

湿地遥感研究进展

张树文¹, 颜凤芹^{1,2}, 于灵雪^{1,2}, 卜 坤¹, 杨久春¹, 常丽萍¹

(1.中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102; 2.中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 湿地在维持生态平衡、保护生物多样性等方面发挥着重要作用。由于各种自然、人为因素的影响, 目前越来越多的湿地转化为农业和城市用地, 湿地的质量退化和数量减少引起人们广泛关注。遥感技术为湿地研究提供强有力的技术支撑。重点从遥感影像数据源、湿地分类、湿地调查3个方面论述遥感技术在湿地研究中的应用, 同时指出目前湿地遥感研究中存在的不足, 并展望其未来发展。

关键词: 湿地; 遥感; 遥感影像

中图分类号: X87 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)11-11406-07

湿地是一种重要的资源, 是水陆相互作用形成的独特生态系统, 是重要的生存环境和自然界最富有生物多样性的生态景观之一, 有稳定环境、物种基因保护及资源利用等功能^[1,2]。

由于各种自然、人为因素的影响, 越来越多的湿地转化为农业、城市用地, 湿地质量和数量的变化已引起人们的广泛关注^[3]。湿地多处于偏远地区, 采用传统的手段来监测费时、费力、耗费高, 调查范围小, 对湿地有破坏性, 而且其周期性较长, 时效性差。遥感(Remote Sensing, RS)技术因具有省时省力、多时相、多平台、信息量大等优点, 可为湿地研究提供强有力的技术支撑, 近20 a来已广泛用于湿地资源调查、识别等研究中^[3,4]。中国的湿地科学起步较晚, 了解国内外湿地遥感的现状和发展, 对中国湿地的研究有重要意义。本文重点从遥感影像数据源、湿地遥感分类、湿地资源调查3个方面论述RS在国内外湿地研究中的应用现状, 同时指出目前湿地遥感研究中存在的不足, 并对其未来发展进行展望。

1 遥感影像数据源

新一代的遥感成像光谱仪, 为对地观测提供极为丰富的多光谱数据^[5]。湿地遥感研究中, 常用的多光谱影像数据源^[6-14]有MSS、TM/ETM、SPOT

影像。高光谱影像、雷达影像也越来越多地被应用于湿地研究中^[15,16]。高光谱遥感影像光谱分辨率高, 能够提供丰富的地表信息, 因而在湿地遥感研究中具有很大的优势^[17]。MODIS(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)影像——全称为中分辨率成像光谱仪, 是常用的高光谱影像。在湿地遥感中, 高光谱技术主要应用于湿地土壤植被和水体信息提取的研究。其中, 利用高光谱技术在湿地植被监测、植被群落精细分类、植被生物量估算等方面的研究较为广泛; 在湿地水体信息提取、湖泊边界划分及水位线提取等方面做过许多方法研究; 另外, 高光谱遥感技术也应用于湿地土壤湿度和土壤含水量的反演研究中^[17,18]。微波遥感的突出优点是全天候监测, 并能透过植被、冰雪和干沙土, 获得近地面以下的信息。目前, RS用于湿地研究的关注焦点已逐渐从光学遥感转移到雷达遥感上。湿地雷达遥感中, 应用最广泛的波段是:L波段和C波段, 其中, L波段对植被的结构特性更敏感; 大多数研究认为L波段适于研究以林地为主的湿地, 而C波段更适于少叶和低生物量植被组成的湿地^[14,19]。以上单种影像数据源都有其固定的特点和特定的应用领域, 但有时采用单一影像研究湿地有其局限性。而融合多源影像可以克服单一遥感影像数据源的不足, 兼顾不同

收稿日期: 2013-01-02; **修订日期:** 2013-03-09

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项子课题(XDA05090310)、国家重点基础研究发展计划(2010CB95090103)资助。

作者简介: 张树文(1955-), 男, 吉林长春人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土地系统变化科学和遥感与地理信息系统应用研究。

