

中国水稻遥感信息获取区划研究

孙华生^{1,2}, 黄敬峰^{1,3}, 李 波^{1,2}, 王红说^{1,2}

(¹浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所, 杭州 310029; ²浙江省农业遥感与信息技术应用重点研究实验室, 杭州 310029;

³环境修复与生态健康教育部重点实验室, 杭州 310029)

摘要: 【目的】水稻是我国重要的粮食作物之一。通过遥感技术获取农作物信息是一种有效的手段, 然而由于中国的水稻生长地域跨度大, 各地的气候、地形等自然条件十分复杂, 水稻的生长环境、生长季节和耕作制度在不同的区域差异很大, 所以利用遥感方法获取水稻信息在不同区域有较大差别。为提高利用遥感方法获取水稻信息的精度而对全国的水稻种植区域进行合理的区划。【方法】以全国水稻种植区为对象, 通过分析并选取对遥感技术信息获取有重要影响的因素, 如耕作制度、地形因素、种植结构和大气噪声(云覆盖)等, 采用恰当的区划指标, 利用定性和定量相结合的分析方法进行区划。【结果】根据耕作制度的差异把全国分为4个水稻遥感信息获取区, 然后又根据地形、种植结构和大气噪声等因素对遥感信息获取的影响分成19个亚区。由于研究区的范围较大, 各地的自然和社会状况十分复杂, 所以研究只考虑了对水稻遥感信息获取时起主要影响作用的因素, 而忽略了其它的次要因素。【结论】区划结果对水稻遥感信息获取时选择合适的遥感获取方式、恰当的空间分辨率与时相的遥感图像, 以及对遥感信息提取结果准确度的验证等提供参考。

关键词: 水稻; 遥感; 区划; 中国

Study on the Regionalization of Paddy Rice Information Acquirement Through Remote Sensing Technology in China

SUN Hua-sheng^{1,2}, HUANG Jing-feng^{1,3}, LI Bo^{1,2}, WANG Hong-shuo^{1,2}

(¹Institute of Agricultural Remote Sensing & Information Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029; ²Key Laboratory of Agricultural Remote Sensing and Information System, Zhejiang Province, Hangzhou 310029; ³Ministry of Education Key Laboratory of Environmental Remediation and Ecological Health, Zhejiang University, Hangzhou 310029)

Abstract: 【Objective】 Paddy rice is one of the important staple crops of China. It's an efficient way to acquire crops information through remote sensing technology, however, China has diverse climates because of the country's extensive territory and complex topography, so rice growing environment and planting calendars are very different in different regions, and they may affect rice information acquiring through remote sensing technology. To improve the acquiring precision of rice information, regionalization of the planting area of paddy rice in the whole country was studied. 【Method】 Major impacting factors, including rice farming systems, topography, planting structure and atmospheric noises (cloud cover), were analyzed and appropriate indices were chosen for the regionalization. The regionalization was executed by qualitative and quantitative analyses. 【Result】 The rice planting area in the whole country was divided into 4 regions by the difference of rice planting rotation, and subsequently divided 19 sub-regions by the differences of topography, land surface feature structure and atmospheric noise. Major factors were considered while other minor ones were neglected in the study due to the large extent and complexity of the study area. 【Conclusion】 The study may provide useful information for the selection of remote sensing images with appropriate spatial resolution and date, as well as for the accuracy evaluation of the classification.

Key words: Paddy rice; Remote sensing; Regionalization; China

收稿日期: 2007-12-19; 接受日期: 2008-06-02

基金项目: 国家“863”计划项目(2006AA120101); 国家科技支撑课题(2006BAD10A01)和国家自然科学基金项目(40571115/D0119)

作者简介: 孙华生(1980—), 男, 山东莒南人, 博士研究生, 研究方向为农业遥感和信息技术应用。E-mail: sunhuasheng@126.com。通讯作者黄敬峰(1963—), 男, 福建漳浦人, 教授, 博士, 研究方向为农业遥感与信息技术应用。Tel: 0571-86971830; E-mail: hjf@zju.edu.cn

