

RS 与 GIS 在基本农田布局优化中的应用

刘彦文, 周霞*, 韩冰华, 陈志, 陈锐凯 (湖北科技学院资源环境科学与工程学院, 湖北咸宁 437100)

摘要 [目的]探讨 RS 与 GIS 在基本农田布局优化中的应用效果。[方法]运用基础数据资源(RS 数据、现状与规划数据、外业调查资料),结合 GIS 强大的空间分析功能,以湖北省嘉鱼县为例,从自然地理条件与人文环境角度出发,对基期基本农田在数量与空间双重限制下进行划定优化。[结果]优化后的基本农田总面积为 25 593.90 hm²,在数量上达到了各个乡镇的分解指标与全县的总体指标,在空间布局上连片性有所提高,剔除了原有基本农田中的非耕地 23.62 hm²,补充高质量耕地 139.18 hm²。[结论]遥感数据在候选区确定、耕地现状判别等方面表现出了巨大潜力,GIS 灵活强大的空间分析及统计功能对不同方案的生成至关重要。

关键词 基本农田;GIS;调整;嘉鱼县

中图分类号 S127 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)19-0063-04

Application of RS and GIS in Prime Farmland Layout Optimization

LIU Yan-wen, ZHOU Xia, HAN Bing-hua et al (School of Resources and Environment Science and Engineering, Hubei University of Science and Technology, Xianning, Hubei 437100)

Abstract [Objective] The aim was to explore the application of RS and GIS in prime farmland layout optimization. [Method] Using the elementary resources (RS data, land use status and planning database, field survey data), combining with the powerful spatial analysis function of GIS, taking Jiayu County in Hubei Province as an example, the optimization of the prime farmland under the double restriction of quantity and space was carried out from the perspective of natural geographical conditions and humanistic environment. [Result] The total area of prime farmland after optimization was 25 593.90 hectares, in quantity, the mission of each township and whole country was done, in spatial distribution, the prime farmland was more concentrated. We excluded 23.62 hectares of non-arable land and replenish 139.18 hectares of cultivated land. [Conclusion] Remote sensing data has shown great potential in candidate area determination and status discrimination of cultivated land, and the spatial analysis and statistical function of GIS is very important for the generation of different schemes.

Key words Prime farmland;GIS;Adjustment;Jiayu County

农田是粮食作物生产的主要阵地,是一种不可替代的不可再生的自然资源^[1],农田利用的转变引发了人们对粮食安全的担忧^[2]。国外很多学者对耕地和重要农地保护必要性、政策变化、规划制定、保护方法等方面进行了诸多研究^[3-7]。国内农地保护意识的觉醒始于 1978 年,但直到 1986 年耕地作为一项基本国策被第一次明确提出后才开始了真正意义上的立法保护^[8]。1999 年实施的《基本农田保护条例》中明确要求,各级人民政府在土地利用总体规划中必须明确基本农田保护的布局安排、数量指标和质量要求。同年实施的《中华人民共和国土地管理法》第四章“耕地保护”第三十一条明确严格控制耕地转为非耕地、非农建设占用的按数量和质量相当的原则进行开垦补偿。但根据中国国家统计局(National Bureau of Statistics of China, 2010)和文献^[2]公布的数据统计:自 1979 年至 2008 年,耕地仍然减少 2 282 万 hm²,其中缺乏科学有效的保护方法是耕地持续减少的一个重要原因。为了有效保护耕地与农田,国内有关学者结合土地评价理论^[9]、LESA 综合评价体系^[10-11]、小波理论^[12-13]、人工免疫系统^[14]等,采用遥感与地理信息技术,从耕地的自然条件、连片性等角度出发,选择质量等别、坡度坡向、道路通达度、水利设施状况以及与相邻土地利用类型的适宜性等因素作为评价指标^[15-18],对农田土地利用变化、遥感动态监测、基本农田划定及布局优化、数据库建设等进行了相关研究^[19-21]。基本农田作为耕地的重要组成部分,如何选择合适的耕地作为基本农田涉及到诸多因素,已有文献多注重划定