E-mail: zhangshuwen@neigae.ac.cn

遥感影像的时间、光谱和空间分辨率,从而可以集合多种数据源的优势,达到更好的研究效果。因此,融合多源遥感影像^[20-25]成为湿地遥感研究常用的手段之一。

总体而言,Landsat TM(ETM)、SPOT影像等性价比高,易获取,数据处理简单,适合二级湿地的动态监测,目前应用最为普遍,但难以实现多级湿地分类;高光谱影像光谱分辨率高,信息丰富,湿地植被群落的区分能力强,但是获取较难,数据处理复杂;雷达影像穿透性好,植被生物量估算方面更有优势,但SAR(合成孔径侧视雷达)反演生物量比光学遥感受到的干扰因素更多。高光谱影像和雷达影像分类精度一般比多光谱影像高,应用前景广阔。数据融合可提高影像的空间分解力和清晰度,增强解译和动态监测能力,融合影像用于湿地研究成为新的趋势。但这需要根据具体情况选择要融合的影像,数据处理也相对复杂。此外,其它辅助数据(土壤数据、地形和高程数据等)也可用于湿地研究中,但其应用还需要进一步加强。

2 湿地遥感分类

2.1 湿地光谱特征研究

遥感信息的分析识别主要依据地物反射光谱随波长变化状况。因而,湿地地物反射光谱的测量分析也是进行湿地遥感应用研究的重要基础^[26]。大多数的计算机分类技术,包括最大似然法、最小距离法,非监督分类,都依赖于湿地植被类型的光谱反射特征进行分类。光谱反射率的研究决定哪些湿地类型是光谱可分离的,哪些波段和时间对于湿地识别是最好的^[27]。国内外已经做了很多光谱反射的研究,这些研究表明生物量可以由反射值估算出来^[28-33]。

2.2 湿地遥感分类方法研究

由于“同物异谱和同谱异物”,湿地遥感分类的精度问题是困扰湿地遥感发展的瓶颈之一。目前,湿地遥感分类常用的计算机自动分类方法有监督分类和非监督分类;此外,也出现一些新的算法和方法。

1) 目视解译。指专业人员通过直接观察或借助辅助判读仪器在遥感图像上获取特定目标地物信息的过程^[34]。它可充分利用判读人员的知识和经验,灵活性强,尤其对地物空间关系处理较好。因此,解译精度一般高于计算机分类^[7],但其

解译精度与解译人员的经验有很大的关系,带有很大的主观性,不够客观。早期卫星影像目视解译主要用来识别湿地^[35],目前,目视解译在国内外湿地遥感分类中的应用仍然非常广泛^[36-40]。

2) 监督分类。其优点是可以指定所需的信息类。缺点是所需的类可能不符合光谱唯一或同质类,并且训练数据采集是耗费时间和昂贵的^[27]。在国内外湿地遥感研究中,最小距离分类法和最大似然比分类法是较常用的监督分类方法^[40-46]。

3) 非监督分类。其优点是,消除了耗时的训练阶段并且类是不同的单元。缺点是,集群可能不是对响应所需要的信息类。因为土地覆盖类型的兴趣优先,所以,监督分类往往优先于非监督分类^[5]。在湿地遥感研究中,非监督分类的应用也比较广泛^[47-51],分类结果的好坏需要经过实际的野外调查来验证。当二类地物对应的差异很小时,非监督分类的效果较差。

4) 新湿地分类算法。① 决策树分类法。决策树作为数据挖掘的一种方法,具有灵活、直观、运算效率高等特点。其基本思想是通过一些判断条件对原始数据集逐步进行二分和细化。这种方法不仅不需要依赖任何先验的统计假设条件,可方便地利用除亮度值以外的其它知识,所以在遥感影像分类和专题信息提取中已有广泛的应用^[45,52,53]。② 分层分类法。指根据建立的分类树,按照分类树的结构逐级分层次把研究的目标一一区分、识别出来,分出一层,提取一层,掩膜一层,直至提取完所要的类层。牛明香等以山东省南四湖区湿地等为试验区,利用TM数据,提出了分区和分层相结合的湿地信息提取技术方法^[54-56]。③ 神经网络法。是以模拟人脑神经系统的结构和功能为基础而建立的一种数据分析处理系统。20世纪80年代末开始应用于遥感图像分类^[7,57-59]。④ 基于对象分类方法。其主要思想是首先将图像分割成具有一定意义的对象,然后综合运用对象的光谱、形状及邻近关系等特征进行分类。该方法考虑了更多的判别特征,接近人的目视解译思维习惯,为信息提取提供新思维方法^[60-63]。⑤ 支持向量机(SVMs)法。指在基于统计的VC维理论和结构风险最小理论的基础上,根据有限的样本数对模型的复杂度和学习能力之间找出最佳折中,以达到最佳的信息提取效果的方法^[64-66]。

