

湿地生态系统雷达遥感监测研究进展

王莉雯^{1,2,3}, 卫亚星^{1,2,3}

(1. 辽宁师范大学自然地理与空间信息科学辽宁省重点实验室, 大连 116029;

2. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 大连 116029; 3. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029)

摘要:湿地是地球上最具生产力和最富生物多样性的生态系统之一。湿地具有很高的资源价值、经济价值、环境效益和多种生态功能。湿地研究已成为当前地理科学、环境科学和生态科学等多学科交叉研究的一个热门领域。目前国内外在对湿地研究过程中,采用遥感技术的关注焦点已逐渐从光学遥感转移到雷达遥感上。采用雷达遥感数据监测湿地的研究,经过了20~30年的研究历程,虽取得了一定的研究成果,但是面对复杂性较为突出的湿地生态系统来说,仍有诸多问题需要深入研究。本文从雷达遥感系统的主要参数波长、极化、入射角,以及湿地雷达遥感监测的主要相关专题时相、环境影响和采用的分析技术方面,回顾了国内外主要地理科学文献上发表的相关研究成果,并总结分析了研究结论和研究发展趋势。

关键词:湿地; 雷达遥感; 雷达参数

无论是从区域还是全球生态系统资源管理项目来说,湿地都是其关注的主要生态组成部分和核心要素。湿地在防控洪水、减缓干旱、提供动植物群落的生长环境、维持和净化水质、保水蓄水、防止侵蚀、减少灾害损害等诸多方面具有不可替代的生态、经济和社会价值。同时,湿地区域是主要的甲烷产生地,植物同化吸收的碳素远远超过其分解过程释放的碳素,因此被认为是重要的“碳汇”,对于区域和全球气候变化具有重要的调节作用。根据世界资源组织的评估,湿地能够为15~30亿人补给可再生的新鲜饮用水,降低硝酸盐浓度最多可达80%,每年与湿地相关的渔业对世界总生产力的贡献约为2400亿元,具有重要的经济价值。另一方面,湿地的破坏及损失日益严重。1950-2005年,伊拉克南部美索不达米亚地区的湿地面积已从2万多km²减少至不足400 km²。在过去的几十年期间,世界红树林的总面积已减少了54%。因净水的流失,河口沉积速率提高了1/5。欧洲和北美的湿地已有60%转为农业用地^[1-2]。

面对土地利用转变和发展的持续压力,对湿地生态系统的监测研究日益突显其重要性。在较短的时间内完成大面积湿地的资源现状调查、动态监测等研究工作,这对于多分布于偏远地区或交通不

便地方的湿地来说,利用覆盖范围小、费时、费力的传统野外调查方法难以实现。而遥感技术所具有的观测范围广、信息量大、信息量化、数据更新快、多时相、多平台、历史资料丰富、可对比性强等有利于湿地的相关研究。

目前国内外在对湿地研究过程中,将所采用遥感技术的关注焦点已逐渐从光学遥感转移到雷达遥感上。雷达遥感使用了电磁波谱的微波波段(1 m~1 mm),能够提供可见光和红外波段之外的更多信息。雷达成像不依赖光照,而是靠自己发射的微波,能穿透云、雨、雪和烟雾,具有全天时、全天候成像能力,这是雷达遥感最突出的优势。尤其在多云多雨地区,很难获得较高质量的光学遥感图像,雷达成像是唯一能够不受气候影响连续提供数据的传感器。雷达后向散射对成像表面的介电特性(土壤湿度、植被含水量)和几何特征(表面粗糙度)较为敏感。另外,微波对地物具有一定的穿透能力,雷达遥感还能突出反映地表地物的纹理信息。所以雷达遥感非常适合对湿地识别、信息提取与监测研究^[3]。

最早采用雷达遥感技术研究湿地生态系统参考文献出现在20世纪60年代末70年代初^[4]。其后,随着SEASAT、ERS、JERS-1、Radarsat、Envisat、

收稿日期:2011-01; 修订日期:2011-04。

基金项目:辽宁省教育厅科学研究一般项目(L2010226);教育部人文社会科学研究青年基金项目(10YJCZH156);教育部人文社会科学重点研究基地项目(08JJD790142);辽宁省教育厅创新团队项目(2007T095)。

作者简介:王莉雯,女,博士,讲师,研究领域是遥感和地理信息系统应用。E-mail: wlw9585@163.com

1107-1117页

ALOS、TerraSAR-X等装载雷达遥感系统卫星的成功发射,SIR-A、SIR-B、SIR-C/X-SAR、SRTM等装载在航天飞机上雷达系统的稳步发展,以及AIR-SAR、EMISAR、E-SAR等机载雷达系统的成功应用,研究人员发表了大量有关湿地——雷达数据相关关系和监测参数(包括波长、极化、入射角、时相和环境影响)研究的学术论文。中国在湿地生态系统雷达遥感系统监测方面的相关研究比较少,需要借鉴国外有关研究成果,促进以有效监测与合理保护湿地为目的的湿地雷达遥感监测及其相关研究的稳步发展。本文着眼于雷达遥感系统的主要参数——波长、极化、入射角,以及湿地雷达遥感监测的主要相关专题——时相、环境影响和采用的分析技术方面,回顾了国内外主要地理科学文献上发表的相关研究成果,得出研究结论并提出未来研究的发展趋势。

1 波长

雷达波的穿透能力随波长而异,回波信号中是否包括体散射和多次散射的效应,也依穿透的程度而定。波长也决定了雷达系统对表面粗糙度的敏感度。因此波长是雷达系统的主要参数。绝大部分遥感雷达采用0.5~75 cm的微波频段,最常用的波段包括X波段(2.4~3.75 cm)、C波段(3.75~7.5 cm)、S波段(7.5~15 cm)、L波段(15~30 cm)和P波段(30~100 cm)。主要雷达遥感系统的工作波段分别是:SEASAT(L波段)、SIR-A(L波段)、SIR-B(L波段)、ERS(C波段)、SIR-C/X-SAR(C、L、X波段)、JERS-1(L波段)、Radarsat(C波段)、Envisat(C波段)、AIRSAR(C、L、P波段)。

