

综合研究

农业土地资源遥感研究动态评述*

吴文斌¹, 余强毅¹, 杨鹏¹, 陆苗¹, 胡琼²,
宋茜¹, 史云¹, 孙晶¹, 张保辉¹, 史中超³

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 / 农业农村部农业遥感重点实验室, 北京 100081; 2. 华中师范大学城市与环境科学学院, 武汉 430070; 3. 日本东京都市大学环境科学学院, 神奈川 224-8551)

摘要:【目的】作为地球陆地系统最重要的组成部分, 农业土地系统对于确保国家粮食安全与资源安全, 科学理解人—地耦合关系具有重要作用。【方法】文章从农业土地系统科学视角出发, 系统梳理了农业土地资源遥感的总体框架, 围绕4个核心内容的研究现状、进展和存在问题进行了深入论述。【结果】农业土地资源遥感包括资源调查和变化监测两个主要任务, 其核心内容包括: 耕地资源的数量和空间分布调查、农作物种植结构调查、农业土地集约化利用监测、农业土地利用时空变化监测等。【结论】面向当前和今后相当长时间内智慧农业、农业高质量与绿色发展的迫切需求, 农业土地资源遥感需要从系统性和整体性的科学视角来开展综合研究, 天空地一体化、多源数据、多时空尺度和多技术方法的综合集成将是未来农业土地资源遥感研究的重点发展方向。

关键词: 农业土地资源; 遥感; 监测; 调查; 识别; 精度; 时空

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20190301

0 引言

作为重要的自然资源和社会生产要素, 农业土地资源是衣食之源, 是人类农业生产、生活和经营开发的基础。农业土地资源历来受到各级政府、科研单位和高等院校的广泛重视, 准确、及时掌握农业土地资源的数量、分布、质量及其变化, 已经成为长期追求的目标。随着空间技术的进步, 遥感技术(高时效、宽范围、低成本的特点)现已成为大范围区域农业土地资源研究的新技术^[1-3]。

农业土地资源遥感总体框架如图1所示。从目标看, 农业土地资源遥感的目的是调查自然要素和社会经济因素共同作用下的农业土地资源的类型、数量、分布和质量现状, 监测其时空变化过程及规律。从核心任务看, 其包括资源调查和变化监测两大方面。资源调查以遥感分类方法为技术支撑, 获取空间、质量属性等状态数据; 变化监测则依托遥感变化检测技术, 得到多维度时空变化信息。在某种程度上, 变化监测中的变化检测

收稿日期: 2019-05-19

作者简介: 吴文斌(1976—), 研究员、博士生导师。研究方向: 农业土地系统。Email: wuwenbin@caas.cn

*基金项目: 国家自然科学基金项目“中国耕地复种潜力提升空间及优化配置”(41871356)

也是一种分类，是一种基于分类又高于分类的再分类过程^[4]。从覆盖的内容看，农业土地资源遥感的主要内容包括 4 个方面，可以归纳为 2W2H。耕地资源是农业土地利用的基础，第一个 W 是要掌握耕地资源的数量和空间分布（Where），摸清耕地资源家底；第二个 W 就是要明确农作物种植结构（What），揭示一个地区或生产单元内农作物的组成（作物类型）和种植布局（空间分布）^[3, 5]。同时，随着农业土地系统概念的深入，农业土地资源遥感研究在关注耕地及其作物种植格局的同时，也高度重视农业土地集约化利用。第三个方面的内容就是研究农业土地如何种植、集约化利用的问题（How），即农业土地的时间和空间利用强度、农业生产资料（资金、劳动和技术等）投入状况等^[6]。最后，农业土地资源遥感监测结果的现势性是衡量其使用价值的重要标志之一，需要不断进行时空变化监测或制图更新，形成长时间序列的农业土地利用数据集。第四个方面的内容是农业土地利用时空变化的问题（How），即在特定的时间段内，一个区域或生产单元内农业土地利用发生变化的数量、位置、范围和类型等信息。

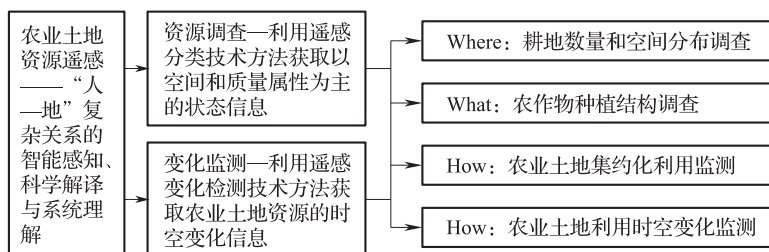


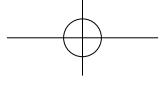
图 1 农业土地资源遥感总体框架

Fig.1 Overview framework of agricultural land resources remote sensing

1 耕地资源数量和空间遥感调查

早期的农业土地资源遥感多集中于耕地时空格局及其动态变化研究，重点监测耕地数量和空间分布及变化趋势，以及耕地与其他土地利用方式间的转换过程、特征及规律^[1]。技术方法逐渐由目视解译法发展到基于统计学的分类法（监督分类、多时相及多源数据结合分类等），进一步发展为如随机森林分类法、神经网络方法、模糊数学分类法等其他遥感分类方法，同时，面向对象分类法（包括空间领域特征、纹理特征等）亦是辅助光谱特征分类的另一重要方法^[2]。

