

草地退化杂类草入侵遥感监测方法研究进展

屈冉¹, 李双^{2,3}, 徐新良^{2*}, 王昌佐¹, 通拉嘎^{2,3}

(1. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 近年来, 受全球气候变暖及日趋频繁的人类活动的共同影响, 我国草地生态系统出现了不同程度的退化, 成为草地生态学界的研究热点。本文较系统总结了草地退化、杂类草入侵遥感监测方法的应用进展, 指出了常规草地退化遥感监测方法的不足, 并展望了今后的发展方向。研究发现草地退化在群落尺度上往往表现为优质牧草种类减少, 杂类草种类增加。在草地退化过程中, 杂类草侵入, 往往导致植被覆盖度增加, 因而传统的基于植被覆盖度、生产力和产草量下降的草地退化遥感监测方法, 无法反映草地退化在植被种群方面的变化特征, 尤其是杂类草入侵的草地退化过程。而目前基于高光谱数据的草地退化杂类草入侵监测方法, 结合地面光谱测定和对退化草地物种特征微弱光谱差异的定量分析, 能有效识别群落中杂类草种类, 并反演出占群落的面积比例、高度和盖度等, 可为草地退化监测及其治理提供群落演替过程及其态势的重要指标, 为草地退化监测提供新的遥感技术方法。

关键词: 草地退化; 杂类草入侵; 遥感监测

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2013.00761

1 引言

草地退化是中国主要的生态环境问题之一。据农业部最近的统计资料, 中国 50%~60% 的天然草地存在着不同程度的退化趋势^[1]。草地退化是草地生态系统在演化过程中, 其结构特征和能量流动与物质循环等功能过程的恶化, 是草地生态系统逆行演替的一种过程^[2]。草地上杂类草的存在与多寡是影响草地质量的重要因素之一, 它会影响到营养物质贮存和根系的生长发育, 使优良牧草逐步丧失了靠种子和地下根茎繁殖的能力, 这样优良牧草便会从草地群落中逐渐消失, 而杂类草演化为草群的主体, 成为草地退化的标志之一^[3]。因此, 杂类草入侵是草地退化的典型群落尺度表现特征, 杂类草入侵导致草地建群种和优势种逐渐减少或消失, 优良牧草盖度、高度、频度减少, 草群变矮、变稀, 草地植被群落结构特征发生明显变化, 从而直接影响畜牧业对草场的利用^[4-5]。传统的草地退化遥感监测方

法, 主要以植被覆盖度、生产力和产草量下降来辨识草地退化程度, 而高光谱遥感借助丰富的光谱维信息, 能有效识别群落中杂类草种类, 并反演出占群落的面积比例、高度和盖度等群落特征指标, 具有突出的优势。本文系统总结了草地退化杂类草入侵遥感监测方法的主要进展, 并展望了今后的发展方向。

2 草地退化与杂类草入侵研究现状

关于草地退化与杂类草入侵, 国内外学者已开展了大量的研究^[6]。公延明等在新疆天山南坡巴音布鲁克高寒草地, 对退化演替阶段草地植物群落特性开展了研究, 发现随着草地退化程度加剧(未退化-轻度退化-中度退化-重度退化), 植物群落的逆行演替趋势明显, 优良牧草盖度、高度、频度等呈递减趋势, 杂类草入侵呈增加趋势, 植物群落物种多样性丧失。未退化阶段群落羊茅(*Festuca ovina*)、

收稿日期: 2012-11-30; 修回日期: 2013-06-28。

基金项目: 全国生态环境十年变化遥感调查与评估项目(STSN-14-00); 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-08-01); 国家“863”计划项目(2009AA122003)。

作者简介: 屈冉(1978-), 女, 博士, 工程师, 主要从事生态环境遥感监测研究。E-mail: qrword@126.com

*通讯作者: 徐新良(1972-), 男, 山东青岛人, 博士, 副研究员, 主要从事土地利用/土地覆被变化与陆地生态系统综合监测与评估研究。E-mail: xuxl@lreis.ac.cn