0 引言

【研究意义】水稻是中国最重要的粮食作物之一,水稻种植遍布全国,除了青海省以外,其它各省(市、自治区)均有水稻种植。据 2006 年中国统计年鉴数据(不含台湾省)^[1],2005 年全国水稻播种面积为 2 884.7 万公顷,占粮食播种面积 10 427.8 万公顷的 27.7%,而总产量却为 18 058.8 万吨,占中国粮食总产量 42 776.0 万吨的 42.2%。因此,水稻种植对满足中国乃至世界的粮食需求至关重要。水稻遥感信息获取的研究意义主要包括以下几个方面。首先,可以宏观地监测中国的水稻生产状况,及时掌握水稻种植面积和长势等信息,对估算水稻产量和市场的粮食价格预测,以及国家各级政府部门粮食生产政策的制定等有重要意义。其次,水稻种植对水资源利用有重要的影响。根据 2006 年中国水资源公报显示(不含台湾省)(<http://www.mwr.gov.cn/xygb/szygb/qgszygb>),2006 年全国总用水量 5 795 亿立方米,其中农业用水占 63.2%。据估算,水稻种植的用水量约占农业用水总量的 70%,所以水稻种植用水量约占全国总用水量的 44%,因此水稻遥感信息获取对水资源合理分配管理具有重要的指导意义。第三,大气中甲烷的温室效应仅次于二氧化碳,季节性灌溉的水稻田是甲烷的重要来源^[2]。因此,水稻种植面积获取对估算人类活动导致的大气中甲烷含量增加量,监测大气环境变化也具有一定的意义。由于农业生产的覆盖面积大、季节性强的特点,所以利用遥感技术宏观性和周期性的特点进行农作物识别和监测是一种有效的手段。综合国内外所做过的研究,遥感技术已用于局部区域和大范围的水稻种植信息识别^[3-10],应用的遥感图像类型包括高空间分辨率和低空间分辨率数据,遥感获取方式包括被动遥感和主动遥感,并取得了令人满意的效果。然而,对大范围区域(省级以上行政单位),利用遥感进行农作物信息获取,由于地域范围跨度很大,气候类型多样,地形起伏变化大,地域差异十分显著,所以导致土地利用方式十分复杂,在不同的区域形成不同的自然景观,遥感图像中的水稻光谱信息由于受背景地物的影响,在不同地区存在很大差异;而且,水稻种植受热量、水分、地形和社会经济条件的限制,生长季节和种植制度也存在很大差异,这些都对水稻种植面积信息提取和光谱信息之间的关系产生很大的影响,所以要进行全国范围的大面积遥感面积信息提取需要进行分区研究。【前人研究进展】到目前为止,

已经做过许多区域性的、具有针对性的分区和分层研究^[11-20],而且也有一些局部区域性的水稻遥感估产系统,如浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所研制订开发的浙江省水稻遥感估产系统^[21],但尚没有建立起全国性的实用的水稻遥感估产运行系统,这仍然是需要继续研究的重大课题。建立全国性的实用的水稻遥感估产运行系统,其中的一个重要内容就是要建立起大范围农作物遥感信息获取科学合理的分区体系。合理的区域划分对选取最佳时相和类型的遥感图像,以及采用的图像处理方法等都有参考价值,区划结果直接关系到信息提取的准确度,具有非常重要的意义。对大范围的小麦、玉米和水稻等主要农作物的遥感估产区划已经做过一些研究,例如,千怀遂和李明霞对中国小麦、玉米和水稻遥感估产区划进行了研究^[22-26],提出小麦、玉米和水稻遥感估产区划的原则和依据,建立了区划指标,把中国划分为若干个估产区和估产亚区。【本研究切入点】但对大范围农作物遥感信息获取区划的研究还不够成熟,在因素选择和具体指标计算方法等技术操作方面还需要进一步定量分析和研究。【拟解决的关键问题】因此,本研究针对水稻种植生产区域广泛、空间变异大、年际与季节变化波动大等特点,并考虑遥感技术的特点和具体要求,按照一定的原则和方法,选取恰当的评价因素,对中国水稻遥感信息获取进行合理的区划,建立起科学合理的区划体系,以提高水稻遥感信息获取的精度。

1 区划的原则与方法

1.1 区划的原则

对大范围的农作物遥感信息获取区划,虽然区划具体要求和选择的因素不尽相同,但是都遵循一些共同的原则。通过对相关文献^[22-26]区划理论的总结,确定大面积农作物遥感信息获取区划的基本原则。

1.1.1 常规要素分析与遥感要素分析相结合 农作物遥感信息获取区划一方面要考虑其生长的自然环境条件、适宜性、区域差异性、生长过程和社会经济条件等常规要素;另一方面,也要考虑遥感技术本身的具体要求,如卫星传感器类型和时相选择、地物光谱特征差异在图像上的表现、大气噪声对遥感获取的影响等要素。

1.1.2 空间分析与动态分析相结合 农作物遥感信息获取区划的目的是根据其空间和时间分布规律,把全国的水稻种植区划分成若干相对一致的区域,为农作物面积信息提取提供参考。遥感信息的差异不仅表

现在不同空间区域上, 而且随时间的变化而变化, 如农作物种植和生长发育的季相变化、农作物和其背景地物与其光谱特征的季相变化等, 对这些空间和时间上的差异都要进行分析。

1.1.3 综合分析主导分析相结合 农作物遥感信息获取区划需要考虑多方面的要素、过程和关系, 其综合性很强, 因此在区划过程中, 必须综合分析各因素的作用及其间的关系, 从中抽象出主导因素, 并分析主导因素的代表性和区域分异规律, 划分不同等级的区域。

1.1.4 类型划分与区域划分相结合 就综合性区划而言, 地域类型的划分是一项基础工作, 因此农作物遥感信息获取区划也应在分类的基础上进行, 这样便于各地区综合特征相似性和差异性的对比分析, 使各区域单元的相对一致性和区域共轭性得以体现。此外, 还可避免区域界线确定中的主观性, 保证区划结果的质量。

1.1.5 基本行政区划完整性原则 由于遥感信息获取的服务对象是各级行政部门、生产部门和农产品市场, 而且农作物生产、产量的统计等都是以行政区划为单位进行的, 为了满足应用部门的要求, 减少其工作量, 增强信息获取的实用性, 便于实际操作和管理, 以及便于利用以往的统计资料与遥感方法得出的结果进行比较, 区划单元应保持一定行政区的完整性, 该级行政区称为基本行政单元。如果基本行政单元过大, 则很难把区划指标截然不同的地区分开, 不能达到区划的目的; 如果基本行政单元过小, 则会增加区划的工作量和数据收集的难度, 很难满足区划的要求, 也是完全没有必要的。经过分析, 在全国农作物遥感信息获取区划中, 县级行政单位可被看作是相对一致的区域, 能够满足大范围区划要求, 因此研究确定县级行政单位为最小区划单元。