近年来，耕地资源遥感调查主要向两方面发展。一是在空间尺度上，随着地表覆盖遥感制图的发展，耕地调查逐渐从局部尺度向区域和全球尺度扩展。早期的全球耕地制图以中低分辨率为主，如美国马里兰大学的 UMD 数据集^[7]、国际地圈—生物圈计划的 IGBP-DISCover 数据集^[8]、美国波士顿大学的 MODIS Collection 数据集^[9]、欧盟联合研究中心的 GLC2000 数据集^[10]等。进入 21 世纪以来，耕地制图的遥感数据空间分辨率逐渐提高，如波士顿大学研制了分辨率为 500 m 的全球地表覆盖数据 MODIS Collection 5^[11]；欧空局基于 MERIS 反射率数据得到了 2005 年和 2009 年全球 300 m 空间分辨率



2019年6月

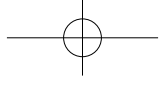
的 GlobCover^[12]。中国的 FROM-GLC 数据集^[13] 和 GlobeLand30 数据集^[14] 成为全球首例 30 m 空间分辨率的地表覆盖遥感产品, 将全球耕地遥感数据集的空间分辨率提高了 10 倍。同时, 单一耕地类型制图逐渐发展, 如美国南达科他州立大学将时序 MODIS 数据和统计数据结合, 生成了 250 m 的 MODIS Cropland 数据集^[15]; Fritz 等在 Geo-wiki 采集样本的基础上, 结合全球和区域多套地表覆盖产品研制了新的全球耕地分布图和耕地地块大小分布图^[16]。

二是在制图策略上, 除了常用的遥感分类外, 通过数据融合生成的高质量耕地数据集受到广泛关注。多源数据融合是在不同来源耕地数据的对比分析基础上, 借助数学算法进行融合, 从分辨率、时序性、精度等方面弥补单个数据无法满足分类需求的劣势^[17-18]。多源数据分为遥感数据与非遥感数据两大类。遥感数据即全球、洲域或国家级尺度的耕地遥感数据。非遥感数据则包括统计数据、土地利用及其调查数据、专题图件等。多源耕地遥感数据集来自不同的传感器, 空间分辨率不同, 分类体系和技术方法存在差异, 使得不同耕地数据集之间的精度和一致性差异较大。因此, 通过多源遥感数据融合可有效解决上述问题^[19]。遥感数据和非遥感数据的融合主要结合遥感数据在空间分布表达和非遥感数据数量动态描述两方面的优势, 构建地理空间模型或空间分配算法, 实现耕地数据集的重建。目前, 最著名的两个数据集为 SAGE 数据集^[20] 和 HYDE (Historical Database of the Global Environment) 数据集^[21], HYDE 在数据资料和算法等方面总体优于 SAGE 数据集。目前的多源数据融合方法主要包括基于回归分析的融合、基于数据一致性的融合、基于 D-S 证据理论的融合、基于数据集成方法的融合、基于模糊集合理论的融合和基于统计模型的融合等 6 类^[19]。其中基于数据一致性的融合方法^[16, 22] 和基于回归分析的融合方法^[23-24] 应用最为广泛。

2 农作物种植结构遥感调查

基于遥感技术进行农作物种植结构提取实质是利用遥感影像进行农作物分类。农作物在遥感影像中的光谱、时相和空间等特征成为农作物种植结构遥感提取的重要基础。不同作物及同一作物在不同生长发育期具有不同光谱反射特性, 而且会受生长期、长势及田间管理等影响, 仅利用光谱特性识别农作物种植结构很难取得理想结果。生长环境的差异使作物在影像上的空间特性(纹理、结构、几何等)有所区别, 因此, 科学利用不同作物之间的光谱、时相和空间特征差异, 可实现对农作物种植结构的高精度提取^[5]。

基于单一影像数据的种植结构提取方法是目前较常用的方法^[25-28], 操作简单、适宜简单区域。该方法多采用重访周期长、受天气影响大的中高空间分辨率数据, 获取作物种植结构识别的“最佳物候期”面临很多挑战。基于时间序列遥感数据, 利用不同作物的时相规律提取种植结构是当前的主流方法。黄青等^[29] 基于作物物候特征、NDVI 时序特征, 构建了东北地区 4 种农作物种植结构提取模型且获得其空间分布特征。Hu 等^[30-32] 提出了一种分离指数扩展方法, 将类对光谱分离指数应用于农作物种植结构提取, 并建立一种新的光谱—时序自动优选算法, 综合光谱分离性和特征冗余性循环迭代, 实现了



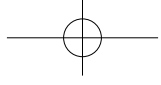
东北不同作物识别的光谱和时序最优特征集的自动选择。Song 等^[33-34]基于 GF-1/WFV 数据，利用面向对象分类方法，提出了多作物同步识别和逐步优化方法，实现了不同生育期作物种植结构制图。此外，由于中国作物种植区域地形破碎、种植结构复杂，混合像元的现象普遍存在，很多学者将作物的种植面积与“光谱—时序”曲线联系起来，建立了一种定量的函数关系，实现农作物种植面积及空间分布的准确提取。Lobell 等^[35]假定每个像元内部的光谱信息由多种作物混合而成，将单个光谱特征时序曲线视为光谱曲线，曲线每个时序点视为单个波段，利用线性光谱分解原理，即每个像元的每个时序光谱值由像元内不同作物相应时序光谱值共同作用形成，通过构建相应的多元线性模型可定量计算出每个像元内部作物的复杂度。构建基于“光谱—时序”特征量的统计模型可以在一定程度上解决混合像元问题，使得农作物种植面积提取精度更高，但是这种模型的普适性还需要进一步加强与完善，以满足不同区域尺度下农作物种植结构提取的精度要求。