紫花针茅(*Stipa purpurea*)为优势种,随着退化加重,天山赖草(*Leymus tianschanicus*)、委陵菜(*Potentilla* spp.)等在群落中占主导地位,地下芽根茎型草本植物逐渐代替地面芽密丛型禾草植物成为群落优势种^[7]。曹静娟等研究了甘肃省肃南裕固族自治县亚高山草地臭草入侵对草地土壤碳氮库的影响,发现在草地退化过程中甘肃臭草入侵能力强,极易以其根状茎快速繁殖,并以斑块状存在于草地群落中^[8],往往代替针茅成为草地群落优势物种,从而导致草地植被群落结构特征发生明显变化^[4]。周家福等利用 TWINSpan 分类和 DCA 排序法对川西北高寒草地退化演替群落的物种数量进行了分类与排序研究,发现随着退化程度的增强,群落中多年生的成分减少,一年生或两年生的杂类草物种增多,其中车前草(*Plantago asiatica* L.)、高原毛茛(*Ranunculus tanguticus* (Maxim.) Ovcz)等杂类草入侵对川西北高寒草地退化演替具有生态指示性,当植物群落形成了以这两种植物中的一种或其组合为优势种群时,可初步判定草地群落已处于重度退化阶段^[9]。Wang Cuizhen 等通过对美国密苏里河中部地区的草地退化研究发现,该地区杂类草入侵严重,胡枝子(铁扫帚)(*Lespedeza bicolor* Turcz)是当地最严重的草地入侵物种,对草地畜牧业发展带来了极大的威胁^[10]。

国内外研究表明,草地退化与草地杂类草的滋生是相辅相成的。草地退化过程中,草地中杂类草入侵的种类、数量与草地退化的程度是呈正相关的。杂类草的滋生繁衍应成为草地退化的早期信号,在草地保护中应引起足够重视^[3]。近年来,受全球气候变暖及日趋频繁的人类活动的共同影响,我国许多地区草地生态系统持续退化,杂类草入侵的现象尤为明显^[11-13]。青藏高原草原,20世纪70年代草地毒害草较少,仅有24种,主要为毛茛科、菊科、豆科植物。到1996年毒害草种类达164种,隶属于42科93属。在部分退化严重地区,杂类草滋生繁衍已成为草地退化的主要标志型群落,如阿鲁科尔沁旗已形成以狼毒(*Stellera chamaejasme* Linn)为主的草地约4万hm²。甘肃天祝高山草地,60年代末毒草种类约34种,到1996年已增至62种,分属15科24属。才红梅对青海省乌兰县不同退化程度高寒草甸草地群落结构特征开展了野外调查,发现在未退化、轻度退化、中度退化、重度退化4个不同退化演替梯度样地上,随着退化程度的加剧,草地

优良牧草产量逐渐降低,而覆盖度和总产草量变化不大,其中重度退化草地由于毒杂草大量入侵,总产草量最高,但畜牧业的可利用性减弱^[14]。李里等对青海省果洛藏族自治州达日县窝塞乡退化草地植物功能群和物种丰富度与群落生产力关系开展了研究,发现在轻度退化草地,莎草科植物生物量最高,杂类草生物量次之,二者相差甚微,而豆科植物和禾本科植物生物量较低,且相差不大;在中度退化草地,生物量大小依次为:杂类草>禾本科>莎草科>豆科;在重度退化草地,杂类草生物量占有明显的优势,远高于其他植物种群生物量,而豆科植物则基本消失^[15]。张静等对三江源区玛多县鄂邻湖畔北岸不同退化程度的高寒草原紫花针茅草地和称多县珍秦乡不同退化程度的高寒草甸小嵩草草地植物群落结构进行了研究,发现,随着退化程度的加剧草地群落结构特征各项指标数据均明显降低,群落种类组成发生了根本性变化。群落中的优势种消失,杂毒草正以很强的势头侵入,取而代之的是二裂委陵菜(*Potentilla bifurca* L. var. *major* Ledeb)、黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea* (Maxim.) Mattf)、异叶青兰(*Dracocephalum heterophyllum* Bent)、白苞筋骨草(*Ajuga lupulina* Maxim)等植物^[16]。