1.2 区划的因素选择

水稻遥感信息获取区划的依据是源自对地面信息的分析, 这些信息主要包括水稻的耕作制度(如早稻、一季稻和晚稻的耕作情况)、水稻与环境条件的关系(如地形地貌, 种植结构差异等)、遥感技术的具体要求(如云覆盖、大气噪声等对水稻遥感信息获取的影响), 以及其它因素导致的遥感获取地物光谱信息的影响等。根据以上遥感信息获取区划的基本原则, 综合分析全国水稻种植区的区域特点和对遥感信息获取所产生的影响, 选择区划的具体因素。

1.2.1 水稻耕作制度 水稻耕作制度是水稻遥感信

息获取区划的一个重要因素。耕作制度的变化决定了农田光谱植被指数的季节变化形式, 水稻生长期决定了水稻可能存在时间, 水稻的季相变化决定了水稻光谱信息在不同时相遥感图像上的差异, 而且水稻光谱信息与环境条件的关系也因生育期而异。因此, 水遥感估产区划必须考虑作物季相变化的区域分异规律。

1.2.2 地形的区域差异 地形的区域差异对遥感信息获取有很大的影响。首先, 地形起伏使农作物和其它地表覆盖的植物物种的空间分布随高度而发生变化; 其次, 地形起伏可引起地物结构区域差异, 比如, 山区的地物结构复杂, 农田多分布于谷地和盆地中, 地物光谱特征不均一性非常显著, 而平原区的地物结构较简单, 农田集中连片, 地物光谱特征比较均一; 第三, 由于地表各种地物的光谱反射都不是朗伯反射, 所以地表坡度和坡向的变化对地物光谱反射有明显的影响, 甚至出现山体阴影, 干扰了图像记录的地物反射光谱信息, 这是遥感数据处理必须考虑的问题。因此, 它是遥感信息获取区划必须考虑的因素。

1.2.3 种植结构差异 遥感图像是对地物类型及其组合方式的反映。水稻遥感信息获取需要在认识各种地物光谱特征的基础上, 从各种地物光谱信息的组合中提取水稻信息。不同的结构类型具有不同的光谱信息结构, 水稻信息与其它地物信息之间的关系也有明显差异。提取依据、方法和精度因地物类型及其组合方式而异, 因此种植结构的区域分异规律是重要的区划因素。

1.2.4 遥感光谱信息获取的大气噪声 大气噪声对遥感光谱信息获取也有重要的影响。它的主要来源是大气物质的吸收和散射以及云层和云影的干扰, 其中空气分子的吸收和散射的变化较稳定, 区域差异性也不太明显, 其光谱噪声可根据大气吸收光谱和散射强度以及大气光学质量进行校正, 而云层和气溶胶的变化很不稳定, 区域差异性也非常明显, 直接影响遥感信息获取的效果。因此, 云覆盖决定了一个地区的地面覆盖光谱信息能够被卫星传感器获取到的概率, 是遥感光谱信息获取必须要考虑的因素, 它对选择遥感获取水稻信息的方式(如主动遥感还是被动遥感)具有重要意义。

1.2.5 太阳高度角 一些文献中都提到太阳高度角也是影响大尺度遥感信息获取的一个重要因素^[21,23,25]。太阳高度角在不同纬度、一年内不同时期、一天内不同时间具有明显的变化, 它对地物反射光谱、植被指数、水稻信息在遥感图像上的成像特点、作物特征量

的估算精度以及植被指数对作物状态、土壤特性和大气条件的敏感度均有明显影响,降低了遥感信息在时间和空间上的可比性。对太阳同步轨道卫星平台上的窄扫描角传感器(如 MSS、TM/ETM+、SPOT、CBERS、QuickBird 和 IKONOS 等)来说,由于卫星过境的当地时间不变,所以在经度上的变化可以忽略不计,由纬度不同导致的太阳高度角的差异对地物光谱反射有一定的影响;而对宽扫描角传感器(如 NOAA/AVHRR 扫描宽度为 2 399 km, MODIS 扫描宽度为 2 330 km)来说,由于图像覆盖范围跨越了几个时区,所以在经度和纬度上受太阳高度角差异的影响都很大。由于太阳高度角的影响对不同类型的传感器是不同的,所以太阳高度角是个很难区划的因素。

为了消除由太阳高度角导致的区域差异,从而能够对遥感图像进行定量分析,在图像应用前的预处理过程中根据不同传感器和搭载的卫星平台的参数对图像进行辐射校正是非常必要的,如果经过辐射校正,则可不需考虑太阳高度角差异的影响。

1.3 区划的方法

对区划的具体做法本研究采用定性分析和定量计算相结合的方法进行水稻遥感信息获取区划。首先,按照耕作制度的差异把全国的水稻种植区分成双季稻区、单双季稻混合区、单季稻区和无水稻区等 4 个大的区划。然后,在这个大的分区前提下,再根据地形因素、种植结构和大气噪声这 3 个因素,把各个县级行政单元划入到不同亚区中。