大多数研究认为采用L波段适于研究以林地为主的湿地,而C波段更适于以草本植物为主的湿地监测^[1,3]。这类观点在早期研究结论中较为常见。在20世纪70-80年代,文献中的湿地研究多以美国东南部的森林湿地为研究对象,采用了合成孔径雷达(SAR)的L波段,与覆盖美国大西洋海岸带的光学遥感图像相结合,研究精度最高可达93%,分类误差多来源于农业耕地和城市用地,但主要的问题存在于森林湿地和草本湿地的混淆。这一时期可利用的星载雷达数据主要为SEASAT(1978年发射)、SIR-A(1981年发射)和SIR-B(1984年发射),所以对雷达图像的分析主要使用了L波段。L波段

较长的波长可以穿透树木冠层,相对于短波能够得到增强的后向散射回波。也有研究显示X波段图像在莎草、芦苇和草本类湿地地区的后向散射系数值较高,在森林湿地地区的后向散射系数值较低,而L波段的研究结果恰恰相反^[4]。Hess等^[5]总结出使用L波段雷达图像能够有效地区分森林湿地、非森林湿地、草本类湿地(后向散射系数值存在3~10 dB的差异)。Yatabe等^[6]在安大略湖东部森林湿地对比了从JERS-1、ALMAZ和ERS影像中辨别砍伐地带的的能力。研究结果表明,L波段JERS-1提供的图像比短波长的ALMAZ和ERS提供的图像上森林湿地的后向散射系数值高,S波段ALMAZ图像上的森林湿地后向散射系数值低于L波段的值,而C波段ERS提供的图像不能从森林湿地中区分出砍伐地带。Durden等^[6]采用AIRSAR提供的覆盖西伯利亚针叶林地带的L波段和C波段影像,对两个波段图像分类后得到的4种覆盖类型(包括低平湿地、泥炭湿地、林地、水体)进行了对比研究。其中,低平湿地主要由莎草等草本类型的草地构成,而泥炭湿地由黑色云杉和间生草丛的灌丛湿地组成。研究结果显示,低平湿地出现二次反射回波现象,但是在C波段图像上低平湿地、泥炭湿地、林地的后向散射系数值相近;而在L波段图像上低平湿地的后向散射系数值低于林地和泥炭湿地的值,高于水体的值。另外,L波段极化和非极化图像分类后的总体精度接近(78%~81%),但二者都混淆了林地和泥炭湿地。在C波段图像上,林地与泥炭湿地之间、低平湿地与泥炭湿地之间都发生了混淆现象。Wang等^[7]研究了全极化AIRSAR在C波段、L波段和P波段提供的美国乔治亚地区森林湿地图像,将图像分解为单反射、二次反射和交叉极化后向散射3种后向散射类型。森林湿地二次反射回波的强度随波长的增长(从C波段到L波段再到P波段)而增强,交叉散射回波的强度随波长的增长(从C波段到L波段再到P波段)而降低。Ramsey^[8]分析了有关低矮草本湿地的研究工作,提出X和C波段是研究草本湿地较好的选择,但随着冠层覆盖密度和LAI的增大,这两个波段雷达影像对草本湿地的监测能力随之下降。对于较高的草本湿地,在X和C波段的雷达回波主要来源于体散射;对于低矮的草本湿地,二次反射是主要的来源。

21世纪初,相当数量的研究关注于采用Radarsat或JERS雷达影像监测南美和北美的湿地生态系

统。Novo等^[9]使用覆盖巴西 Tucuruí 水库地区的 L-HH JERS-1 和 C-HH Radarsat 图像,研究了雷达后向散射系数与该地区大型植物 5 项生理参数之间的关系。结果表明,C 波段对叶面形状更为敏感,而 L 波段是监测地上生物量和植被高度的首选。C 波段对植被高度的变化反应不敏感。另外,建议 C 和 L 波段数据结合使用,有利于 *Eichhornia*、*Typha* 和 *Scirpus* 这 3 种植被的准确制图。Costa^[10]采用 L 工作波段、较小入射角的 JERS-1 雷达遥感系统提供的图像,研究了亚马逊河流域森林湿地的水位与雷达后向散射系数(σ^0)之间的关系。与 C 波段的一景图像相比,在 L 波段的一景图像中对应水位的变化(最低水位与最高水位之间),雷达后向散射系数变化的值域也较宽。研究得出结论,较长波长的 L 波段对植被的几何形状更为敏感,L 波段后向散射系数值更高。这归结于 L 波段具有较强的穿透能力,易形成二次反射回波。Wdowinski 等^[11]对 JERS-1 获取的覆盖美国佛罗里达南部湿地地区的 L 波段 SAR 图像进行干涉测量处理,将获得的 InSAR 数据用来监测湿地水位的变化。研究表明,L 波段 SAR 数据对大多数湿地类型的水位变化监测都是很有有效的。

目前大多数研究也支持早期的研究结论,认为 C 波段雷达遥感数据适用于少叶和低生物量植被组成的湿地。在个别研究中,C 波段雷达数据在一些林地湿地的应用结果也较为令人满意。但是无论使用 L 波段还是 C 波段雷达遥感数据都需要区分林地湿地、草地湿地和其他土地覆盖类型。总之,采用多种波长雷达遥感数据相结合,对湿地制图研究的一致性保证和精度提高都是十分必要的。尽管较长波长是监测湿地生态系统的首选,但是仍需要研究其他波长探测湿地的特性。

2 极化

极化是指电磁波中电场向量的方向。雷达系统天线可以设置成发射和接收水平或垂直极化的电磁辐射。同极化是指发射波和接收波的极化在同样的方向,如 HH 和 VV;交叉极化是指发射波的极化和接收的电磁辐射相互垂直,如 HV 和 VH。雷达的极化方式不同时,地物的回波响应不同。因此,掌握各种极化方式下各种湿地类型的回波特点,对于湿地识别和信息提取是十分重要的。目前

主要雷达遥感系统的极化方式为:SEASAT(HH 极化)、SIR-A(HH 极化)、SIR-B(HH 极化)、ERS(VV 极化)、SIR-C/X-SAR(SIR-C 全极化、X-SAR VV 极化)、JERS-1(HH 极化)、Radarsat-1(HH 极化)、Radarsat-2(全极化)、Envisat-1(多极化)、AIRSAR(全极化)。为了节约,早期雷达系统的设计通常仅具有一种极化,如 HH 或 VV。目前雷达系统倾向于拥有全极化,这将有利于湿地生态系统研究工作的全面展开。