根据“三江源地区”南部的甘德和东部的河南等站1994-2004年的牧草观测资料,两地的优势牧草均呈明显减少趋势,甘德和河南优势牧草株数的递减率分别为11株/a和16株/a,千株质量的递减率分别为3.08 g/a和1.87 g/a。其中,甘德的优势牧草株数1999-2002年减少最显著,河南优势牧草株数1998-2001年减少最显著^[17]。马玉寿等研究发现^[18],黄河源区原生高山嵩草草地在长期的过牧干扰下,优势种群逐步衰退和生草层逐步消失,群落中动物不喜食或有毒的次优势种或伴生种开始发育,目前已演变为“黑土滩”退化草地,草地群落处于极不稳定状态,草地完全失去了利用价值。王彦龙等在青海大武地区通过样地调查发现,随着草地退化程度的加重,草地群落的组成和优势种发生明显改变,植物群落从以莎草科为主,向以杂类草为主的群落演替,从中度退化草地到极度退化草地非原生草地植被优势度由15.94%增加到23.57%,净增加了7.63%^[19]。据调查,三江源区的草地已呈现全面退化的趋势,黄花棘豆、秦艽、南山蒿、黄帚橐吾、瑞香狼毒和密花香薷是三江源区“黑土滩”型退化高寒

草地中常见的6种毒杂草^[20]。同20世纪50年代相比,三江源区优质牧草比例下降了20%~30%,有毒有害类杂草增加了70%~80%^[20]。

上述研究,多为野外实地样方调查等方法,鲜见有高光谱遥感应用分析。

3 草地退化遥感监测方法

传统草地退化监测多为实地样方调查,这类方法有众多局限性,如耗时长、效率低,尤其不适宜大范围或难以抵达地区的监测。相比之下,遥感新技术在草地退化监测中却有着无可比拟的优势。传统的草地退化遥感监测主要利用遥感影像通过人工解译、分类或遥感参数反演来获取草地退化特征,如草地盖度、净第一性生产力、草地生物量、可食牧草率等。这种估算一般是以像元值与有限数量的实测样本间的经验关系,这种回归方程一经建立,就可以运用到区域尺度,获取草地退化的区域特征。如刘纪远等构建了草地退化的遥感分类体系,并利用20世纪70年代以来的多期遥感影像,通过遥感影像直接对比分析解译,获得了三江源地区草地退化时空数据集,并在此基础上分析了70年代以来三江源地区草地退化的时空特征^[22-23]。臧淑英等基于大庆地区多期TM影像,应用归一化植被指数(NDVI)和土壤调节植被指数(SAVI),采用像元二分模型法和经验模型法建立了草地植被盖度和可食牧草率的遥感定量反演模型,并在此基础上研究了该地区的草地退化特征^[24]。杨文才等通过对三江源区高寒草地现状调查,利用MODIS NDVI数据,分别建立了NDVI的地上生物量和植被盖度模型,对三江源区称多县高寒草地退化现状进行了监测评价^[25]。Gao Qingzhu等利用AVHRR NDVI数据和MODIS NDVI数据,通过NDVI变化与基准年的对比,提出了青藏高原草地退化指数,并分析了草地退化对气候变化的响应^[26]。吴红等利用2008年玛多县TM影像和光能利用率模型,在反演研究区草地净初级生产力(NPP)的基础上,以NPP减少的百分数(由实际NPP和潜在NPP计算)作为指标,提取了2008年玛多县草地退化信息^[27]。徐剑波和杜自强等分别以三江源玛多县和黑河中上游地区为实验区,在基于植株高度、覆盖度和地上生物量构建草地退化指数的基础上,建立了草地退化指数与植被指数的遥感评价模型,对研究区的草地退