1.4 区划的数据支持和指标计算

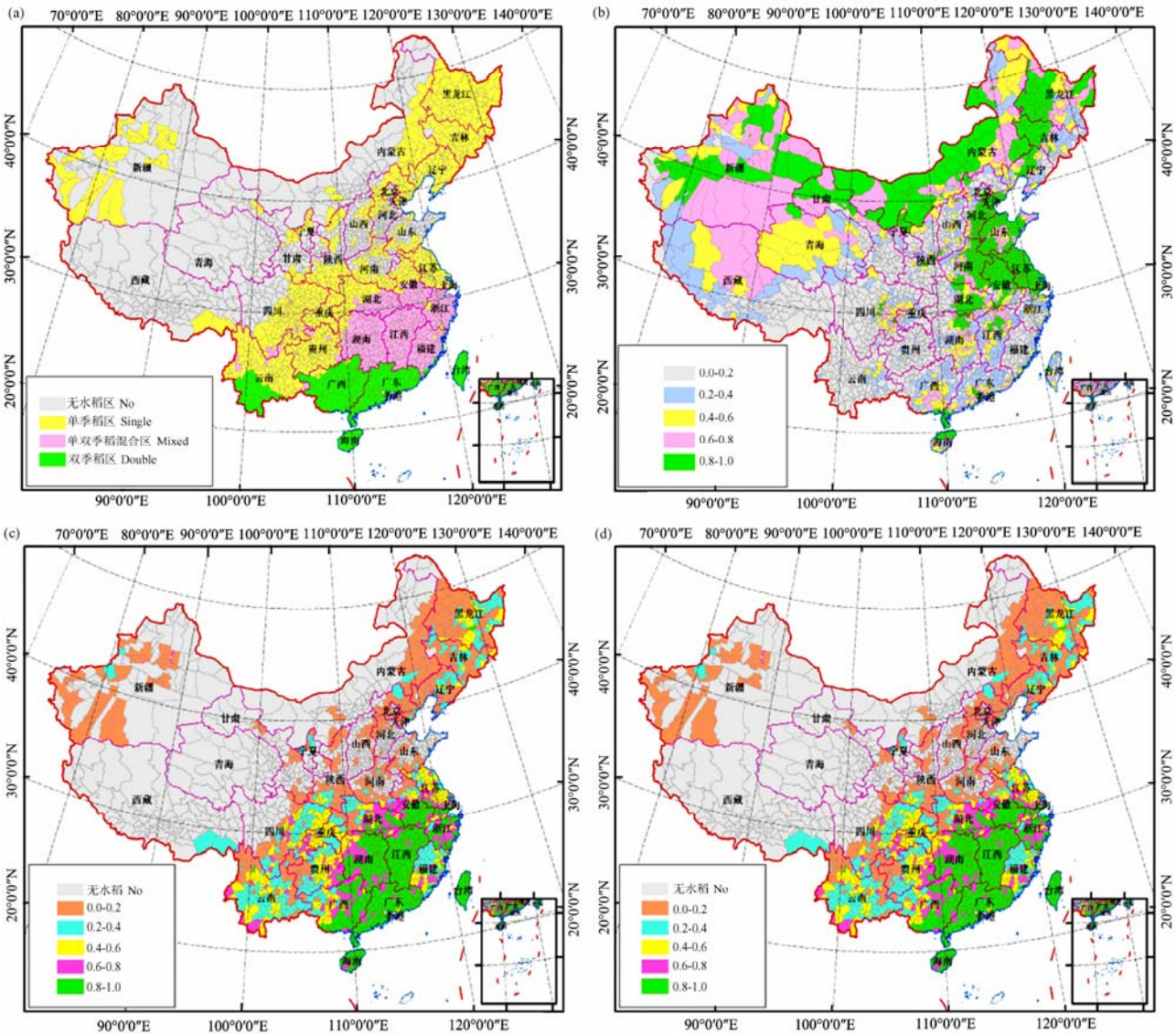
1.4.1 水稻耕作制度 由于耕作制度不仅受到自然条件的制约,而且还受到经济因素的影响。近些年全国很多地区的耕作制度都发生了一些变化。所以本研究根据国家统计部门最近几年的水稻种植面积统计数据(2002~2006 年各省农村/农业统计年鉴,其中台湾省数据根据 2006 年台湾统计年鉴),得到最新的县级行政单元内统计的水稻空间分布和耕作制度。中国县级行政单元内水稻空间分布和耕作制度如图 1-(a) 所示。根据水稻耕作制度的地区差异,全国可分为四类,即双季稻区(绝大部分为早稻和晚稻,主要分布在海南、广东、广西、台湾和云南南部地区)、单双季稻混合区(早稻、晚稻与一季稻相混合,主要分布在安徽南部和湖北东部,浙江、福建、江西和湖南的大部分,以及四川、贵州和云南的零星地区)、单季稻区(分布在以上两区以外的其它有水稻种植的广大地区)和无水稻区。在遥感获取水稻信息时,对双季稻

区需要分别获取早稻和晚稻信息,对单双季稻混合区则需要分别获取早稻、一季稻和晚稻信息,而对单季稻区来说就仅需获取一季的水稻信息即可。因此,该因素对指导水稻遥感信息获取的时相选择具有重要意义。