5) 复合分类法。指将不同的分类器组合起

来进行分类,一是每个分类器不需要区分很多类别,以利用大类之间可分性更好的优点;二是每个分类器只对某些类别进行有效识别,提供不同的分类信息且彼此之间错误不相关^[6]。Töyrä等人的研究^[20,67]表明复合分类法可克服单个分类器分类的局限性,实现优势互补,有效地提高分类精度。但这需要研究者分清各分类方法的优点和缺点,分清不同类型湿地适合的分方法,从而针对不同的地类选择合适的方法。

3 遥感在湿地调查中的应用

3.1 遥感在湿地资源调查中的应用

传统的野外采样方法进行资源调查覆盖范围小,费时多,对湿地具有破坏性。而遥感数据具有感测范围广、信息量大、便于更新等特点,且对湿地不产生破坏性。因此世界各国在湿地资源调查中都广泛采用遥感技术^[68]。RS技术可以提供有关湿地资源的海量数据,为大尺度的湿地资源调查提供极大的便利。其影像经处理分析后还可反映湿地内部的环境状况。可以深入研究湿地情况与周边气候、地形地貌、土地利用、植被变化、湿地生物多样性以及社会经济发展情况的关系^[69];可以对湿地资源的分布、面积及其湿地生物资源的分布、生长状况和空间格局演变等进行估测^[26,70-75]。在中国,人们开始将目光从自然湿地转向城市湿地^[76,77],所不同的是,城市湿地资源研究从一开始就突出了湿地结构功能与生态环境价值的研究方向,并且多研究湿地资源的动态变化过程及其生态效应,在研究方法上则更强调GIS(地理信息系统)的支持^[68]。

3.2 遥感在湿地动态监测中的应用

湿地动态遥感监测是以多时相遥感数据为主要信息源,辅以必要的专题信息(地质图、地形图、DEM数据等),结合适当的野外调查,综合利用RS、GIS和GPS(全球定位系统)等技术,监测不同时期湿地现状和某个时间段内湿地的变化特征^[78]。由于RS技术的日趋成熟,同时与GIS、全球定位系统GPS的融合不断加深,因此3S(RS,GIS,GPS)技术成为国内外研究湿地资源与景观动态变化监测的主流方法^[9,20,38,51,77,79-81]。主要的遥感影像处理技术方法包括:①对不同时相图像的算术运算法,如求取差值或比值等;②图像分类后比较法:对同时相的图像分别进行分类,比较分类结果后找

出湿地的动态变化信息;③图像与辅助数据比较法:在地理信息系统中对图像分类结果与以往湿地专题地图结果进行比较以产生变化信息^[68]。

总之,RS在湿地资源调查和动态监测中的应用越来越广泛。RS技术不仅用于湿地分布、类型和面积的调查,还越来越多地用于湿地生物资源的分布、长势和空间格局变化的研究。在动态监测方面,一般步骤为对遥感影像进行预处理;确定湿地分类体系和遥感解译标志,提取湿地类型信息;野外验证修改解译地图;通过叠置分析等方法比较湿地变化。RS为大区域的湿地动态变化研究提供可能。

4 遥感在湿地其它方面的应用

RS可用于湿地生物量的估测,其方法主要有2种:光学遥感和雷达遥感^[82],光学遥感应用更为广泛。在光学遥感中,已有许多不同的指数用来反演植被信息,但最常用的还是归一化植被指数NDVI^[82-85]。随着雷达遥感的发展,雷达影像也越来越多地被应用到湿地植被生物量的估测中^[82]。雷达影像与光学影像的融合可以达到更好的估测效果,其应用前景十分广阔。RS和GIS等空间信息技术的发展和运用,为湿地生态健康评价提供了多种数据源和有利的分析手段,代表了湿地生态健康评价和分析的一个新方向^[86]。RS还可用于湿地水质监测,遥感水质监测从定性到定量,可监测的水质参数种类也在增加,如叶绿素a、总悬浮物、可溶性有机物、水体透明度、浑浊度、表面水温等^[87]。RS用于反演悬浮物浓度和叶绿素浓度等的方法主要是分析方法、经验方法、半经验方法、RBF神经网络方法^[88-90]。此外,RS用于生物多样性和地下生物量的估测等方面的研究还需要进一步加强。