雷达极化是在 20 世纪 70-80 年代作为一种技术手段引入湿地监测研究中。利用极化可以计算每一个像元的散射矩阵,散射矩阵是由接收到的垂直和水平极化的相位和幅度构成,这一点对深入研究目标表面的电磁散射特性很具有吸引力。一些研究发现森林湿地和密集高山森林的 H 和 V 极化方式的相位存在较大的差异,森林的后向散射系数值较大,而湿地的值较小,这说明由于极化发生改变湿地散射波变化较大^[12]。Hess 等^[13]认为该研究结论证明了森林湿地后向散射的增强是由于树干、树枝和水面之间形成了角反射而引起了多重回波。他们的研究结论还包括:同极化方式(HH 或 VV)雷达影像能够将淹没森林从非淹没森林中区分出来,并且比交叉极化方式更能显示出森林湿地与非淹没森林的强烈对比。Rignot 等^[13]发现 C 波段和 L 波段的 HH 和 VV 极化方式间都存在较大相位差异,这有助于识别和描绘森林湿地的轮廓。Pope 等^[14]采用 SIR-C 的两种同极化雷达数据,对尤卡坦半岛的灯芯草、芒草和香蒲 3 种湿地类型进行了研究。研究表明,C-HH 雷达图像对分类芒草湿地和香蒲湿地达到较高的精度,而 C-VV 图像能较好地监测香蒲湿地和低密度湿地。Ramsey^[8]提出同极化方式下雷达后向散射在水淹没条件下有所增强,而在交叉极化方式下不会出现此种现象。Ramsey 等^[15]使用了 L 波段机载 SAR 数据,他们发现随着焚毁的草本类湿地的恢复性再次生长,HH 和 VH 极化回波强度增强了,而最初高强度的 VV 极化回波减弱了。因此,基于这种相关性,可以采用 VH 极化数据来监测焚毁湿地的再生过程。Baghdadi 等^[16]采用生长季 3 个时间点获取的 C 波段机载 SAR 数据,通过决策树分类,将安大略湖湿地地区分为 6 种土地覆盖类型。研究结论包括:只有 HV 极化数据能够区分森林泥炭湿地、非森林泥炭湿地和森林 3 种覆盖类型;HV 极化数据能够产生最好的总体分类;

HH极化数据最易将水陆过渡地带湿地从其他土地覆盖类型中划分出来;多极化数据是湿地土地覆盖类型分类的必要数据。Grings等^[17]结合使用了13期ERS-2数据(从1999年6月5日至2000年12月14日)、1期Radarsat数据(2000年12月11日)和1期Envisat数据(2003年11月20日),研究了阿根廷Parana河三角洲地区草本类湿地的时相变化,研究结论包括:*junco*草湿地在HH和VV极化方式下雷达后向散射系数值差异显著;随着*junco*植被的生长,极化比(HH/VV)出现响应变化;VV极化数据对植被密度较为敏感;多极化数据比单极化数据能够提供更多的*junco*草湿地信息;当*junco*草生长到刚露出水面时,HH极化响应低于VV极化响应,但随着*junco*草的继续生长,*junco*草外形呈近圆柱形,HH极化响应高于VV极化响应,这主要由于圆柱形的外形结构使得*junco*草湿地在水淹没状态下增加了二次反射现象的发生。Henry等^[18]研究了使用多极化雷达数据对德国易北河流域湿地进行快速制图的方法。研究以TM解译结果作为精度参考,分别分析了具有相似入射角的ERS-2数据以及HH和交替极化模式的Envisat数据。结果显示,在湿地范围划界上HH极化数据优于HV和VV极化数据,但HV极化数据能够为湿地监测提供重要的信息,HH和HV极化数据的结合使用可以用于湿地快速制图。廖静娟等^[19]以鄱阳湖湿地为例,基于多极化Envisat ASAR数据,将变化向量分析方法引入地表淹没状况的变化检测中,分析了鄱阳湖湿地地表淹没状况的动态变化,然后利用决策树分类方法将变化区域提取出来。研究显示,同极化数据比交叉极化数据具有更大的动态范围。在两期数据中,HH极化数据出现了明显的双峰现象,这说明HH极化更容易把水和其他地物区分开来。Kim等^[20]将InSAR数据与雷达高度计测量数据结合使用,监测美国路易斯安那海岸带季节性森林湿地的水位变化。研究通过对InSAR提供的复图像对的相干性分析,认为HH极化是这类观测的首选极化方式,极化分析有助于识别湿地中二次反射区域。

从对湿地监测采用的雷达遥感数据极化方式的分析总结来看,研究中多采用交叉极化方式,HH极化方式雷达数据的使用多于VV极化方式。一般来说,垂直极化波与植被的垂直结构存在相互作用,水平极化波对下层土壤层有更大的穿透力,交叉极化对目标的体积敏感,可能对横向排列效果不

太敏感。多极化雷达影像经常好于或等同于多时相遥感数据的湿地研究结果。多极化雷达数据的融合使用优于单极化雷达数据的湿地监测。

3 入射角

入射角是指雷达照射方向与地面法线之间的角度。雷达波束对地物的不同照射方向,会产生不同的回波效果。分析多角度雷达影像,可以获得湿地的更多信息,这对湿地的定性和定量识别是十分有利的。主要雷达遥感系统的入射角分别为:SEASAT(23°)、SIR-A(50°)、SIR-B(15°~60°)、ERS(23°)、SIR-C/X-SAR(15°~50°)、JERS-1(35°)、Radarsat(10°~59°)、Envisat-1(15°~45°)、AIRSAR(20°~60°)。

