

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.04.007

引用格式:张定源,张景,牛晓楠,等. 双评价理论探索与福建实践[J]. 华东地质,2021,42(4):419-428.

双评价理论探索与福建实践

张定源¹,张 景¹,牛晓楠¹,陈国光¹,吴佳瑜¹,周 迅¹,王 冲¹,
张 洁¹,侯振华²,许美辉³,郑志强³,王 斌⁴,刘青帝⁴

(1.中国地质调查局南京地质调查中心,江苏 南京 210016;

2.江苏省有色金属华东地质勘查局,江苏 南京 210007;

3.福建省地质调查研究院,福建 福州 350013;4.江西省地质调查研究院,江西 南昌 330030)

摘要: 双评价作为国土空间规划的基础性工作,倍受关注。基于国土空间规划视角,探索双评价的理论与方法,诠释资源、环境、承载力、双评价、三生空间和三类空间等关键性名词的概念。在福建省双评价实践中,采用简单模型法与 NPP 法相结合,开展生态保护重要性评价,识别生态保护空间;根据木桶原理,采用加权求和法和限制因子法,开展农业生产和城镇建设不同功能指向的国土空间开发适宜性评价,识别农业生产和城镇建设空间的数量和质量;为优化福建省生态安全格局、农业发展格局和城镇建设格局,以及全省的“三区三线”划定工作提供数据支撑。

关键词: 资源环境;承载力;双评价;国土空间规划

中图分类号: F061.6

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2021)04-419-10

资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价(简称双评价)是实现国土空间治理体系和治理能力现代化的重要途径,受到各级政府高度重视,将双评价作为国土空间规划和用途管制所必需的基础性工作^[1-2]。资源环境承载能力预警是中国现代化建设中一项战略制度设计^[3]。然而,目前的双评价理论体系仍不够成熟,评价方法技术有待完善,具体表现为双评价存在诸多的逻辑问题^[2],或评价结果缺乏权威性和可比性^[4],或对优化资源配置、调整国土空间开发结构以及实施国土空间管制等方面的支撑力度不够^[5]。的确,双评价理论上的争议始终存在,承载力的概念在 200 多年发展过程中反反复复受到批评、质疑、否定,甚至在开展承载力研究时还困惑于承载力是不是真的客观存在^[6]。

基于上述困惑和福建省双评价实证,本文对双评价理论展开探索,试图从新的视角诠释双评价相

关概念。通过双评价方法技术的实际应用,识别了福建省“三类空间”的数量和质量,以期丰富和完善国土空间规划中的双评价理论与方法,支撑优化福建省国土空间开发保护格局,支持福建省“三区三线”划定工作。

1 双评价概念的理解

双评价是基于开发与保护并重的视角,对特定的国土空间开展评价,是科学认知、分析、评价国土空间的主要手段。双评价为提升国土空间规划的科学性,为构建和优化人与自然和谐的国土空间开发保护格局奠定基础,提供数据支撑。

1.1 资源环境承载力

国土空间是具有一定属性的自然空间,承载着人类与自然的相互作用。基于这种人与自然关系的认识,国土空间的自然属性包含了资源属性和环境属

* 收稿日期:2020-05-10 修订日期:2020-11-30 责任编辑:叶海敏

基金项目:中国地质调查局“福建省资源环境承载力综合调查评价(编号:DD20190301)”项目资助。

第一作者简介:张定源,1962年生,男,教授级高级工程师,硕士,主要从事双评价、生态地质调查和生态修复工作。Email:1335227574@qq.com。

性,即人类的社会经济活动必须依靠国土空间内的自然资源与自然环境。离开资源与环境两大要素,人类的一切活动都不可能实现。所以,国土空间的内涵在理论研究中开始以空间资源为核心进行外延,国土空间作为一种三维立体的空间载体,包括河湖、森林、山体、耕地、大气、草原、能源、矿产、海洋等各类资源,是保障经济发展和人民生活的物质基础^[7]。

1.1.1 自然资源的利用上限

人类为自身生存和发展,需要开发利用国土空间,更确切地说需要开发利用国土空间中的自然资源。自然资源是一切物质资源和自然产生过程,通常是指在一定技术、经济、环境条件下对人类有益的资源,如山、水、林、田、湖、草等。目前,确定存在于地球环境中且需要人类十分珍惜的资源包括:三大生命要素(空气、水和土壤)、六大自然资源(矿产、森林、淡水、土地、生物物种、化石能源)、两类生态系统(陆地生态系统,如森林、草原、荒野、灌丛等;水生生态系统,如湿地、湖泊、河流、海洋等)、多样景观资源(山脉、水流、动植物种类、自然与文化历史遗迹等)。实际上,自然资源的概念并非一成不变,对自然资源的分类存在一定的争议性。