5 湿地遥感发展的不足与未来展望

5.1 不足

尽管遥感技术在湿地分类、动态监测、生物量估算等研究中发挥着越来越大的作用,但我们不得不看到湿地遥感仍然存在以下不足:

1) 由于“同物异谱,同谱异物”现象的存在及不同研究区湿地情况的不同,湿地类型提取精度难以取得实质性的突破,成为湿地遥感发展的瓶颈之一。

2) 分类算法过于单一,不能有效地结合不同的分类算法以提高分类精度,此外,利用辅助信息(DEM、土壤数据、地形数据等)提高分类精度方面的研究还不够理想。

3) 利用RS对湿地进行大尺度研究时,只能宏观地提取到二级分类。在当今湿地景观破碎化的形势下,不能满足研究需要。

4) 没能够建立统一的基础数据标准及完善的共享机制,以减少湿地研究的数据采集量工作。

5) 遥感技术用于湿地环境效益、湿地边界确定及湿地恢复等方面研究较少。

5.2 未来展望

结合湿地遥感发展的现状和不足,笔者认为以下几点将是湿地、遥感学家共同努力的方向。

1) 由于湿地景观斑块化已成为不争的事实,这种现实决定了湿地的研究要从宏观走向中观和微观尺度。因此,需要结合影像融合,像元分解等技术使湿地研究区域精细化。此外,应进一步加强遥感应用在湿地环境效益、湿地边界确定及湿地恢复等方面的研究。

2) 雷达遥感数据在湿地遥感研究中发挥着越来越重要的作用,雷达数据和光学遥感数据结合使用有着广阔的前景。此外,要根据研究区的具体概况,综合使用多时相、多分辨率、多数据源遥感影像,多种方法、多种分类器相结合,以取长补短,提高湿地计算机自动分类精度。

3) 研究表明特征向量的选取比分类算法和样本数量对分类精度的影响更大,多特征提取是湿地智能化提取重点和难点之一,应加强对湿地分布地理环境要素和空间结构等辅助信息的利用来提取多特征。

4) 注重RS和GIS与GPS、ES(专家系统)技术的集成,开发能够模仿人的目视判读过程的综合分析的湿地遥感图像分析专家系统,提高湿地分类的效率和精度。

5) 基于RS,利用GIS建立各类基于Web的湿地信息系统,既可实现湿地信息共享,为湿地研究及相关学科发展提供湿地数据;又可进行湿地科普教育,提高全民族的湿地保护意识。

6) 湿地学家与遥感学家需要进一步的相互交流和密切配合,以探讨和解决目前2个学科密切衔接的一些问题,促进2个学科的共同发展与进步。

参考文献:

- [1] 杨永兴.国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望[J].地理科学进展,2002,21(2):111~120.
- [2] 吕宪国,黄锡畴.我国湿地研究进展——献给中国科学院长春地理研究所成立40周年[J].地理科学,1998,18(4):2~9.
- [3] 李建平,张柏,张冷,等.湿地遥感监测研究现状与展望[J].地理科学进展,2007,26(1):33~43.
- [4] 赵广明,叶思源,李广雪.卫星遥感在湿地研究中的应用[J].海洋地质动态,2007,23(12):28~33.
- [5] 张翊涛,陈洋,王润生.结合自动分区与分层分析的多光谱遥感图像地物分类方法[J].遥感技术与应用,2005,20(3):332~337.
- [6] Frohn R C,D'Amico E,Lane C,et al.Multi-temporal Sub-pixel Landsat ETM+Classification of Isolated Wetlands in Cuyahoga County,Ohio,USA[J].Wetlands,2012,32(2):289-299.
- [7] Houhoulls P F,Mlchene W K.Detecting wetland change:a rule-based approach using NWI and SPOT-XS Data[J].Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,2000,66:205-211.
- [8] Wright C,Gallant A.Improved wetland remote sensing in Yellowstone National Park using classification trees to combine TM imagery and ancillary environmental data[J].Remote Sensing of Environment,2007,107(4):582-605.
- [9] 牛振国,宫鹏,程晓,等.中国湿地初步遥感制图及相关地理特征分析[J].中国科学(D辑:地球科学),2009,39(2):188~203.
- [10] 李颖,张养贞,张树文.三江平原沼泽湿地景观格局变化及其生态效应[J].地理科学,2002,22(6):677~682.
- [11] 雍国玮,石承苍,邱鹏飞.川西北高原若尔盖草地沙化及湿地萎缩动态遥感监测[J].山地学报,2003,(6):758~762.
- [12] Frohn R C,Reif M,Lane C,et al.Satellite remote sensing of isolated wetlands using object-oriented classification of Landsat-7 data[J].Wetlands,2009,29:931-941.
- [13] 王永丽,于君宝,董洪芳,等.黄河三角洲滨海湿地的景观格局空间演变分析[J].地理科学,2012,32(6):717~724.
- [14] 蔡为民,杨世媛,汪苏燕,等.不同土地利用方式下的七里海湿地临界评价研究[J].地理科学,2012,32(4):499~505.
- [15] Zomer R J,Trabucco A,Ustin S L.Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing[J].J Environ Manage,2009,90(7):2170-2177.
- [16] 王莉雯,卫亚星.湿地生态系统雷达遥感监测研究进展[J].地理科学进展,2011,30(9):1107~1117.
- [17] 韦玮,李增元,谭炳香.高光谱遥感技术在湿地研究中的应用[J].世界林业研究,2010,23(3):18~23.
- [18] 徐永明,赵巧华,巴雅尔,等.基于MODIS数据的博斯腾湖流域地表蒸散时空变化[J].地理科学,2012,32(11):1353~1357.
- [19] Rosenqvist A,Finlayson C M,Lowry J,et al.The potential of long-wavelength satellite-borne radar to support implementation of the Ramsar Wetlands Convention[J].Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems,2007,17(3):229-244.
- [20] Töyrä J,Pietroniro A.Towards operational monitoring of a north-