单纯基于遥感技术的方法往往多应用于区域尺度，国家乃至全球尺度的农作物种植结构遥感提取较欠缺。近年来，有学者将遥感数据与非遥感数据相结合，充分利用二者优势，利用空间分配模型将非遥感数据空间化，提取全球或国家尺度农作物种植结构^[36-37]。如竞霞等利用多时相 Landsat TM 数据，以非遥感数据为辅助信息，考虑不同植被的季相节律，通过对不同植被的 NDVI “光谱—时序”特征进行分析，通过图像通道间的逻辑运算算法，提取了京郊冬小麦种植面积的空间分布信息^[38]。You 等基于耕地分布现状、作物统计信息等多源数据，构建 SPAM 模型，得到全球 20 类农作物分布格局信息^[39-40]。虽然遥感与非遥感数据融合得到的农作物种植结构数据已成为全球农作物格局研究的重要基础数据，但是受影像本身的分辨率及精度制约影响，这些数据很难服务于特定的大范围农作物种植区域，普适性较差。

目前，农作物种植结构遥感提取仍然面临着众多的困难和挑战，亟需加强大区域、多类型、高精度的农作物种植结构遥感提取能力，尽快解决我国“农作物一张图”空白的问题；需要充分利用遥感与非遥感数据、统计数据与地理数据各自的优势，加强多源数据的预处理、特征参量选取与分类算法等关键技术研究，进行农作物种植结构遥感提取空间范围的扩展。同时，在全球变化的大背景下，农作物种植结构动态变化遥感提取成为了研究热点，长期以来，农作物种植结构遥感提取多以静态（单时间点/段）提取为主，缺乏时空变化规律的动态研究，农作物种植结构遥感提取及多因素影响下的农作物种植结构时空动态特征、过程、机理和优化布局等方面的研究未来亟待加强。

3 农业土地集约化利用遥感监测

目前，农业土地利用集约化（如复种指数、水浇地、设施农业和地膜覆盖农田等）监测中广泛使用了遥感技术。耕地复种指数遥感监测是通过基于时序植被指数变化对植被活动描述来实现^[41-42]。基于时间序列植被指数蕴涵着植被的生长和枯萎的循环节律，采用各种平滑方法拟合得到作物生长曲线，可以实现耕地复种指数的遥感监测。目前，



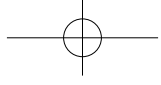
2019年6月

很多学者利用滤波法^[43-46]和非线性拟合法^[47-48]等进行曲线拟合,构建如决策树、滑动分割、二次差分法特征提取算法^[49-66]进行复种指数监测。这些方法在全球及我国多个省市地区(如太湖流域、关中地区、浙江省等)得以应用^[53-64, 66-69]。利用遥感技术进行耕地复种指数监测能够有效地避免地面统计汇总方法的不足,可以很好地适应快速、大尺度区域和空间变化等耕地复种指数监测的要求。但是,后续研究应该更多考虑如何科学合理优化和完善时序数据平滑算法和熟制判断方法,提倡多种算法取长补短,增强各种算法的稳定性和普适性;积极融合遥感监测和地面监测各自的优势,形成地空一体化的复种指数监测格局,提高耕地复种指数的监测精度,实现该监测的业务化运行;推广更多使用高空间分辨率的遥感影像,融合不同时空分辨率的遥感数据和改进海量数据处理能力,将会是遥感技术在未来耕地复种指数研究中的必然趋势。

水浇地是指有水源保证和灌溉设施,在一般年景能正常灌溉、种植旱生农作物的耕地。非监督分类是水浇地遥感中应用最多的方法^[70],联合国粮食与农业组织和国际水资源管理研究所的全球灌溉面积分布图^[71-73]都是利用非监督分类法提取水浇地。同时,在水浇地遥感分类中监督分类法亦得到应用,如 Prasad 等^[74]、Mutlu 和 Garik^[75]和 Salmon 等^[76]均利用监督分类法分别实现了印度 Ganges and Indus 流域水浇地、美国水浇地及早地和全球灌溉、雨养和水稻田的分类识别及空间分布研究;董婷婷等^[77]和刘逸竹等^[78]均基于 MODIS 遥感数据对我国旱地与水浇地进行识别,并获取了其空间分布信息。

我国设施农业主要包括塑料大棚、连栋温室及日光温室三大类。由于其形状特征和结构均易识别,设施农业制图主要是基于高空间分辨率影像的面向对象方法。王中华等基于高分影像,依据农业设施的空间尺度和分布规律,利用数字化方法生成设施基线、输入特征参数,最后通过设施坐标计算法,实现了农业设施信息的自动提取,解决了影像中纹理信息丢失问题^[79]。罗军等通过将农业设施分布规律与其纹理特征相结合,将批量农业设施自动提取算法应用于高分影像,基于 GIS 组件开发了基于高分辨率遥感影像的设施农业信息采集系统。该方法以高分辨率遥感影像为底图,结合自动提取算法在影像上批量数字化农业设施,并对其属性进行自动赋值,准确实现了人机交互式半自动化信息采集技术在高分影像上的使用^[80]。郭航等通过分析典型设施农业在遥感影像上光谱、纹理、形状等特征,建立了设施农业遥感识别的解译标志,采用人工交互式信息提取技术实现了对北京市域范围内设施农业面积及空间分布信息的提取,形成一套较为完整的设施农业面积数据遥感识别流程^[81]。邹利东等结合面向对象分类方法对纹理、几何特征提取所表现出的突出优势,提出一种耦合利用面向对象和基于支持向量机的分类方法,进行设施农业空间分布信息的自动提取,在河北省定州县测试结果显示农业设施的总体分类精度为 95.6%^[82]。尽管面向对象的分类方法提取设施农业可以综合考虑地物的光谱、纹理和空间特征,但其信息量比基于像元方法大很多,需要研究建立针对这些高维数据的普适性分类算法。

