

文章编号: 1007-4929(2019)04-0102-07

农田灌溉遥感监测技术的发展与前景

张 威¹, 邵景安^{1, 2}

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 401331; 2. 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331)

摘 要: 农田灌溉遥感监测旨在通过遥感技术监测灌区作物的灌溉面积和种植结构, 来实施高效的灌溉用水管理, 达到建设节水型农业和对灌区现代化管理的目的。科学客观地总结农田灌溉面积遥感提取相关的研究进展, 能为开展该方面的研究提供一定的参考。通过系统全面的查阅国内外相关文献资料, 总结当前研究所采用的原理与方法, 具体操作过程, 存在问题等, 并对未来发展趋势进行了展望。值得肯定的是, 目前已具有初步的理论和探索, 对局部和区域农田灌溉面积的遥感提取具有了一定成效。不足之处在于, 基于灌溉前后土壤水分和温度变化的原理与方法受降水影响大; 地表实测数据收集困难; 数据源单一, 高“时空”分辨率数据少。在未来研究中, 农田灌溉面积的多时相动态提取是趋势所在。还应注重以下几个方面: ①提取原理和方法需进一步完善和补充; ②注重多源数据和多种因素整合分析; ③注重灌区基础资料库的建立和更新, 注重大数据技术的应用。

关键词: 灌溉; 遥感; 展望

中图分类号: S-1 文献标识码: A

Development and Prospect of Remote Sensing Monitoring Technology for Agricultural Irrigation

ZHANG Wei¹, SHAO Jing-an^{1, 2}

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China;

2. Key Laboratory of Surface Process and Environment Remote Sensing in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: Remote sensing monitor of farmland irrigation aims to monitor the irrigated area and planting structure of irrigation areas through remote sensing technology to implement efficient irrigation water management, and achieve the purpose of building water-saving agriculture and modern management of irrigation areas. A scientific and objective summary of the research progress of remote sensing extraction of farmland irrigation area can provide some reference for the research in this field. Through a systematic and comprehensive review of relevant literature at home and abroad, this paper summarizes the current research principles and methods, specific operation process, existing problems, etc., and looks forward to the future development trend. It is worth affirming that there have been preliminary theories and explorations, which have achieved certain results in remote sensing extraction of local and regional farmland irrigation areas. The disadvantage is that the principle and method of soil moisture and temperature change before and after irrigation are greatly affected by precipitation; the collection of surface measured data is difficult; data sources are single, and high “time and space” resolution data are less. In future studies, the multi-temporal dynamic extraction of irrigated farmland area is the trend. The following aspects should also be emphasized: ①The principles and methods of extraction need to be further improved and supplemented; ②Pay attention to multi-source data and multiple factors integration analysis; ③pay attention to the establishment and update of basic database of irrigation area, pay attention to the application of big data technology.

Key words: irrigation; remote sensing; progress

收稿日期: 2018-09-21

基金项目: 国家科技支撑计划课题“长江防护林质量调控与高效经营技术研究示范”(2015BAD07B04)。

作者简介: 张 威(1995-) 男, 硕士研究生, 主要从事土地利用与生态过程研究。E-mail: zhangwei14003@163.com。

通讯作者: 邵景安(1976-) 男, 博士, 研究员, 主要从事土地利用与生态过程研究。E-mail: shao_ja2003@sohu.com。

从 2011—2016 年间,国家已经出台众多最严格水资源管理制度的意见、考核方法和实施方案,提出农业用水量是用水量总量控制中的重点,农田灌溉水有效利用系数是控制的指标之一^[1]。我国虽然地域辽阔,资源种类众多,其中水资源总量在世界上位列第四,但平均下来却只有世界人均拥有量的 25% 左右,且在时空分布上也存在较大的差异,水资源短缺成为我国的一个基本国情。同时我国还是一个农耕大国,生产生活总用水量中的绝大部分都为农业用水所占据,而农业灌溉用水又占农业用水量的 90% 以上,在实际农业用水中却始终存在着短缺和浪费两个极端现象。随着我国经济的持续飞升,城镇化速度的加快,生活和工业用水与农业用水形成激烈竞争,未来农业用水情况将面临着更加严苛的局面。因此,提高农业用水利用效率,缓解水资源供需矛盾,建设节水型农业和现代化的农业管理迫在眉睫。

实行最严格的水资源管理制度,信息化是重要支撑^[2]。目前获取农田灌溉面积的方式主要有:人工统计、数理方法统计预测和卫星遥感提取。人工统计虽可直接地了解研究区域农田灌溉用水的状况,但提取所需要的时间周期长,进度慢,也无法适应气候、农作物类型等因素的变化情况。用数理方法进行统计,能够对农田灌溉面积未来发展演变做出一定精准程度的判断和预测,但纯数理统计的预测方法缺少让人信服的科学理论基础,并且随着预测步骤的增加,预测结果与实际数据的误差会越来越大^[3]。遥感技术始于 20 世纪 60 年代,作为一种不直接接触目标事物来获取目标事物信息的信息科学。可将其用于灌区进行作物分类,识别灌溉面积,能够及时准确的了解作物种类分布和长势,确定水资源位置、分布,在灌区管理中发挥着重要作用^[4]。通过遥感技术监测灌区土壤水分含量的变化达到对农田灌溉面积的提取,将监测旱情的方法迁移使用,获得了较好的效果。还有间接反映土壤含水量的植被指数以及观测灌水前后地表温度变化的进行灌溉面积提取方法,这些

