

基于生态优先的微观尺度国土空间双评价体系探索——以中国—马来西亚钦州产业园为例

□ 陈哲轩 黄汉山 陈筠婷

[摘要] 国土空间双评价工作是当下为实现国土空间科学规划与利用的重点工作内容。现有的研究一般集中于大尺度的研究区，而对微观尺度研究区的双评价工作重视不足，且评价工作中构建的指标体系单调而机械化，无法动态地反映不同区域双评价工作的核心重点。本文以中国—马来西亚钦州产业园为研究区域，在微观尺度上通过分析区域的自然生态过程，提取影响区域生态安全的6个关键影响因子，并构建评价体系，根据评价结果将规划区划分为禁止建设区、过渡开发区和适宜建设区3个开发策略和管控层次不同的细化区域。最后，将评价的结果同现行的控规进行叠加分析，以量化的数据结果检验以生态优先为基础的微观尺度双评价工作的必要性和有效性。

[关键词] 国土空间双评价；生态优先；尺度；中国—马来西亚钦州产业园

自1978年实行改革开放以来，中国城镇化的发展随着经济社会和工业化前进的步伐不断加快，《中国农村发展报告2020》数据显示，中国的城镇化率在2025年将达到65.5%，未来5年预计将有0.8亿人口从农村转移进入城镇^[1]。更多的城镇人口带来更大的土地需求，人地矛盾也随之不断加深。值此背景，为了保证经济社会和生态环境的可持续发展，协调好生态文明建设与国土空间的开发利用是当务之急。党的十八大报告明确提出要大力推进生态文明建设，将其融入“五位一体总体战略”^[2]。推进生态文明建设，必须将其与经济社会的建设发展融入一个和谐的框架体系之中。2019年《中共中央 国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》的发布，标志着在系统的层面落实构建国家空间规划体系工作。在生态优先的大背景下，编制资源环境承载能力评价和土地开发适应性评价（以下简称“双评价”）是构建国土空间规划体系的基础工作之一，能有效甄别国土开发过程中面临的各种环境资源风险，并在此基础上对国土空间进行承载力的等级判别，以便更科学地开展国土空间的开发建设活动。

1 “双评价”研究方法与实践工作的局限

当下关于“双评价”的研究，从地域类型看，研究的地域趋于多样化，如将不同类型的山地丘陵、河湖海岸以及喀斯特地貌区等特殊地貌类型区囊括起来，蒋佳

佳等针对低丘缓坡类型的重庆两江新区进行生态空间适宜度的格局构建^[3]；李晓东以三角洲绿洲为研究区域进行双评价研究并提出后备耕地资源开发的建议举措^[4]。在研究的尺度上，目前国内学界的研究主要涵盖流域、省、市、县、经济区等宏中观尺度，如唐常春和孙威采对长江流域的742个县级行政单位进行综合评价^[5]；车冰清等人以全江苏省的县级单元为研究对象，从空间与生态角度得出后期开发的指导性建议^[6]。而在研究方法上也趋于多元化，国外学者有多学科的交叉研究方法，如运用神经网络^[7]、人工智能^[8]等，主要的方法是基于ArcGIS技术的多要素叠加分析、综合指数评价方法^[9]、生态位分析^[10]等，提高了研究的科学性和严谨性。

综上，可以看出就目前的研究进展而言，还存在着几个方面的不足：一是当前国内对“双评价”体系研究的尺度基本停留在宏观和中观层面，而在实践层面上的总规、控规等层次相关研究贫乏，无法对当前的实践项目提供有益的理论指导和方向指引；二是在目前学界的研究中，构建双评价体系的指标因子大多选择单一的要素，静态地展示某一要素在空间上的分布形态，但这一机械的指标选取，忽略了要素的选取和变化对规划区域生态过程产生的影响，无法动态地反映选取的要素同规划区生态过程间的互动和联系。这些亟待解决的问题，

也是本次研究的重点探讨方向。

此外，在传统的规划编制过程中，关注的核心要素是城镇建设用地空间的规划布局与管控，并为相关的城镇开发工作和工程设计提供技术准则指导。但传统的规划编制方法忽视了林地等非建设空间和自然要素的管控和布局，这直接导致在实际的建设开发过程中，非建设空间被侵蚀和自然环境要素不受保护的现象频繁发生。