地膜覆盖在我国的使用面积、强度不断增加,利用遥感技术识别地膜覆盖农田已是当前热点方向。学者基于 Landsat TM 数据在我国山东省和新疆维吾尔自治区进行地膜识别制图^[83-85],但更多研究是基于高空间分辨率数据提取地膜,如 Levin 等基于 1 m

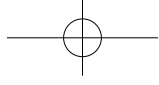


的 AISA-ES 高光谱数据提取地膜, 结果显示透明塑料膜提取精度为 90%^[86]; Agüera 等基于两种高分辨率遥感数据提取温室大棚, 结果均满足需求^[87-88]; Koc-San 分析了 3 种分类方法对玻璃和塑料温室棚的识别能力, 结果显示支持向量机分类效果最好、精度最高^[89]。Hasituya 等基于 Landsat OLI 影像数据, 结合光谱、纹理特征, 在支持向量机基础上构建了地膜覆盖农田的识别方法^[90]。但是, 地膜覆盖农田研究仍多集中于小区域, 大区域尺度的制图方法研究需进一步加强; 研究多以温室大棚和小拱棚为对象, 缺乏对塑料地膜的遥感监测研究。

4 农业土地利用时空变化遥感监测

农业土地利用时空变化遥感监测从变化监测和更新策略看, 主要包括动态信息更新和定期全面更新等两类。动态信息更新是在以往耕地数据基础上, 通过将各时期影像进行对比且获得变化属性, 未变区保留原数据的方法获取新耕地空间数据。如美国国家地表覆盖数据 (NLCD) 基于变化检测自动对土地覆盖数据库进行持续更新, 欧洲 CORINE 地表覆盖数据和中国土地利用遥感监测数据库通过人机交互发现变化区域, 进行数据更新^[91-92]。定期全面更新指将原区域分片, 基于最新遥感影像数据重新分类制图。如英国 LCM1990、LCM2000 和 LCM2007 的分类方法前后均有所改变, 后期多是采用了多种方法相结合的模式进行分类, 进而得到最新地表覆盖信息^[93-94]; 美国农业部通过定期采集农场主网络表报的农作物种植变化信息, 实现作物类型数据库的不断更新^[95]。定期更新在更新变化区域的同时, 对不变区域进行重复分类, 使得工作量与出错率增加; 同时, 更新的精度依赖解译人员的专家知识, 不利于保证制图数据库的一致性。相比之下, 动态信息更新只进行变化区分类, 任务量缩小, 有利于保持耕地数据库的一致性。

农业土地利用时空变化遥感监测是对不同时期的遥感影像进行几何纠正配准和融合处理后, 进行变化信息的提取, 包括变化区域检测、变化区域提取、变化类型确定和变化信息表达等 4 个步骤^[4]。变化区域或信息检测方法包括分类后结果比较法和多时相光谱数据直接比较法两大类。分类后结果比较法首先进行不同时期分类, 然后比较各期分类结果, 进而直观可见变化区域同时得到变化区域的定量数据^[96]。该方法总体上不受大气变化、物候状况差异、不同传感器差异的影响, 适用性较好, 但工作量大、自动化程度低、遗漏图斑多, 精度受不同时相分类精度制约。近年来, 多时相光谱数据直接比较法日益成为变化检测的主流方法。该方法主要包括基于图像代数运算的方法 (如图像差值法、图像比值法和变化矢量分析法等)、基于图像变换的方法 (如主成分分析法、光谱特征变异法和正交变换法等) 和基于图像空间结构特征的方法 (如基于线性特征、纹理特征和语义描述的方法等)^[97]。直接比较法不仅可避免分类后比较法的多次分类、误差累积并出现不合理变化类型的缺陷, 而且可以利用较多波段信息来探测变化区域, 提供变化区域的类型信息。然而, 目前影像直接比较的变化检测方法多基于遥感影像的像元单元, 面向对象的变化检测方法发展较为薄弱。面向对象的变化检测方法以影像分割为基础, 将影像划分为对象, 这些对象形状各异, 但具有光谱、纹理或空间组合等相同



2019年6月

特征,是光谱域和空间域上的统一均质单元,后续图像分析和变化检测都是基于对象进行。该方法由于区域分割时处理的数据单元由像元变为对象,一方面减少了处理单元的数量,减低了数据处理的复杂度,提高了变化监测效率;另一方面对不同时期影像的空间配准误差也具有一定的鲁棒性。如 Lu 等发展了新的面向对象的时空植被指数分解模型(OB-STVIUM),基于 Landsat 和 MODIS 数据生成对象的高时空分辨率 NDVI 时间序列数据;然后对于每个对象的 NDVI 时间序列数据,从光谱形状差异和光谱量值差异两方面,利用 NDVI 斜率差异(NDVI-GD)度量变化强度,通过阈值设置确定耕地变化和不变化的区域^[98]。

变化区域或信息检测能够检测出不同时期耕地或作物变化的区域和分布,但存在变化区域和边界范围不完整,出现不连续的线状目标或不完整的面状目标,这需从遥感影像上提取变化区域的准确范围、形状和边界。常用的变化区域提取方法包括阈值法、区域生长法、聚类法以及人机交互描绘法。阈值法从变化自动发现的影像自适应获取变化阈值,多种类型需要多个阈值分层提取各种变化;区域生长法适用于经光谱特征变异法和波段替换法处理后的影像,种子点往往通过人机交互选取,通过区域生长提取变化范围时,除采用影像的光谱或灰度相似性外,还可以挖掘纹理、结构等复合信息,辅助提高变化范围提取的可靠性与准确性。聚类法是综合利用不同时相影像合成后的多波段影像信息,人机交互描绘法适合于上述方法失效的复杂情况^[4]。