方法的理论研究,笔者从工程化应用角度出发,探讨了 RS 与 GIS 技术在基本农田布局优化中的应用。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 嘉鱼县位于湖北省东南部、长江中游南岸,地理坐标为 113°39′~114°22′E, 29°48′~30°19′N,地处江汉冲积平原,属亚热带湿润季风气候,日照充足,雨量充沛,土地肥沃,全县辖 8 个乡镇 1 个农场,2013 年总人口 37.07 万,是长江经济带重要开发区之一,也是国家食品安全示范县和全国首届国土资源节约集约模范县。地势自西南丘岗向东北平原交迭过渡,总体海拔较低,大部分在 19~50 m,全县大体形成“一山三水四分田,两分道路与庄园”的地貌格局。近年来,嘉鱼县嘉鱼农业种植发生了很大的改变,农民由单一种粮迈向粮菜瓜果交织、多季多种种植,其中蔬菜和瓜果的种植与经营形成规模,成为特色,享誉全国。

1.2 数据来源 数据来源主要包括遥感数据平台下载、国土部门提供和图书馆查阅等,收集的资料主要包括研究区社会经济数据、自然环境数据、土地利用数据、卫星遥感数据以及 Google Earth 影像合成加工数据。获取方式包括向有关部门搜集和购买、通过文献综合研究等手段收集和整理,以及通过实地考察与调研进行资料分析判断与综合取舍。通过与已有相关数据、互联网收集资料等进行交叉验证,以检验数据来源的真实可靠性。

1.3 研究方法 收集原有的相关遥感影像资料和现成地类资料成果,以遥感技术为主要手段,利用多时相的卫星遥感资料,根据地类的可解译程度,对工作区的土地利用类型进行监督与非监督分类解译。在 DEM 上提取坡度、坡向、流域水系等相关数据,对解译出的地类与上述信息进行叠置分析,初步判断最适宜的农田布局。对土地利用总体规划库、

土地利用现状数据库、基本农田基期数据库综合分析提取的基本农田边界,将此边界与最适宜耕地布局进行空间叠置分

析,人工目视划定最终基本农田分布(图 1)。

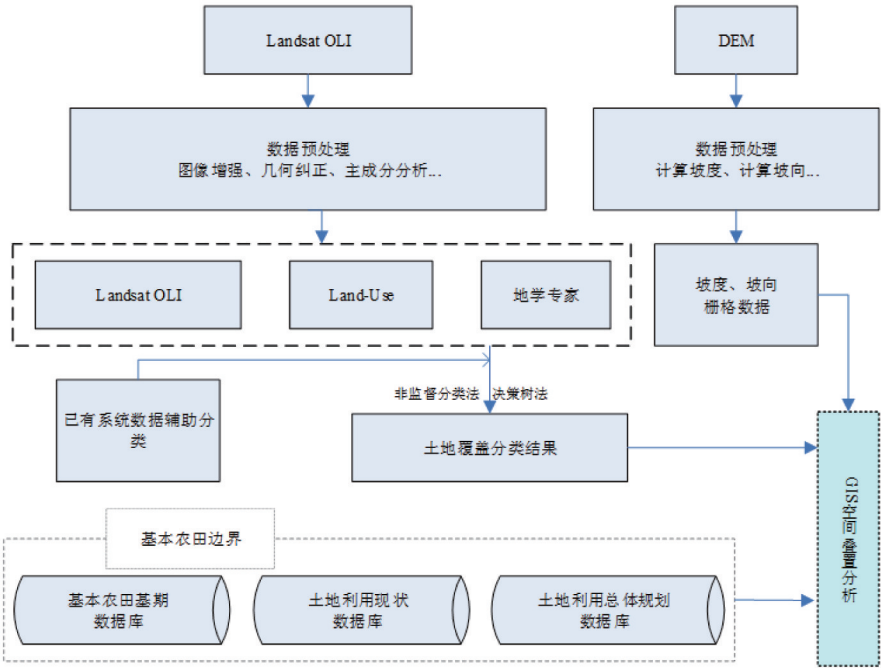
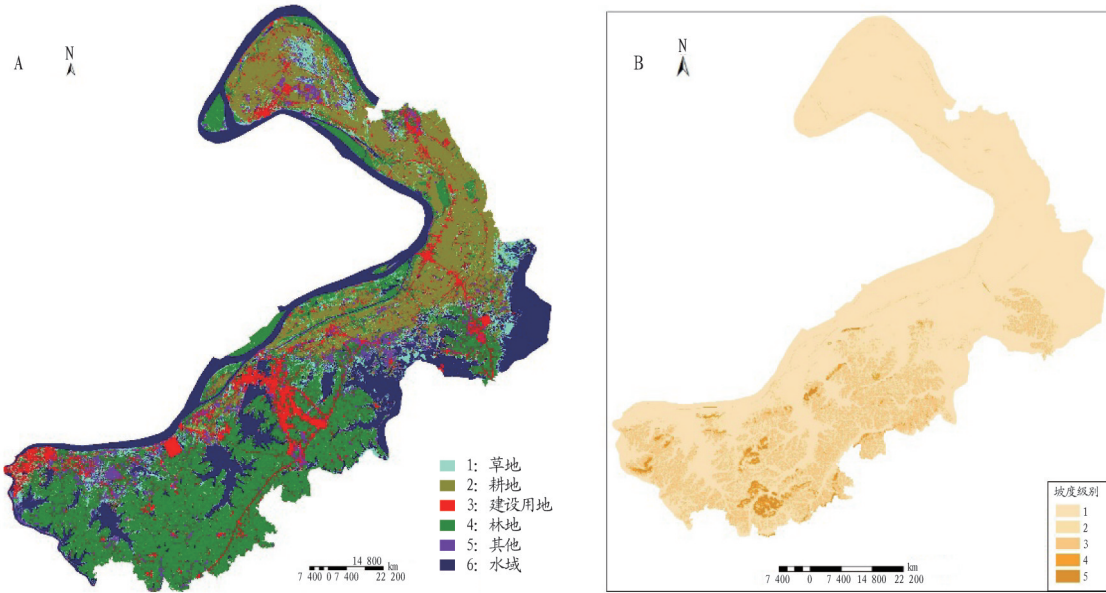