Hess等^[1]检索了1971-1999年发表的有关森林湿地监测研究的34篇文章,总结了入射角的影响因素主要包括森林类型、立木结构和冠层组成。他们认为小入射角的雷达照射波易于穿透湿地树木的冠层,而产生二次反射回波。而且,他们建议采用多角度雷达影像来促进湿地森林结构差异的区分。Kasischke等^[2]通过分析得出,小入射角的ERS C-VV雷达遥感系统发出的照射波,能使草本湿地的植被产生另外的向前散射波,从而植被产生的散射回波低于植被下方湿润土壤产生的散射回波。Novo等^[21]选用覆盖南美洲亚马逊河流域的标准模式(S1≈23.3°,S5≈39°,S6≈43.5°)的Radarsat影像,研究了雷达波束入射角和该流域大型植物5项生理参数(包括湿重、干重、含水量、高度、盖度)之间的变化关系。研究结果显示,S5模式图像对湿重、干重、含水量最为敏感。后向散射系数最大值出现在S1模式图像上,但随着重量、含水量的增加,后向散射系数值减小。Kandus等^[22]使用了多时相、多入射角雷达遥感监测方案,采用冬季和夏季S1、S4和S6模式的Radarsat图像,对阿根廷地区的柳树、白杨、灯心草等湿地进行了研究,发现入射角的增加伴随着雷达回波强度的降低。他们建议使用小入射角雷达影像监测湿地,使用大入射角雷达影像勾勒出水体与陆地的交接界面。Toyra等^[23]采用Radarsat(S1、S2和S7模式)数据的研究显示,大入射角影像可以识别水体。这主要因为在小入射角图像上,波浪的高强度回波会产生混淆。但小入射角图像可以识别淹没的柳树林和浓密的草本湿地。Megan等^[24]选用不同入射角的(23.5°、27.5°、33.5°、

39.0°、43.5°、47.0°)C-HH Radarsat-1 数据,分别在落叶和有叶季节对美国东海岸森林湿地进行监测,研究入射角的变化对监测不同森林湿地类型的影响。研究结果显示,在有叶季节对湿地的监测能力随雷达数据的入射角而变化,而在落叶季节森林类型有很大的影响。总体来说,森林湿地的后向散射系数值随入射角的增加而减小,但湿地与非湿地的区别不随入射角的增加而显著降低。Belen 等^[25]采用 43 景 Envisat ASAR 图像(大多数图像为 HH 和 VV 极化),研究西班牙西南地区 Doñana 国家公园湿地在一年水文周期内洪水淹没范围的变化。研究表明,中等入射角(ASAR IS3 和 IS4)的影像最适宜用来区分湿地最深区域处的水体和表面平滑的裸露土壤;小到中等之间的入射角(ASAR IS1 ~ IS4)影像适宜对地势最高处的草场湿地区域制图;在中等地势区域生长着大型沼生植被,大入射角(ASAR IS6 和 IS7)影像能够以较高的精度进行该区域的湿地制图。

大多数研究表明,选择小入射角有利于对湿地的监测研究,这是因为小入射角可以导致较强的雷达回波。在某些条件下,尤其是在较高空间分辨率条件下,大入射角不能获取可用的雷达影像。另外,多角度雷达数据的融合并不总是能提高监测湿地的精度(如呈现粗糙表面的热带雨林)。但是,当监测距离逐步缩短而发生镜面反射时,变化越复杂,需要采用多角度雷达数据融合技术来提供更多的湿地信息。

4 时相

选用多时相遥感影像研究具有时间变化特征的地物,是遥感应应用研究常采用的技术手段。因此,选择合适时相序列的雷达图像,利用与天气、水文、物候对应的湿地变化特征,能够提供更多的湿地监测信息。

Ramsey^[26]选用覆盖美国佛罗里达地区的多景不同时相 ERS C-VV 图像,研究了监测海岸带湿地水位季相变化的可能性,研究结论证实了反演湿地生物量和土壤湿度的雷达后向散射模型的正确性。Wang 等^[27]采用多期 ERS 图像监测安大略湖西部的香蒲、芦苇、季节性林木湿地。植被生长最好时期的单期雷达图像的湿地分类精度为 51%,而多期 ERS 图像的湿地分类精度提高至 85%。但是,研

究也发现当超过 5 期 ERS 图像时湿地分类精度开始下降。Costa^[10]采用了 1996-1999 年期间的 5 个时相的 Radarsat 数据和 4 个时相的 JERS-1 数据,并结合地面实测数据,研究了南美洲亚马逊河流域泛滥平原的林地和水生植被。所选用的 Radarsat 和 JERS-1 数据具有相同的极化方式和空间分辨率,但图像的获取日期、波长和入射角(Radarsat 为 43°, JERS-1 为 35°)不同。Racine 等^[28]分别采用多时相精细模式和标准模式 Radarsat 数据对加拿大泥炭湿地进行了分类,并对比了这两种模式数据的分类精度,而且研究了泥炭湿地水文条件对雷达后向散射系数的影响。Costa 等^[29]使用了 2001 年 8 月的两期 Radarsat-1 图像和 1993 年 7 月的一期 JERS-1 图像,利用雷达后向散射与不同盐度湖中水生植被群落的强相关关系,将巴西西南部 Pantanal 地区的湖泊分为淡水湖、盐水与淡水混合湖和盐水湖 3 类,研究表明了采用多时相雷达遥感数据监测生态系统的可行性和必要性。Megan 等^[30]的研究表明了可以采用由 ERS-2 和 Envisat 提供的多时相 C 波段 SAR 数据(HH 和 VV 极化),对美国中部大西洋海岸带森林湿地进行制图,并能够监测湿地的水文周期。研究采用主成分分析法将多时相 SAR 数据集的有用信息集中到少量新变量中,结果发现第一主成分变量与湿地淹没面积和土壤湿度之间存在正线性相关关系。

研究表明,尽管单时相、单极化雷达数据在多数研究中都不够充分,但是随着多时相雷达数据加入研究,只能在某个范围内提高湿地监测的精度,当超出某个阈值时更多时相雷达数据的加入对精度的提高就没有作用了,甚至会降低研究精度。雷达数据的最优时相数目还不能确定。因此,选择适当时相数目的雷达影像与其获取数量同样重要。

5 环境影响

环境影响对于湿地生态系统雷达遥感监测的作用体现在多个方面:湿度的存在增强了湿地表面的复介电常数,介电常数影响湿地吸收、反射、透射微波能量的能力。因此由降水等引发的湿度变化,会对雷达后向散射产生影响;湿地植被的含水量可以改变其介电特性,导致其在不同时间在雷达图像上有不同的表现;湿地植被的结构、几何特性、排列形态、分布密度、混合比例等,及由此产生的二次反

射等现象,会影响对监测目标几何特性反应敏感的雷达影像;地形起伏影响雷达后向散射,要考虑雷达透视收缩、阴影等因素对雷达图像的影响;风可能影响湿地表面粗糙度,特别对于湿地表面覆水区域;土壤湿度和表面粗糙度对湿地制图的影响。