变化类型的确定是农业土地利用变化遥感监测的关键环节,只针对发生变化的区域进行变化类型的确定,包括人机交互解译、自动识别以及变化曲线匹配等方法。变化类型的确定需要充分利用多源信息,如不同时相的遥感影像、变化影像、已有的土地利用数据等可以构成变化特征,形成变化类型的判别知识库,在知识库引导下进行类别自动识别。变化曲线或模板匹配是利用不同时相影像建立土地利用类型知识库(如波段的均值、方差以及其纹理、形状等),确定标准变化曲线或模板,按照设定的匹配规则确定变化类型。农业土地利用变化信息的表达是对单图斑或对象的量算,以及进行各种统计、汇总和表达,通常以统计报表和以影像为背景的专题图形式进行表达^[4, 99]。

5 结语

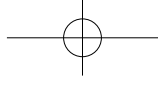
农业土地资源遥感随着农业遥感技术的研究与应用不断发展,过去几十年,国内外学者围绕农业土地资源遥感开展了大量研究,在基础理论、技术方法和应用系统等方面取得了长足进展,为科学掌握耕地资源分布、利用现状、集约化利用模式、时空变化过程和原因等发挥了重要作用,支撑了各级政府政策制定、宏观决策和指导农业生产,确保了国家粮食安全、资源安全和农业可持续发展^[100]。

该文从农业土地系统科学视角出发,系统梳理农业土地资源遥感的总体框架,围绕4个核心内容的研究现状、进展和存在问题进行了深入论述。面向当前和今后相当长时间内智慧农业、农业高质量与绿色发展的迫切需求,遥感技术必将在农业土地资源家底和权属调查、质量与利用监测、效能评估等方面发挥更为重要作用。农业土地利用本质上

反映了复杂的“人—地”耦合关系^[101]，这需要未来从系统性和整体性的科学视角开展综合研究，更好揭示复杂现象的内在本质。因此，天空地一体化、多源数据、多时空尺度和多技术方法的综合集成将是未来农业土地资源遥感研究的重点发展方向，这迫切需要自然科学、工程科学和社会科学等多个学科门类的融合与交叉发展。

参考文献

- [1] 唐华俊, 吴文斌, 余强毅, 等. 农业土地系统研究及其关键科学问题. 中国农业科学, 2015, 48(5): 900~910.
- [2] 唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 等. 农作物空间格局遥感监测研究进展. 中国农业科学, 2010, 43(14): 2879~2888.
- [3] 吴文斌, 杨鹏, 李正国, 等. 农作物空间格局变化研究进展评述. 中国农业资源与区划, 2014, 35(1): 12~20.
- [4] 王静. 土地资源遥感监测与评价方法, 北京: 科学出版社, 2006.
- [5] 胡琼, 吴文斌, 宋茜, 等. 农作物种植结构遥感提取研究进展. 中国农业科学, 2015, 48(10): 1900~1914.
- [6] 龙禹桥, 吴文斌, 余强毅, 等. 耕地集约化利用研究进展评述. 自然资源学报, 2018, 33(2): 337~350.
- [7] Hansen M C., Reed B. A comparison of the IGBP DISCover and university of Maryland 1km global land cover products. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21: 1365~1373.
- [8] Loveland T R., Reed B C., Brown J F., et al. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21: 1303~1330.
- [9] Friedl M A., Mciver D K., Hodges J C. F., et al. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83: 287~302.
- [10] Bartholome E., Belward A S. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(9): 1959~1977.
- [11] Friedl M A., Sulla-Menashe D., Tan B., et al. MODIS Collection 5 global land cover: algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114: 168~182.
- [12] Bontemps S., Defourny P., Bogaert E V., et al. GLOBCOVER 2009 Products Description and Validation Report, 2011.
- [13] Gong P., Wang J., Yu L., et al. Finer resolution observation and monitoring of GLC: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, 34(7): 2607~2654.
- [14] Chen J., Chen J., Liao A., et al. Global land cover mapping at 30 m resolution: a POK-based operational approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, 103: 7~27.
- [15] Pittman K., Hansen M C., Becker-Reshef I., et al. Estimating global cropland extent with multi-year MODIS data. *Remote Sensing*, 2010, 2(7): 1844~1863.
- [16] Fritz S., See L., McCallum I., et al. Mapping global cropland and field size. *Global Change Biology*, 2015, 21(5): 1980~1992.
- [17] 吴文斌, 杨鹏, 张莉, 等. 四类全球土地覆盖数据在中国区域的精度评价. 农业工程学报, 2009, 25(12): 167~173.
- [18] Lu M., Wu W., Zhang L., et al. A comparative analysis of five global cropland datasets in China. *Science China Earth Sciences*, 2016, 59(12): 2307~2317.
- [19] 陈迪, 吴文斌, 陆苗, 等. 基于多源数据融合的地表覆盖数据重建研究进展综述. 中国农业资源与区划, 2016, 37(9): 62~70.
- [20] Ramankutty N., Foley J. Estimating historical changes in global land cover: croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(4): 997~1027.
- [21] Goldewijk K., Beusen A., Van G. The HYDE3. 1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12,000 years. *Global Ecology and Biogeography*, 2011, 20(1): 73~86.
- [22] Ramankutty N., Evan A T., Monfreda C., et al. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22: GB1003.
- [23] Kinoshita T., Iwao K., Yamagata Y. Creation of a global land cover and a probability map through a new map integration method. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, 28: 70~77.
- [24] See L., Schepaschenko D., Lesiv M. Building a hybrid land cover map with crowdsourcing and geographically weighted regression. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, 103: 48~56.
- [25] 李志鹏, 李正国, 刘珍环, 等. 基于中分辨率 TM 数据的水稻提取方法对比研究. 中国农业资源与区划, 2014, 35(1): 27~33.
- [26] Mathur A., Foody G M. Crop classification by support vector machine with intelligently selected training data for an operational application. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(8): 2227~2240.
- [27] 徐晓桃, 韩涛, 颜耀文. 基于单时相 MODIS 数据的土地覆盖三种分类方法对比研究. 干旱地区农业研究, 2008,