图 1 技术路线
Fig.1 Technical route

2 结果与分析

2.1 遥感数据处理结果 对 Landsat OLI 多光谱数据进行图像增强、几何校正、矩形裁剪,采用5×5滤波处理消除微地形、地物阴影、地貌差异以及成像过程等在遥感影像上造成的噪声,再进行辐射校正与大气校正,大气校正参数设置为 single scale factor:1,研究区平均高程为 0.028 km,从 ENVI 自带 OLI 光谱库中制作多光谱对应波谱曲线库 LC8MultiSli.

sli。依据《土地利用现状分类》标准,将土地利用类型分为草地、林地、耕地、建设用地、水域和其他 6 种类型,分类结果见图 2A,表 1 是对分类信息的统计,由地理空间云获取研究区 DEM 数据,将研究区坡度分为 $\leq 2^\circ$ 、 $> 2^\circ \sim 6^\circ$ 、 $> 6^\circ \sim 15^\circ$ 、 $> 15^\circ \sim 25^\circ$ 、 $> 25^\circ$ 5 个坡度级,生成研究区坡度见图 2B,对应坡度统计见表 2。



注:A. OLI 数据解译结果;B. 坡度分布
Note: A. OLI data interpretation results; B. Gradient distribution

图 2 遥感数据处理结果
Fig.2 Remote sensing data processing results

表 1 解译结果统计

Table 1 Interpretation results statistics

土地类型 Soil type	编码 Code	像元数 The number of pixel	像元累积 The cumulative pixel	百分比 Percent//%	累积百分比 Cumulative percent//%
草地 Grass	1	91 280	91 280	8. 04	8. 04
耕地 Arable land	2	249 054	340 334	21. 94	29. 98
建设用地 Construction land	3	104 605	444 939	9. 22	39. 20
林地 Woodland	4	373 632	818 571	32. 92	72. 12
水域 Water area	5	237 647	1 056 218	20. 94	93. 06
其他 Others	6	78 792	1 135 010	6. 94	100

