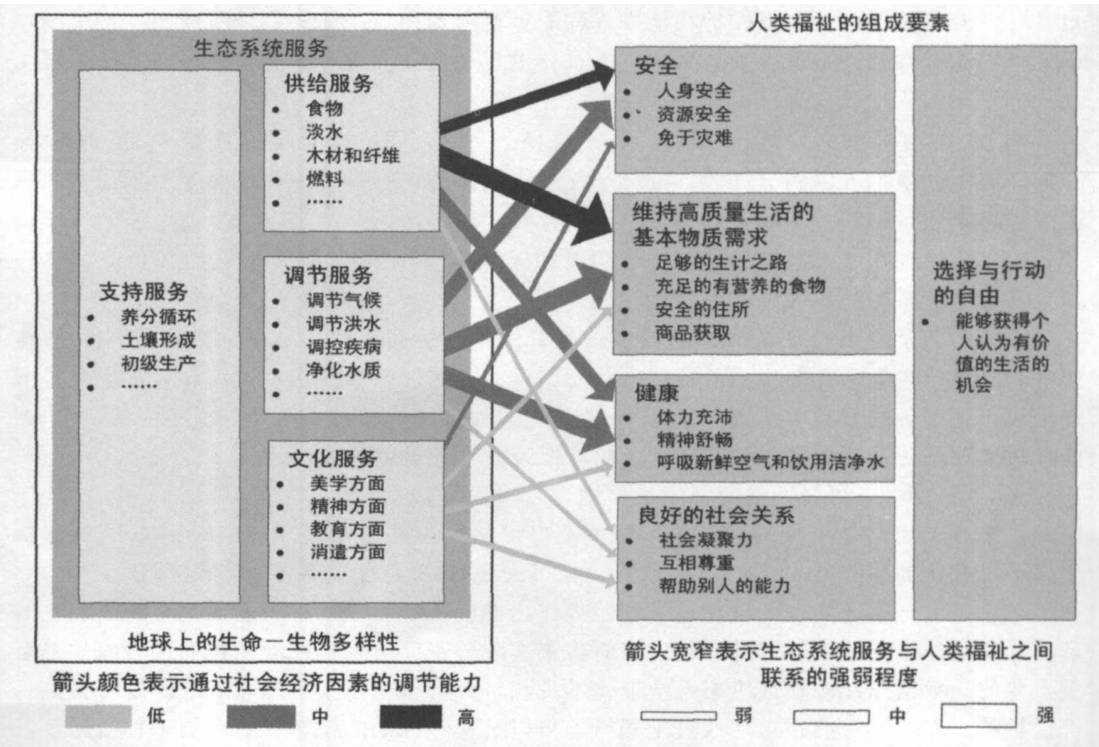


图 1 千年生态系统评估概念框架 (MA 项目理事会, 2003; 赵士洞等翻译, 2007)

Fig 1 The concept framework of Millennium Ecosystem Assessment (MA program council, 2003)

(2) 重要性原则

草地生态系统结构与服务功能之间存在着内在的联系, 对生态系统功能的维持产生直接的影响。草地生态系统结构的时空异质性, 导致了其服务功能的时空分异。草地生态系统宏观结构的变化和草地退化是气候变暖和人类活动干扰的直接反映, 它直接影响了草地

生态系统的生产力水平,影响了草地生态系统水份循环与有机物和无机物的循环过程,进而影响径流调节、碳调节、牧草供给等服务功能。三江源地区草地退化十分严重,尤其是“黑土滩”造成的土壤草皮层的流失,对生态系统服务功能的影响很大。

支持功能是生态系统支持其内部各种生物健康生存的功能。它是保障各种供给、调节和文化服务功能产出的根本物质基础。生态系统通过支持土壤形成、初级生产力形成、养分循环,以及野生动物栖息等体现其支持功能的作用,并间接地对人类的福利产生影响。由于青藏高原特殊地质背景和高寒气候条件的影响,三江源地区土壤成土时间短,发育原始,土层薄,肥力低,这使得三江源地区的生态系统土壤支持功能大大低于全国其他地区,并成为其他服务功能的主要限制因素之一。生态系统初级生产是生态系统绿色植被吸收太阳能制造有机物质的生命过程。在生态系统中,各类生物均依靠初级生产而生存,初级生产的高低不仅直接影响到生态系统本身的过程和功能,而且通过支持生态系统的各种供给功能和调节功能,从而间接地为人类提供福利。由于地理和生态条件的影响,三江源地区生态系统的初级生产力表现出相对较低,并且极不稳定的特征,这也成为该地区生态系统服务功能发挥的瓶颈。为野生动物提供栖息场所是生态系统的重要支持功能之一。三江源地区拥有大量国家级重点保护动物,是我国野生动物保护的重点区域,野生动物保护也是三江源自然保护区生态保护和建设工程的重要内容和艰巨任务。众所周知,野生动物栖息地的适宜性是决定野生动物生存、生长、发育和发展的最基本要素。目前三江源野生动物栖息地的状况已成为国内外关注的焦点。