- ern wetland using geomatics-based techniques[J].Remote Sensing of Environment,2005,**97**(2):174-191.
- [21] Castaneda C,Ducrot D. Land cover mapping of wetland areas in an agricultural landscape using SAR and Landsat imagery[J]. J Environ Manage, 2009,**90**(7):2270-2277.
- [22] Bwangoy J-R B,Hansen M C,Roy D P,et al. Wetland mapping in the Congo Basin using optical and radar remotely sensed data and derived topographical indices[J].Remote Sensing of Environment,2010,**114**(1):73-86.
- [23] 黎 夏,刘 凯,王树功.珠江口红树林湿地演变的遥感分析[J].地理学报,2006,**61**(1):26~34.
- [24] Xia S,Ruan R,Yan M,et al.Extraction of Hongze Lake reclamation area based on radarSAT SAR and landSAT ETM+ [J].Procedia Environmental Sciences,2011,**10**:2294-2300.
- [25] 王 庆,廖静娟.基于 Landsat TM 和 ENVISAT ASAR 数据的鄱阳湖湿地植被生物量的反演[J].地球信息科学学报,2010,**12**(2):2282~2291.
- [26] 张 柏.遥感技术在中国湿地研究中的应用[J].遥感技术与应用,1996,**11**(1):67~71.
- [27] Ozesmi S L,Bauer M E.Satellite remote sensing of wetlands[J]. Wetlands Ecology and Management, 2002,**10**:381-402.
- [28] Gross M F,Hardisky M A,Wolf P L,et al.Relationships Among Typha Biomass, Pore Water Methane, and Reflectance in a Delaware (USA) Brackish Marsh[J]. Journal of Coastal Research, 1993,**9**(2):339-355.
- [29] Reimold R J,Gallaghe J,Thompson D E.Remote Sensing of Tidal Marsh[J].Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1973,**39**(5):477-488.
- [30] 华润葵,李玉勤.博斯腾湖芦苇资源调查中遥感技术的应用[J].地理科学,1983, **3**(2):151~158.
- [31] 童庆禧,郑兰芬,王晋年,等.湿地植被成象光谱遥感研究[J].遥感学报, 1997,**1**(1):50~57.
- [32] 陈水森,詹志明.基于 GIS 的鄱阳湖湿地遥感调查实验研究[J].热带地理,1999,**19**(1):36~39.
- [33] 周成虎,骆剑承,杨晓梅,等.遥感影像地学理解与分析[M].北京:科学出版社,1999:73~75.
- [34] 梅安新,彭望禄,秦其明,等.遥感导论[M].北京:高等教育出版社,2001:134~200.
- [35] Nayak S R,Sahai B.Coastal Morphology -a case-study of the Gulf of Khambhat (Cambay) [J]. International Journal of Remote Sensing,1985,**6**(3-4):559-567.
- [36] Chopra R,Verma V K,Sharma P K.Mapping, monitoring and conservation of Harike wetland ecosystem, Punjab, India, through remote sensing[J].International Journal of Remote Sensing, 2001,**22**(1):89-98.
- [37] Yang B,Zeng F,Yuan M,et al.Measurement of Dongting Lake Area Based on Visual Interpretation of Polders[J]. Procedia Environmental Sciences,2011,**10**:2684-2689.
- [38] 冯琦胜,尚占环,梁天刚,等.甘肃省玛曲县沼泽湿地遥感监测与动态变化分析[J].湿地科学,2008,**6**(3):379~385.
- [39] Niu Z,Zhang H,Wang X,et al.Mapping wetland changes in China between 1978 and 2008[J].Chinese Science Bulletin, 2012,**57**(22):2813-2823.
- [40] 赵小静,杨凤海,刘艳霞,等.扎龙湿地利用变化分析[J].测绘与空间地理信息,2009,**32**(1):54~57.
- [41] Huguenin R L,Karaska M A,Blaricom D V,et al.Subpixel Classification of Bald Cypress and Tupelo Gum Trees in Thematic Mapper Imagery[J].Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,1997,**63**(6):717-725.
- [42] Hewitt M J.Synoptic Inventory of Riparian Ecosystems-the Utility of Landsat Thematic Mapper Data[J].Forest Ecology and Management, 1990,33-34(1-4):605-620.
- [43] Lo C P,Watson L J.The influence of geographic sampling methods on vegetation map accuracy evaluation in a swampy environment[J].Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1998,**64**(12):1189-1200.
- [44] MacAlister C,Mahaxay M.Mapping wetlands in the Lower Mekong Basin for wetland resource and conservation management using Landsat ETM images and field survey data[J].J Environ Manage,2009,**90**(7):2813-2823.
- [45] 那晓东,张树清,孔 博,等.基于决策树方法的淡水沼泽湿地信息提取——以三江平原东北部为例[J].遥感技术与应用, 2008,**23**(4):365~372.
- [46] 王延飞,温小荣,周 蔚.湿地覆被的几种遥感监督分类方法比较——以江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区核心区为例[J].林业实用技术,2012,(2):62~64.
- [47] Filippi A M,Jensen J R.Fuzzy learning vector quantization for hyperspectral coastal vegetation classification[J].Remote Sensing of Environment,2006,**100**(4):512-530.
- [48] Huiping Z,Hong J,Qinghua H.Landscape and Water Quality change detection in urban wetland: a post-classification comparison method with IKONOS Data[J].Procedia Environmental Sciences,2011,**10**:1726-1731.
- [49] Bortels L,Chan J C W,Merken R,et al.Long-term monitoring of wetlands along the Western-Greek Bird Migration Route using Landsat and ASTER satellite images: Amvrakikos Gulf (Greece)[J].Journal for Nature Conservation,2011,**19**(4):215-223.
- [50] 薛星宇,刘红玉.基于 ALOS 影像的盐城海滨湿地遥感信息分类方法研究 [J].遥感技术与应用, 2012,**27**(02):248~255.
- [51] 杨永顺,钞振华,宣 勇,等.基于 TM 影像的玛多县湿地变化监测方法 [J].草业科学,2012,29(7):1039~1043.
- [52] 邓劲松,王 珂,李 君,等.决策树方法从 SPOT-5 卫星影像中自动提取水体信息研究[J].浙江大学学报(农业与生命科学版), 2005,**31**(2):56~59.
- [53] Phillips R L,Beeri O,DeKeyser E S.Remote wetland assessment for Missouri Coteau prairie glacial basins [J].Wetlands,2005,**25**(2):335-349.
- [54] 牛明香,赵庚星,李尊英.南四湖湿地遥感信息分区分层提取研究 [J].地理与地理信息科学, 2004,**20**(2):45~48.
- [55] 余 莉,何隆华,张 奇,等.基于 Landsat-TM 影像的鄱阳湖典型湿地动态变化研究[J].遥感信息,2010,**112**(6):48~54.