2 研究思路与方法

2.1 研究思路

本文旨在以中国—马来西亚钦州产业园（以下简称“中马产业园”）为研究对象，产业园位于钦州，是北部湾经济区三个沿海港口之一。近年来，北部湾经济区因发展而罔顾环境保护，红树林大面积死亡，北海铁山港受损面积达17.178hm²，生态系统被严重破坏。本文基于现有“双评价”体系的技术指南和研究进展，探索出微观尺度下，协调经济建设和生态环境安全的评价指标体系，并进行实证研究。同时在规划过程中运用景观生态学的知识内容，阐释构建生态优先评价框架对区域生态过程的重要意义，填补之前研究中生态过程在“双评价”体系中的缺口。

在构建以生态优先为主导的“双评价”框架体系上，一是根据研究区中马产业园的基础建设条件和自然环境进行分析，结合景观生态学知识对中马产业园的生态过程进行分析，采用多因子综合评价方法提取出影响研究区规划的关键生态因子。二是采用APH分层分析方法对提取出的因子进行权重赋值，对规划区生态敏感性等级进行评价和区域划分。三是根据评价结果制定区域空间管制图则，并与已规划实施的《中国—马来西亚钦州产业园区总体规划（2012—2030）》进行对比分析，量化比较本次研究的技术成果。

2.2 数据来源

基于生态优先的理念，本文数据的收集重点围绕规划区的自然环境条件进行。根据前期规划区情况调研和生态过程的分析，系统收集规划区DEM高程数据、高分辨率卫星遥感图、区域总初级生产力分布图和红树林分布的信息数据。卫星遥感影像图和区域总初级生产力分布图主要采用2012年的图像。其中，卫星遥感图像采用Landsat 8卫星获取的2012年夏季图像，是云量少于1%且天气晴朗时拍摄获得。而区域总初级生产力分布图是采用MODISNPP产品中的MOD173AH数据，此数据是以8天为间隔的净光合作用（PSN）产品，本次研究获取是2012年所有8天PSN产品共46幅，通过在ENVI和ArcGIS

软件中进行处理，获得规划区域的2012年年度区域总初级生产力分布图。采用2012年数据是因为该年份数据未受到规划影响，各项数据质量最好的年份，以未受到现行规划影响的数据为基础提取各项因子，有助于得出科学合理的评价结果，并与现行规划进行对比，验证本文体系探索的有效性。

2.3 研究区范围

选取中马产业园区为研究范围，产业园区总面积约55hm²，园区内包含的自然要素丰富，生态系统敏感度较高。园区范围内地形起伏大，坡度多在15°~30°，水系纵横，玉垌根江、下埠江和金鼓江在园区内汇流。此外，园区内红树林主要沿金鼓江连绵分布，是钦州湾红树林的组成部分，已列入中国重要湿地名录，是自治区级自然保护区。

2.4 研究方法

基于本次研究的特性，采用多因子综合评价法与APH层次分析法相结合的研究方法进行计算。景观过程和生态过程是构成不同景观格局的重要原因，景观中物质、能量等都能从一种景观要素迁移到另一种景观要素，其表现形式即为景观过程。生态过程伴随着许多景观过程的发生，生态过程和功能的变化会引导景观格局产生相应的变化，因此基于生态优先的规划评价框架，必须从规划区的生态过程着手，根据区域内自然和人文过程对格局的影响程度，识别和提取区域生态系统在遇到干扰时最易引发生态问题的敏感因子。

2.4.1 多因子综合评价法

（1）植被覆盖度因子。代表规划区域内植物光合作用面积大小和植被生长的茂盛程度，在一定程度上反映区域植物的生长状态和生长趋势。植被覆盖度高说明区域的水土保持能力强，能较好地抵挡风蚀、水侵蚀等自然灾害。通过对卫星影像图的识别，以归化植被指数NDVI分辨出区域植被，在ArcGIS平台中以植被覆盖度指数能够有效地识别出区域的植被覆盖情况，以像元绝对值的大小表示单位植被覆盖度的高低，若单位像元值越高，则说明其生态敏感性越高。