表 2 坡度统计结果

Table 2 Slope statistics

坡度级 Slope grade	连片数目 The continuous number	面积 Area hm ²	百分比 Percentage %
≤2°	2 160	71 273. 64	69. 91
>2°~6°	4 536	13 703. 72	13. 44
>6°~15°	1 731	15 218. 70	14. 93
>15°~25°	538	950. 76	0. 93
>25°	118	807. 04	0. 79

由表 1 可知,在地类构成中,林地占比为 32. 92%,比重最大,由图 2 解译结果可知主要分布在县域西南角,县域西南角在坡度图上起伏明显,该区是县域内主要的丘陵分布区,常年有大量植被覆盖,耕地与水域分别排在第二位和第三位,占比分别为 21. 94%和 20. 94%,耕地成连片状,自县域中部延伸分布至东北角,该区地势低平,平均坡度在 6°以下,是全县主要的粮食作物和蔬菜主产区。长江水域自县域西侧由北向南贯穿始终,斧头湖、西凉湖紧邻其右,蜀茶湖、三湖连江水库、蜜泉湖、大岩湖等主要湖泊水库星罗分布期间,为便捷灌溉提供了根本保障。

2.2 基本农田布局优化

2.2.1 基本农田布局优化流程。基本农田划定以二调基本农田上图成果为基础,套合新一轮土地利用总体规划基本农田保护区范围,先确定基本农田基期边界,再将基本农田基期边界与遥感影像上解译坡度信息、土地利用分类信息、Google Earth 人工解译的路网信息等进行叠加分析,评价基期基本农田划定的合理性。运用解译信息等对基期划定结果进行布局优化,划定基本农田保护布局初步方案,通过数据库导出全县及分乡镇汇总面积,将该套数据与全县及各乡镇基本农田保护数量指标进行对比,确定基本农田补划数量;最后根据外业底图调查结果,在 ArcGIS 中确定最终调入地块、调出地块和继续保留为基本农田地块的空间位置、面积、地类、质量等级等现状信息,优化生成最终成果。

2.2.2 基本农田调出分析。嘉鱼县调出的基本农田主要优先考虑由于自然原因(如旱、涝)不能继续作为基本农田的地块、由于地类改变不适宜作为基本农田的地块等多个方面。例如,现状用途为坑塘、林地、村庄等的地块,共调出地类图斑 51 个。丘陵地区基本农田调出主要是由于地类改变所致,以陆溪镇、高铁岭镇最为典型。滨湖地势较低的地区,湖区水位的季节性变化使得土地不适宜作为基本农田,进而将

土地利用类型规划为水塘;丘陵坡地地势较高的地区,交通水利设施不健全,且分布零星,进而将土地利用类型规划为林地。嘉鱼县平原地区基本农田调出主要是由于建设用地占用、二调地类调绘错误,以新街镇、高铁岭镇最为典型。为了保证城镇后备用地的储备,促进当地经济的长远发展,对部分城镇周边的土地做出了置换,保证等质等量对换、增减达到平衡。嘉鱼县在“各乡(镇)2010—2020 年土地利用总体规划”划定的基本农田的基础上,共调出基本农田 23. 62 hm²,其中村庄为 1. 42 hm²,公路用地为 9. 13 hm²,果园为 1. 47 hm²,旱地为 0. 01 hm²,建制镇为 1. 47 hm²,坑塘水面为 5. 95 hm²,其他林地 3. 98 hm²,有林地 0. 21 hm²。

2.2.3 基本农田调入分析。为了保证基本农田“数量不减少、质量不降低”,就要调入一部分质量较高的耕地。依据集中连片、质量由高到低基本原则,调入的基本农田全部为质量等级较好的耕地,如现状为良好的水田、旱地等。基本农田调入区优先安排在已实施完成的土地开发整理项目区域内,数量不够时则安排在交通便利、灌溉设施较齐备的城镇扩展区外围,以保证嘉鱼县基本农田从分布区域到耕作质量都更趋于合理和提高。数量方面在保证调出调入平衡的基础上,部分村镇调整后的基本农田面积有所增加。全县在“各乡(镇)2010—2020 年土地利用总体规划”划定的基本农田的基础上,共调入地类图斑 47 个,调入基本农田 139. 18 hm²,其中水田为 41. 56 hm²,水浇地为 89. 69 hm²,旱地为 7. 92 hm²。