调节功能是指生态系统通过调节水、土、气、生等自然过程而给人类带来福利的服务功能,如生态系统可以调节气候、维持空气质量、保持土壤以及净化水源等。三江源生态系统通过上述各项调节功能,维持着三江发育和“中华水塔”的基础。生态系统的气候调节功能主要体现在生态系统的水热调节功能和碳源/汇调节功能等方面,而其径流调节作用是通过生态系统的水源涵养等功能实现的。

供给功能是指生态系统为人类提供食物、纤维、燃料、遗传资源、淡水等产品的功能,它是维持人类生存和生活的最基本物质条件。在三江源地区,水供给和牧草供给是生态系统供给服务的最重要内容,它们分别对全国和区域的可持续发展产生重大影响,因此,科学评估三江源地区水和牧草的供给状况及其变化具有重要的意义。

(3) 长期性、可操作性与科学性原则

生态系统演化是个漫长的过程,MA 不仅评估生态系统的现状(current),而且评估生态系统变化的趋势(trend),其中趋势是指过去 20~30 年生态系统的变化状况。

对过去生态系统发生的变化过程和趋势作出准确判断,才能有效把握生态系统变化的速率,而掌握生态系统的这种变化速率对将来客观公正评估生态建设工程的生态成效是至关重要的。根据三江源地区生态系统退化的现状,我们认为,其生态系统的恢复将会是一个漫长的过程,不可能在短期通过工程措施得以迅速和彻底的扭转,目前的工程措施仅仅有可能在短期减缓或局部遏制生态系统的退化速率。

科学的评估指标是追踪三江源区生态系统服务功能变化轨迹,提炼生态系统变化过程中的主导规律,形成有较强时空针对性的生态保护策略的重要前提;是实施三江源自然保护区生态环境保护和建设全过程管理必不可少的科技支撑;是工程实施成效评估工作的重要保障。

鉴于三江源区的生态功能定位,三江源草地生态系统的监测与评估将是长期的任务。

计算评估指标的源数据应该是通过地面或遥感观测容易获取的, 指标的计算或模拟所用的算法是国际通用流行的, 同时也是可操作的。

2.2 草地生态系统综合评估指标体系

三江源草地生态系统综合评估指标体系 (表 1), 分为草地生态系统结构和生态系统服务功能评估两大指标群。具体指标的评估时间段和时空分辨率的选择, 同时考虑了反映生态系统的变化过程的需求, 以及指标源数据的类型、可获得性和计算工作量。具体指标的评估时间段分别为 20~40 年不等, 时间分辨率分别为日、旬、半月、年、5 年、10 年等, 空间分辨率分别为点/断面 (观测、调查数据)、1 km (遥感反演、模型模拟、插值数据)、1:10 万 (遥感解译数据)。

三江源草地生态系统结构评估指标分为宏观结构指标、草地群落结构及特征指标。宏观结构指标主要包括生态系统类型面积和草地退化面积, 这两类指标主要是通过遥感解译获取, 源数据包括 70 年代中期的 MSS 图像、80 年代末期的 TM 图像、2004 年的 TM 图像。前者的分类系统参见刘纪远等制订的土地利用/土地覆被遥感分类系统, 后者分类系统详见下文。草地群落结构及特征指标包括植物组成、功能群结构、高度、盖度、多度、频度、优势度、草地等级、多样性指数, 主要利用三江源建设工程实施以来, 即 2005 年以来 496 个观测点每年的调查数据, 结合历史上草地调查样方数据进行计算。