2019年6月

- 26(3): 253~258.
- [28] 刘克宝, 刘述彬, 陆忠军, 等. 利用高空间分辨率遥感数据的农作物种植结构提取. 中国农业资源与区划, 2014, 35(1): 21~26.
- [29] 黄青, 唐华俊, 周清波, 等. 东北地区主要作物种植结构遥感提取及长势监测. 农业工程学报, 2010, 26(9): 218~223.
- [30] Hu Q., Wu W., Song Q., et al. Extending the pairwise separation index for multi-crop identification using time series MODIS images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2016, 54(11): 6349~6361.
- [31] Hu Q., Sulla-Menashe D., Xu B., et al. A phenology-based spectral and temporal feature selection method for crop type mapping from satellite time series. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 2019, 80: 218~229.
- [32] Hu Q., Ma Y., Xu B., et al. Sub-pixel soybeans fraction estimation from time-series MODIS data using an optimized geographically weighted regression model. *Remote Sensing*, 2018, 10: 491.
- [33] Song Q., Xiang M., Caria H., et al. Object-based feature selection for crop classification using multi-temporal high-resolution imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2019, 40(5/6): 2053~2068.
- [34] Song Q., Hu Q., Zhou Q., et al. In-season crop mapping with GF-1/WFV data by combining object-based image analysis and random forest. *Remote Sensing*, 2017, 9(11): 1184.
- [35] Lobell D B., Asner G P. Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 93(3): 412~422.
- [36] 宋茜, 周清波, 吴文斌, 等. 农作物遥感识别中的多源数据融合进展评述. 中国农业科学, 2015, 48(6): 1122~1135.
- [37] 夏天, 吴文斌, 周清波, 等. 基于地理回归的农作物播种面积统计数据空间化方法. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1773~1782.
- [38] 竞霞, 刘良云, 张超, 等. 利用多时相 NDVI 监测京郊冬小麦种植信息. 遥感技术与应用, 2005, 20(2): 238~242.
- [39] You L., Stanley W., Ulrike S., et al. Generating global crop distribution maps: From census to grid. *Agricultural Systems*, 2014, 127: 53~60.
- [40] Lu M., Wu W., You L., et al. A synergy cropland map of China by fusing multiple existing maps and statistics. *Sensors*, 2017, 17: 1613.
- [41] 余强毅, 项铭涛, 谢安坤, 等. 耕地复种差研究进展. 中国农业信息, 2018, 30(5): 1~12.
- [42] 吴文斌, 余强毅, 陆苗, 等. 耕地复种指数研究的关键科学问题. 中国农业科学, 2018, 51(9): 1681~1694.
- [43] 吴文斌, 杨鹏, 唐华俊, 等. 两种 NDVI 时间序列数据拟合方法比较. 农业工程学报, 2009, 25(11): 183~188.
- [44] 唐鹏钦, 吴文斌, 姚艳敏, 等. 基于小波变换的华北平原耕地复种指数提取. 农业工程学报, 2011, 27(7): 220~225.
- [45] Galford G L., Mustard J F., Melillo J., et al. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(2): 576~587.
- [46] 范锦龙, 吴炳方. 复种指数遥感监测方法. 遥感学报, 2004, 8(6): 628~636.
- [47] 朱孝林, 李强, 沈妙根, 等. 基于多时相 NDVI 数据的复种指数提取方法研究. 自然资源学报, 2008, 23(3): 534~544.
- [48] 吴文斌, 杨鹏, 唐华俊, 等. 基于 NDVI 数据的华北地区耕地物候空间格局. 中国农业科学, 2009, 42(2): 552~560.
- [49] 辜智慧. 中国农作物复种指数的遥感估算方法研究——基于 SPOT/VGT 多时相 NDVI 遥感数据. 北京: 北京师范大学, 2003.
- [50] 左丽君, 董婷婷, 汪潇, 等. 基于 MODIS/EVI 的中国北方耕地复种指数提取. 农业工程学报, 2009, 25(8): 141~146.
- [51] 刘爽, 马欣, 李玉娥, 等. 基于滑动分割算法的我国耕地熟制识别研究. 资源科学, 2014, 36(9): 1969~1976.
- [52] 高应波, 柳钦火, 李静, 等. 基于时序植被指数特征时相识别的多熟制耕地提取新方法. 遥感技术与应用, 2015, 30(3): 431~438.
- [53] 丁明军, 陈倩, 辛良杰, 等. 1999—2013 年中国耕地复种指数的时空演变格局. 地理学报, 2015, 70(7): 1080~1090.
- [54] 杨婷, 赵文利, 王哲怡, 等. 基于遥感影像 NDVI 数据的中国种植制度分布变化. 中国农业科学, 2015, 48(10): 1915~1925.
- [55] 彭代亮, 黄敬峰, 金辉民. 基于 MODIS-NDVI 的浙江省耕地复种指数监测. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1352~1357.
- [56] 何月, 张小伟, 李仁忠, 等. 浙江省作物多熟种植制度遥感反演及其时空格局. 生态学杂志, 2011, 30(12):