2.3 基本农田优化面积对比分析 嘉鱼县基本农田基期面积为 25 696. 52 hm²,新一轮规划修编下达的保护指标为 25 435. 03 hm²,优化前基本农田划定面积为 25 478. 35 hm²。调出基本农田面积为 23. 62 hm²,全部从非耕地中调出;调入基本农田面积为 139. 18 hm²,一般耕地占调入面积的比例为 100%,因此,基本农田上图面积最终为 25 593. 90 hm²,略高于本轮规划确定的基本农田保护目标。

2.4 基本农田优化质量对比分析 变动地块质量首先要满足现状库质量等别统计要求,但已有相关成果中划劣不划优等现象排除不易,该研究运用变化地块同地类面积差值进行衡量,减少说明质量下降,增加说明质量上升。嘉鱼县基本农田优化过程中,调出的基本农田中无耕地,而调入的基本农田全部为耕地,其中水田占 40. 45%,水浇地占 51. 92%,旱地占 7. 57%,该次基本农田优化净调入耕地 139. 18 hm²,参照嘉鱼县农用地分等技术报告,因补划的基本农田都是优质

耕地,优化后的基本农田平均质量等别高于优化前的平均质量等别(表 3)。

表 3 基本农田优化质量对比情况

土地类型 Soil type	耕地面积 Land area		质量对比 (调入—调出) Quality comparison
	调入 Tune in	调出 Tune out	
水田 Paddy field	41.56	0	41.56
水浇地 Irrigated land	89.69	0	89.69
旱地 Dry land	7.92	0	7.92
合计 Total	139.18	0	139.18

2.5 基本农田优化地类构成分析 从基本农田构成上看,优化前基本农田面积为 25 478.35 hm²,其中耕地面积为 25 429.05 hm²,占基本农田面积的 99.81%(表 4),其他农用地面积为 47.61 hm²,占基本农田面积的 0.19%。在耕地中,水田占 48.32%、水浇地占 39.81%,旱地占 11.87%。调整后基本农田面积为 25 593.90 hm²,其中耕地面积为 25 561.36 hm²,占基本农田面积的 99.87%,其他农用地面积 32.54 hm²,占基本农田面积的 0.13%。在耕地中,水田占 48.32%、水浇地占 39.81%,旱地占 11.87%。调整后的基本农田中耕地所占的比重有所提高,该次基本农田调整中,无

基本农田调出,除了官桥镇、鱼岳镇、簪洲湾镇无基本农田调入外,嘉鱼县其他 5 个镇均有不同规模的耕地调入,尤其以渡普镇和潘家湾镇调入的基本农田面积最多,分别调入为 20.87 和 92.93 hm²。

表 4 基本农田布局优化地类构成变化分析

地类 Land type	占比 Proportion//%	
	优化前 Before optimization	优化后 After optimization
耕地 Arable land	99.81	99.87
园地 Garden	0	0
其他农用地 Other agricultural land	0.19	0.13

2.6 基本农田调布局优化集中连片性分析 优化前基本农田布局比较分散,主要分布在嘉鱼县东南部地势较平缓、水利设施完善的平原地区和西北部地区,在全县西南部地区和中南部地区,因自然条件和灌溉条件差、土地利用率低,基本农田分布较少,集中连片程度总体不高。优化后删除了面积较小的零星像元 213 个(多分布在丘陵区),基本农田布局得到改善,补充的像元主要分布在鱼岳镇以北的地区,基本农田总体集中连片程度有所提高(图 3)。