化现状开展了监测评价^[28-29]。

4 高光谱数据的草地退化杂类草入侵监测方法

高光谱遥感数据以其高光谱分辨率及丰富的光谱维信息特性,在对草地退化监测方面大大优于常规多光谱遥感,如能对草地退化作微弱光谱差异的定量分析,以及草地退化植被群落特征参数的估算^[30]。运用高光谱遥感数据可从众多的窄波段中筛选那些对植物类型光谱差异明显的波段,或者利用筛选的少数几个窄波段对植物类型进行识别与分类,改善了分类精度^[31-34]。Yamano等用波谱分辨率为3nm的分光计,测量了内蒙古锡林郭勒地区芨芨草、小叶锦鸡儿、大针茅和羊草4种草的反射光谱特征,对光谱曲线进行平滑降噪处理,发现小叶锦鸡儿在670nm和720nm波长附近呈反射峰区,与其他3种草有显著不同的差异,利用该特征可以有效地将小叶锦鸡儿从其他3类草中区分出来。娜日苏等利用光谱仪对内蒙古西乌旗退化草甸草原进行了地面光谱测量,并分析了不同退化梯度下草地反射率光谱特征,发现随着退化梯度的不断加强,植物群落的反射率不断增强,且未退化<轻度退化<中度退化<重度退化(图1),在中度退化梯度下,可见光波段针茅群落的光谱反射率<冷蒿群落的光谱反射率,而在近红外波段针茅群落的光谱反射率>冷蒿群落的光谱反射率(图2)^[35]。Wang Cuizhen等对美国密苏里河中部羊茅草原胡枝子入侵,开展了野外样地光谱测量,发现在650~800nm的近红外波段胡枝子群落反射率显著高于羊茅群落反射率(图3和图4),并根据这一特点设计了光谱曲线一阶导数阈值的胡枝子入侵高光谱提取算法^[10]。Phinn等利用Quickbird和Landsat-5多光谱数据,以及Airborne高光谱数据结合野外调查,对澳大利亚东部Moreton海湾浅水区海草种类、覆盖度生物量等指标进行了辨识,从海草群落中识别出6种不同的植被类型,高光谱数据的运用使分类精度提高了46%^[36]。Ishii等利用高光谱数据对日本中部松浦亚弥湿地植被种群进行了遥感监测,通过多变量分析和植被种群辨识,根据芦苇和荻草植被种群密度差异,将研究区植被类型划分为4个典型群落,分类精度达到了77.1%,kappa系数达到了0.71^[37]。

相关研究表明,羊草和大针茅草原在连续多年

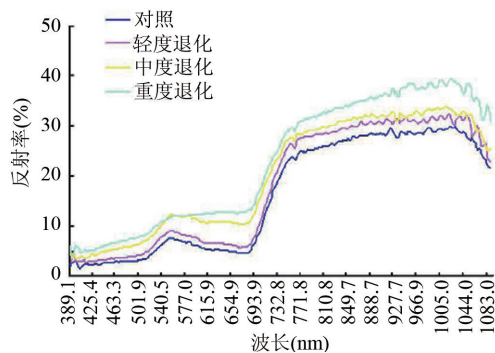
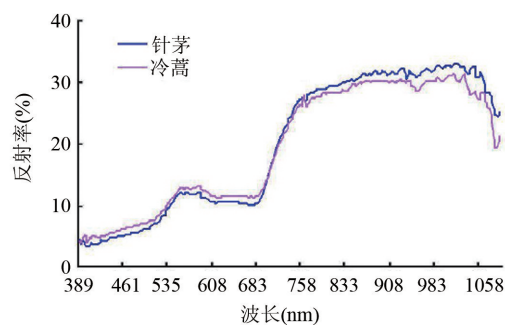
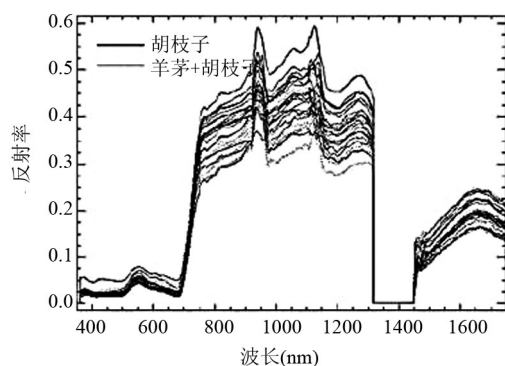
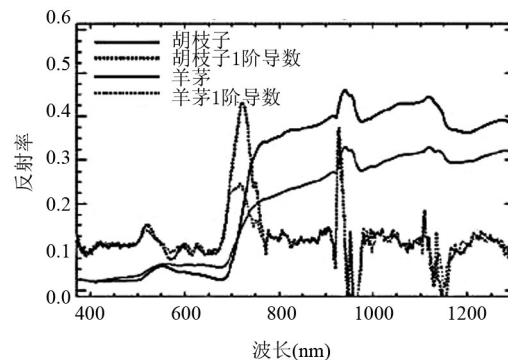
图1 不同退化梯度草地光谱曲线^[35]