表 1 灌溉管理遥感信息应用体系

Tab.1 Application system of remote sensing information for irrigation management

灌溉管理内容	信息需求	要求
工程管理	渠系分布	数据时相: 年尺度; 识别干渠、分干渠: 基于中高分辨率图像; 识别斗渠、农渠: 基于高分辨率图像; 田间毛渠: 基于亚米级分辨率
	灌溉工程控制面积	年尺度; 中高级分辨率识别干渠和分干渠
	土地利用	年尺度; 中分辨率卫星数据
水量调度	作物种植结构	月尺度监测; 基于高分辨率
	蒸散发	对空间尺度要求不高; 时间尺度为日
墒情监测	土壤含水量	对空间尺度要求不高; 时间尺度通常是日或旬
	土壤含水量	时间尺度为日; 空间尺度要求为中等分辨率卫星数据
用水效率	灌溉面积	时间尺度为旬或月; 中等分辨率卫星数据
灌溉实施管理	灌溉面积	灌溉期时相要求为旬; 中等分辨率卫星数据

1.2 原理和方法

农田被灌溉后,表面土壤的含水量增加,陆地表面温度随之降低,反之,陆地表面温度会由于蒸发量大于供水量而逐渐升高。因此,可以反演陆地表面温度进行差值计算来判断农田是否被灌溉。对土壤含水量敏感的波段为短波红外和微波波段,

主要属于可见光、近红外以及热红外等波段的光学遥感。易受到降水的影响,还有阈值的选取主观性强,从而影响遥感提取结果的精度。另一类为微波遥感,不受天气等因素的影响,但植被覆盖和地表的粗糙度对其结果的精度影响较大。近几年国外出现了遥感反演实际蒸散发(ET)的新方法,在监测土壤水分含量上取得了较大成功,但国内尚未有应用此方法的实例。总的来看,目前我国农田灌溉面积的遥感监测还处于方法探索和实验阶段,相关方法还需要完善,值得我们做进一步的改进和深入探究。

在此,本文主要分析当前农田灌溉面积遥感提取研究所采用的原理与方法,具体操作过程,存在问题以及未来发展趋势等方面,进行简单的归纳总结,对开展农田灌溉面积的遥感提取提供一定的参考价值。

1 原理与方法

1.1 灌溉管理遥感技术体系

要利用遥感技术获取我们所需的信息,明确遥感应用于灌溉管理业务所涉及的技术要求和组成是前提条件。灌溉管理的主要内容包括工程管理、用水计划、水量调度、灌溉实施管理、墒情监测、灌溉效果与用水效率评价等^[5]。对应相同的管理内容,我们需要大量的基础数据来支撑,从中可以获取到渠系分布、灌溉工程控制面积、土地利用、作物种植结构、蒸散发、土壤含水量、灌溉面积等信息。我们可以将遥感技术在灌溉区域管理中的应用分为以下几个方面:①水土资源调查:如包括土地用途及变化、地表及地下水资源调查、灌区渠系分布等;②农作物信息调查:如农作物种植结构和面积、长势特征、作物估产、灾情信息等;③水资源配置调查:如土壤含水量、降水量、作物蒸腾发等。建立的灌溉管理遥感技术应用体系,见表 1。从表可知,要进行农田灌溉面积的遥感提取,时间尺度需为旬或月,卫星数据至少为中等分辨率。

也可采用波段反射来监测土壤表层含水量的变化情况以达到提取灌溉面积的目的,还有各种反映土壤含水量变化情况的干旱指数。但是对于实际灌溉面积的遥感监测提取,除了要单纯考虑土壤含水量,同时需要考虑植被的生长情况^[6]。供水充足与否,对反映植被叶面水分情况的植被指数的影响也有所不同。

世界水资源管理研究所在 2006 年期间,通过 NOAA/AVHRR 的时间序列数据和谷歌地球等数据,制作完成了分辨率为 10 km 的世界上第一张全球灌溉面积分布图^[7-9],为后者的研究提供了宝贵的经验和方法。Sandholt 等^[10]通过对比灌溉前后地表覆盖植被冠层温度变化,采用归一化植被指数 $NDVI$ 来估算土壤表层水分分布情况; Velpuri 等^[11]、Biggs T W 等^[12]和 Simões S J C 等^[13]通过使用时间序列数据反演地表温度变化,提取了研究灌区的灌溉面积。