- 2827~2835.
- [57] 徐昔保, 杨桂山. 太湖流域 1995—2010 年耕地复种指数时空变化遥感分析. 农业工程学报, 2013, 29(3): 148~155.
- [58] 杨忍, 刘彦随, 陈玉福, 等. 环渤海地区耕地复种指数时空变化遥感反演及影响因素探测. 地理科学, 2013, 33(5): 588~593.
- [59] 申健, 常庆瑞, 李粉玲, 等. 2000—2013 年关中地区耕地复种指数遥感动态监测. 农业机械学报, 2016, 47(8): 280~287.
- [60] Yan H., Xiao X., Huang H., et al. Multiple cropping intensity in China derived from agro-meteorological observation and MODIS data. *Chinese Geographical Science*, 2014, 24(2): 205~219.
- [61] 闫慧敏, 曹明奎, 刘纪远, 等. 基于多时相遥感信息的中国农业种植制度空间格局研究. 农业工程学报, 2005, 21(4): 85~90.
- [62] 闫慧敏, 肖向明, 黄河清. 黄淮海多熟种植农业区作物历遥感检测与时空特征. 生态学报, 2010, 30(9): 2416~2423.
- [63] 闫慧敏, 黄河清, 肖向明, 等. 鄱阳湖农业区多熟种植时空格局特征遥感分析. 生态学报, 2008, 28(9): 4517~4523.
- [64] Xiang M., Yu Q., Wu W. From multi-cropping index to multi-cropping frequency: observing cropland use intensity at a finer scale. *Ecological Indicators*, 2019, 101: 892~903.
- [65] 梁守真, 马万栋, 施平, 等. 基于 MODIS NDVI 数据的复种指数监测——以环渤海地区为例. 中国生态农业学报, 2012, 20(12): 1657~1663.
- [66] 周辉, 王卫东, 李星敏, 等. 基于长时间序列 NDVI 的陕西省耕地复种指数遥感监测分析. 干旱地区农业研究, 2014, 32(3): 189~195.
- [67] Wu W., Yu Q., You L., et al. Global cropping intensity gaps: Increasing food production without cropland expansion. *Land Use Policy*, 2018, 76: 515~525.
- [68] Tao J., Wu W., Xu M. Using bayesian network to map large-scale cropping intensity by fusing multi-source data. *Remote Sensing*, 2019, 11: 168.
- [69] Tao J., Wu W., Liu W. Spatial-temporal dynamics of cropping frequency in Hubei Province over 2001—2015. *Sensors*, 2017, 17: 2622.
- [70] 董婷婷, 王振颖, 武玉峰. 水浇地与旱地分类的研究进展. 遥感信息, 2010, 4: 124~134.
- [71] Doll P., Siebert S. A digital global map of irrigated areas. *Icid Journal*, 2000, 49(2): 55.
- [72] 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. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 30(14): 3679.
- [73] Portmann F. T., Siebert S., Doll P. MIRCA2000—Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010: 24.
- [74] Thenkabail P. S., M Schull M., Turrall H. Ganges and Indus river basin land use/land cover (LULC) and irrigated area mapping using continuous streams of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 95(3): 317~341.
- [75] Mutlu O., Garik G. A new methodology to map irrigated areas using multi-temporal MODIS ancillary data: An application example in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112: 3520~3537.
- [76] Salmon J. M., Friedl M. A., Froking S., et al. Global rain-fed, irrigated, and paddy croplands: A new high resolution map derived from remote sensing, crop inventories and climate data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2015, 38: 321~334.
- [77] 董婷婷, 左丽君, 张增祥. MODIS 数据的水浇地提取. 遥感学报, 2009, 13(3): 528~534.
- [78] 刘逸竹, 吴文斌, 李召良, 等. 时间序列 NDVI 的灌溉耕地空分布提取. 农业工程学报, 2017, 33(22): 276~284.
- [79] 王中华, 刘一航. 设施农业的高分辨率遥感影像信息提取方法的研究. 农机化研究, 2009, 55(1): 63~70.
- [80] 罗军, 潘瑜春, 王纪华, 等. 基于高分辨率遥感影像的设施农业资源信息采集技术研究. 地理与地理信息科学, 2007, 23(3): 51~54.
- [81] 郭航, 李林琳, 王艳艳, 等. 遥感技术在设施农业统计中的应用. 中国统计, 2009: 12~14.
- [82] 邹利东, 郭航, 朱秀芳, 等. 设施农业空间分布信息自动提取方法研究. 遥感技术与应用, 2014, 29(4): 669~674.
- [83] Zhao G. X., Li J., Li T. Utilizing Landsat TM imagery to map greenhouses in Qingzhou, Shandong Province, China. *Pedosphere*, 2004, 14(3): 363~369.
- [84] 沙先丽. 地膜农田遥感信息提取及覆膜地表温度反演. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [85] Lu L., Di L. A decision-tree classifier for extracting transparent plastic-mulched land cover from Landsat-5 TM images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2014, 7(11): 4548~4558.