三江源草地生态系统结构评估指标分为支持功能指标群、调节功能指标群、供给功能指标群。支持功能评估指标选择生产力、土壤理化性状、野生动物栖息地等。生产力指标包括 NPP 和生物量, NPP 利用基于 1988 年以来的 NOAA 图像和 2000 年以来的 MODIS 图像反演的 FPAR、PAR 等遥感参数驱动的 GLO-PEM 模型模拟, 生物量则利用 2005 年以来 496 个观测点每年的调查数据, 结合历史上草地调查样方数据进行计算。土壤理化性状指标, 主要利用土壤普查数据, 结合最新的调查数据进行分析。野生动物栖息地的评价主要是分别对三江源自然保护区的核心区、缓冲区和试验区, 利用土地覆被、初级生产力、道路、水域面积河网密度、人类居住地、草地压力指数等数据, 分别计算各圈层的隐蔽性状况、食料状况和人类干扰程度, 从而分析野生动物栖息地的适宜性状况。

三江源草地生态系统调节功能指标包括径流调节、碳调节、土壤保持调节和水热调节。径流调节评估选择径流量、径流系数、径流调节系数和草地产流量指标, 其中径流量、径流系数、径流调节系数主要根据 40 年来水文站点和气象站点日数据分析, 草地产流量则根据实际观测和水文模型模拟获得。碳调节, 基于碳通量数据和 1988 年以来的遥感反演参数, 利用 GLO-PEM 和 CEVSA 耦合模型进行模拟分析。水热调节指标包括蒸散、潜热和显热, 主要基于碳通量数据和 1988 年以来的遥感反演参数, 利用模型计算获取。土壤保持调节功能指标包括土壤侵蚀类型、等级和面积, 径流含沙量, 降水侵蚀力, 土壤抗侵蚀能力, 土壤侵蚀模数, 草地产沙量, 土壤持水能力。其中, 土壤侵蚀类型、等级和面积利用 TM 图像遥感解译获取, 径流含沙量、土壤抗侵蚀能力和降水侵蚀力分别利用水文站和气象站数据计算得到, 土壤侵蚀模数同时利用水文站数据、Cs 137 方法计算获取, 草地产沙量利用野外试验观测和模型模拟获取, 土壤持水能力利用野外取样分析获取。

三江源草地生态系统供给功能指标包括牧草供给和水供给。牧草供给变化分析主要利用样方数据结合模型模拟, 通过分析牧草产量、牧草质量等级和可食牧草比例完成。水供给状况, 主要利用水文站数据和 2005 年以来的水质观测数据, 分析径流流量和水质变化状况。

表 1 三江源区草地生态系统综合评估指标体系

Tab 1 The integrated assessment indicator system of grassland ecosystem in the Three-River Headwaters region								
评估内容		评估指标		时段	时间分辨率	空间分辨率		
		一级指标	二级指标					
草地生态系统结构	宏观结构	生态系统类型结构特征	草地总面积、草地与其他生态系统类型之间的转类面积、动态度	30 年	10 年	1: 10 万		
			高覆盖草地面积(盖度 > 50%)、中覆盖草地面积(盖度 20~ 50%)、低覆盖草地面积(盖度 5~ 20%)	30 年	10 年	1: 10 万		
		草地退化过程与结构特征	草地退化/ 恢复遥感解译指标(见表 2)	30 年	10 年	1: 10 万		
			草地退化态势遥感解译指标(见表 3)	4	4	1: 10 万		
	草地群落结构特征		植物组成、功能群结构、高度、盖度、多度、频度、优势度、草地等级、多样性指数	4 年+ 历史样方数据	1 年	点		
草地生态系统服务功能	支持功能	生产力		NPP	20	半月	1k m	
				生物量	4 年+ 历史样方数据	1 年	点	
		土壤理化性状	土壤物理	土层厚度、颗粒组成、土壤容重	土壤普查+最近调查	次	点, 插值生成面状数据	
			土壤养分					有机质、全氮和速效氮、全磷和有效磷、全钾和有效钾
		野生动物栖息地	隐蔽性	高覆盖度草地面积百分比、草地景观破碎度	30 年	10 年	1: 10 万	
			食料	NPP、食料地面积百分比、水域面积百分比、河网密度	20 年	年	1k m	
				人类干扰程度	人类开发活动用地百分比、道路密度、毡房密度	1 次		1 次
					草地压力指数	20 年		年
		调节功能	径流调节		径流量、径流系数、径流调节系数	40 年	日	点
					草地产流量	观测/ 30 年(模拟)	次/ 日	点/ 网格单元
	碳调节		净生态系统生产力(NEP)	20 年	半月	1k m		
	土壤保持		土壤侵蚀类型、等级、面积	15 年	5 年	1: 10 万		
			径流含沙量、降水侵蚀力、土壤抗侵蚀能力系数	40 年	日	点		
			土壤侵蚀模数	40 年	日/ 多年平均	剖面/ 流域		
			草地产沙量	观测/ 30 年(模拟)	次/ 日	点/ 网格单元		
			土壤持水能力	调查	次	点		
	水热调节		蒸散、潜热、显热	20	旬	8k m		
	供给功能		牧草供给		牧草产量	20 年	半月/ 年	1k m
		草地承载力			20 年	半年	1k m	
		牧草质量等级			4 年+ 历史样方数据	1 年	点	
		可食牧草比例			4 年+ 历史样方数据	1 年	点	
		水供给		流量	40 年	日	点	
				水质	4 年	1 年	断面	