- [56] 张宝雷,张淑敏,周万村.基于多源数据的若尔盖湿地土地利用遥感自动调查[J].土壤,2008,40(2):283~287.
- [57] 骆剑承,周成虎,杨艳.神经网络遥感影像分类模型及其与知识集成方法研究[J].遥感学报,2001,5(2):122~129.
- [58] Bao Y, Ren J. Wetland Landscape Classification Based on the BP Neural Network in DaLinor Lake Area [J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10: 2360-2366.
- [59] 王庆光,潘燕芳.基于BP神经网络的湿地遥感分类[J].韶关学院学报,2007,28(3):72~75.
- [60] 孙永军,童庆禧,秦其明.利用面向对象方法提取湿地信息[J].国土资源遥感,2008,(1):79~82.
- [61] Dronova I, Gong P, Wang L. Object-based analysis and change detection of major wetland cover types and their classification uncertainty during the low water period at Poyang Lake, China [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(12): 3220-3236.
- [62] 莫利江,曹宇,胡远满,等.面向对象的湿地景观遥感分类——以杭州湾南岸地区为例[J].湿地科学,2012,10(2):206~213.
- [63] 郑利娟,李小娟,胡德勇,等.基于对象和DEM的湿地信息提取——以洪河沼泽湿地为例[J].遥感技术与应用,2009,24(3):346~351.
- [64] Sadeghi R, Zarkami R, Sabetraftar K, et al. Use of support vector machines (SVMs) to predict distribution of an invasive water fern *Azolla filiculoides* (Lam.) in Anzali wetland, southern Caspian Sea, Iran [J]. Ecological Modelling, 2012, 244: 117-126.
- [65] 臧淑英,张策,张丽娟,等.遗传算法优化的支持向量机湿地遥感分类——以洪河国家级自然保护区为例[J].地理科学,2012,32(4):434~441.
- [66] 姚云军,张泽勋,秦其明,等.基于支持向量机的遥感影像湿地信息提取研究[J].计算机应用研究,2008,25(4):989~990.
- [67] Salem F, Kafatos M, El-Ghazawi T, et al. Hyperspectral image assessment of oil-contaminated wetland [J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(4): 811-821.
- [68] 周德民,宫辉力,胡金明,等.中国湿地卫星遥感的应用研究[J].遥感技术与应用,2006,21(6):577~583.
- [69] 潘辉,罗彩莲,谭芳林.3S技术在湿地研究中的应用[J].湿地科学,2006,4(1):75~80.
- [70] 丁志,刘培君,张琳.波斯腾湖芦苇光谱特性及其在芦苇资源考察中的应用[J].干旱区研究,1984,(1):64~70.
- [71] 方全兴,孙振华.上海市湿地资源调查中的遥感技术应用[J].国土资源遥感,2001,(3):25~29.
- [72] 谭继强,孙丽梅.基于SPOT5遥感影像的湿地资源调查方法研究[J].测绘与空间地理信息,2007,30(1):19~22.
- [73] 赵玉灵,张亚琳,聂洪峰,等.中国东部重要经济区带湿地遥感调查与演变分析[J].国土资源遥感,2010,(S1):163~168.
- [74] Pengra B W, Johnston C A, Loveland T R. Mapping an invasive plant, *Phragmites australis*, in coastal wetlands using the EO-1 Hyperion hyperspectral sensor [J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 108(1): 74-81.
- [75] Lee T M, Yeh H C. Applying remote sensing techniques to monitor shifting wetland vegetation: A case study of Danshui River estuary mangrove communities, Taiwan [J]. Ecological Engineering, 2009, 35(4): 487-496.
- [76] 张志锋,赵文吉,贾萍,等.北京湿地分析与监测[J].地球信息科学,2004,6(1):53~57.
- [77] 周昕薇,宫辉力,赵文吉,等.北京地区湿地资源动态监测与分析[J].地理学报,2006,61(6):654~662.
- [78] 孙永军.黄河流域湿地遥感动态监测研究[D].北京:北京大学论文,2008.
- [79] Lang M W, Kasischke E S, Prince S D, et al. Assessment of C-band synthetic aperture radar data for mapping and monitoring Coastal Plain forested wetlands in the Mid-Atlantic Region, U.S.A [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(11): 4120-4130.
- [80] Davranche A, Lefebvre G, Poulin B. Wetland monitoring using classification trees and SPOT-5 seasonal time series [J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(3): 552-562.
- [81] 张树清,张柏,汪爱华.三江平原湿地消长与区域气候变化关系研究[J].地球科学进展,2001,16(6):836~841.
- [82] 王树功,黎夏,周永章.湿地植被生物量测算方法研究进展[J].地理与地理信息科学,2004,20(5):104~109.
- [83] Moreau S, Bosseno R, Gu X F, et al. Assessing the biomass dynamics of Andean bofedal and totora high-protein wetland grasses from NOAA/AVHRR [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 85(4): 516-529.
- [84] 童庆禧,郑兰芬,王晋年,等.湿地植被成象光谱遥感研究[J].遥感学报,1997,(1):50~57.
- [85] 李仁东,刘纪远.应用Landsat ETM数据估算鄱阳湖湿生植被生物量[J].地理学报,2001,56(5):531~539.
- [86] 王一涵,周德民,孙永华.RS和GIS支持的洪河地区湿地生态健康评价[J].生态学报,2011,31(13):3590~3600.
- [87] 杜为静,李淑敏,李红,等.汉石桥湿地水质参数光谱分析与遥感反演[J].光谱学与光谱分析,2010,30(3):757~761.
- [88] 吕恒,李新国,曹凯.基于BP神经网络模型的太湖悬浮物浓度遥感定量提取研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2006,31(8):683~686.
- [89] 张兵,申茜,李俊生,等.太湖水体3种典型水质参数的高光谱遥感反演[J].湖泊科学,2009,21(2):182~192.
- [90] 张囡囡,臧淑英.扎龙湿地克钦湖富营养化状态的高光谱遥感评价[J].地理科学,2012,32(2):232~237.