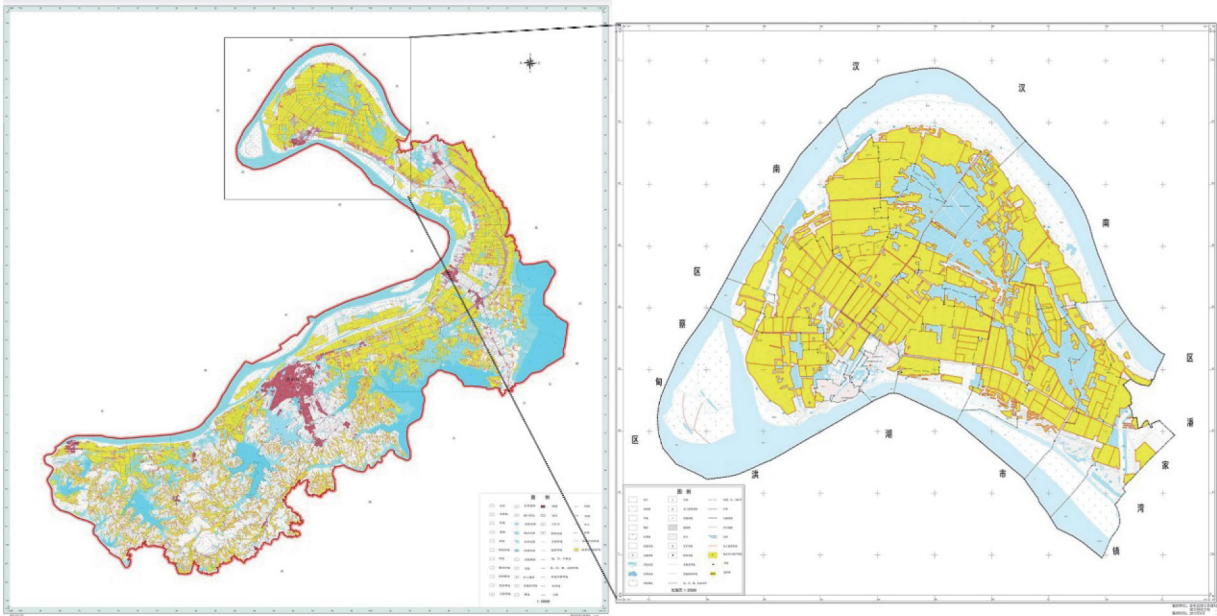


图 3 基本农田分布
Fig.3 Basic farmland distribution

3 结论与讨论

在 RS 与 GIS 支持下,利用土地利用现状数据库、土地利用总体规划数据库和基本农田划定专题数据库中提取的基本农田保护边界进行空间叠加分析,以工程化应用为基础,结合自然生态特点与人文社会发展,进行了嘉鱼县基本农田划定与布局优化,优化后研究区共划定基本农田保护区 1 748 个,基本农田保护片(块)2 281 个,保护图斑 11 617 个,面积 25 593.90 hm²,经现场调查核实,所划成果与实地现状

一致吻合。
我国目前对基本农田的划定,主要是上级对下级按照一定的比例将基本农田指标分解到各个省、市、县、乡镇,由于经费有限、时间紧迫等主客观方面的原因,为了完成上级下达的目标并按时完成划定任务,基本农田划定过程中的实地调研等环节往往强度不足,具体划定时未经过全面细致的调查思考就将现有耕地中的绝大部分划为基本农田。这可能
(下转第 92 页)