但是,从资源的循环利用角度可将自然资源划分为再生资源与非再生资源。再生资源有两类:一类是可以持续利用的资源,如太阳能、空气、水资源、风能和潮汐能等;另一类是在人类的参与下可以重新产生或可重复利用的资源,如农田,若耕作得当,地力常新,可年复一年为人类提供粮食等农作物。非再生资源,又称耗竭性资源,一般不可再生,也可分为两类:一类储量、体积可以测算,质量也可以通过化学成分的百分比来反映,如矿产资源;另一类是生态功能发生变化且难以自然恢复的资源,如自然岸线资源。由于大部分自然资源的总量是有限的,过度开发必然导致资源枯竭。所以,从可持续发展的角度看,客观存在着资源利用的上限,即自然资源就其物质性而言是有限的,这个“有限”就是国土空间开发利用的承载力或承载力上限,又称“资源利用上限”,只是通常情况下这个“上限”存在一定隐蔽性,难以准确测量,但它一定是存在的、可被感知的。

1.1.2 自然环境的纳污能力下限

自然环境是指未经人类的加工改造而天然存在的环境。自然环境按环境要素,可分为大气环境、水环境、土壤环境、地质环境和生物环境等,即

涉及地球的五大圈——大气圈、水圈、土壤圈、岩石圈和生物圈。所有的自然资源都存在于自然环境之中,资源与环境密不可分,当人类开发利用自然资源的同时也在扰动着自然环境或向环境中排放污染物(或废弃物),开发利用自然资源必然导致自然环境承受压力加大。人类活动对整个环境的影响是综合性的,而环境系统也是从各个方面反作用于人类,其效应也是综合性的。从人类利用自然的角度来说,环境也是一种资源。因此,双评价的第一项为资源环境承载力评价。

在具体操作层面上,一般都是用环境容量(如大气环境容量、水环境容量、土壤环境容量等)测量环境承载力。环境容量是指在确保人类生存与发展不受危害、自然生态平衡不受破坏的前提下,某一环境所能容纳污染物的最大负荷值。一个特定的环境(如一个自然区域、一个城市、一条河流)对污染物的容量是有限的,其容量的大小与环境空间的大小、各环境要素的特性、污染物本身的物理和化学性质有关。环境空间越大,环境对污染物的净化能力就越强,环境容量也就越大。对某种污染物而言,它们的物理和化学性质越不稳定,环境对它的容量也就越大。

人类在开发利用自然资源时,必然产生一定量的污染物或废弃物,造成特定空间内环境容量减小,当环境容量趋于饱和的时候,环境空间内的人类一切活动都变得不可持续。所以,特定的国土空间内的环境容量一定是有限的,人类的一切社会经济活动必须服从于环境容量的下限。这个所谓的环境容量下限就是环境承载力。

1.1.3 资源环境承载力

关于承载力的论述文章很多,但至今没有公认的统一的承载力概念,因为不同学科从其自身角度出发,对承载力内涵的理解不尽相同。有学者^[8]认为承载力是一个包含资源、环境要素的综合承载力概念;另有学者^[9]认为资源承载力(有时也包含了环境承载力)包括两方面:一是全球不同尺度区域所能持续承载的最大人口数量;二是对一定人口承载规模而言,地球能提供的可生产性土地面积及其分布范围。环境承载力包括环境容量和资源承载力两个概念。

随着人类社会不断进步,人们对资源概念的理解也在不断延伸和发展。我们理解的资源指的是一切可被人类开发和利用的物质、能量和信息的总

称。从这个角度看,环境也是一种资源。自然环境就是一种可供人类开发利用的自然空间,这个空间是有形的(三维)且充满着物质、能量和信息。因此,资源环境承载力、资源承载力、环境承载力等概念无须刻意区分,可视为同一概念的不同表达。我们的关注点更多应放在对承载力的刻画与评价上,研究承载力的目的比较简单、明确,即找寻人与自然的和谐关系。这里的人是指特定空间内人们经济社会活动的总称。因此,资源环境承载力指的是特定空间内,维持人与自然和谐的能力。

可见,承载力既是一个阈值或极限值,又是一个可变值或弹性阈值^[6]。国土空间规划中的承载力,反映一定国土空间内所承载的人的经济社会活动的的能力。承载力不是一成不变,它会随着自然条件的改善、科学技术的发展、社会治理水平的提高、人们价值观或心理预期的调整等因素的变化而变化,这就是为什么世界上不同地区同样大小的国土空间的承载力差别巨大的原因。研究国土空间承载力,就是要摸清现时条件下特定空间实际的承载状况,同时要通过调整经济、社会发展方式,提高人们尊重自然,爱护自然的意识,不断提高国土空间的承载力,让人与自然永续和谐,让经济、社会可持续发展。

1.2 国土空间功能划分

人类的社会经济活动必须在一定的物理空间内发生,为了满足自身的生存和可持续发展,人类需要利用空间,开发空间,同时又要保护空间。国土空间就是这样的一个物理空间,是经济社会发展的物质基础,是人们赖以生存和发展的家园^[8]。国土空间具有明确的功能,其本质是自然生态系统提供的自然本底功能与人类因生产、生活需要而赋予的开发利用功能。基于对国土空间主要功能的思索,人们提出“三生空间”与“三类空间”等概念,并对国土空间进行功能划分。