我国利用遥感卫星进行灌溉面积提取的研究始于 20 世纪 90 年代末,水利部陈子丹等^[14]用美国陆地卫星 TM 影像,对河南省进行了有效灌溉面积的试点调查,证明了遥感技术应用与灌溉面积提取的可行性;王薇等^[15]建立基于湿度指数和多层次分类相结合的遥感信息提取模型,证明了遥感技术应用于小面积灌溉面积提取的可靠性;北京师范大学朱秀芳等^[16]基于

NDVI 时间序列和实地样本数据,采用遥感方法,首次以全中国为研究区提取了中国 2000 年的灌溉区域;张洁等^[17]选用植被供水指数 $VSWI$ 、基于 EVI 的植被供水指数 $EVSWSI$ 、归一化多波段干旱指数 $NMDI$ 对华北平原中部冬小麦干旱情况进行监测;邱兰杰^[18]以温度植被指数模型 $TVDI$ 和热惯量法 ATI 反演河北省土壤温度,验证了其用于反演土壤湿度的可行性和准确性;沈静^[4]采用垂直干旱指数 PDI ,易珍言^[5]利用修正后的垂直干旱指数 $MPDI$ 根据近红外和短波红外特征空间中作物水分的关联规律,提取了河套灌区的实际灌溉面积;蒋磊等^[19]模拟河套灌区的地表蒸散发 ET ,结合降水和引水资料进行了灌溉有效水利用评价;何娇娇等^[20]基于遥感地表温度 LST 反演和植被供水指数 $VSWI$ 对比灌溉前后地表和植被冠层温度变化,推测水分变化对石津灌区的灌溉面积进行了提取。总结当前土壤水分监测常用的方法见表 2。

表 2 土壤水分监测的常用方法及原理

Tab.2 Main methods and principles to monitor soil moisture

类别	方法	原理
可见光-近红外遥感	归一化植被指数	同等条件下,土壤水分充足则覆盖植被茂盛,反之则呈病态,导致植被冠层光谱信息的改变,从而能间接获取土壤水分变化情况。
	比值植被指数	
	距平植被指数	
	植被条件指数	
	垂直干旱植被指数	
热红外遥感	热惯量法	土壤水分状况不同,土壤表面以及植被冠层的温度也不同,可通过计算温度差来判别灌溉情况。
	植被-温度指数法	
微波遥感	主动	土壤含水量不同引起的回波信号不同
	被动	土壤含水量不同,微波辐射计测量的亮度和温度不同
	蒸散发法	通过遥感反演实际蒸散发来判断作物缺水状态

为了在遥感影像中将灌溉区域与其他区域进行定量描述和区分的需要,以及提高灌溉面积提取精度和起到约束条件,便捷高效且能较好反应作物情况的各种植被指数应运而生。在作物结构和种植面积的遥感提取中,由于植被的叶子和冠层光谱特征具有差异,在不同光谱带区间中反映的植被情况也不同。植被对蓝紫光和红光的吸收作用比较强烈,并且对近红外波段的反射较为强烈,因此,植被枝叶的生长状态越好,它对红光波段的反射能力就越弱,同时反射近红外波段的能力也就越强。不同农作物在不同生长阶段其光谱特征也不同,因此,不同农作物不同的光谱特征是进行农作物种植结构和面积遥感提取的基础。

遥感监测作物种植面积的研究始于美国,1960 年美国普度大学利用遥感技术实现了玉米种植面积的监测^[21]。国外学者 M.J. Pringle 等^[22]、Potgieter A B 等^[23]、Thenkabil P S 等^[24]、Lloyd 等^[25]运用 MODIS 数据采用长时间序列数据对比不同作物不同时期光谱特征变化,进行了相应的作物种植结构和种植面积提取;Atzberger 等^[26]根据不同农作物光谱特征的不同,采用神经网络法进行作物种植结构的提取;Monfreda 等^[27]使用了 MODIS 和 GLC2000 这两类耕地遥感数据,对 2000 年全球的农作物种植结构信息进行了提取。中国科学院等单位在 90 年代采用 NOAA/AVHRR 和 Landsat TM 影像数据,监测了我国玉米、水稻、小麦的种植面积^[28-30];郑长春等^[31]根据不同类型农

作物在不同生长期的关键特征差异,选取差异最明显时期的遥感影像,使用光谱波段和归一化植被指数等方法,提取了小麦、玉米和水稻这三类作物的种植结构信息;张霞等^[32]利用 MODIS 数据采用增强型植被指数(EVI),通过时序曲线确定作物关键期的阈值,识别了东北平原玉米和小麦的空间分布;乌云等^[33]根据不同树木生长时期光谱特征不同,利用遥感波段组合并采用最大似然法和植被指数(NDVI)对森林植被类型的提取;李鑫川等^[34]综合了红外和近红外等多个光谱波段以及相应农作物的 EVI 和 NDVI 的时序曲线,确定不同农作物的辨别特征及相应的阈值,提取了大豆、矮瓜和玉米等作物的空间种植分布信息。谢登峰等^[35]基于 Landsat8 和 MODIS 遥感影像数据,融合成高时间、高空间分辨率数据集,采用支持向量机法对水稻和玉米进行识别。从作物种植结构和面积的遥感提取研究历程来看,那些能很好反应植被物候规律的植被指数在作物分类过程中得到广泛运用^[36-38]。具体方法见表 3。