Crevier 等^[31]采用 12 期 ERS-1 图像对加拿大渥太华地区的湿地监测研究表明,环境条件会对雷达后向散射产生影响。湿地回波在冬季对霜冻比对降水引起的湿度变化更为敏感。7-10 月,湿地回波较为稳定,并且与林地回波类似。但在 11 月落叶条件下,湿地回波强度明显增强。研究结果表明秋季是雷达遥感监测湿地的最佳时间。Ramsey^[8]对 1991-1997 年多篇文献做了总结,认为冠层密度、植被种类形态的差异、水分含量会对雷达散射回波产生影响。另外,提出水淹没的环境有利于永久性湿地森林的雷达遥感监测,如果是季节性、间歇性的洪泛,除非能够掌握洪泛周期,否则此种环境会妨碍湿地的监测研究。Costa^[10]的研究显示,季节性洪水泛滥区域的雷达后向散射系数值(σ^0)变化显著。在淹没条件下, σ^0 随湿地树木的落叶程度而变化。减少的树木冠层允许更多雷达波束的穿过,导致二次反射回波的增多,雷达后向散射强度随之增强了。另外,雷达波束与湿地植被在表层水影响下的交互作用,产生了镜面散射、体散射、二次散射,而且雷达回波中各散射类型所占的比率随湿地水位的高度而变化。Kiage 等^[32]使用 3 期 Radarsat-1 影像(入射角 29°~38°)研究了与飓风有关的美国路易斯安那海岸带的洪水泛滥湿地。研究显示雷达后向散射模式的差异与微小的高程差异和随高程变化的植被有关,因此熟知的植被类型有助于监测湿地的间歇性变化。Grings 等^[33]采用多时相 Envisat ASAR 数据研究了阿根廷 parana 河三角洲两种植被类型湿地的水位变化。研究中发现,两种植被类型湿地的后向散射系数值出现较大的变化,这与水位、植被冠层的几何结构、植被的空间排列形态、植被含水量等的变化密切相关,但与风向、风力、植被盐分含量等相关性较差。在模拟湿地后向散射系数值的模型中,确定了各主要环境影响因子的权重。Eric 等^[34]采用 ERS 提供的 C 波段 SAR 数据研究了美国阿拉斯加地区湿地的后向散射对土壤湿度和表面淹没状态的响应变化。研究结果显示,草本类型湿地的后向散射与土壤湿度呈现正相关;当湿地表层水深超过 6 cm 时,非森林湿地的后向散射

与水深负相关;森林湿地的后向散射与土壤湿度不相关。

大量的研究表明,环境的特征和复杂性在湿地监测中具有重要的作用。土地覆盖类型构成简单且形态对比强烈的环境下,大面积相对同质性的湿地较易精确制图。简单环境条件下,或者能够简化环境影响的条件下(如可以掩膜非湿地的已知土地覆盖类型),更易实现湿地的识别与分类。随着土地覆盖类型混合复杂性的增加及地块面积的减小,湿地研究的精确性降低。简单分类的湿地制图比需要划分出物种类型的湿地制图更容易完成。但是,识别混淆的发生更易出现在构成湿地的物种类型之间,而不是在湿地与其他土地覆盖类型之间。

雷达影像的最优获取时间与湿地研究区面积和环境影响特征有关。洪水泛滥区域制图和其季相变化制图也是近年来研究的热点问题,这方面的研究无疑借鉴了湿地监测的研究成果。也就是说,湿地雷达遥感监测研究能够确定湿地表面水层的覆盖范围,研究对象无论是林地湿地还是以草本植物为主的湿地,或者对于湿地植被有叶或无叶的生长情况。湿地表面水层作为雷达数据研究湿地的主要环境影响因素,需要选用最适宜的波长来监测湿地表面水层的淹没范围。

雷达遥感数据湿地制图的一致性和准确性问题,主要来源于人为确认的湿地覆盖类型与基于遥感影像的湿地覆盖类型分类之间的不一致。林地湿地覆盖类型的组成相对来说较为简单,但其分类类型(如分类类型是淹没状态的林地湿地还是水体;冠层郁闭度是 1%、30%还是 60%)的确定仍存在一定的变化。

6 分析技术

雷达图像常采用以 dB 为单位的后向散射系数为数量指标进行定量分析。不同湿地监测研究在不同环境影响条件下,采用不同的定量分析技术得出了不同的研究结论。湿地生态系统雷达遥感监测分析技术成功运用的主要影响因素包括:①传感器特性(波长、极化方式和入射角);②制图标准(最小制图单位和确定的分类系统);③环境特点(调节作用)。在采用滤波器减少斑点影响,以及对雷达图像进行定量或可视化分析时,仍需要考虑上述因素。雷达图像传统的分类方法主要包括监督分类、

神经网络分类、先验知识和专家系统分类、散射指数分类、分层分类等,这些分类方法在湿地雷达监测研究中已尝试使用。为了取得理想的湿地监测研究结果,需要根据影响因素的特点,选取适当的雷达图像定量分析技术。

Hess等^[1]认为早期以美国东南部的森林湿地为主要研究对象的研究,由于湿地表层水面的粗糙度和介电特性比较均一,许多森林湿地的物种类型也较为单一,所以模拟雷达影像与湿地植被交互作用的模型也较为简单,缺少综合考虑物种多样性和冠层结构的湿地雷达遥感研究模型的发展。郭华东等^[2]介绍了ERS-1(欧洲资源卫星1号)WSC(风散射计)的数据结构,描述了全球雷达后向散射系数图的成图方法,并定量分析了全球典型地物湿地等的雷达后向散射系数值的分布特征。

20世纪90年代末,雷达信号与湿地之间相互作用的研究出现了新的研究点,即甲烷源与汇的研究。因为湿地被认为是世界最大的大气中甲烷的天然来源,因此监测湿地的空间和季相变化将有助于模拟全球的甲烷交换。Morrissey等^[3]通过对北极草本类植物苔原的研究,发现ERS C-VV后向散射数据能记录不同的水文条件:干燥苔原产生低的散射信号;被水淹没的苔原产生了高强度的散射回波;表层湿润的苔原产生中等强度的散射回波。