- [30] 郑雪莉,卜书海,冯学运,等.陕西黄柏塬自然保护区两栖动物多样性[J].西北林学院学报,2011,26(5):157-160.
- [31] 熊剑利,杨道德,冯斌,等.广东丰溪自然保护区两栖动物区系和多样性研究[J].中南林学院学报,2005,25(1):66-69.
- [32] 陈继军,张旋,杨绍军,等.贵州雷公山自然保护区两栖动物调查报告[J].四川动物,2007,26(4):825-830.
- [33] 田凯,汪正祥,雷耘,等.湖北崩尖子自然保护区两栖爬行动物多样性研究[J].四川动物,2016,35(3):452-458.
- [34] 吴炳贤,杨道德,刘应志,等.湖南黄桑国家级自然保护区两栖爬行动物多样性及区系分析[J].四川动物,2016,35(4):601-607.
- [35] 阮桂文,贝永建.广西天堂山自然保护区两栖爬行动物资源调查[J].湖北农业科学,2014,53(5):1113-1116.
- [36] 贺亚东,杜选长.陕西天华山自然保护区两栖爬行动物区系特性和分布[J].陕西林业科技,2013(5):13-15,38.
- [37] 方小斌,周奕琳,杨璐伊,等.浙江省古田山国家级自然保护区两栖爬行动物资源现状[J].四川动物,2013,32(1):125-130.
- [38] 饶纪赞,遇宝成,罗键,等.广东省车八岭国家级自然保护区两栖爬行动物资源调查[J].四川动物,2013,32(1):131-136.
- [39] 郭琳,陈晓萍,石灵,等.南召宝天曼国家级自然保护区两栖动物多样性与保护[J].湖北农业科学,2012,51(7):1413-1415.
- [40] 曲江勇.五指山保护区两栖动物多样性调查及区系特征[J].琼州学院学报,2012,19(5):46-49.
- [41] 石灵,范念斯,高逃,等.河南内乡宝天曼国家级自然保护区两栖动物多样性及保护[J].河南师范大学学报(自然科学版),2011,39(2):138-140.
- [42] 杨岗,李东,余辰星,等.广西弄岗国家级自然保护区两栖爬行动物资源[J].动物学杂志,2011,46(4):47-52.
- [43] 李磊,张建设,陈晓虹,等.河南省老君山自然保护区两栖动物多样性与保护[J].四川动物,2010,29(1):134-136.
- [44] 李祖实,莫吉伟,谷颖乐,等.南岳衡山国家级自然保护区两栖爬行动物资源调查与分析[J].湖南林业科技,2010,37(1):20-23.
- [45] 刘卉,艾欢,任爽,等.湖北房县野人谷自然保护区两栖爬行动物多样性调查[J].四川动物,2010,29(5):560-564.
- [46] 戴宗兴,郑志章,龚仁琥,等.湖北后河国家级自然保护区两栖爬行动物资源调查[J].动物学杂志,2009,44(6):48-53.
- [47] 杨道德,刘松,费冬波,等.江西齐云山自然保护区两栖爬行动物资源调查与区系分析[J].动物学杂志,2008,43(6):68-76.
- [48] 杨道德,谷颖乐,刘松,等.江西庐山自然保护区两栖动物资源调查与评价[J].四川动物,2007,26(2):362-365.
- [49] 李成,孙治宇.四川察青松多自然保护区的两栖动物[J].四川动物,2002,21(3):181-182.
- [50] 谌利民,高正发,欧维富,等.四川唐家河自然保护区两栖爬行动物调查报告[J].四川动物,1999,18(3):132-134.
- [51] 林向东.福建三明罗卜岩保护区两栖爬行动物调查与区系分析[J].福建林业科技,2004,31(4):33-35.
- [52] 赵洪峰.岷江上游典型退化生态系统鸟类物种多样性初步探究[D].西安:陕西师范大学,2002:21-30.
- [53] 丁晶晶,刘定震,李春旺,等.中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异[J].生态学报,2012,32(2):343-350.
- [54] 臧颖惠,龚正达.中国湿地昆虫生物多样性的研究概况[C]//云南省昆虫学会会议论文集.昆明:云南省昆虫学会,2009:296-304.
- [55] 荣亮.上海市崇明岛昆虫多样性初步研究[D].上海:华东师范大学,2009:42-48.
- [56] TU F Y, TANG M K, LIU Y, et al. Fauna and species diversity of small mammals in Jiajin Mountains, Sichuan Province, China[J]. Acta theriologica sinica, 2012, 32(4): 287-296.
- [57] GRYNES J A, VETAAS O R. Species richness and altitude: A comparison between null models and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient, Nepal [J]. American naturalist, 2002, 159(3): 294-304.
- [58] WIENS J J. Global patterns of diversification and species richness in Amphibians [J]. American naturalist, 2007, 170(S2): 86-106.
- [59] ARAÚJO M B, PEARSON R G. Equilibrium of species distributions with climate[J]. Ecography, 2005, 28(5): 693-695.