1.4.2 地形的区域差异 因为水稻对地块的地形要求很严格,地块必须平坦,以便于水稻田的排灌,所以水稻田绝大部分分布在坡度较小的地区。通过对丘陵山区稻田分布状况调查分析,发现绝大部分稻田分布在坡度小于 5°的地区(梯田水田除外,但梯田水田的比例相对较小),因此可以把县级行政单元内坡度小于 5°的土地面积比作为遥感信息获取的地形影响指标。具体操作方法是利用覆盖中国数字化高程模型(DEM)数据,考虑到研究对 DEM 的精度要求,本研究采用全球土地覆盖研究所(GLCF)提供的覆盖中国的分辨率为 3 弧秒(约 90 m)的 DEM 数据,并结合县级行政区划图,利用地理信息系统(GIS)的地形分析功能和区域统计功能来实现。指标计算结果如图 1-(b) 所示。

1.4.3 种植结构差异 反映种植结构的具体指标可以根据农业统计资料,以县级行政单位为最小单元,分析水稻种植面积在所有的粮食作物中所占的面积比例,它可以反映出水稻在一个地区的播种农作物的比重,这对遥感获取水稻信息起着重要的作用。如果比值大,那么水稻在该地区占优势,那么它与其它地物在遥感图像中所产生的混合像元的可能性会小些,如果比值小,则与其它地物在遥感图像中产生混合像元的概率会大些。因此,利用此比值作指标可以大致反映出一个地区的种植结构差异,是个很重要的区划指标。根据相关的统计数据计算的中国县级行政单元内水稻播种面积与粮食作物总面积比如图 1-(c) 所示。

1.4.4 遥感光谱信息获取的大气噪声 云覆盖可以根据全国气象台站记录的多年地面观测云资料数据,计算它们年平均总云量小于 20%(晴天)的日数,再利用 GIS 空间插值功能进行插值运算而得到全国的分布状况,并利用 GIS 区域统计功能计算出县级行政单元内平均的年晴天日数,它反映了一个地区通过光学传感器可能获得高质量遥感图像的概率的大小。如果一年内的晴天数较多,那么就可以通过光学传感器获取该地区的水稻信息;而如果一年内的晴天数较少,则不太适合利用光学传感器获取该地区的水稻信息,而应考虑采用微波遥感方式或者高时间分辨率的传感器进行信息获取。计算结果如图 1-(d) 所示。



(a) 中国以县级行政单位统计的水稻种植的空间分布和耕作制度示意图；(b) 按 DEM 分析的中国县级行政单元内坡度小于 5° 的面积比例；(c) 中国县级行政单元内水稻播种面积占粮食作物总面积的比例；(d) 中国县级行政单元内年平均总云量小于 20% (晴天) 的日数
(a) The spatial distribution and farming systems of paddy rice at county level in China; (b) Proportion of the area with slope less than 5° at county level in China by the analysis of DEM; (c) Proportion of rice sown area to grain sown area at county level in China; (d) The annual days with the average total cloud amount less than 20% (sunny) at county level in China

图 1 各区划指标的分析

Fig. 1 The results of analysis of the indices of regionalization

2 区划步骤与结果

2.1 区划步骤

根据区划选择的因素，在按照水稻种植制度差异把全国的水稻种植区分成双季稻区、单双季稻混合区、单季稻区和无水稻区等 4 个大的区划的基础上，再对各个水稻种植区按照其他几个因素划分亚区。对亚区的定性描述可以把地形因素分为平原为主区和山地丘

陵为主区，把种植结构因素可以分为主稻区和非主稻区，把大气噪声因素分为多云区和少云区。本研究选择动态聚类法分别对各个因素确定的指标进行定量分析。动态聚类法也称作逐步聚类法，它的基本思想是先选定某种距离（如欧氏距离）作为样本间的相似性的度量，再确定评价聚类结果的准则函数，然后给出某种初始分类，通过迭代法找出使准则函数取极值的最佳聚类结果。本研究采用 SPSS 软件中的 K-MEANS

动态聚类算法。对该方法的具体使用过程如下。

2.1.1 数据的标准化 为了消除指标量纲的不同,应该在聚类分析前先对每个指标进行标准化处理。本研究采用极差标准化,如公式(1):

$$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (1)$$

公式(1)中 $X'_{i,j}$ 为标准化结果; i 为样点数(表示各个县级行政单位); j 为指标数(表示变量数); $X_{i,j}$ 为原始数据, $X_{j\min}$ 为第 j 指标的最小值, $X_{j\max}$ 为第 j 指标的最大值。

2.1.2 单个指标分类 根据定性判断结果确定的分类数,本研究把每个指标分为两类。在 SPSS 软件中分别对各个指标进行 K-MEANS 动态聚类法计算出分类结果。

2.1.3 多指标综合分类 研究采用各指标分类结果叠加法进行综合分析,不采用对所有指标进行数学意义的多元聚类分析,因为多元聚类法不同的指标间具

有互补性,然而,本研究所评价的要素是相互独立的,不可以互补的,比如一个地区的平原比例高而云覆盖少,另一个地区平原比例低而云覆盖多,假设仅考虑这两个指标,就很有可能把它们分成一类,而实际上这样是不合适的,所以本研究采用各指标进行叠加分析更为合理。

2.1.4 局部区域调整 由于研究采用县级行政单元为最小单元,所以通过聚类分析后得出的结果很有可能与周围的其他地区有些差异,为了保持遥感信息获取时图像的空间连续性,所以对最终的聚类结果按照“少数服从多数”的原则进行适当的调整,把零碎而孤立的区域归并到临近的较大的区域内,以便于进行大面积遥感水稻信息获取。