2 3 草地退化遥感解译分类系统

在土地覆被分类系统中，根据草地盖度将草地分为高覆盖度草地（盖度> 50%）、中覆盖度草地（盖度 20~ 50%）和低覆盖度草地（盖度 5~ 20%）。同一期的土地覆被中的草地高中低覆被度并不能反映出草地退化状况，因为有些低覆盖度草地可能是长期以来自然条件恶劣状况下的正常生长状态，而有些低覆盖度草地可能是自然人文因素驱动下的退化草地，相反有些中/高覆盖度草地则可能是一些退化草地。多期土地覆被数据的比较，高/中/低覆盖度草地面积的变化以及草地与其他覆被类型的转换，在一定程度上可以、但不能完全反映出草地退化状况，如原来覆盖度为 90% 的草地退化为覆盖度为 51%，仍然是高覆盖草地，但实际上已经发生了严重退化。针对这一问题，本文提出了草地退化遥感分类系统。

三江源草地退化遥感动态信息分类系统（表 2）基于中华人民共和国国家标准《天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标（GB19377-20031）》，根据遥感影像判读的原理和特点，特制定如下草地退化的遥感的分类系统和分级标准。

2 3 1 术语和定义

（1）草地退化：天然草地在干旱、风沙、水蚀、盐碱、内涝、地下水位变化等不利影响下，或过度放牧与割草等不合理利用，或滥挖、滥割、樵采破坏草地植被，引起草地生态环境恶化，草地牧草生物产量降低，品质下降，草地利用性能降低，甚至失去利用价值的过程。

（2）草地沙化：具沙质地表环境的草地受风蚀、水蚀、干旱、鼠虫害和人为不当经济活动等因素影响，如超载过牧、不合理的垦殖、滥伐与樵采、滥挖药材等，使天然草地遭受不同程度破坏，土壤侵蚀，土质变粗沙化，土壤有机质含量下降，营养物质流失，草地生产力减退，致使原非沙漠地区的草地，出现以风沙为主要特征的类似沙漠景观的草地退化过程。草地沙化是草地退化的特殊类型。

（3）草地盐渍化：草地土壤的盐（碱）含量增加到足以阻止牧草生长，致使耐盐（碱）力弱的优良牧草减少，盐生植物比例增加，牧草生物产量降低，盐（碱）斑面积扩大的草地退化过程。是草地退化的特殊类型。

（4）草地破碎化：在自然条件恶化或人类活动的影响下，区域内的连片草地发生分割，形成斑块状分布，从而引起草地生态环境恶化，草地服务功能降低的过程。

（5）沼泽化草甸趋干化：在气候变化、地下水位变化或人类不合理利用水资源等的影响下，沼泽化草甸等隐域性草地植被水分环境恶化，趋于干旱化，湿生和湿中生植物减少或消失，引起草地生产力、覆盖度下降，草地服务功能降低的过程。

说明：①本分类体系不包括草地类与其他土地覆盖类型之间的转类，如草地转为水体、农田、林地等。②本分类系统将草地退化、草地沙化和草地盐渍化统称为草地退化。

2 3 2 分类系统 草地退化遥感分类系统，主要根据两期图像色调和纹理特征的对比判断：草地覆盖度是否下降，以及下降的程度；草地是否发生破碎化，以及破碎化程度；草地覆盖度和破碎化是否同时发生，以及草地覆盖度下降或破碎化程度；沼泽或沼泽化草甸是否趋干，以及趋干程度。在草地退化遥感分类系统，一级类型共 8 类，二级类型共 27 类(表 2)。其中一级类型分别为：无退化发生草地，破碎化退化草地，覆盖度下降退化草地，破碎化/覆盖度下降退化草地，沼泽化草甸趋干化，草地好转，沼泽变干，沼泽变好。