(上接第 66 页)

存在确实把较为肥沃作物产量较高的土地划为基本农田,但也存在将类似丘陵、易旱易涝等不适合作为基本农田的地块划入其中的情况,用统一的基本农田划定数量来要求全部的地区是不科学的,在一定程度上也致使基本农田的保护往往有名无实。具体划定过程中人为因素影响较大,基本农田首先是耕地,但耕地不可能全部是基本农田,决策层一般给出发展战略导向,具体划定时由于笼统的战略导向缺乏工程化具体步骤支持,在保证数量的前提下,空间定位选择随意性较大。草率划定使区域发展短期内的部分利益可以有效满足,但对区域的可持续发展不利。深入挖掘遥感数据的潜在信息,利用时序遥感数据蕴藏的物候信息、NDVI 及其他植被指数与土地利用的关联信息等,制定土地质量客观性衡量指标与工程性步骤化优化方法,为后续提升基本农田保护质量、建设高层级的高标准农田区提供参考。

参考文献

- [1] CHANG K, YING Y H. External benefits of preserving agricultural land: Taiwan's rice fields[J]. The social science journal, 2005, 42(2): 285-293.
- [2] LICHTENBERG E, DING C G. Assessing farmland protection policy in China[J]. Land use policy, 2008, 25(1): 59-68.
- [3] BRYANT C R, RUSSWURM L H. North American farmland protection strategies in retrospect[J]. Geojournal, 1982, 6(6): 501-511.
- [4] PIERCE J T, FURUSETH O J. Farmland protection planning in British Columbia[J]. Geojournal, 1982, 6(6): 555-560.
- [5] FAZAL S. The need for preserving farmland: A case study from a predominantly agrarian economy (India) [J]. Landscape and urban planning, 2001, 55(1): 1-13.
- [6] STOBBE T E, EAGLE A J, COTTELEER G, et al. Farmland preservation verdicts—rezoning agricultural land in British Columbia[J]. Canadian journal of agricultural economics, 2011, 59(4): 555-572.
- [7] MARTELOZZO F, RAMANKUTTY N, HALL R J, et al. Urbanization and the loss of prime farmland: A case study in the Calgary-Edmonton corridor of Alberta[J]. Regional environmental change, 2015, 15(5): 881-893.
- [8] CHENG L, JIANG P H, CHEN W, et al. Farmland protection policies and rapid urbanization in China: A case study for Changzhou City[J]. Land use policy, 2015, 48: 552-566.
- [9] 聂艳,吴西子,于婧,等.基于土地评价和空间聚类的基本农田划定方法研究:以湖北省鹤峰县为例[J].中国土地科学,2013,27(12):39-45.
- [10] 钱凤魁,王秋兵.基于农用地分等和 LESA 方法的基本农田划定[J].水土保持研究,2011,18(3):251-255.
- [11] 边振兴,杨子娇,钱凤魁,等.基于 LESA 体系的高标准基本农田建设时序研究[J].自然资源学报,2016(3):436-446.
- [12] 沈明霞,姬长英,张瑞合.基于小波变换的农田景物边缘检测[J].农业机械学报,2001,32(2):27-29,41.
- [13] 罗辉,张铁中,杨丽.小波变换在农田图像边缘检测中的应用[J].农机化研究,2006(2):157-160.
- [14] LIU X P, LI X, TAN Z Z, et al. Zoning farmland protection under spatial constraints by integrating remote sensing, GIS and artificial immune systems[J]. International journal of geographical information science, 2011, 25(11): 1829-1848.
- [15] 乔家君,毛磊.基于 RS、GIS 村域农田数据库设计研究:以河南省吴沟村为例[J].农业系统科学与综合研究,2009,25(3):312-316.
- [16] 卢德彬,涂建军,华娟,等. GIS 技术在永久性基本农田划定中的应用研究[J].农机化研究,2012(4):65-68.
- [17] 涂建军,卢德彬.基于 GIS 与耕地质量组合评价模型划定基本农田整备区[J].农业工程学报,2012,28(2):234-238.
- [18] 董秀茹,尤明英,王秋兵.基于土地评价的基本农田划定方法[J].农业工程学报,2011,27(4):336-339.
- [19] 唐永航,孙世宏,孙健.基于 GIS 的县级基本农田划定数据库建设:以鄞州区为例[J].中国土地科学,2013,27(10):83-87.
- [20] 王晓辉,吴多朋,王铮.基于 GPS 和 GIS 技术的基本农田动态监测研究[J].城市勘测,2013(5):13-15.
- [21] 敖为超,陈一帆,关涛,等. GF-1 卫星数据在永久基本农田非粮化监测中的应用[J].安徽农业科学,2016,44(18):250-255.