另外,ERS C-VV图像能有效区分湿地与非湿地覆盖类型,后向散射强度随叶面积指数(LAI)的增大而增强。他们对在第二个研究地点西伯利亚针叶林地带获取的C波段VV极化方式的AIRSAR机载雷达影像进行了分类研究,可以划分为高山林地、高大灌丛、湿地和水体等类型。总体分类精度为89%,其中灌丛的分类精度为67%,林地、湿地、水体、裸地的分类精度为100%。Durdin等^[4]基于AIRSAR提供的L波段和C波段影像,采用神经网络分类方法,继续深入Morrissey等的研究。Rosenqvist等^[5]采用长时间序列的JERS-1雷达数据,成功地在100 m分辨率尺度上模拟了巴西亚马逊河流域洪水泛滥的时空变化,这些模拟数据也成为估算该区域CH₄释放量模型的输入参数。

红树林是生长在热带、亚热带海岸潮间带的木本湿地植物群落,它被认为是世界上最具有净生产力的生态系统,因而受到广泛的关注。Ramsey^[6]认为L-HH雷达数据能将淹没的红树林从非淹没红树林中区分出来,这是因为淹没红树林的散射回波主

要来源于二次反射,而非淹没红树林的散射回波主要来源于体散射。监测红树林湿地的复杂性在于红树林独特的根系统,Ramsey认为在淹没的红树林中这种复杂程度降至最低。Walfir等^[8]使用1期精细模式的Radarsat-1数据和2期TM数据,采用选择性主成分分析方法,研究了亚马逊河沿岸红树林的树高、胸径、生长密度、根部面积、地上生物量等参数,发现这些结构参数大都相关。黎夏等^[9]根据雷达后向散射系数建立了红树林湿地植被生物量的估算模型,并运用遗传算法确定其中非线性模型的最优参数。Marc等^[10]采用ICESat/GLAS数据和地面实测数据对SRTM高程数据进行了校正,估算了加勒比海地区红树林的冠层高度,然后根据红树林冠层高度和生物量的经验公式,模拟了红树林的地上生物量。

定量分析技术的不断探索和合理运用一直是湿地生态系统雷达遥感监测研究的重点内容。Pope等^[11]采用覆盖亚马逊河流域的多极化C波段机载SAR图像(入射角38°~50°),分析了系数纹理变化和覆盖结构指数、体散射指数、生物量指数等生理指数的用途。Alsdorf等^[12]的研究显示,采用L-HH SIR-C干涉测量数据,能够将湿地水位测量的精度提高到厘米级。由于雷达波束的二次反射,森林湿地和淹没灌丛在35°入射角时能产生高强度的后向散射。Arzandeh等^[13]使用了精细模式的Radarsat数据,采用灰度共现矩阵纹理分析算法,将安大略湖南部地区分为包括香蒲湿地、季节性湿地、水陆过渡区湿地等土地覆盖类型在内的8个类别,总体分类精度达到71%。Kaya等^[14]使用SAR数据来分析肯尼亚疟疾风险区。他们首先采用面向对象分类器将多时相S7模式Radarsat图像分为干湿两季蚊子繁殖湿地、居民区、耕地和林地4类,然后将距离居民区一定范围之内的湿地确定为疟疾风险区。Shimabukuro等^[15]将覆盖亚马逊河流域相同区域的JERS-1和TM图像进行了多元回归分析,定量分析了遥感影像与不同土地覆盖类型的相关关系。Castañeda等^[16]采用上下文分类法对覆盖西班牙Monegros地区盐沼湿地的多时相SAR数据进行了分类制图。董磊等^[17]利用多极化Envisat ASAR数据,通过改进MIMICS模型模拟了湿地植被参数(植被高度、含水量、生物量等)和雷达后向散射系数之间的关系,建立了神经网络模型,从而模拟出鄱阳湖湿地植被的生物量分布情况。Hong等^[18]采用

所获取的湿地连续雷达干涉图,使用短时相基线集(STBAS)的InSAR技术,估算湿地的绝对水位值。

雷达数据之间或雷达数据和光学数据的融合比各自单独使用效果好,但是不存在最优的统一融合模式。Henderson等^[49]研究了ERS SAR数据与光学遥感数据TM融合用于海岸带湿地制图的方法,认为最佳的数据融合方法随湿地类型的变化而变化。Simard等^[50]将JERS和ERS雷达数据融合,用来识别加蓬地区的季节性林地湿地和红树林,采用了决策树分类方法。与ERS的61%分类精度和JERS的66%分类精度相比,融合后图像的分类精度提高到84%。Toyra等^[23]对Radarsat、Landsat(或SPOT)和Lidar数据进行了融合,生成了加拿大萨斯喀彻温省地区从1996-2001年的洪水泛滥区域图。刘凯等^[51]以珠海淇澳岛红树林区为例,使用SAR图像与TM图像,探讨了监督分类、非监督分类以及神经网络分类3种分类方法和IHS融合、小波融合以及主成分融合3种融合方法对红树林群落进行分类的效果。结果表明,对SAR与TM主成分融合图像应用神经网络分类方法能够取得最好的分类效果。Bwangoy等^[52]使用了TM和ETM+图像、JERS-1 L波段SAR图像、由SRTM DEM图像计算的水文地形指数,将这些数据作为分类回归树的输入参数,完成了刚果河流域湿地分布图的绘制。王庆等^[53]利用光学遥感中NDVI、RVI和DVI3种植被指数对生物量变化的敏感性,使用改进的MIMICS模型,对湿地植被各散射分量进行模拟分析,建立符合湿地植被类型的各散射分量模拟数据库。以Landsat TM和Envisat ASAR交替极化数据为基础,应用统计回归模型和半经验微波散射模型,进行了植被生物量的反演。研究表明,对于生物量动态范围较大的地区,采用光学和雷达遥感相结合可以有效地提高湿地植被生物量反演的精度,克服光学遥感探测植被垂直分布能力有限和雷达成像背景影响大的不足^[54]。

7 讨论

由上述的研究进展分析可知,采用雷达遥感数据监测湿地的研究,经过20-30年的研究历程,某些方面的研究得到了延续和加强,但是仍需要对许多方面进行深入研究。因此,当关于采用哪些波长或极化方式的一些趋势开始出现时,可以看到有更多

的研究感兴趣于季相变化和多时相遥感数据的融合。如果只采用单极化方式,多数研究选用了HH极化方式,但此时采用多时相数据集是必需的。一些观测结论似乎只适用于个别研究案例和局部环境特性。