1.2.1 三生空间

从生存和发展的基本需要出发,国土空间作为人类经济、社会活动的载体,能够满足人类的生产、生活和生态需要,即国土空间在功能上表现出生产功能、生活功能和生态功能,相应地可将国土空间划分成生产、生活和生态空间,即“三生空间”。虽然目前学术界尚无统一明确的概念或解释,但大致可以界定为:生产空间是生产活动的空间载体;人

类将土地作为劳作对象直接获取或者以土地作为空间载体进行社会生产,在一定区域内形成具有专门化特征的功能区,即主要发挥国土空间的生产发展功能。生活空间是生活活动的空间载体,人类利用土地的空间承载物质和精神的保障功能,开展日常居住、设施保障、消费和休闲娱乐的空间,即发挥空间的生活保障功能。生态空间是生态休闲活动的空间载体,具有生态防护功能,为人们提供生态产品和生态服务的空间,发挥空间的生态调节功能^[10]。

“三生空间”具有空间尺度差异性、功能复合性、范围动态性等特征,在不同的空间尺度、时间节点下,同一国土空间具有不同甚至交叠的“三生空间”属性:宏观空间尺度下单一的空间属性,在微观尺度下可能会对应多种空间属性。例如,对于同一个小镇,在国家、省层面,可作为单一点状生活空间或生产空间;在市、县层面,其空间属性相对丰富,集中工业生产区作为生产空间,集中居住区作为生活空间,绿地公园作为生态空间;在乡、镇层面,其空间属性则更加多元、复杂,小到单一的建筑、地块都能找到其对应的“三生空间”。可见,“三生空间”是从使用功能出发,反映不同人类活动在空间上的体现,分区并没有被明确划定,其功能属性大于空间属性^[11]。虽然合理优化“三生空间”布局是国土空间规划的重要目标,但在构建“生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”^[12]空间规划的实践中,“三生空间”的边界难以确定,规划的上下传导机制难以量化、可视化,空间管制难以落实。

1.2.2 三类空间

“三生空间”在国土空间规划中的实际应用存在局限性。根据资源禀赋、生态条件和环境容量,明晰国土开发的限制性和适宜性,划定城镇、农业、生态三类空间开发管制界限^[13]。“三类空间”突破了“三生空间”边界抽象、模糊的困境,又融入“三生空间”的实质内涵,从而使得国土空间规划可落地、可操作。生态保护空间是国土开发限制性空间,一般用生态保护红线加以界定,意味着人类社会经济活动必须避开或尽量避开生态保护空间。农业生产空间,除了用永久基本农田保护红线限制外,还包括了一般农业生产空间。同样,城镇建设空间,包括城镇开发边界和边界外城镇建设预留空间^[14]。

从双评价视角,国土空间分为生态保护空间和

可开发空间,而可开发空间又可从土地适宜性角度细分为农业生产空间和城镇建设空间,合称“三类空间”。新一代国土空间规划肩负着生态优先、高质量发展、高品质生活、高水平治理“一优三高”的任务,着力提高“三类空间”利用的效率和效能,实现“三类空间”供给质量的升级,保障“山水林田湖草”与魅力城乡的协调发展。

在“三类空间”分别对应着生态保护、永久基本农田、城镇开发边界等空间管控区和管控边界,即强调“三区三线”,强化底线约束,为可持续发展预留空间。这里的“三区”互不重叠,其内部统筹各类空间功能要素,构建全域全类型用途管制的基础。“三线”是“三区”核心的刚性要求,可实现省域—市域—县域分级传导,是空间管制的政策工具。

1.2.3 国土空间开发适宜性

国土空间开发适宜性一直是人文-经济地理、城市规划、土地科学等领域的重要研究问题,其基本理念源于土地适宜性思想^[15],是指国土空间对农业生产、城镇开发建设等不同开发利用方式的适宜程度。

评价国土空间开发适宜性,首先要明确开发指向,即明确空间用途是什么,是用于农业生产开发还是城镇建设开发;然后根据空间内的资源与环境要素,评价不同开发指向下的适宜程度,研判国土空间开发的适宜方向与适宜等级。显然,开发适宜等级高的空间,其承载力强;相反,不适宜开发的空间,其承载力弱。从这个视角分析,资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价可归纳为基于资源环境承载力的国土空间开发适宜性评价。

双评价的基本原则是底线约束。坚持最严格的生态环境保护制度、耕作保护制度和节约用地制度,维护国家生态安全、粮食安全等国土安全,在优先识别生态保护极重要区基础上,综合分析农业生产、城镇建设的合理规模和适宜等级。因此,双评价基本程序是,首先识别出国土开发限制性空间,即生态保护空间($S_{\text{保护}}$),然后在生态保护空间外的可开发空间($S_{\text{开发}}$)内评价农业生产适宜性和城镇建设适宜性,识别农业生产和城镇建设的适宜空间($S_{\text{适宜}}$)与不适宜空间($S_{\text{不适宜}}$),即

$$S = S_{\text{保护}} + S_{\text{开发}}, \quad (1)$$

$$S_{\text{开发}} = S_{\text{适宜}} + S_{\text{不适宜}}, \quad (2)$$

式中: S 为国土空间; $S_{\text{保护}}$ 为生态保护空间,是维护

国土生态安全的底线,为国土开发限制性空间,原则上不应在此空间内进行大规模经济社会活动; $S_{\text{开发}}$ 为可开发空间,人类经济社会活动可在此空间开展。根据农业生产和城镇建设不同功能指向,分别选择不同的评价指标,对开发空间进行开发适宜性评价,分别识别出适宜空间($S_{\text{适宜}}$)和不适宜空间($S_{\text{不适宜}}$)。工作流程如图1所示。