2 操作过程

2.1 实验区域的选取

数据收集前首先要进行研究区域的选取,一般来说,先选择研究试验区,证实其方法和结果的可行性后,再在进行灌溉主体区域的推广研究。为了最终能使灌溉面积遥感调查方法在全国推广应用,先行选择的试验区需要尽可能地具备相对广

表 3 作物种植面积和种植结构提取的主要方法及原理
Tab.3 Main methods and principles to extract crop planting area and planting structure

类别	方法	原理
基于关键期	单一影像法	不同作物生长期不同,光谱也有所差异,通过寻找到不同作物光谱差异最大的关键期,来区分作物与作物,作物与其他绿色植被。
基于物候期	时间序列影像法	不同作物时序光谱曲线不同,通过阈值法找出每类作物的最佳区分点,来实现不同作物的提取。
基于多源数据	影像-影像数据法 影像-统计数据法	充分利用不同数据,实现优势互补,提高提取精度。

泛的代表性^[14]。Velpuri 等^[11]和 Biggs T W 等^[12]选取印度的克里希纳河流域作为研究区域; E. A. Zaghoul 等^[39]选取埃及古灌区来研究; 陈子丹等^[14]以整个河南省灌区为研究试点区; 徐美等^[40]选择宁夏引黄灌区为研究对象; 沈静等^[4]把内蒙古河套灌区作为研究区,具体研究实验区为磴口县东风干渠; 易珍言等^[5]选择内蒙古河套灌区坝楞村的东风灌渠控制区为研究实验区; 柯丽娟^[41]直接选择内蒙古河套灌区为研究区; 焦旭等^[42]和何娇娇等^[20]选择河北石津灌区为研究试验区; 王啸天等^[6]选择宁夏秦汉灌区为研究区域。李喆等^[43]研究了湖北漳河灌区土壤含水量情况,是少有的选择南方湿润地区来进行土

壤水分监测的研究,为后者的研究提供了一定的参考和借鉴。

国内外学者选择区域都为十分典型的灌区,埃及古灌区位于尼罗河流域,历史悠久孕育了最古老的文明,克里希纳河灌区位于印度南部,由于水量不足而发展的节水农业,也具有一定的代表性。我国学者研究实验区的采取为中国三大灌区中的河套灌区和宁夏灌区,在节水农业研究方面也具有很强的代表性。具体介绍见表 4。总结研究区选取原则有: ①重要的灌区,在地区内的地位和作用较高; ②农作物种类多,种植面积大,具有一定代表性; ③降水量较少,水资源短缺,农业灌溉用水大,急需发展节水农业。

表 4 几个典型实验区及选取原因

Tab.4 The reasons for the typical study areas being selected

灌区	选取原因
克里希纳河灌区	肥沃的三角洲成片,作物种类多,农田面积大,但水量不足,分配不均
埃及古灌区	埃及全部耕地在所在地,世界型灌区,沙漠地区降水少,节水农业为主
内蒙古河套灌区	中国重要的粮食生产基地之一,也是三大重要灌区之一,但农业水资源紧缺
宁夏灌区	中国最古老灌区之一,土壤肥沃宜种植,位于内陆降水少,为大型灌区,具有代表性
河北石津灌区	降水量大于蒸发量,地形和灌溉方式多样,气候和农耕方式具有南北过渡性,作物种类多样均有大面积分布,较为典型

2.2 数据的收集

数据的来源一般有实地考察收集的数据和遥感卫星影像数据这两种。通过实地考察一般能清楚地了解灌溉区域作物的面积范围和种植结构,其中包括相关部门提供的统计数据,政府统计年鉴数据,还有利用 GPS 等工具的数据,实地调查数据一般作为下一步遥感提取的样本数据和精度验证。遥感卫星数据主要包括光学遥感和微波遥感两类(表 5),其中光学遥感主要包括可见光、近红外以及热红外遥感,具有可见光和近

红外波段的主流卫星主要有 NOAA 卫星、环境减灾卫星(HJ-1A/1B)以及高分一号卫星(GF-1),而灌溉面积监测还需要短波红外和微波波段。因此,SPOT 卫星、美国陆地卫星(Landsat)、土壤湿度与海水盐度卫星(SMOS)和哨兵 1 号(Sentinel-1)。另外还有谷歌地球(Google earth)和无人机的使用,也能为我们选用数据提供一些参考和补充。谷歌地球虽然不具有长时间序列数据,但它可以提供高分辨率影像,无人机的光谱分析还比较少,但是在小范围的灌溉行为调查上具有独特优势。

表 5 主流卫星参数

Tab.5 The main satellite parameters

电磁波类别	卫星名称	传感器	波段	空间分辨率/m	幅宽/km	重返周期/d
光学遥感	NOAA	AVHRR	1~5	1 100	2 800	6
	Landsat	TM	1~7	30	183	16
	EOS	MODIS	1~36	250/500/1 000	2 330	16
	SPOT	HRV	1~4	60	80	4~5
	HJ-1A/1B	CCD	1~4	30	700	4
	GF-1	CCD	1~4	16	800	4
微波遥感	SMOS	MIRAS	L	50	200	7
	Sentinel-1	SAR	C	5	400	12