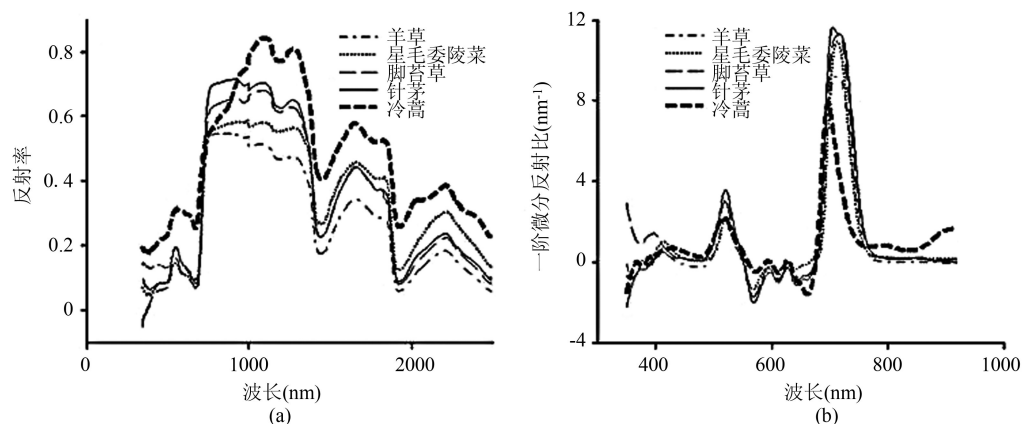
Fig.1 The spectral curves of different degrees of degradation

图2 中度退化针茅与冷蒿群落的光谱曲线^[35]Fig.2 The spectral curves of *Stipa grandis* and *Artemisia frigida* under mild degradation^[35]图3 胡枝子和羊茅样地光谱特征^[10]Fig.3 The spectral curves of *Lespedeza* and *Festuca*^[10]图4 胡枝子和羊茅样地平均光谱特征^[10]Fig.4 The average spectral curves of *Lespedeza* and *Festuca*^[10]

的过度放牧下均可退化演替为冷蒿群落^[38],所以冷蒿是退化草地的主要指示种。王焕炯等以内蒙古呼伦贝尔市的温性草甸草原为研究区,利用地面实测光谱数据进行了高光谱草地退化监测研究,发现羊草、针茅、冷蒿等多种植物的叶片、冠层,以及多

种植物混合的群落反射率光谱特征差异明显(图5),并以此特征准确区分出了草甸草原的几种建群和退化指示种群,验证结果表明光谱识别的精度高于95%^[39]。

目前,利用高光谱遥感数据开展草地退化杂类

图5 羊草、针茅、冷蒿等不同植被群落光谱曲线^[39]Fig.5 The spectral curves of different vegetations^[39]