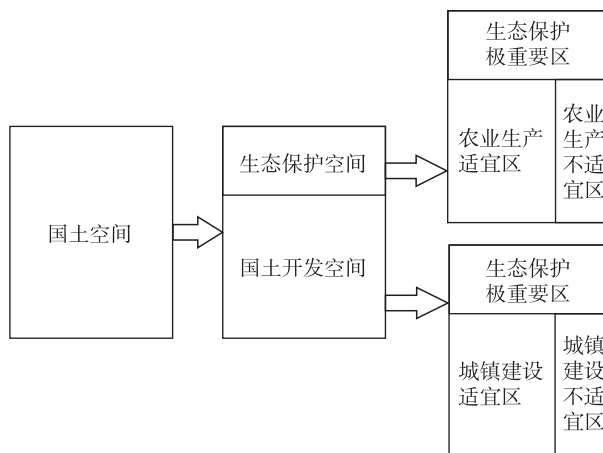


图1 双评价工作流程

Fig. 1 The work procedure of the dual evaluation

显然,农业生产空间与城镇建设空间具有部分重叠性。在具体操作时,必须坚守粮食安全底线。在农业生产适宜区内强制性划定永久基本农田作为城镇建设的限制性区域,同时还需要对城镇建设边界进行约束,珍惜宝贵的土地资源,坚持集约、节约用地。

2 双评价与空间规划

人类活动正以前所未有的规模和强度干扰关键资源环境要素的地球循环与功能性状^[16]。人对地球表面系统过程的干预会反馈到海洋、大气圈、土壤以及自然生态系统中,这些反馈信息可以清晰反映出人地关系的现状。因此,根据这些反馈信息可以评价人地关系的和谐度,即评价空间内自然系统对于人类活动的承载力。

国土空间历来是国家秩序构建和国民权益分配的政策工具^[7],国土空间规划是对国土空间开发与保护作出政策安排,支撑这种政策安排的依据是人地关系的和谐程度,双评价即找出这种和谐度。所以,基于资源环境承载力的人类活动适宜性评价是国土空间规划的前提条件。

2.1 双评价是国土空间规划基础

国土空间规划是国家对国土空间合理开发、利用、治理进行宏观调控的重要手段,在空间上统筹社会经济活动同资源环境系统的组织运行^[17]。空间规划的本质是空间治理,而空间治理的核心是空间管制,空间管制的前提是空间识别。双评价的目标任务是空间识别,依据资源环境条件,首先把国土空间内不能开发、必须保护的生态极重要空间识别出来,在剩余空间内识别出适宜农业生产或适宜城镇建设的空间。只有识别出不同功能指向下可开发的空間,才能合理规划人的社会经济活动。但是,基于资源禀赋和环境本底而评价并识别出的农业生产和城镇建设空间具有较大的重叠性,即国土开发空间实际上存在多面性,农业生产的空间往往也适宜城镇建设,双评价本身不能对每一个空间作出具体安排。所以,双评价划分“三类空间”是空间规划基础,为空间规划提供素材。空间规划是在“三类空间”以及生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界“三条红线”划定的基础上进行生产、生活、生态“三生空间”要素的科学配置^[18]。

国土空间开发与保护的划分依据应是不同空间承载经济社会活动的能力和承载状况,对于无力继续承载人类经济社会活动的国土空间(即超载区),不能继续开发利用;对于不适宜区内的开发建设活动,需要酌情退出或附加限制条件。在双评价阶段,国土空间管制的多种可能性及其矛盾可以得到部分协调和解决^[19]。通过科学合理控制三条红线规模和国土开发强度,预判国土空间用途,扭转当前投资依赖和土地依赖的惯性发展模式,严格控制国土开发强度,限定开发容量,倒逼形成以“生态优先、绿色发展”为导向的高质量发展新路子,实现高品质生活,建设美丽中国和以人民为中心的美好家园^[7,19]。

2.2 双评价是优化国土空间格局的重要参考

双评价是基于资源禀赋和环境本底的国土空间开发保护适宜性评价,其结果是识别出生态保护、农业生产和城镇建设“三类空间”的数量和质量,并指出农业生产、城镇建设的方向和合理的开发规模。国土空间规划的重要目标是统筹主体功能区格局、生态安全格局、城镇体系格局、综合整治格局。以安全风险识别为前提,以目标战略为引领,充分考虑未来科技进步、全球气候变化带来的