（2）生物量因子。反映某一时间单位面积内所含的各物种或者生物群落的总个数或总干重，代表着区域时间单位内实际存活的有机物质，反映区域生物群落的盛衰情况，是衡量区域生态状况的重要指标。通过获取TERRA和AQUA卫星上MODIS传感器观测地面时接受的MOD17数据，可以获得规划区的NPP数据，通过在ArcGIS平台中进行处理和截取，以像元值（单位：kg/m²）的

[作者简介] 陈哲轩，广西大学土木建筑工程学院，硕士研究生。
黄汉山，广西自然资源职业技术学院，高级城市规划师，硕士。
陈筠婷（通信作者），广西大学土木建筑工程学院，副教授，博士。

大小判断生物量的高低，若单位像元值越大，则其生态敏感性越高。

(3) 高程因子。根据测算的高程点数据构建数字地形模型获取，高程对区域生态环境和自然系统的完整性有着直接的影响。可以依据像元的绝对高程值（单位：m）的大小进行单因子评分：假设一像元的绝对高程值越大，说明其所在区域的建设开发难度越大，建设时土方工程量越大对地表的破坏程度就越大，其生态敏感性就越高，分析评价时赋值越大。

(4) 坡度因子。坡度是关乎区域动植物生长、栖息和活动的重要因子，对区域的水土保持有直接影响，以像元的坡度值（单位：°）大小进行单因子评分。坡度值

越大说明区域地势越陡峭，动植物的生长繁殖越受其影响，水土流失、滑坡等地质灾害越容易发生，其生态敏感性也越高。

(5) 防洪安全因子。规划区的建设开发必须保证区域的安全和保护人民生命财产安全，为此要求规划开发要保护原有的水生态系统，并防范极端天气带来的灾害。要识别重要水系周边潜在的水生态安全格局，根据区域多年潮水线的变化和距离河流水系的空间距离（单位：m），设立防洪安全缓冲区，根据缓冲区距离水系的远近进行生态敏感性评分。一般而言，距离河流水系越近，则越易受到河流水位变化的影响，其生态敏感性越高。

(6) 红树林保护因子。林地是生态本底的重要构成之一，作为森林的载体，起到涵养水源、改良土壤、固土保肥等多重正面效益，是一个地区重要的生态资源。钦州湾红树林是国家划定的重点环境敏感区和保护区，也是保护区域生态完整性的重要载体。根据卫星影像图和《中国—马来西亚钦州产业园区总体规划修编》中的测量数据可以识别红树林的分布情况，并划定相应的保护区与过渡缓冲区，依据与红树林的空间距离远近，对单因子进行评分，距离越近则其生态敏感性越高，见图1。

2.4.2 层次分析法

基于上文对规划区各因子的分析，在分析规划区特征的情形下，运用层次分析法构建区域生态优先度判断矩阵，对判断因子进行两两比较确定权重赋值，并计算权向量做一致性检验。计算可得如表1所示。

3 钦州市中马产业园基于生态优先的国土双评价体系建设

3.1 2012年中马产业园基于生态优先的国土双评价结果

根据前文研究与规划区因子提取和权重赋值确定，基于上述的定量评级结果，利用ArcGIS软件的空间叠加工具根据各因子权重进行栅格加权运算，便可以得到中马产业园基于生态优先的国土双评价结果：根据其生态优先度可以将其由高到低划分为禁止开发区、过渡建设区和适应开发区3类地块。剔除水域面积以及部分后期规划调整后缩减地区域，总面积为4495hm²。

禁止开发区面积为678hm²，占总面积的15.08%。禁止开发区主要涵盖了规划区内红树林的核心区和保护区、洪涝遭灾风险大的沿岸、坡度过大的山地等，具有极高的生态服务功能和自然系统维衡能力，对规划区的自然生态质量具有根本性、关键性的作用，是区域生态可持续发展的最低保障，作为着重保护的生态地形，禁

止在区域内进行开发建设活动，以保育和维护为主进行处置。

过渡建设区面积2476hm²，占总面积的55.08%，在划分的三区中占比最大。过渡建设区主要涵盖了部分植被覆盖度较高的区域、浅湖小溪的沿岸、坡度稍缓的山地等，区域的生态服务功能较禁止开发区弱，但仍是维护区域自然系统的重要力量。本区域规划以生态涵养和保持为主，可适当进行区域的开发建设，开展公园建设，以区域研发、展示为主的生态型研发活动，必要的公益性服务设施建设以及其他如教育园、康乐园等与生态保护不相抵触的低强度产业开发活动。