草入侵方面的研究,主要集中在通过野外地面光谱测定,获取不同草地植被种群的反射率光谱数据,进而结合高光谱遥感数据开展不同草地植被种群的提取方法研究。但由于自然地理区域、气候条件、草地植被种群、生长季,以及人类活动的干扰,研制的算法的普适性不甚理想。

5 遥感监测应用分析与展望

(1) 传统草地退化遥感监测方法的局限性

目前草地退化遥感监测主要是集中在大尺度(区域尺度)的草地覆盖度、生产力、生物量变化监测方面,植被指数的变化监测仍是最为多见和传统的草地退化遥感识别方法。利用植被指数可有效地估算生物量,但在草地退化、杂类草入侵初期,覆盖度、生产力和生物量并不一定呈现下降趋势,可能仅仅是物种上的变化,而且随着杂类草入侵加剧,退化草地的覆盖度、生产力和生物量可能会增加,因此,这种现象无法通过植被指数、生产力、生物量的下降监测出来。由于传统的草地退化遥感监测方法在识别草地退化植被物种的变化上还存在很大的局限性,因此,迫切需要一种能监测草地退化植被物种变化的新的遥感技术方法。

(2) 高光谱遥感能有效解决传统草地退化遥感监测的不足和缺陷

高光谱数据为草地退化遥感监测提供了新的解决方案。草地生态系统群落结构指标是草地退化指标体系中最直接和最关键的一部分。草地生态系统结构指标主要表现在群落种类组成、各类种群所占比例,尤其是建群种和优势种,退化指示植物种群的密度、高度和盖度等。所以,利用高光谱遥感技术识别群落中杂类草种类,并反演出占群落的面积比例、高度和盖度等就可为草地退化监测及其治理提供群落演替过程及其态势的重要指标。高光谱遥感数据能发展形成对退化草地杂类草入侵高光谱遥感反演算法和模型,有效解决传统草地退化遥感监测的不足。

(3) 开展不同地区的野外观测实验,构建草地退化杂类草入侵的高光谱遥感反演方法是未来草地退化杂类草入侵遥感监测研究的重要方向。

草地退化杂类草入侵的现象在各地具体表现不尽相同。国内外学者已在我国内蒙古草原开展了高光谱数据的草地退化群落特征辨识试验工作,

也取得了一定的成果。因此,未来草地退化杂类草入侵高光谱遥感监测研究的主要任务是选择更多的典型草地退化区,如我国的三江源高寒草地退化区、川西北亚高山草地退化区等,在野外光谱仪测定获取不同退化梯度下杂类草种类、入侵程度等典型退化草地杂类草入侵特征光谱信息的基础上,通过有效的光谱特征参量化方法、相关分析和地面测定光谱验证,构建草地退化杂类草入侵的高光谱遥感反演模型算法,为草地退化群落特征演变遥感监测提供新的技术方法。

参考文献:

- [1] 王铁,李瑞敏,王祎萍,等.草地退化的地质指标体系[J].地质通报,2011,30(11):1744-1751.
- [2] 闫玉春,唐海萍.草地退化相关概念辨析[J].草业学报,2008,17(1):93-99.
- [3] 李寿.青藏高原草地退化与草地有毒有害植物[J].草业与畜牧,2010(8):30-34.
- [4] 曹静娟,尚占环,郭瑞英,等.甘肃臭草入侵对亚高山草地土壤碳氮库的影响[J].草原与草坪,2010,30(5):11-14.
- [5] 姚凤军,齐凤林.退化草地生态系统研究现状[J].畜牧兽医科技信息,2008(11):95-96.
- [6] Tsuyoshi A, Kensuke K. Grassland degradation in China: Methods of monitoring, Management and restoration[J]. Japanese Society of Grassland Science,2007(57):1-17.
- [7] 公延明,胡玉昆,阿德力·麦地等.巴音布鲁克高寒草地退化演替阶段植物群落特性研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(6):149-152.
- [8] 赵成章,龙瑞军.石羊河上游甘肃臭草型退化草地植被恢复过程[J].山地学报,2008,26(3):286-292.
- [9] 周家福,干友民,李志丹,等.川西北高寒草地退化演替群落数量分类与排序[J].湖北农业科学,2008,47(2):207-210.
- [10] Wang C, Zhou B, Palm H. Detecting invasive *Sericea Lespedeza* (*Lespedeza cuneata*) in Mid-Missouri Pastureland using hyperspectral imagery[J]. Environmental Management, 2008,41(6):853-862.
- [11] Feng J, Wang T, Qi S Z, et al. Land degradation in the source region of the Yellow River, northeast Qinghai-Xizang Plateau: classification and evaluation[J]. Environ Geol, 2005(47):459-466.
- [12] Feng Y, Lu Q, Tokola T, et al. Assessment of grassland degradation In Guinan County, Qinghai Province, China, in the past 30 years[J]. Land Degradation & Development, 2009(20):55-68.
- [13] Liu L S, Zhang Y L, Bai W Q, et al. Characteristics of grassland degradation and driving forces in the source region of the Yellow River from 1985 to 2000[J]. J Geo-