与土地覆被遥感分类系统相比，草地退化遥感分类系统强调动态变化。在草地退化遥

感分类系统中发生严重退化的草地类型，在土地覆被遥感分类系统有可能仍是高覆盖度草地类型（如覆盖度从 95% 降为 60%）。由于遥感不能分辨毒杂草，所以用本分类系统判断的退化和健康草地是草地生态系统水源涵养的视角，而不是草地畜牧业可食牧草的角度。

表 2 三江源草地退化遥感解译分类系统

Tab 2 The remote sensing classification system on grassland degradation in the Three River Headwaters region			
一级类型		二级类型	
编号/ 名称		含义	
3000	无退化发生草地		
3010	破碎化退化草地		两期图像比较, 根据草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数的增加幅度判定。
	3011	轻度破碎化退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 10~ 20%。
	3012	中度破碎化退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 20~ 50%。
	3013	重度破碎化退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 50% 以上。
3020	覆盖度下降退化草地		两期图像相比, 草地总覆盖度相对百分比减少。
	3021	覆盖度轻度下降草地	两期图像相比, 总覆盖度相对百分比减少率为 10~ 20%。
	3022	覆盖度中度下降草地	两期图像相比, 总覆盖度相对百分比减少率为 20~ 30%。
	3023	覆盖度重度下降草地	两期图像相比, 总覆盖度相对百分比减少率为 30% 以上。
30100	破碎化/ 覆盖度下降退化草地		属于破碎化和覆盖度下降两个退化过程同时发生的类型。
	30111	轻度破碎化、轻度覆盖度下降退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 10~ 20%, 总覆盖度相对百分比减少率为 10~ 20%。
	30112	轻度破碎化、中度覆盖度下降退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 10~ 20%, 总覆盖度相对百分比减少率为 20~ 30%。
	30113	轻度破碎化、重度覆盖度下降退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 10~ 20%, 总覆盖度相对百分比减少率为 30% 以上。
	30121	中度破碎化、轻度覆盖度下降退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 20~ 50%, 总覆盖度相对百分比减少率为 10~ 20%。
	30122	中度破碎化、中度覆盖度下降退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 20~ 50%, 总覆盖度相对百分比减少率为 20~ 30%。
	30123	中度破碎化、重度覆盖度下降退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 20~ 50%, 总覆盖度相对百分比减少率为 30% 以上。
	30131	重度破碎化、轻度覆盖度下降退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 50% 以上, 总覆盖度相对百分比减少率为 10~ 20%。
	30132	重度破碎化、中度覆盖度下降退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 50% 以上, 总覆盖度相对百分比减少率为 20~ 30%。
	30133	重度破碎化、重度覆盖度下降退化草地	两期图像相比, 草地破碎化斑块数量或破碎化指数((斑块数量× 面积)/ 总面积) 的相对百分数增加 50% 以上, 总覆盖度相对百分比减少率为 30% 以上。
3040	沼泽化草甸趋干化		两期图像相比, 图像上反映出的沼泽化草甸湿度降低幅度、或沼泽化草甸因干化而面积减少的幅度判断。

	3041	轻度沼泽化草甸趋干化	两期图像相比, 草地湿度降低幅度、或沼泽化草甸因干化而面积减少的幅度 10~ 20%。
	3042	中度沼泽化草甸趋干化	两期图像相比, 草地湿度降低幅度、或沼泽化草甸因干化而面积减少的幅度 20~ 40%。
	3043	重度沼泽化草甸趋干化	两期图像相比, 草地湿度降低幅度、或沼泽化草甸因干化而面积减少的幅度 40% 以上。
3050	沙化/ 盐化退化		两期图像相比, 裸沙或盐碱化面积占草地面积的百分比增加。
	3051	轻度沙化/ 盐化退化	两期图像相比, 裸沙或盐碱化面积占草地面积的百分比增加 10~ 15%。
	3052	中度沙化/ 盐化退化	两期图像相比, 裸沙或盐碱化面积占草地面积的百分比增加 15~ 40%。
	3053	重度沙化/ 盐化退化	两期图像相比, 裸沙或盐碱化面积占草地面积的百分比增加 40% 以上。
3090	草地好转		草地覆盖度增加或破碎化指数降低, 或两者同时发生。
6410	沼泽变干		两期图像相比, 沼泽面积减少或影像上反映的湿度饱和程度降低。
	6411	沼泽轻度变干	两期图像相比, 沼泽面积或沼泽干旱化程度(影像上反映的湿度饱和程度) 减少 10~ 20%。
	6412	沼泽中度变干	两期图像相比, 沼泽面积或沼泽干旱化程度(影像上反映的湿度饱和程度) 减少 20~ 50%。
	6413	沼泽重度变干	两期图像相比, 沼泽面积或沼泽干旱化程度(影像上反映的湿度饱和程度) 减少 50% 以上。
6420	沼泽变好		两期图像相比, 沼泽面积或沼泽化程度(影像上反映的湿度饱和程度) 增加。