生产生活方式转变,制定国土空间开发保护的总体格局^[7]。双评价的结果可作为优化国土空间开发保护格局的重要参考。生态安全格局是在生态保护重要性评价的结果上塑造而成;农业发展格局是在农业生产适宜区,尤其在基本农田和优质农业开发潜力区的基础上构建所得;城镇建设格局是在城镇建设适宜区,且在确保生态安全和粮食安全的前提下不断调整和优化产物。

3 双评价的方法论

双评价涉及大量的数据处理与计算,工作复杂而艰巨^[19],亟待探索一套既能识别区域资源环境突出问题、制约因素和风险,又便于推广、评价成果可信的评价技术方法^[4]。目前,双评价计算方法很多,但应用最多为加权求和法、限制因子法和最小累积阻力法。

3.1 加权求和法

统计学中,频数起着平衡数据的作用,对各变量值具有权衡轻重作用的数值称为权数或权重。权重是一个相对概念,针对某一指标而言,某一指标的权重是指该指标在整体评价中的相对重要程度。权重表示在评价过程中,是被评价对象的不同侧面的重要程度的定量分配,对各评价因子在总体评价中的作用进行区别对待。

加权是考虑到不同变量在总体中的比例份额。加权求和法,又称分等求和法,是定量与定性分析相结合的多目标决策方法。双评价中涉及资源环境众多评价指标,必须综合其评价得分,即综合适宜值,使用最多的是加权求和法,其计算公式为

$$F = \sum_{i=1}^n w_i B_i, \quad (3)$$

式中: F 为国土空间开发综合适宜值; B_i 为第 i 个评价指标的适宜分值; w_i 为第 i 个评价指标的相对权重; n 为评价指标数。

3.2 限制因子法

在生物界,使生物的生长发育受到限制甚至死亡的生态因子称为限制因子。在双评价中,通过设置主要限制系数,计算国土空间开发适宜性综合评价,模型为

$$G = \prod_{j=1}^m f_j(x_j) \sum_{i=1}^n w_i B_i, \quad (4)$$

式中: G 为空间单元综合评价价值; m 为限制因素数;

n 为评价指标数; $f_j(x_j)$, j 为限制因素的限制系数, $0 \leq f_j(x_j) \leq 1$, 其值越大, 限制性越弱, $f_j(x_j) = 1$ 时无限制。

此外, 基于限制因子模型, 实际工作中必须使用木桶原理, 实质是在多个评价要素中取最大或最小, 分“长板”效应和“短板”效应。这是一个形象的比喻, 一只由长短不一的木板围成的木桶, 盛水多少往往取决于最短木板高度。但如果用木桶装石块, 往往又是由最长木板高度决定。

3.3 最小累积阻力法

最小累积阻力法用于计算物种在从源头到目的地运动过程中累积耗费的模型^[20]。通过计算源头与目标之间的最小累积阻力距离确定路径, 最小累积阻力模型中的直线距离可以通过多种因子确定的单元成本来替代, 公式为

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} \times R_i), \quad (5)$$

式中: MCR 为最小累积阻力值; D_{ij} 为物种从源头 j 到空间单元 i 的空间距离; R_i 为空间单元 i 对某物种(指标)的阻力系数; \sum 为单元 i 与源头 j 之间穿越所有单元的距离和阻力的累积; \min 为被评价的斑块对于不同的源头取累积阻力最小值; f 为最小累积阻力到其源头的累积距离和景观特征的相关函数。最小累积阻力值反映了物种运动的潜在可能性及趋势, 通过单元最小累积阻力的大小可判断该单元与源头单元的“连通性”和“相似性”, 通常源头斑块对于生态过程最适宜。因此, 通过“连通性”和“相似性”的横向对比, 可划分出空间开发的适宜性^[20]。

韩世豪等^[21]以生态保护红线集中连片、具有一定规模的生态公益林、水源涵养区和茫荡山自然保护区及水库为生态源地, 以地形坡度、土地覆盖和植被覆盖为阻力因子, 确定不同安全水平的生态用地分布、生态廊道和关键生态节点, 构建了福建省南平市延平区综合生态安全格局。基于“三生空间”扩张过程的平衡, 采用最小累积阻力模型测算建设用地从源头向外扩张的经济潜力, 并将城镇建设扩张和耕地保护纳入生态用地保护过程, 构建了合理限度的最优生态用地空间格局^[22-23]。可见, 最小累积阻力法在双评价中具有应用前景。

4 福建省双评价实践

国土空间由不同空间要素组成, 为了使空间识

别具科学性, 必须抓住国土空间中最重要资源、环境和灾害三要素。福建省双评价即基于这三种要素而展开。

评价单元为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的栅格, 借助 ArcGIS 计算平台, 集成结果输出单元是县(市、区)行政区, 福建省共有 85 个(含金门县)。参照自然资源部颁布的《资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价技术指南》(以下简称“指南”), 选择的评价指标主要包括地形坡度、土壤质地、降水量、光热条件、供水条件、植被覆盖、环境容量、地质灾害等。