不同的数据收集方法各有优劣,在实际运用过程中根据不同的需求,结合各种方法进行使用,才能确保数据收集的全面和精准。在追求高精度、高时空分辨率、低成本获取农田信息的今天,相关进展还比较缓慢。Shi 等^[44]采用无人机、遥感卫星和地表数据相结合的方法,创建了天地空全面一体化的农业遥感监测系统,获取精细农田信息的能力得到显著提高。但其应用于农田灌溉遥感监测还处于起步阶段,亟待完善。

2.3 数据的预处理

通过相应卫星所选取的数据和资料通常属于初级产品资料,由于卫星轨道的运动、卫星传感器的机械性以及地球自转运动因素,再加上太阳辐射、大气运动和光电转换等的影响,卫星在把地面图像转化成电子信息图像的过程中会引起辐射和几何的畸变。因此,为了分析过程和结果的准确性,在所有遥感数据使用之前必须进行相关的校正,也就是所谓的遥感数据的预处理。

表 6 遥感数据的预处理介绍

Tab.6 Preprocessing of remote sensing image data's introduction

预处理	作用	方法
辐射定标	消除传感器本身产生的误差	定标系数法,公式: $L = Gain * DN + Bias$
辐射校正	消除光照和大气等因素对影像的影响	ATCOR、MODTRAN 和 6S 等辐射传输模型
正射校正	校正因地形起伏和传感器误差引起的像点位移	利用 ENVI 等软件工具根据数字高程模型数据进行校正
几何校正	校正遥感原始图像上地物的几何位置、形状、尺寸等特征的变形	基于多项式的遥感图像纠正、基于共线方程的遥感图像纠正、基于有理函数的遥感图像纠正、基于自动配准的小面元微分纠正等 ^[46]
影像的融合、拼接与裁剪	剔除非研究区影像并提取出研究区影像	在 ENVI、ArcGIS 等软件中进行操作

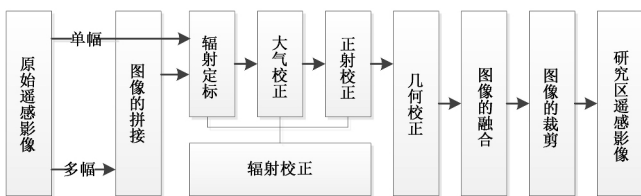


图 1 原始遥感数据预处理的主要流程

Fig.1 The main process of the remote sensing data preprocessing

影像的预处理是进行遥感工作的前提和基础,其方法和步骤需遵循所研究对象的要求,预处理过程对结果有着直接或间接的影响。首先,为消除地物反射特征失真,必须进行辐射校正,也就是辐射定标和大气校正。辐射定标将没有单位的遥感影像元亮度值转换成具有实际物理单位的数据^[47],方便了后续工作的进行。大气校正以消除遥感影像中由于大气影响造成的辐射误差为目的。辐射传输模型法有很多大气校正模型,其依据来源于不同的假设条件和适用范围,但原理基本上是相同的,如 6S 模型、LOWTRAN 模型、MODTRAN 模型、ATCOR 模型等^[48]。其次,为了消除遥感原始图像上地物的几何位置、形状、尺寸等特征与参照系中的表达不一致产生的变形,需要进行几何校正和正射校正。有基于多项式的遥感图像纠正、基于共线方程的遥感图像纠正、基于有理函数的遥感图像纠正、基于自动配准的小面元微分纠正等对遥感影像进行几何精校正^[46]。最后是影像的融合、拼接与裁剪。

在农田灌溉面积遥感提取的数据预处理方面还存在一些

在灌溉面积遥感提取方面的预处理研究中,王薇等^[15]用到了大气校正和几何校正等方法;沈静等^[4]和易珍言等^[5]用到了辐射定标、大气校正、几何校正和裁剪遥感影像等方法;肖广金等^[45]使用几何校正、大气校正和辐射定标等方法;焦旭等^[42]使用了大气校正、辐射定标、正射校正和影像的拼接和裁剪;王啸天等^[6]主要用了辐射定标、大气校正、几何校正以及图像的融合和裁剪;何娇娇等^[20]运用了大气校正、辐射校正和正射校正以及影像的裁剪等方法。影像的预处理大致包括:辐射校正(正射校正、辐射定标和大气校正)、几何校正(几何粗校正、几何精校正)、影像融合、拼接和裁剪(表 6)。一般校正步骤遵循先进行辐射校正,然后是几何校正,最后才是影像的融合、拼接与裁剪(图 1)。针对不同的研究区域,具体遥感数据的预处理操作过程中,有些步骤可以省略,如地势起伏不大的平原地区的遥感影像数据,就很少需要正射校正,但主要顺序依然是要按要求严格进行操作。