适宜开发区面积1341hm²，占总面积的29.83%。适宜开发区主要是规划区内生态优先度低、生态敏感性较弱的区域。区内地形起伏小、高程适宜土方量少、洪涝遭灾可能性小，是区域开发建设的最优选择，是产业园内装备制造业、材料产业、物流园等开发强度较大的产业建设的首要选址地。

通过以上三区的区划和建设用途的确定，可以精准划定区域的核心保护区域，确保规划区生态永续发展的“底线”，明确区域适宜建设的空间范围。并且以正确的空间利用方向来引导区域功能布局 and 空间布局，使各类型用地集中布局以实现集约发展，使得生态空间绿色活力、建设空间集约高效，见图2。

3.2 现行中马产业园总体规划的生态优先度验证

为验证中马产业园现行土地利用规划的生态性，本文将《中国—马来西亚钦州产业园区总体规划修编》中土地利用规划一图导入ArcGIS工作平台，提取建设用地与基于生态优先的国土空间双评价结果进行空间叠置分析。

为了精确验证现行规划土地利用布局的合理性，在剔除红树林、山体林地、公园绿地、水域、防护绿地等能较大限度保持生态基底的土地利用类型后，提取出建设用地面积3625hm²，占总建设面积的80.65%。

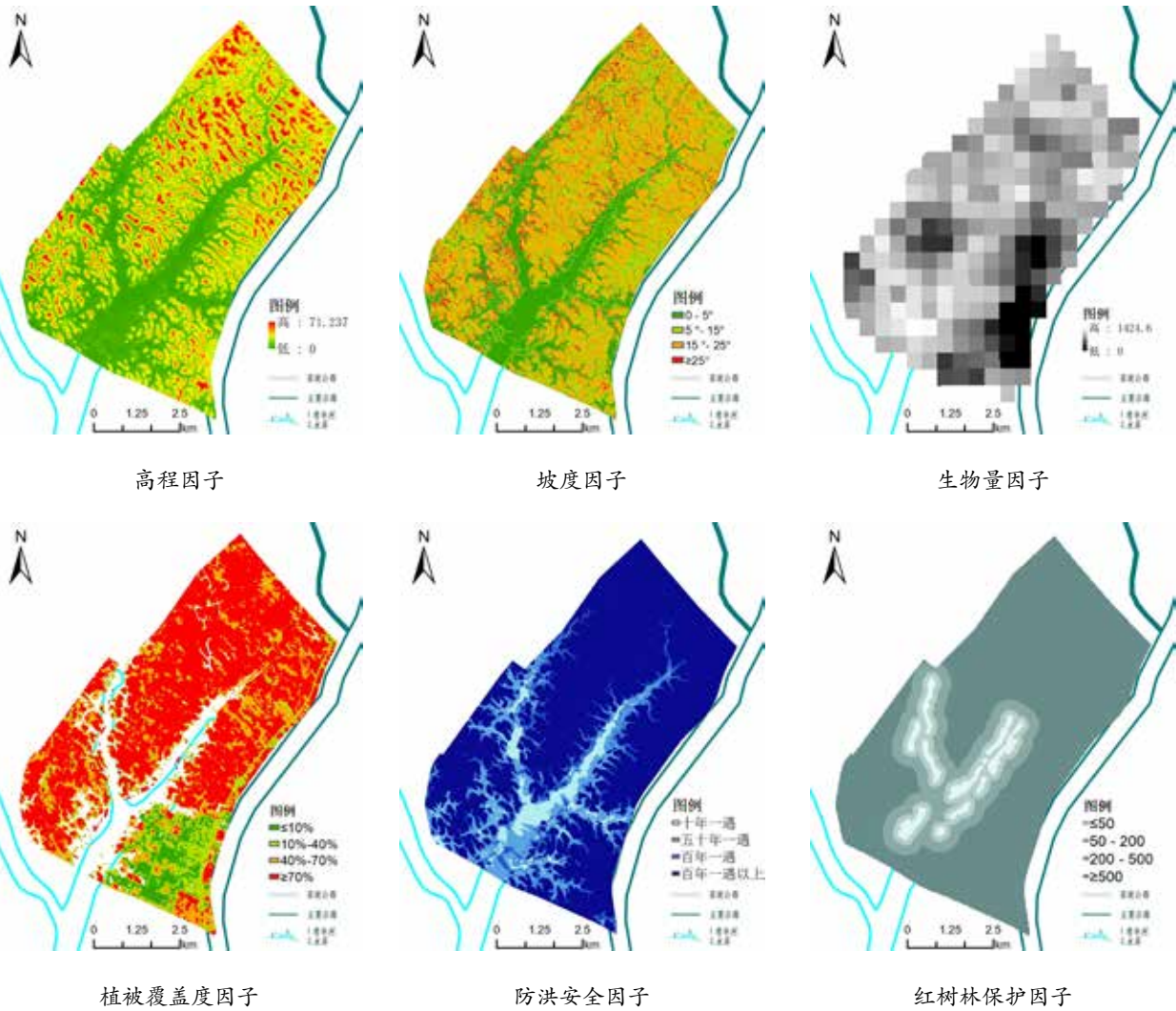


图1 各影响因子图

表1 因子权重一览表

因子	权重	高敏感（7分）	较高敏感（5分）	中敏感（3分）	低敏感（1分）
植被覆盖度（%）	0.175	≥70	40—70	10—40	≤10
生物量（kg/m²）	0.280	≥1234	1134—1234	1000—1134	≤1000
高程（m）	0.031	≥42	24—42	3—24	≤3
坡度（°）	0.040	≥25	15—25	5—15	≤5