由于福建省光、热、水等基础资源禀赋和环境本底条件比较优越, 只有少数几个评价指标对国土空间开发的适宜性构成了一定的约束, 作为适宜性评价中的限制性因子。

4.1 生态保护重要性评价

空间资源毕竟有限, 如公式(1), 当 $S_{\text{保护}}$ 越大, $S_{\text{开发}}$ 必然越小。双评价在预判空间时, 根据实际需要, 合理确定 $S_{\text{保护}}$ 与 $S_{\text{开发}}$ 的比例。

由于 $S_{\text{保护}}$ 是国土空间中特定的空间类型, 虽然重要, 但是与人类的生产和日常生活关系不明显。基于国土空间开发视角, $S_{\text{保护}}$ 占比越小越好, 但许多地方由于生态空间不足导致生产和生活空间质量低下, 经济社会发展不可持续。所以, 不是 $S_{\text{保护}}$ 越小越好, 当然也不是 $S_{\text{保护}}$ 越大越好, 其底线是构建合理的区域生态安全格局, 保障对生活和生产空间的生态服务功能^[19]。生态空间识别根据生态保护重要性评价的结果而定, 生态保护重要性评价模型是

$$EF_i = \max(E_i, F_i), \quad (6)$$

$$E_i = \max(e_i^1, e_i^2, e_i^3), \quad (7)$$

$$e_i^1 = \max(a, b, c), \quad (8)$$

式中: EF_i 为生态服务功能评价价值; E_i 为空间 i 生态系统服务功能; e_i^1 为生物多样性维护功能; e_i^2 为水源涵养功能; e_i^3 为水土保持功能; a 为生态系统层次评价结果; b 为遗传层次评价结果; c 为物种层次评价结果。将 3 个层次评价结果合并, 并将国家森林公园、省级以上自然保护区、重要湿地、红树林等具有生态系统维护功能的区域修正为最高级。

$$e_i^2 = \sum_i^j (P_i - R_i - ET_i) \times A_i \times 10^3, \quad (9)$$

式中: P_i 为降雨量; R_i 为地表径流量; ET_i 为蒸发量; A_i 为 i 类生态系统面积。对计算结果按照自然

断点法分级,得到水源涵养功能评价等级,公式为

$$e_i^3 = \min(u_i^1, u_i^2, u_i^3), \quad (10)$$

式中: u_i^1 为坡度影响因子,当坡度 $\geq 25^\circ$ 时, $u_i^1=3$;当坡度为 $15\sim 25^\circ$ 时, $u_i^1=2$;当坡度 $< 15^\circ$ 时, $u_i^1=1$ 。 u_i^2 为植被覆盖因子,当覆盖度 $\geq 80\%$ 时, $u_i^2=3$;当覆盖度为 $60\%\sim 80\%$ 时, $u_i^2=2$;当覆盖度 $< 60\%$ 时, $u_i^2=1$ 。 u_i^3 为土地利用类型因子,当土地利用类型为森林、灌丛和草地时, $u_i^3=3$;其它, $u_i^3=1$ 。 F_i 为水土流失敏感性指数,计算过程中选取了降水侵蚀力、土壤可蚀性、地形起伏度和地表植被覆盖度等评价指标,以福建省2015年实际发生水土流失的区域内10 000个点实测数据作为机器学习训练样本点,用Softmax Regression模型计算每个样本估计其所属的类别的概率,对福建全省水土流失的敏感性进行模拟。

根据公式(6),计算出生态保护重要性等级 EF_i 。然后对 EF_i 值进行百分位数计算,参照《指南》,将 EF_i 从大到小排序,取前30%斑块为生态保护极重要区,30%~70%斑块为生态保护重要区,后30%的斑块为生态保护一般重要区(图2)。评价结果显示,生态保护极重要区面积41 902.03 km²,占全省土地面积的33.78%,包括国家级和省级自然保护区、地质公园、湿地公园、一级饮用水水源保护区等生物多样性维护极重要区,主要分布在南平市武夷山、光泽,三明市建宁、泰宁,宁德市霞浦、柘荣以及福州市晋安,龙岩市长汀、上杭、连城,漳州市东山等地区。

通过生态保护重要性评价,识别出生态保护空间,构建福建省生态安全格局,为全省国土空间开发明确指出底线和具体的开发方向。

4.2 国土空间开发适宜性评价

适宜性评价是在国土开发空间中识别出不适宜区域,不适宜区域之外即适宜区域。计算方法采用加权求和法与限制因子法联合使用的方法,计算模型为公式(4)。

4.2.1 农业生产适宜性评价

农业生产主要取决于水、温度、土壤等基础资源组合条件以及土壤环境质量和气象灾害等环境条件。福建农业生产的基础条件优越,对种植业生产不构成强制性约束,本文采用木桶短板原理,以地形坡度、土壤有机质含量和土壤污染3个评价指标为强制性约束指标,评价农业生产不适宜性。将

地形坡度 25° 以上、极易造成水土流失、土壤肥力差、土壤有机质含量 $\leq 10 \times 10^{-6}$,或土壤污染物含量大于风险管控值等地区评价为农业生产不适宜区,除去生态保护极重要区和农业生产不适宜区之外,其余认定为农业生产适宜区。具体计算中的限制因子数 $m=4$,即