问题,如几何纠正样点选取缺乏准确性,随着样点的增加误差也会相应的增加。曲线平滑算法虽能高效的去除噪点,但是却改变了植被光谱时序曲线特征,降低了提取的精确度。各种分类器的机器学习能力和容错率不同,如简单决策树法和随机森林分类的优势完全相反。

2.4 结果验证

首先,可将提取结果与地面实测样本数据进行精度验证。如易珍言^[5]利用修正后的垂直干旱指数(MPDI)提取了河套灌区的实际灌溉面积后,利用 5 月至 8 月坝楞村 20 个土壤含水量实测点进行了验证,总体精度达到 80% 以上。其次,土壤含水量的增加除进行了灌溉以外,受降水的影响也很大,只有大于某一阈值灌溉行为才发生,所以也需要引入灌区的降水数据加以验证。如王啸天^[6]采用垂直干旱指数 PDI 并利用气象站点的降水数据,确定阈值提取了秦汉灌区的实际灌溉面积。最后,还可以采用不同提取方法同时进行操作,将结果进行对比分析来验证。如焦旭^[42]在研究石津灌区灌溉面积的提取时使用了地表温度 LST 反演、植被供水指数 VSWI、温度植被干旱指数 TVDI 三种方法,通过结果对比分析,三种方法结果的精度都达到了 80% 以上,但是相对于地表温度反演 LST,植被供水指数 VSWI、温度植被干旱指数 TVDI 得出的精度更高。使用不同的方法得出的结果,其精度也是不一样的,可使用不同方法将得不同结果进行对比分析,选取精度最高的方法,为后者的研究提供一定的参考价值。至此,我们总结出目前研究中农田灌溉面积遥感提取实现的相应过程(图 2)。

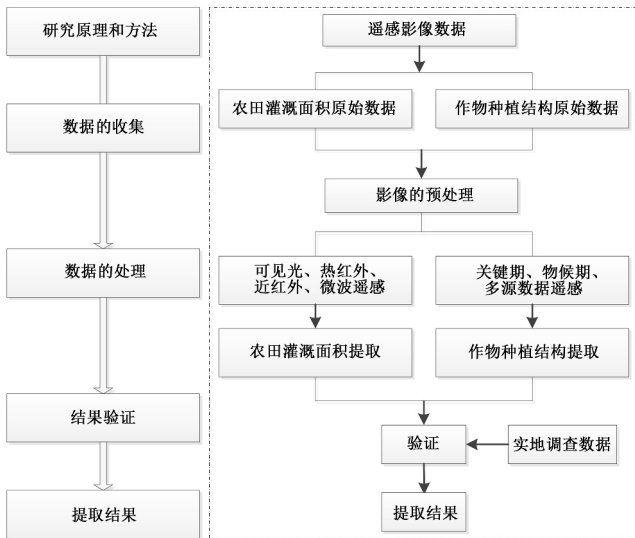


图2 农田灌溉面积遥感提取主要的流程
Fig.2 The main remote sensing extraction process of farmland irrigation area

3 存在问题和的发展趋势

3.1 存在问题

在当前研究中,遥感技术的运用基本上能满足局部和区域农田灌溉面积的提取,但其运用的理论和方法却难以适应大尺度地域。其中存在的一些不足之处还应得到重视,如精度不够,数据源少,方法陈旧,降水影响大等,推广到全国特别是南方丘陵降水丰富的地区,还有待探讨。但随着未来大数据等技术的发展,我国自主研发的高分辨率遥感卫星的升空,届时会有多种高时空分辨率遥感数据为农田灌溉面积的提取提供实时动态的服务,同时更需要理论方法的创新。

在原理和方法方面,研究所用到的各种指数大多是针对土壤含水量和地表温度的变化,受降水影响大;在数据收集方面,由于地面样本点不足和复杂作物结构的影响,导致结果差强人意;在卫星方面,卫星分辨率不够,周期长,传感器性能差等缺陷,数据源的单一也是造成结果精度低的重要因素;在结果的验证方面,虽说实地测量数据验证最为准确,但是耗时耗力,相关部门统计的数据虽然获取便利,但其准确性无法考证,在结果验证中又有可能扩大误差值。

3.2 趋势与展望

提取原理和方法需进一步完善和补充创新。虽然灌溉面积遥感提取的方法得到了快速发展,但其主要是将干旱监测的方法迁移利用,还处于探索阶段且体系尚不成熟,需要对原有的方法进一步完善,也需要新方法和技术的补充。如,新的雷达遥感数据以及新增加的红边波段等,都可进行尝试性研究。在预处理方面,还不能做到既能消除噪声,又能较好的保存作物光谱时序曲线特征。同时阈值的准确选取,对降低同谱异物和同物异谱的影响十分必要。最后,如何选取最适宜的分类器区分灌区与非灌区也是一个关键问题。