2 4 草地退化态势遥感分类系统

为了分析判断三江源自然保护区生态建设工程 2005 年实施后的生态成效 (含降水影响), 设计了草地退化态势遥感分类系统。该分类系统, 主要是利用已解译生成的草地退化类型数据, 通过两期图像对比, 判断退化草地是否发生好转, 同时也判断健康草地是否发生新的退化等 (表 3)。

表 3 草地退化态势遥感分类体系

Tab 3 The remote sensing classfication system on grassland degradation trend		
编号	名称	含义
1	退化发生	原健康草地发生新的退化, 退化类型包括表 2 中草地退化分类系统中的任何一种, 即草地退化、覆盖度下降、破碎化/ 覆盖度下降双重退化、沼泽化草甸趋干化、沙化/ 盐化退化、沼泽变干。
2	退化加剧	原退化草地进一步发生退化, 退化类型包括表 2 中草地退化分类系统中的任何一种, 即草地退化、覆盖度下降、破碎化/ 覆盖度下降双重退化、沼泽化草甸趋干化、沙化/ 盐化退化、沼泽变干。
3	退化状态不变	原退化草地没有发生新的退化, 也没有发生好转, 草地状况维持原状。
4	轻微好转	原退化草地没有发生新的退化, 草地状况有所好转, 表现为覆盖度有所增加、破碎化减轻或沼泽化草甸变湿。
5	明显好转	原退化草地没有发生新的退化, 草地状况明显好转, 表现为覆盖度明显增高、破碎化明显减轻或沼泽化草甸明显变湿。

3 结论与讨论

(1) 本文基于 MA 概念框架, 针对三江源草地生态系统的区域特点, 提出了系统、完整的三江源区草地生态系统评估指标体系, 包括生态系统结构、支持功能、调节功能和

供给功能的 15 个一级指标, 75 个二级指标项。该指标体系已成功应用于“青海三江源自然保护区生态保护与建设工程”项目的生态本底评估^①和工程生态成效的中期评估^②。

(2) 本文设计了草地退化遥感分类系统, 并成功应用于三江源区 30 年来草地退化的遥感解译^[9]。与土地覆被遥感分类系统^[20]相比, 该分类系统强调动态变化, 主要是根据两期图像色调和纹理特征的对比来判别: 草地覆盖度是否下降, 以及下降的程度; 草地是否发生破碎化, 以及破碎化程度; 草地覆盖度和破碎化是否同时发生, 以及草地覆盖度下降或破碎化程度; 沼泽或沼泽化草甸是否趋干, 以及趋干程度。在草地退化遥感分类系统中发生严重退化的草地类型, 在土地覆被遥感分类系统有可能仍是高覆盖度草地类型 (如覆盖度从 95% 降为 60%)。由于遥感不能分辨毒杂草, 所以用本分类系统判断的退化和健康草地是草地生态系统水源涵养的视角, 而不是草地畜牧业可食牧草的角度。

(3) 本文提出了草地退化态势遥感分类系统, 该分类系统主要是针对利用草地退化遥感分类系统解译发现的各类退化草地, 在生态工程实施后的短短几年内的长势与地表水分状况的变化。该分类系统已成功应用于判断三江源区生态工程实施后, 草地植被生长态势的年际变化。

(4) 三江源区草地生态系统评估指标体系的成功实施, 依赖于作者发展的一套草地生态系统综合评估技术体系, 限于篇幅原因, 将另文介绍。

参考文献:

- [1] 国务院.《青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划》2005 1~ 54
- [2] Doris C, Cristan S K, Marcus J L, *et al.* Ecosystems and Human Well-being: Multiscale Assessments Volume 4 OilandPress, 2005 16~ 30
- [3] 赵士洞, 张永民, 赖鹏飞, 译. 千年生态系统评估报告集(一). 北京: 中国环境科学出版社, 2007 A6~ 7
- [4] 葛全胜, 赵名茶, 郑景云, 等. 中国陆地表层系统分区初探. 地理学报, 2002, 57(5): 517~ 521
- [5] Waiz R. Development of environmental indicator systems: Experiences from Germany. Environmental Management, 2000, 25(6): 613~ 623
- [6] 左伟, 王桥, 王文杰, 等. 区域生态安全评价指标与标准研究. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 67~ 71
- [7] 赵有益, 龙瑞军, 林慧龙, 等. 草地生态系统安全及其评价研究. 草业学报, 2008, 17(2): 143~ 150
- [8] Costanza R. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253~ 260
- [9] 傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 生态系统综合评价的内容与方法. 生态学报, 2001, 21(11): 1886~ 1890
- [10] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19(5): 607~ 613
- [11] 谢高地, 鲁春霞, 肖玉, 等. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评价. 山地学报, 2003, 21(2): 50~ 55
- [12] 赵同谦, 欧阳志云, 贾良清, 等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价. 生态学报, 2004, 24(6): 1101~ 1110
- [13] 刘纪远, 岳天祥, 鞠洪波, 等. 中国西部生态系统综合评估. 北京: 气象出版社, 2006 239~ 268
- [14] 梁燕, 韩国栋, 赵萌萌, 等. 草地生态系统健康评价的内容与实施方法. 生态工程, 2004, (6): 107~ 109
- [15] 单贵莲, 徐柱, 宁发. 草地生态系统健康评价的研究进展与发展趋势. 中国草地学报, 2008, 30(2): 98~ 104
- [16] 梁瑛, 王宁, 赵莉莉, 等. 草地生态系统健康评价的研究现状. 农业科学研究, 2006, 27(2): 79~ 81
- [17] 李东明, 郭正刚, 安黎哲. 青藏高原多年冻土区不同草地生态系统恢复能力评价. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2182~ 2188
- [18] The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment. The State of the Nation's Ecosys-

①刘纪远, 邵全琴, 樊江文, 等. 三江源区生态系统本底综合评估报告. 2007 年 6 月.

②刘纪远, 邵全琴, 樊江文, 等. 青海三江源自然保护区生态保护与建设工程生态成效中期评估报告. 2009 年 1 月.

tems New York: Cambridge University Press, 2002 1~ 270

- [19] 刘纪远, 徐新良, 邵全琴. 近 30 年来青海三江源地区草地退化的时空特征. 地理学报, 2008, 63(4) : 364~ 475
- [20] 徐新良, 刘纪远, 邵全琴, 等. 30 年来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化. 地理研究, 2008, 27(4) : 829~ 837.

The integrated assessment indicator system of grassland ecosystem in the Three-River Headwaters region

LIU Ji-yuan, SHAO Quan-qin, FAN Jiang-wen

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

Abstract: Based on the MA conceptual framework and characteristics of grassland ecosystem in the Three-River Headwaters region, we proposed an integrated assessment index system of grassland ecosystem of the region. In this system, there are 4 indicator groups, of which, 15 indicators at the first level, and 75 indicators at the second level, which are used for assessing grassland ecosystem structure, supporting, regulating and provisioning services. The integrated assessment index system of grassland ecosystem is aimed at characteristics of grassland ecosystem in the Three-River Headwaters region in the eastern Tibetan Plateau and the human demands for this region. This system includes a set of indicators of land cover and grassland degradation for assessing the grassland ecosystem structure, and a set of indicators, for example, primary production and soil formation, etc., for assessing the ecosystem supporting service, and a set of indicators, for example, carbon, evaporation and transpiration, run-off, etc., for assessing the ecosystem regulating service, and a set of indicators, such as, water and grassland carrying capacity, etc., for assessing the ecosystem provisioning service. In this system, we designed remote sensing classification system on grassland degradation in order to make a dynamic analysis on the process of grassland ecosystem degradation in the decade time scale, and remote sensing classification system on grassland degradation trend for assessing ecological effect of the recent ecological restoration project in the year time scale.

Key words: Three-River Headwaters region; grassland ecosystem; integrated assessment indicator system; remote sensing classification system for grassland degradation