$j=1$,当空间单元属于生态保护极重要时,取 $f_j(x_j)=0$,否则,取 $f_j(x_j)=1$ 。

$j=2$,当空间单元的地形坡度 $\geq 25^\circ$ 时,取 $f_j(x_j)=0$,否则,取 $f_j(x_j)=1$ 。

$j=3$,当空间单元的土壤有机质含量 $\leq 10 \times 10^{-6}$,取 $f_j(x_j)=0$,否则,取 $f_j(x_j)=1$ 。

$j=4$,当空间单元的土壤中污染物含量大于风险管制值时,取 $f_j(x_j)=0$,否则,取 $f_j(x_j)=1$ 。

评价结果显示,农业生产不适宜区的面积为20 273.86 km²,占土地面积的16.35%,平潭、厦门等地不适宜占比较高,由土地沙化、土壤有机质流失等原因造成。适宜区面积为61 852.71 km²,占全省土地面积的49.87%。这些土地资源起着保障福建省粮食安全,支撑闽西绿色生态农业产业带和闽东南特色高效农业产业带等农业发展格局优化的作用。

4.2.2 城镇建设适宜性评价

在生态保护极重要区以外的区域,优先考虑生态安全和地质安全,识别城镇建设不适宜区。理论上,除去生态保护极重要区和城镇建设不适宜区之外,其它是城镇建设适宜区。考虑到供水条件、水环境容量、空气质量、交通区位等条件对福建省城镇建设不具明显约束,按照木桶原理,将地形坡度 25° 以上和(或)地质灾害极易发区视为城镇建设不适宜的判别条件,具体计算中的限制因子数 $m=3$,即

$j=1$,当空间单元属于生态保护极重要时,取 $f_j(x_j)=0$,否则,取 $f_j(x_j)=1$ 。

$j=2$,当空间单元的地形坡度 $\geq 25^\circ$ 时,取 $f_j(x_j)=0$,否则,取 $f_j(x_j)=1$ 。

$j=3$,根据断层、工程地质岩组、坡向、坡形、起伏度、坡度等因子计算各评价单元地质灾害综合易发性指数,对全省进行地质灾害易发区划分,具体划分为高易发区、中易发区、低易发区和不易发区4类,当空间单元位于地质灾害高易发区时,取 $f_j(x_j)=0$,否则,取 $f_j(x_j)=1$ 。

评价结果表明,城镇建设适宜区面积为



图2 福建省生态保护重要性评价结果

Fig. 2 The evaluation results of ecological protection importance in Fujian Province

63 236.17 km², 占全省面积的 50.99%, 不适宜城镇建设面积为 18 890.39 km², 占全省面积的 15.23%。

土地资源可承载城镇空间的划定前提是生态保护红线和永久基本农田红线不可逾越, 根据城镇规划用地规模和国土开发强度控制要求, 兼顾城镇布局和功能优化的弹性需求, 从严划定城镇开发边界, 逐步引导城镇建设向沿海集中, 向福州和厦门两大核心城市集中, 向其他各设区市集中, 不断优化“一带两极三轴”的城镇建设格局, 继续强化核心城市的影响力和辐射力, 扩大城镇体系影响范围, 带动城镇体系末端小城镇的发展^[24]。

5 结论

(1) 科学的双评价是基于资源环境承载力的国土空间开发适宜性评价, 包括国土空间生态保护等级评价与国土空间开发适宜性评价, 这两种评价的评价指标、评价方法各不相同。在福建省双评价实践中, 通过对比现状(如开发利用现状、永久基本农田、生态保护红线等)对既有空间冲突提出了校正建议, 揭示了现状资源环境禀赋的优势与短板, 指出提升国土空间资源环境承载力的路径, 满足国土空间规划提出的“必用性”“管用性”和“好用性”等

内在要求。目前,双评价的理论和方法仍处在不断探索阶段,承载规模的评价仅限于水土两类相对稳定的资源,且存在在一个假设相对封闭的、理想化的系统和空间场景。因此,双评价的结果只能作为“三区三线”划定的参考。

(2)未来双评价工作仍有许多需要突破的理论和技術问题,例如区域评价尺度问题、空间数据整合问题、市县规划精度需求问题、陆海统筹衔接融合问题、资源环境要素间的定量关系及权重规范算法问题等。

致谢:感谢中国地质调查局乐其浪先生及其双评价团队的指导和帮助,资料收集得到福建省自然资源厅等相关单位大力支持,在此一并致谢!