注重多源数据和多种因素整合分析。农田灌溉面积的遥感提取不仅要区分灌区与非灌区,区分水田和旱地,还要区分不同农作物,因此,对遥感影像的时空分辨率要求较高。然而

时间分辨率高的影像,其空间分辨率却低,要注重处理好“时空”分辨率之间的矛盾关系,选取多源数据至关重要。南方丘陵地区的灌区由于地形因素,面积不大且多呈分散状态,进行遥感提取更需高分辨率的卫星。随着国家的高分辨率对地观测系统重大专项的实施,相信在不久的将来会有短周期、高分辨率的全色多光谱成像卫星供研究者使用,更直接、更精确、更实时的为灌溉管理服务。同时需要考虑降水、居民点分布、地势等多因素的影响,现有研究中并没有完全排除降水的影响,因此这也是后来学者研究急需攻克的一个难题。另外农田的分布受到地势的严格制约,农田多分布于平原河谷地区,但南方丘陵地区以梯田居多。因此,在以后的研究中要充分考虑到遥感技术的因地制宜性,将多因素和多源数据整合分析,实现优势互补,以提高农田灌溉面积遥感提取的精度。

注重灌区基础资料库的建立和更新,注重大数据技术的应用。实测数据是进行验证最好的来源,实施起来却耗时耗力,灌区基础数据资料库的建立能为农业遥感监测提供极大的便利。目前灌区的基础资料数据还不全面,不同管理部门也很少有信息的及时共享,查阅不同的资料需要去不同部门,过程繁琐的同时也可能出现数据的不准确性。灌区基础资料数据库的建立一方面方便了工作人员对灌区的管理,另一方面为研究者获取收集资料提供便利。研究的数据要求具有实时性,由于灌溉设施的不断更新和完善,沟渠的变更以及农田作物种植的主观性,因此还需要注重基础资料数据的及时更新。灌区基础数据资料库是十分庞大的系统,包含了作物种类、土地利用、作物生长状态等一系列信息,科学的灌区管理更需要科学的大数据处理技术支持。

参考文献:

- [1] 水利部水资源司. 最严格水资源管理考核制度文件汇编[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015: 2-20.
- [2] 程晓冰, 石玉波, 蒋云钟, 等. 推进水资源信息化建设落实最严格的水资源管理制度[J]. 水利信息化, 2010(2): 1-4.
- [3] 万玉文, 苏超, 方崇. 我国大中型灌区有效灌溉面积的灰色预测[J]. 人民长江, 2011(15): 96-98.
- [4] 沈静. 遥感技术在灌溉面积监测上的应用研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
- [5] 易珍言, 赵红莉, 蒋云钟, 等. 遥感技术在河套灌区灌溉管理中的应用研究[J]. 南水北调与水利科技, 2014(5): 166-169.
- [6] 王啸天, 路京选. 基于垂直干旱指数(PDI)的灌区实际灌溉面积遥感监测方法[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(3): 169-174.
- [7] Jakubauskas M E, Legates D R, Kastens J H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 37(1/2/3): 127-139.
- [8] Thenkabail P S, Biradar C M, Noojipady P, et al. Global irrigated area map (GIAM), derived from remote sensing for the end of the last millennium[J]. Remote Sensing, 2009, 30(14): 3 679-3 733.
- [9] Thenkabail P S, Dheeravath V, Biradar C M, et al. Irrigated Area Maps and Statistics of India Using Remote Sensing and National Statistics[J]. Remote Sensing, 2009, 1(2): 50-67.
- [10] Inge Sandholt, Kjeld Rasmussen, Jens Andersen. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. Remote Sensing of Environment,