Application of Remote Sensing Technology to Wetland Research

ZHANG Shu-wen¹, YAN Feng-qin^{1,2}, YU Ling-xue^{1,2}, BU Kun¹, YANG Jiu-chun¹, CHANG Li-ping¹

(1. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130012, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)*

Abstract: Wetland is one of the most important ecosystems, and it has high social benefit, economic benefit and scientific research value. However, wetland resources are taking on a heavy pressure because of various natural and anthropogenic factors. The degradation of the wetland quality and quantity has aroused widespread concerns. To conserve and manage wetland resources, it is important to monitor wetlands and their adjacent uplands. Satellite remote sensing has several advantages, such as saving time and labor, multi-temporal, multi-platform, containing large amount of information and so on, for monitoring wetland resources, especially for large geographic areas. This review summarizes the literature on satellite remote sensing of wetlands, including the data source of remote sensing images used in wetland study, remote sensing classification methods of wetland, the survey of wetland, wetlands ecology and the survey of wetlands environment. Nowadays, Landsat TM, Landsat MSS, and SPOT images are the major satellite images that have been used in wetlands research; Other images including NOAA AVHRR, IRS-1B LISS-II, MODIS images and radar images, and JERS-1, ERS-1 and RADARSAT images. Early work with satellite imagery used visual interpretation for classification, which is still used widely today. The most commonly used computer classification methods are unsupervised classification and supervised classification. It is difficult to make great progress on improving the accuracy of remote sensing classification because of “the same things with different spectrums” and “different things with the same spectrums”. However, the appearance of some new algorithms (decision tree, support vector machine, BP neural network) as well as the use of ancillary data (soil data, elevation or topography data) improve the satellite remote sensing classification of wetlands to some extent. Also the integrated use of multiple classifications becomes a new trend, which can also increase the accuracy of the satellite remote sensing classification to some extent. Remote sensing is also used widely in the surveying of wetland resources, estimating vegetation biomass of wetland, assessing wetland ecosystem health and so on, which can save time and labor greatly. At the same time, this paper points out five shortcomings existed in wetland research by remote sensing technology and prospects its future development from six aspects.

Key words: wetland; remote sensing; RS image