- graphical Sciences, 2006,16(2):131-142.
- [14] 才红梅. 乌兰县不同退化程度高寒草甸草地群落结构特征分析[J]. 养殖与饲料, 2011(6):54-55.
- [15] 李里, 刘伟. 退化草地植物功能群和物种丰富度与群落生产力关系的研究[J]. 草地学报, 2011,19(6):917-921.
- [16] 张静, 李希来, 王金山, 等. 三江源地区不同退化程度草地群落结构特征的变化[J]. 湖北农业科学, 2009,48(9):2125-2129.
- [17] 伏洋, 张国胜, 李凤霞, 等. 青海省草地生态环境变化态势及驱动力分析[J]. 草业科学, 2007,24(5):1-8.
- [18] 马玉寿, 尚占环, 施建军, 等. 黄河源区“黑土滩”退化草地群落类型多样性及其群落结构研究[J]. 草业科学, 2006,23(12):6-11.
- [19] 王彦龙, 马玉寿, 孙小弟, 等. 大武地区不同程度退化草地群落结构及植物量分析[J]. 青海畜牧兽医, 2007,37(6):1-3.
- [20] 程晓月, 后源, 任国华, 等. “黑土滩”退化高寒草地6种常见毒杂草水浸液对垂穗披碱草的化感作用[J]. 西北植物学报, 2011,31(10):2057-2064.
- [21] 赵新全, 周华坤. 三江源区生态环境退化、恢复治理及其可持续发展[J]. 中国科学院院刊, 2005,20(6):471-476.
- [22] 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[J]. 地理学报, 2008,63(4):364-376.
- [23] 刘纪远, 邵全琴, 樊江文. 三江源区草地生态系统综合评价指标体系[J]. 地理研究, 2009,28(2):273-283.
- [24] 臧淑英, 那晓东, 冯仲科. 基于植被指数的大庆地区草地退化因子遥感定量反演模型的研制[J]. 北京林业大学学报, 2008,30(增刊1):98-104.
- [25] 杨文才, 吴新宏, 张德罡, 等. 基于MODIS-NDVI的三江源区称多县高寒草地退化现状评价[J]. 草原与草坪, 2011,31(5):50-54.
- [26] Gao Q, Wan Y, Xu H, *et al.* A. Alpine grassland degradation index and its response to recent climate variability in Northern Tibet, China[J]. Quaternary International, 2010,226(1-2):143-150.
- [27] 吴红, 安如, 李晓雪, 等. 基于净初级生产力变化的草地退化监测研究[J]. 草业科学, 2011,28(4):536-542.
- [28] 徐剑波, 陈进发, 胡月明, 等. 青海省玛多县草地退化现状及动态变化研究[J]. 草业科学, 2011,28(3):359-364.
- [29] 杜自强, 王建, 李建龙, 等. 黑河中上游典型地区草地植被退化遥感动态监测[J]. 农业工程学报, 2010,26(4):180-185.
- [30] Zomer R J, Trabucco A, Ustin S L. Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing[J]. Journal of Environmental Management, 2009,90(7):2170-2177.
- [31] 周磊, 辛晓平, 李刚, 等. 高光谱遥感在草原监测中的应用[J]. 草业科学, 2009,26(4):20-27.
- [32] Darvishzadeh R, Atzberger C, Skidmore A, *et al.* Mapping grassland leaf area index with airborne hyperspectral imagery: A comparison study of statistical approaches and inversion of radiative transfer models[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2011,66(6):894-906.
- [33] Skidmore A K, Ferwerda J G, Mutanga O, *et al.* Forage quality of savannas-Simultaneously mapping foliar protein and polyphenols for trees and grass using hyperspectral imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2010,114(1):64-72.
- [34] Lu S, Shimizu Y, Ishii J, *et al.* Estimation of abundance and distribution of two moist tall grasses in the Watarase wetland, Japan, using hyperspectral imagery[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2009,64(6):674-682.
- [35] 娜日苏, 格根图, 德勒格日玛. 退化草甸草原近地面光谱特征初探[J]. 安徽农业科学, 2010,38(5):2512-2514.
- [36] Phinn S, Roelfsema C, Dekker A, *et al.* Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: An assessment of satellite multi-spectral and airborne hyper-spectral imaging systems in Moreton Bay (Australia) [J]. Remote Sensing of Environment, 2008,112(8):3413-3425.
- [37] Ishii J, Lu S, Funakoshi S, *et al.* Mapping potential habitats of threatened plant species in a moist tall grassland using hyperspectral imagery[J]. Biodiversity and Conservation, 2009,18(9):2521-2535.
- [38] 刘振国, 李镇清. 退化草原冷蒿群落13年不同放牧强度后的植物多样性[J]. 生态学报, 2006,26(2):475-482.
- [39] 王焕炯, 范闻捷, 崔要奎, 等. 草地退化的高光谱遥感监测方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2010,30(10):2734-2738.