2.2 区划结果

通过对区划的各个因素进行叠加,得出中国县级行政单元的水稻遥感信息获取区划。结果如图2所示。

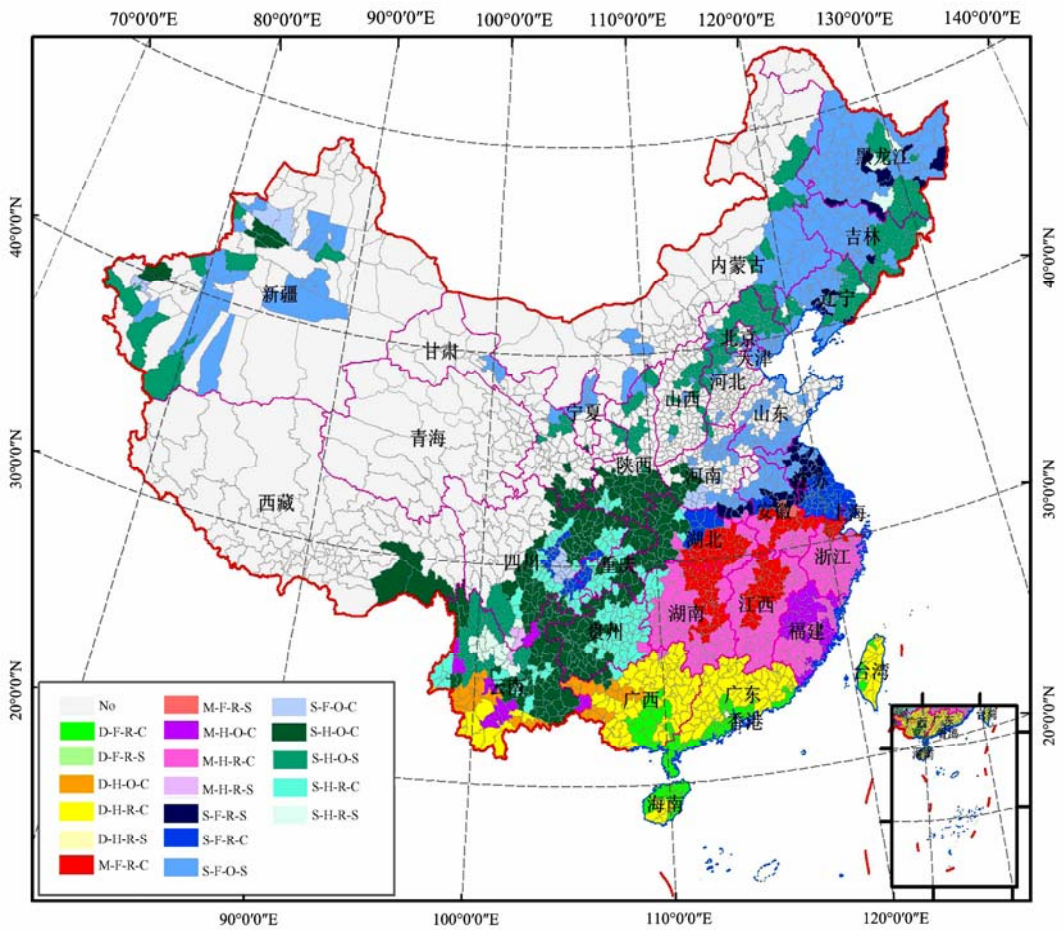


图2 按照中国县级行政单位为最小单元的水稻遥感信息获取区划结果

Fig. 2 The regionalization result of China's paddy rice information acquirement through remote sensing technology at the level of county administrative unit

在图 2 的图例中, 亚区代号的第 1 个字母 D、M 和 S 分别表示双季稻区、单双季稻混合区和单季稻区; 第 2 个字母 F 和 H 分别代表平地区和山地丘陵区; 第 3 个字母 R 和 O 分别代表主稻区和非主稻区; 第 4 个字母 C 和 S 分别代表多云区和少云区; No 代表无水稻区。

本研究区划根据最新的全国县级行政单元内统计的水稻耕作制度而把全国的水稻种植区分成双季稻、单双混合、单季稻和无水稻区 4 个大区。然后, 在以上区划中按照地形、种植结构和大气噪声等 3 个因素把双季稻区和单双混合区又各分成了 5 个亚区, 单季稻分成 8 个亚区, 外加无水稻区, 故全国水稻种植区分成 19 个水稻遥感信息获取的亚区。

3 讨论

目前, 国家对大范围农作物面积获取和产量估算方法仍然是抽样调查法和农业统计报表法^[21]。抽样调查法是根据统计学理论, 由样本来估算整体, 估算精度与抽取样本数直接相关, 但如果抽取的样本数量过大, 则工作量和成本也会变大, 甚至无法实现。农业统计报表法是按照行政区划, 从村级单位逐级汇总上报到乡镇、县市、省和国家, 该方法虽然统计比较全面, 但是无法提供农作物种植的空间分布状况, 而且其过程往往比较缓慢。因此, 当前的常规方法已经不适应社会信息化的要求, 在时效性、经济成本和准确性上难以满足农业生产管理对农情监测信息的需求。