新的研究趋势在不断发展。最新文献显示,多维雷达数据集在湿地识别、面积估算和环境条件分析中已开始使用。基于雷达遥感数据的湿地制图不再只局限于研究中。这些趋势无疑会加速雷达数据的实用性和多样性应用的稳步发展。区域尺度上的洪水泛滥地域制图现在几乎都是程序化实现了。雷达数据在环境监测中的使用,例如流行病区域制图、牧场管理、污染治理等,已出现并将继续发展为一种可接受的研究工具。同时,基于雷达遥感数据的系统参数和其他应用领域研究将不断扩展。

雷达遥感在保护脆弱湿地环境科学研究中具有重要的作用。几乎在任何天气条件下都能够以较高空间分辨率持续提供观测数据的能力,使得雷达遥感系统成为一种独特的地球资源监测技术手段。另外,雷达遥感可以提供土地覆盖类型表面及其下一定深度层的物理特性信息,这在电磁波谱的其他部分是不能获得的。随着多波段、多极化、多角度雷达遥感系统的发展,雷达系统的信息价值将会不断提高。

参考文献

- [1] Hess L, Melack J, Simonett D. Radar detection of flooding beneath the forest canopy: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, 11(7): 1313-1325.
- [2] Henderson F M, Lewis A J. Radar detection of wetland ecosystems: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(20): 5809-5835.
- [3] Kasischke E, Melack J, Dobson M. The use of imaging radars for ecological applications: A review. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 59(2): 141-156.
- [4] Waite W, Macdonald H. Vegetation penetration with K-band imaging radars. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1971, 9(3): 147-155.
- [5] Yatabe S, Leckie D. Clearcut and forest-type discrimination in satellite SAR imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1995, 21(4): 455-467.
- [6] Durden S, Haddad Z, Morrissey L, et al. Classification of radar imagery over boreal regions for methane exchange

- studies. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(6): 1267-1273.
- [7] Wang Y, Davis F. Decomposition of polarimetric synthetic aperture radar backscatter from upland and flooded forests. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18(6): 1319-1332.
- [8] Ramsey E. *Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications*. Chelsea, MI: Ann Arbor Press, 1998.
- [9] Novo E M, Costa M F, Mantovani J, et al. Relationship between macrophyte stand variables and radar backscatter at L and C band, Tucuruí reservoir, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(7): 1241-1260.
- [10] Costa M. Use of SAR satellites for mapping zonation of vegetation communities in the Amazon floodplain. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(10): 1817-1835.
- [11] Wdowinski S, Kim S W, Amelung F, et al. Space-based detection of wetlands' surface water level changes from L-band SAR interferometry. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(3): 681-696.
- [12] Durden S, Vanzyl J, Zebker H. Modeling and observation of the radar polarization signature of forested areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1989, 27(3): 290-301.
- [13] Rignot E, Salas W, Skole D. Mapping deforestation and secondary growth in Rondonia, Brazil, using imaging radar and Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 59(2): 167-179.
- [14] Pope K, Rejmankova E, Paris J, et al. Detecting seasonal flooding cycles in marshes of the Yucatan peninsula with SIR-C polarimetric radar imagery. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 59(2): 157-166.
- [15] Ramsey E, Nelson G, Sapkota S, et al. Using multiple-polarization L-band radar to monitor marsh burn recovery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1999, 37(1): 635-639.
- [16] Baghdadi N, Bernier M, Gauthier R, et al. Evaluation of C-band SAR data for wetlands mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(1): 71-88.
- [17] Grings F M, Ferrazzoli P, Karszenbaum H, et al. Modeling temporal evolution of Junco marshes radar signatures. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2005, 43(10): 2238-2245.
- [18] Henry J, Chastanet P, Fellah K, et al. Envisat multi-polarized ASAR data for flood mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(10): 1921-1929.
- [19] 廖静娟, 沈国状. 基于多极化SAR图像的鄱阳湖湿地地表淹没状况动态变化分析. *遥感技术与应用*, 2008, 23(4): 373-377.
- [20] Kim J W, Lu Z, Lee H, et al. Integrated analysis of PAL-SAR/Radarsat-1 InSAR and ENVISAT altimeter data for mapping of absolute water level changes in Louisiana wetlands. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(11): 2356-2365.
- [21] Novo E M, Costa M F, Mantovani J. Exploratory survey on macrophyte biophysical parameters in tropical reservoirs. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1998, 24(4): 367-375.
- [22] Kandus P, Karszenbaum H, Pultz T, et al. Influence of flood conditions and vegetation status on the radar backscatter of wetland ecosystems. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2001, 27(6): 651-662.
- [23] Toyra J, Pietroniro A. Towards operational monitoring of a northern wetland using geomatics-based techniques. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 97(2): 174-191.
- [24] Megan W L, Philip A T, Eric S K a. Influence of incidence angle on detecting flooded forests using C-HH synthetic aperture radar data. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(10): 3898-3907.
- [25] Belen M C, Carlos L M, Josep D R, et al. ASAR polarimetric, multi-incidence angle and multitemporal characterization of Doñana wetlands for flood extent monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(11): 2802-2815.
- [26] Ramsey E. Monitoring flooding in coastal wetlands by using radar imagery and ground-based measurements. *International Journal of Remote Sensing*, 1995, 16(13): 2495-2505.
- [27] Wang J, Shang J, Brisco B, et al. Evaluation of multirate ERS-1 and multispectral Landsat imagery for wetland detection in Southern Ontario. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1998, 24(1): 60-68.
- [28] Racine M J, Bernier M Ouarda T. Evaluation of RADARSAT-1 images acquired in fine mode for the study of boreal peatlands: A case study in James Bay, Canada. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2005, 31(6): 450-467.
- [29] Costa M, Telmer K. Utilizing SAR imagery and aquatic vegetation to map fresh and brackish lakes in the Brazilian Pantanal wetland. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 105(3): 204-213.
- [30] Megan W L, Eric S K, Stephen D P, et al. Assessment of C-band synthetic aperture radar data for mapping and monitoring Coastal Plain forested wetlands in the Mid-At-