Progress on Methods of Grassland Degradation and Weed Invasion Monitoring Based on Remote Sensing

QU Ran¹, LI Shuang^{2,3}, XU Xinliang^{2*}, WANG Changzuo¹ and TONG Laga^{2,3}

(1. *Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China*; 2. *State Key Laboratory of Resources and Environmental Information Systems, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China*; 3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Grassland degradation is one of the important ecological problems in China. During recent years, influenced by global warming and increasing human activities, different degrees of grassland degradation have occurred in China, which has become a research focus in the field of grassland ecology. Based on the systematic summary of studies in the grassland degradation and weed invasion in the latest decade, the limitations of traditional methods of monitoring grassland degradation and weed invasion by remote sensing are put forward, and some important study directions and priorities for future are reviewed. Grassland degradation is often shown as decline in species of high quality forage and increase in the number of weed species at the community scale. In the process of grassland degradation, weed species invasion leads to the increase of vegetation coverage. And thus traditional methods of monitoring grassland degradation based on the decrease of vegetation coverage, productivity and grass yield are limited in detecting the change characteristics of plant population, especially the process of weed species invasion. The results of our research show that there exists great limitations in using traditional methods to detect the change characteristics of plant population, but the weed invasion monitoring method using hyper-spectral data can detect the weed species in plant population and retrieve the area proportion, height and coverage, through making full use of the ample spectral information of hyper-spectral data, and integrate field measuring using spectrometer with quantitative analysis of spectral difference of plant population characteristics on grassland degradation. The studies on methods of monitoring grassland degradation and weed invasion using hyper-spectral data can provide important indicators of community succession process and trend for grassland degradation monitoring and treatment. It can also effectively solve the defects in traditional methods of monitoring grassland degradation based on remote sensing and provide new remote sensing methods for monitoring grassland degradation and weed invasion.

Key words: grassland degradation; weed invasion; remote sensing monitoring

*Corresponding author: XU Xinliang, E-mail: xuxl@lreis.ac.cn