2019年6月

- [86] Levin N. , Lugassi R. , Ramon U. , et al. Remote sensing as a tool for monitoring plasticulture in agricultural landscapes. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28: 183~202.
- [87] Agüera F. , Aguilar F J. , Aguilar M A. Using texture analysis to improve per-pixel classification of very high resolution images for mapping plastic greenhouses. *ISPRS Journal Photogrammetry and Remote Sensing*, 2008, 63(6): 635~646.
- [88] Agüera F. , Liu J. Automatic greenhouse delineation from QuickBird and IKONOS satellite images. *Computers & Electronics in Agriculture*, 2009, 66(2): 191~200.
- [89] Koc-san D. Evaluation of different classification techniques for the detection of glass and plastic greenhouses from WorldView-2 satellite imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2013, 7(1): 1657~1663.
- [90] Hasituya, Chen Z. , Wang L. , et al. Monitoring plastic-mulched farmland by Landsat-8 OLI imagery using spectral and textural features. *Remote Sensing*, 2016, 8(4): 353.
- [91] Xian G. , Collin H. , Fry J. Updating the 2001 National Land Cover Database land cover classification to 2006 by using Landsat imagery change detection methods. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(6): 1133~1147.
- [92] Jin S. , Yang L. , Danielson P. , et al. A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to circa 2011. *Remote Sensing of Environment*, 2013, 132: 159~175.
- [93] Fuller R. M. , Smith G. M. , Hill R. A. , et al. The UK Land Cover Map 2000: construction of a parcel-based vector map from satellite images. *Cartographic Journal*, 2002, 39: 15~25.
- [94] Morton D. , Rowland C. , Wood C. Final report for LCM2007—the new UK land cover map. *Countryside Survey Technical Report No. 11/07 NERC/Centre for Ecology & Hydrology*, 2011.
- [95] Boryan C. , Yang Z. , Rick M. , et al. Monitoring us agriculture: the us department of agriculture, national agricultural statistics service, cropland data layer program. *Geocarto International*, 2011, 26(5): 341~358.
- [96] 胡琼, 吴文斌, 项铭涛, 等. 全球耕地利用格局时空变化分析. *中国农业科学*, 2018, 51(6): 1091~1105.
- [97] 徐新良, 庞治国, 于信芳. 土地利用 / 覆被变化时空信息分析方法及应用. 北京: 科学技术文献出版社, 2014.
- [98] Lu M. , Chen J. , Tang H. , et al. Land cover change detection by integrating object-based blending model of Landsat and MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 184: 374~386.
- [99] 张增祥, 赵晓丽, 汪潇等. 中国土地利用遥感监测. 北京: 星球地图出版社, 2012.
- [100] 陈仲新, 任建强, 唐华俊, 等. 农业遥感研究应用进展与展望. 遥感学部, 2016, 20(5): 748~767.
- [101] 谢安坤, 周清波, 吴文斌, 等. 农业土地系统的耦合特征及其研究进展. *中国农业信息*, 2018, 30(1): 35~45.

Latest research progresses in agricultural land resources remote sensing

Wu Wenbin¹, Yu Qiangyi¹, Yang Peng¹, Lu Miao¹, Hu Qiong²,
Song Qian¹, Shi Yun¹, Sun Jing¹, Zhang Baohui¹, Shi Zhongchao³

(1. Key Laboratory of Agricultural Remote Sensing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. College of Urban & Environmental Science, Central China Normal University, Hubei Wuhan 430079, China; 3. Faculty of Environmental Studies, Tokyo City University, Kanagawa 224-8551, Japan)

Abstract: [**Purpose**] As one of the most important components of the earth terrestrial system, agricultural land systems play an important role in ensuring national food security and resource security, and scientifically understanding the relationships of coupled human-nature systems. [**Method**] From the perspective of agricultural land systems, this paper systematically proposes the overall framework of agricultural land resources remote sensing, and describes the research status, progresses and existing problems in the four core topics of agricultural land resources remote sensing. [**Result**] It is proposed that remote sensing of agricultural land resources includes two main tasks, i. e. , resource survey and change monitoring, and four core topics

including survey of quantity and spatial distribution of cultivated land, mapping of crop planting structure, monitoring of agricultural land use intensification and monitoring of spatial-temporal change in agricultural land use. [**Conclusion**] For satisfying the urgent development needs of current and future smart agriculture, high-quality agriculture and green agriculture, agricultural land resources remote sensing should be focused on the integrated studies from a systematic and holistic view, and the integration of satellite, aerial and ground platforms, multi-source data, multi-spatiotemporal scales and multi-technical methods will be the key development direction of remote sensing of agricultural land resources in the future.

Key words: agricultural land resources; remote sensing; monitoring; survey; identification; accuracy; spatio-temporal

欢迎订阅《中国农业信息》

《中国农业信息》(双月刊)由农业农村部主管,中国农学会农业信息分会、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所共同主办,是我国目前全方位传播和刊载国内外农业遥感/农业信息科学领域的信息获取、处理、分析和应用服务的理论、技术、系统集成、标准规范等方面最新进展和成果,促进学术交流以及农业信息学科关键技术与产品的创新研发、集成推广和应用示范的综合性科学技术期刊。

主要刊登农业遥感、农业传感器、农业信息智能处理、精准农业/智慧农业、农业监测预警与信息服务系统、农业物联网、智能装备与控制、虚拟农业、人工智能、信息技术标准等方向学科热点领域的最新、最重要的理论研究和应用成果。主要栏目有:农业遥感、智慧农业、综合研究、农业信息技术、农业物联网、专题报道等。目前被中国知网(CNKI)、万方数据、中文科技期刊数据库、中国核心期刊(遴选)数据库等多家数据库收录。

《中国农业信息》为国内外公开发行的刊物,开本为 16 开,彩色四封,读者范围广,影响面大,全国各地邮局均有订阅。每双月 25 号出版,定价为 25.00 元/册,150 元/年。

邮局汇款

收 款 人:《中国农业信息》编辑部

地 址:北京市海淀区中关村南大街 12 号中国农科院资源所区划楼 315

邮 编:100081

银行汇款

开 户 行:农行北京北下关支行

行 号:103100005063

账 号:11050601040011896

单位名称:中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

电 话:(010) 82109628 82109632

传 真:(010) 82109628 82109632

E m a i l : nyxxbjb@caas.cn

邮发代号:2-733

投稿网址:www.cjarrp.com