与常规的统计方法相比, 应用遥感方法对农作物种植面积和产量进行估算具有它独特的优势。应用遥感技术能够快速准确地收集农业资源和农业生产信息, 并结合地理信息系统和全球定位系统技术, 可以实现信息收集和分析的定时、定量、定位, 这将使农业决策科学化提高到一个新的水平, 也是传统农业走向精准农业的重要手段。由于遥感具有宏观性和综合性, 以及时效性和动态性等特点, 并与地理信息系统和全球定位系统相结合不仅可以获取农作物种植面积, 而且可实现空间分布的准确定位, 从宏观的角度全面地监测农作物的整个生长发育过程, 对指导农业生产具有重要的应用价值, 这是常规方法无法实现的, 也是利用遥感进行估产的优势所在。然而, 利用遥感方法获取农作物生产信息虽然结果可靠且操作方法可行, 但仍然存在一些缺点, 比如受天气状况、作物生长季节、传感器空间和时间分辨率不易兼得, 以及高分辨率图像成本过高和数据量过大等因素的限制, 仍

需要进一步得到解决。目前对遥感技术的应用仍然局限在小区域内, 作为传统农业统计方法的一种补充手段, 还没有实现真正意义上的大面积的、过程的农作物遥感信息获取。对农业来说, 获取大面积的农业信息具有更实际的应用价值, 而遥感信息获取区划是实现大面积遥感信息获取的基础, 它对遥感信息获取具有重要的指导意义。

与以前的研究相比, 本研究针对水稻遥感信息获取的特点, 在对水稻遥感信息获取影响因素进行全面分析的基础上, 对主要的影响因素进行定性定量分析, 通过对各个指标的聚类 and 综合叠加分析而得出最终的区划结果, 因此区划结果充分体现了各个因素的影响, 对水稻遥感信息获取具有重要的参考价值。

4 结论

本研究的区划是针对利用遥感方式获取水稻光谱信息而进行的, 它与一般的水稻种植区划完全不同, 区划的结果对水稻遥感信息获取时图像类型和时相的选择、图像处理和采用的分类方法等具有指导意义。因为研究区的范围较大, 各地的自然和社会状况十分复杂, 所以本研究中只考虑了对水稻遥感信息获取时起主要影响作用的因素, 而忽略了其它的次要因素。研究为水稻遥感信息获取在宏观上提供参考, 如果研究区域的范围较小, 那么应该根据研究区域的具体情况, 考虑更具有针对性的其它影响因素。

致谢: 本研究应用的统计数据为各省级行政单位历年农村/农业统计年鉴, 其中 2002 年的统计数据由中国科学院地理科学与资源研究所整理并提供; 云覆盖资料信息由国家气象局气象资料室提供; 地形资料由美国全球土地覆盖研究所 (The Global Land Cover Facility, GLCF) (www.landcover.org) 提供的覆盖中国的 SRTM3 弧秒 (约 90 m) DEM 数据。在此对以上提供资料支持的单位表示衷心的感谢。

References

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2006.
National Bureau of Statistics of China. *Statistical Yearbook of China*. Beijing: China Statistics Press, 2006. (in Chinese)
- [2] Babu Y J, Li C, Frolking S, Nayak D R, Adhya T K. Field validation of DNDC model for methane and nitrous oxide emissions from rice-based production systems of India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2006, 74: 157-174.