参考文献

- [1] 李瑞敏,殷志强,李小磊,等.资源环境承载协调理论与评价方法[J].地质通报,2020,39(1):80-87.
- [2] 岳文泽,王田雨.资源环境承载力评价与国土空间规划的逻辑问题[J].中国土地科学,2019,33(3):1-8.
- [3] 樊杰,周侃,王亚飞.全国资源环境承载能力预警的基点和技术方法进展[J].地理科学进展,2017,36(3):266-276.
- [4] 张茂省,王尧,薛强.资源环境承载力评价理论与方法与实践[J].西北地质,2019,52(2):1-11.
- [5] 郝庆,邓玲,封志明.国土空间规划中的承载力反思:概念、理论与实践[J].自然资源学报,2019,34(10):2072-2086.
- [6] 张林波,李兴,李文华,等.人类承载力研究面临的困境与原因[J].生态学报,2007,29(2):889-897.
- [7] 李铭,王建龙,李壮,等.新时期国土空间规划的初步认识——基于全国层面的思考[J].小城镇建设,2019,37(11):5-10.
- [8] 黄华梅,谢健,陈绵润,等.基于资源环境承载力理论的海洋生态红线制度体系构建[J].生态经济,2019,33(9):174-179.
- [9] 封志明,李鹏.承载力概念的源起与发展:基于资源环境视角的讨论[J].自然资源学报,2018,33(9):1475-1489.
- [10] 彭佳捷,蔡玉梅.国土空间生产-生活-生态功能识别与评价[J].城市与区域规划研究,2019,11(1):51-64.
- [11] 魏伟,张睿.基于主体功能区、国土空间规划、三生空间的国土空间优化路径探索[J].城乡规划设计,2019,16(5):45-51.
- [12] 刘继来,刘彦随,李裕瑞.中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J].地理学报,2017,72(7):1290-1304.
- [13] 叶英聪,匡丽花,赵小敏,等.基于空间决策的城镇空间与农业生产空间协调布局优化[J].农业工程学报,2017,33(16):256-266.
- [14] 魏旭红,开欣,王颖,等.基于“双评价”的市县国土空间“三区三线”技术方法探讨[J].城市规划,2019,43(7):10-19.
- [15] 杜海娥,李正,郑煜.资源环境承载能力评价和国土空间开发适宜性评价研究进展[J].中国矿业,2019,28(2):159-165.
- [16] 陈先鹏,方凯,彭健,等.资源环境承载评估新视角:行星边界框架的源起、发展与展望[J].自然资源学报,2020,35(3):513-531.
- [17] 岳文泽,代子伟,高佳斌,等.面向省级国土空间规划的资源环境承载力评价思考[J].中国土地科学,2018,32(12):66-73.
- [18] 顾朝林.科学的双评价是新时代国土空间规划的关键和基础[J].城市区域规划学刊,2019,11(2):1-4.
- [19] 武延海,周文生,卢庆强,等.国土空间规划体系下的“双评价”研究[J].城市与规划研究,2019,11(2):5-15.
- [20] 刘孝富,舒俭民,张林波.最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用[J].生态学报,2010,30(2):421-428.
- [21] 韩世豪,梅艳国,叶持跃,等.基于最小阻力模型的福建省南平市延平区生态安全格局构建[J].水土保持通报,2019,39(2):192-198.
- [22] 王琦,付梦娣,魏来,等.基于源-汇理论和最小累积阻力模型的城市生态安全格局构建[J].环境科学学报,2016,36(12):4546-4554.
- [23] 程迎轩,王红梅,刘光盛,等.基于最小累积阻力模型的生态用地空间布局优化[J].农业工程学报,2016,32(16):248-257.
- [24] 朱玲,郭青海,肖黎珊,等.福建省城镇体系空间结构特征及影响因素[J].地域研究与开发,2019,38(3):42-47.

Exploration on dual evaluation theory and the practice in Fujian Province

ZHANG Dingyuan¹, ZHANG Jing¹, NIU Xiaonan¹, CHEN Guoguang¹, WU Jiayu¹, ZHOU Xun¹,
WANG Chong¹, ZHANG Jie¹, HOU Zhenhua², XU Meihui³, ZHENG Zhiqiang³,
WANG Bin⁴, LIU Qingdi⁴

(1. *Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;*

2. *East China Bureau of Geological Exploration of Nonferrous Metals, Jiangsu Province, Nanjing 210007, Jiangsu, China;* 3. *Fujian Institute of Geological Survey, Fuzhou 350013, Fujian, China;*

4. *Geological Survey of Jiangxi Province, Nanchang 330030, Jiangxi, China*)

Abstract: Dual evaluation, as the basic work of territorial space planning, has attracted much attention. Based on the perspective of territorial space planning, this paper explored the theory and method of dual evaluation, reorganized and scientifically defined the concepts of key terms such as resources, environment, carrying capacity, dual evaluation, “Industrial-living-ecological” space and “urban construction-agricultural production-ecological protection” space. In the practice of the dual evaluation in Fujian Province, the simple model method and NPP method were used to evaluate the importance of ecological protection and identify the ecological protection space. According to Cannikin Law, using the weighted summation method and the limiting factor method, the suitability of land space development for different functions including agricultural production and urban construction was evaluated, and the quantity and quality of agricultural production and urban construction space were identified. This paper provides data support for the pattern optimization of ecological security, agricultural development and urban construction, as well as the delineation of “three areas and three lines” in Fujian Province.

Key words: resources and environment; carrying capacity; dual evaluation; territorial space planning