- 2002 (79) : 213-224.
- [11] N M Velpuri, P S Thenkabail, M K Gumma, et al. Influence of Resolution in Irrigated Area Mapping and Area Estimation[J]. Photogrammetric Engineering Remote Sensing, 2009, 75(12) : 1 383-1 395.
- [12] Biggs T W, Thenkabail P S, Gumma M K, et al. Irrigated area mapping in heterogeneous landscapes with MODIS time series, ground truth and census data, Krishna Basin, India [J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(19) : 4 245-4 266.
- [13] Simões S J C, Júnior N S P. Spatial evolution of irrigated areas using remote sensing—the Medium Paraíba do Sul Valley, Southeast of Brazil [J]. Ambiente e Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 2007, 1(1) .
- [14] 陈子丹, 李纪人, 夏夫川. 有效灌溉面积遥感调查方法研究与应用[J]. 遥感信息, 1997 (2) : 19-24.
- [15] 王 薇, 朱长明. 基于多源遥感数据的大型灌区面积监测方法研究[J]. 中国水利, 2009 (16) : 47-48.
- [16] Xiufang Zhu, Wenquan Zhu, Jinshui Zhang, et al. Mapping irrigated areas in China from remote sensing and statistical data. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2014, 7(11) : 4 490-4 504.
- [17] 张 洁, 武建军, 周 磊, 等. 基于 MODIS 数据的农业干旱监测方法对比分析[J]. 遥感信息, 2012, 27(5) : 48-54.
- [18] 邱兰杰. 基于 TVDI 和 ATI 模型河北省土壤湿度遥感反演[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2014.
- [19] 蒋 磊, 杨雨亭, 尚松浩. 基于遥感蒸发模型的干旱区灌区灌溉效率评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20) : 95-101.
- [20] 何娇娇, 刘海新, 张安兵, 等. 温度反演和植被供水指数的农田灌溉面积提取[J]. 测绘科学, 2017, 42(5) : 50-55.
- [21] 刘海启, 金敏毓, 龚维鹏. 美国农业遥感技术应用状况概述[J]. 中国农业资源与区划, 1999 (2) : 58-62.
- [22] M J Pringle, R J Denham, R. Identification of cropping activity in central and southern Queensland, Australia, with the aid of MODIS MOD13Q1 imagery [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012 (19) : 276-285.
- [23] Potgieter A B, Lawson K, Huete A R. Determining crop acreage estimates for specific winter crops using shape attributes from sequential MODIS imagery [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013, 23(8) : 254-263.
- [24] Thenkabail P S, Wu Z. An automated cropland classification algorithm (ACCA) for Tajikistan by combining Landsat, MODIS, and secondary data [J]. Remote Sensing, 2012, 4(10) : 2 890-2 918.
- [25] Lloyd D. A phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 1990, 11(12) : 2 269-2 279.
- [26] Atzberger C, Rembold F. Mapping the spatial distribution of winter crops at sub-pixel level using AVHRR NDVI Time series and neural nets [J]. Remote Sensing, 2013, 5(3) : 1 335-1 354.
- [27] Monfreda C, Ramankutty N, Foley J A. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000 [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2008, 22(1) : 10.
- [28] 夏德深, 李 华. 国外灾害遥感应用研究现状[J]. 国土资源遥感, 1996, 29(3) : 1-8.
- [29] 熊利亚. 中国农作物遥感动态监测与估产集成系统区[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [30] 陈沈斌, 孙九林. 建立我国主要农作物卫星遥感估产运行系统的主要技术环节及解决途径[J]. 自然资源学报, 1997, 12(4) : 363-369.
- [31] 郑长春, 王秀珍, 黄敬峰. 基于特征波段的 Spot-5 卫星影像水稻面积信息自动提取的方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2008, (3) : 294-299.
- [32] 张 霞, 焦全军, 张 兵, 等. 利用 MODIS_EVI 图像时间序列提取作物种植模式初探[J]. 农业工程学报, 2008, (5) : 161-165.
- [33] 乌 云. 基于不同时相 TM 数据的森林植被类型提取研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [34] 李鑫川, 徐新刚, 王纪华, 等. 基于时间序列环境卫星影像的作物分类识别[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2) : 169-176.
- [35] 谢登峰, 张锦水, 潘耀忠, 等. Landsat8 和 MODIS 融合构建高时空分辨率数据识别秋粮作物[J]. 遥感学报, 2015, 19(5) : 791-805.
- [36] Zhang Mingwei, Zhou Qingbo, Chen Zhongxin, et al. Crop discrimination in Northern China with double cropping systems using Fourier analysis of time-series MODIS data [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2008, 10: 476-485.
- [37] Brian D Wardlow, Stephen L Egbert. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250m NDVI data: An assessment for the U. S. Central Great Plains [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112: 1 096-1 116.
- [38] Doraiswamy P C, Sinclair T R, Hollinger S, et al. Application of MODIS derived parameters for regional crop yield assessment [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 97: 192-202.
- [39] E A Zaghoul, S M Hassan, A M Bahy, et al. Detection of Ancient Irrigation Canals of Deir El-Hagar Playa, Dakhla Oasis, Egypt, Using Egyptsat-1 Data [J]. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 2013, 16: 153-161.
- [40] 徐 美, 黄诗峰, 姚永慧, 等. 干旱半干旱地区灌溉农业中的遥感应用[J]. 干旱区研究, 2006, 23(4) : 592-597.
- [41] 柯丽娟. 遥感反演土壤含水量在灌溉用水管理中的应用研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2015.
- [42] 焦 旭. 石津灌区种植结构与灌溉面积信息提取[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2016.
- [43] 李 喆, 谭德宝, 崔远来, 等. 基于 PDI 的湖北漳河灌区土壤含水量遥感监测[J]. 人民长江, 2010, 41(1) : 92-95.
- [44] Shi Y, Ji S P, Shao X W, Tang H J, Wu W B, Yang P, Zhang Y J and Shihasaki R. Framework of SAGI agriculture remote sensing and its perspectives in supporting national food security [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(7) : 1 443-1 450.
- [45] 肖广金. 遥感技术在农业节水灌溉工作中的应用[J]. 水利科技与经济, 2016, 22(4) : 90-91.
- [46] 孙家柄. 遥感原理与应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2010: 7-2.
- [47] 赵文生. Landsat-5 TM 遥感影像辐射定标系统的设计实现[J]. 科研, 2016 (1) : 219-222.
- [48] 郑 伟, 曾志远. 遥感图像大气校正方法综述[J]. 遥感信息, 2004 (4) : 66-70.