- [3] 阎 静, 王 汶, 李湘阁. 利用神经网络方法提取水稻种植面积——以湖北省双季早稻为例. 遥感学报, 2001, 5(3): 227-231.
- Yan J, Wang W, Li X G. Extracting the rice planting areas using all artificial neural network. *Journal of Remote Sensing*, 2001, 5(3): 227-231. (in Chinese)
- [4] 张晓煜, 王连喜, 张 锋. 银川地区水稻分布遥感制图方法研究. 中国农业气象, 2001, 22(3): 33-36.
- Zhang X Y, Wang L X, Zhang F. Research on mapping the spatial distribution map of rice in Yinchuan by the method of remote sensing. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2001, 22(3): 33-36. (in Chinese)
- [5] 张 峰, 吴炳方, 黄慧萍, 李苗苗. 泰国水稻种植区耕地信息提取研究. 自然资源学报, 2003, 18(6): 766-772.
- Zhang F, Wu B F, Huang H P, Li M M. Study of extraction of agriculture field information at rice area in Thailand. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(6): 766-772. (in Chinese)
- [6] 张春桂, 林 晶, 吴振海, 潘卫华. 基于 MODIS 数据的水稻种植面积监测方法研究. 自然资源学报, 2007, 22(1): 1-8.
- Zhang C G, Lin J, Wu Z H, Pan W H. Study on method of monitoring rice planting area based on MODIS data. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): 1-8. (in Chinese)
- [7] Xiao X M, Boles S, Liu J Y, Zhang D F, Frolking S, Li C S, Salas W, Moore B. Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 95: 480-492.
- [8] Xiao X, Boles S, Frolking S, Li C S, Babu J Y, Salas W, Moore B. Mapping paddy rice agriculture in South and Southeast Asia using multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 100: 95-113.
- [9] Shao Y, Fan X T, Liu H, Xiao J H, Ross S, Brisco B, Brown R, Staples G. Rice monitoring and production estimation using multitemporal RADARSAT. *Remote Sensing of Environment*, 2001, 76: 310-325.
- [10] Inoue Y, Kurosu T, Maeno H. Season-long daily measurements of multifrequency (Ka, Ku, X, C, and L) and full- polarization backscatter signatures over paddy rice field and their relationship with biological variables. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 81: 194-204.
- [11] 杨星卫, 王 红, 周红妹, 陆 贤. GIS 支持下的上海水稻遥感估产分层研究. 遥感技术与应用, 1993, 8(2): 41-46.
- Yang X W, Wang H, Zhou H M, Lu X. A stratified research on estimating rice yield in Shanghai under GIS support. *Remote Sensing Technology and Application*, 1993, 8(2): 41-46. (in Chinese)
- [12] 赖格英, 杨星卫, 姚克敏. GIS 支持下的浙江省水稻种植面积遥感估算综合自然区划. 南京气象学院学报, 1998, 21(4): 656-661.
- Lai G Y, Yang X W, Yao K M. GIS-supported general regionalization with remote sensing for rice planting area in Zhejiang province. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 1998, 21(4): 656-661. (in Chinese)
- [13] 朱 勇, 段长春, 王鹏云. 云南杂交水稻种植的气候优势及区划. 中国农业气象, 1999, 20(2): 21-24.
- Zhu Y, Duan C C, Wang P Y. The agroclimatic advantages to growing hybrid rice and its zoning in yunnan province. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1999, 20(2): 21-24. (in Chinese)
- [14] 许红卫, 王人潮. 浙江省水稻遥感估产区划研究. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2000, 26(4): 417-422.
- Xu H W, Wang R C. Study on regionalization of rice yield estimation by remote sensing in Zhejiang province. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)*, 2000, 26(4): 417-422. (in Chinese)
- [15] 朱 勇. 云南杂交水稻种植的气候条件及区划. 云南农业大学学报, 2000, 15(1): 34-37.
- Zhu Y. Yunnan's climatic advantages and division of the hybrid rice seed. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2000, 15(1): 34-37. (in Chinese)
- [16] 杜桐生, 黄进良, 薛怀平, 李蓉蓉. 动态聚类法在湖北省农作物遥感估产区划中的应用. 华中师范大学学报(自然科学版), 2000, 34(2): 241-244.
- Du T S, Huang J L, Xue H P, Li R R. The application of dynamic clustering analysis in regionalization of crop yield estimation by remote sensing in Hubei province. *Journal of Central China Normal University (Natural Science)*, 2000, 34(2): 241-244. (in Chinese)
- [17] 涂方旭. 对广西水稻气候区划的探讨. 广西气象, 2006, 27(1): 34-36.
- Tu F X. The discussion for the division of climatic region of Guangxi paddy rice. *Journal of Guangxi Meteorology*, 2006, 27(1): 34-36. (in Chinese)
- [18] 王育光, 姜丽霞, 石 剑, 杜春英. 黑龙江省水稻生产区域划分的初步研究. 黑龙江气象, 2006, (1): 13-17.
- Wang Y G, Jiang L X, Shi J, Du C Y. Study on the regionalization of paddy rice planting area in Heilongjiang province. *Journal of Heilongjiang Meteorology*, 2006, (1): 13-17. (in Chinese)
- [19] Xu H W, Wang K. Regionalization for rice yield estimation by remote sensing in Zhejiang province. *Pedosphere*, 2001, 11(2): 175-184.
- [20] 焦险峰, 杨邦杰, 裴志远. 基于分层抽样的中国水稻种植面积遥感调查方法研究. 农业工程学报, 2006, 22(5): 105-110.
- Jiao X F, Yang B J, Pei Z Y. Paddy rice area estimation using a

- stratified sampling method with remote sensing in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(5): 105-110. (in Chinese)
- [21] 王人潮, 黄敬峰. 水稻遥感估产. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- Wang R C, Huang J F. *Rice Yield Estimation Using Remote Sensing Data*. Beijing: China Agriculture Press, 2002. (in Chinese)
- [22] 李明霞, 千怀遂. 中国水稻遥感估产区划研究. 地域研究与开发, 1996, 15(4): 73-76.
- Li M X, Qian H S. Study on the regionalization for rice yield estimation using remote sensing data in China. *Areal Research and Development*, 1996, 15(4): 73-76. (in Chinese)
- [23] 千怀遂, 李明霞. 大面积农作物遥感估产区划的理论研究. 河南大学学报(自然科学版), 1997, 27(4): 84-92.
- Qian H S, Li M X. Regionalization for crop yield estimation by remote sensing in large area: a theoretical study. *Journal of Henan University (Natural Science)*, 1997, 27(4): 84-92. (in Chinese)
- [24] 千怀遂. 中国小麦遥感估产区划研究. 自然资源学报, 1997, 12(2): 97-104.
- Qian H S. Study on the regionalization for estimating the wheat yield of China by using remote sensing data. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 97-104. (in Chinese)
- [25] 千怀遂. 农作物遥感估产最佳时相的选择研究—以中国主要粮食作物为例. 生态学报, 1998, 18(1): 48-55.
- Qian H S. Selection of the optimum temporal for crop estimation using remote sensing data —main food crops in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(1): 48-55. (in Chinese)
- [26] 千怀遂, 李明霞. 中国玉米遥感估产区划研究. 中国农业科学, 1998, 31(4): 32-39.
- Qian H S, Li M X. Study on the regionalization for estimation of maize yield using remote sensing data in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 1998, 31(4): 32-39. (in Chinese)

(责任编辑 郭银巧)