- lantic Region, U.S.A. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(11): 4120-4130.
- [31] Crevier Y, Pultz T, Lukowski, et al. Temporal analysis of ERS-1 SAR backscatter for hydrology applications. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1996, 22(1):65-77.
- [32] Kiage L M, Walker N D, Balasubramanian S, et al. Applications of RADARSAT-1 synthetic aperture radar imagery to assess hurricanerelated flooding of coastal Louisiana. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(24): 5359-5380.
- [33] Grings F, Salvia M, Karszenbaum H, et al. Exploring the capacity of radar remote sensing to estimate wetland marshes water storage. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(7): 2189-2198.
- [34] Eric S K, Laura L B, Allison R R, et al. Effects of soil moisture and water depth on ERS SAR backscatter measurements from an Alaskan wetland complex. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(9): 1868-1873.
- [35] 郭华东, 王超, 王湘云, 等. ERS-1 散射计数据用于全球陆地监测. *遥感学报*, 1997, 1(4): 277-281.
- [36] Morrissey L, Livingston G, Durden S. Use of SAR in regional methane exchange studies. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15(6): 1337-1342.
- [37] Rosenqvist A, Forsberg B, Pimenetl T, et al. The use of spaceborne radar data to model inundation patterns and trace gas emissions in the central Amazon floodplain. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(7): 1303-1328.
- [38] Walfir P, Souza F M, Renato P W. Use of RADARSAT-1 fine mode and Landsat-5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast in the Amazon Region. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2005, 31(3): 214-224.
- [39] 黎夏, 叶嘉安, 王树功, 等. 红树林湿地植被生物量的雷达遥感估算. *遥感学报*, 2006, 10(3): 387-396.
- [40] Marc S, Victor H R, José E M, et al. A systematic method for 3D mapping of mangrove forests based on Shuttle Radar Topography Mission elevation data, ICESat/GLAS waveforms and field data: Application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(5): 2131-2144.
- [41] Pope K, Rey-benayas J, Paris J. Radar remote sensing of forest and wetland ecosystems in the Central American tropics. *Remote Sensing of Environment*, 1994, 48(2): 205-219.
- [42] Alsdorf D, Smith L, Melack J. Amazon floodplain water level changes measured with interferometric SAR-C radar. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2001, 39(2): 423-431.
- [43] Arzandeh S, Wang J. Monitoring the change of phragmites distribution using satellite data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2003, 29(1): 24-35.
- [44] Kaya S, Sokol J, Pultz T. Monitoring environmental indicators of vectorborne disease from space: a new opportunity for RADARSAT-2. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2004, 30(3): 560-565.
- [45] Shimabukuro Y, Almeida-filho R, Kuplich T. Quantifying optical and SAR image relationships for tropical landscape features in the Amazonia. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(17): 3831-3840.
- [46] Castañeda C, Ducrot D. Land cover mapping of wetland areas in an agricultural landscape using SAR and Landsat imagery. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(7): 2270-2277.
- [47] 董磊, 廖静娟, 沈国状. 基于神经网络算法的多极化雷达数据估算鄱阳湖生物量. *遥感技术与应用*, 2009, 24(3): 325-330.
- [48] Hong S, Wdowski S, Kim S, et al. Multi-temporal monitoring of wetland water levels in the Florida Everglades using interferometric synthetic aperture radar (InSAR). *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(11): 2436-2447.
- [49] Henderson F, Chasan R, Portolese J, et al. Evaluation of SAR-optical imagery synthesis techniques in a complex coastal ecosystem. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2002, 68(8): 839-846.
- [50] Simard J, Degrandi G, Saatchi S, et al. Mapping tropical coastal vegetation using JERS-1 and ERS-1 radar data with a decision tree classifier. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(7): 1461-1474.
- [51] 刘凯, 黎夏, 王树功, 等. 基于神经网络和数据融合的红树林群落分类研究. *遥感信息*, 2006(3): 32-35.
- [52] Bwangoy J 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. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(1): 73-86.
- [53] 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. *地球信息科学学报*, 2010, 12(2): 282-291.
- [54] 卫亚星, 王莉雯. 应用遥感技术模拟净初级生产力的尺度效应研究进展. *地理科学进展*, 2010, 29(4): 471-477.

Progress in Monitoring Wetland Ecosystems by Radar Remote Sensing

WANG Liwen^{1,2,3}, WEI Yaxing^{1,2,3}

(1. Liaoning Key Laboratory of Physical Geography and Geomatics, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China;

2. Center for Marine Economic and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China;

3. College of Urban and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China)

Abstract: Wetlands is important ecosystems with high productivity and abundant biology diversity. Wetlands have high resource values, economic values, environmental values and a variety of ecological functions. Wetlands research has become a highlighted domain that associates with geography, environment and ecology. The earliest article about wetlands monitoring by radar remote sensing appeared around 1970. Afterwards, many satellites radar sensors were launched, such as SEASAT, ERS, JERS-1, Radarsat, Envisat, ALOS and TerraSAR-X; many space shuttle radar sensors were used, such as SIR-A, SIR-B, SIR-C/X-SAR and SRTM; many airplane sensors were applied, such as AIRSAR, EMISAR and E-SAR. Researchers have published a lot of papers about wetlands and radar data.

Monitoring wetlands by radar remote sensing have undergone for 20-30 years and yielded many achievements. But a great number of problems for complicated wetlands still need to be further researched. In this paper, main radar parameters including wave length, polarization, and incident angle were discussed, and involved issues such as temporal and environmental effects and analysis technologies were reviewed. Research conclusions published in geographical literatures and development trends were also analyzed.

The latest literature shows that multi-dimension radar dataset has been used for wetlands location determination, area estimation, and environmental condition analysis. Wetlands mapping based on radar data is not limited in research. This trend can speed up the use of radar data, and expand the application diversity. It has been a programmed process for flooding region mapping from radar data. Radar data in environment monitoring have become accepted tools in the studies such as epidemic region mapping, rangeland management and pollution prevention.

Radar remote sensing plays an important role in protecting fragile wetlands environment. Under any weather conditions, radar system can provide high resolution observation data, so it has become a special earth resource monitoring technology. In addition, radar remote sensing can provide land cover type information and underground physical characteristics that cannot be detected by other spectral bands. With the development of multi-bands, multi-polarization, and multi-angle radar remote sensing system, its information value will be continuously boosted.

Key words: wetland; radar remote sensing; radar parameters

本文引用格式:

王莉雯, 卫亚星. 湿地生态系统雷达遥感监测研究进展. 地理科学进展, 2011, 30(9): 1107-1117.