防洪安全（重现期）	0.069	十年一遇	五十年一遇	百年一遇	百年一遇以上
红树林保护（m）	0.405	≤50	50—200	200—500	≥500
CI=0.0915<1，说明判断矩阵具有良好的一致性，可作为判断依据进行参考					

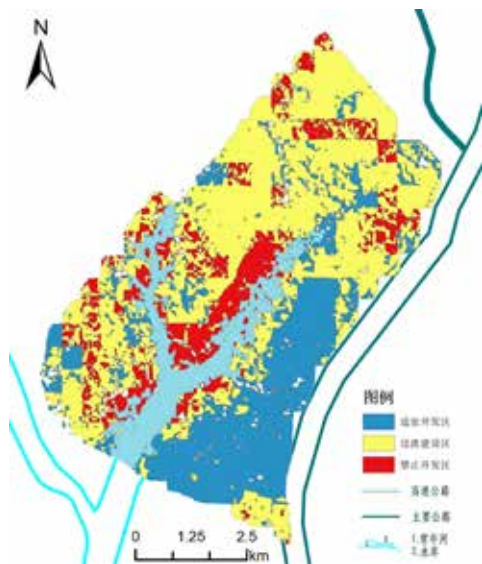


图2 基于生态优先的国土双评价结果图

根据叠置结果发现,与禁止开发区重合的建设用地面积为526hm²,占禁止开发区面积77.58%,建设用地严重地入侵生态用地,极大破坏了区域生态保护空间,生态本底和生态安全得不到保障,将严重破坏区域自然生态系统;与过渡建设区重合的建设用地面积为1982hm²,占过渡建设区面积80.05%,从土地利用分类与双评价结果的叠合分析中,发现布局在过渡建设区的土地利用类型是工业工地,主要进行的是装备制造、材料加工等对环境有较大破坏性的生产建设活动,将极易破坏区域生态环境的稳定性,不合理的产业配置会急剧加大过渡区域的生态负担,使得生态环境失衡;与适宜开发区重合的建设用地面积为1116hm²,占最适宜建设区面积83.22%,最适宜建设区的空间没有得到完全利用,导致区域开发压力向其他两个区域转移,现行规划的空间布局模式无法有效利用区域的建设优势。而且规划中村庄建设用地与工业用地间杂的布局则构建了糟糕的人居环境,既无法满足经济发展对建设用地的需求,也忽视了居民对改善人居环境的呼声。

由此可以看出,现行规划的布局无法真正落实国土空间开发、资源节约利用、生态环境保护的生态文明建设总要求,错序的产业园规划布局无法完成保障生态安全底线的任务。因此,兼顾生态性与经济性的产业园规划,必须构建起基于生态优先的空间结构,将集约布局与绿色发展同时兼顾,合理地划定各区域控制范围,科学规划产业布局,见图3。

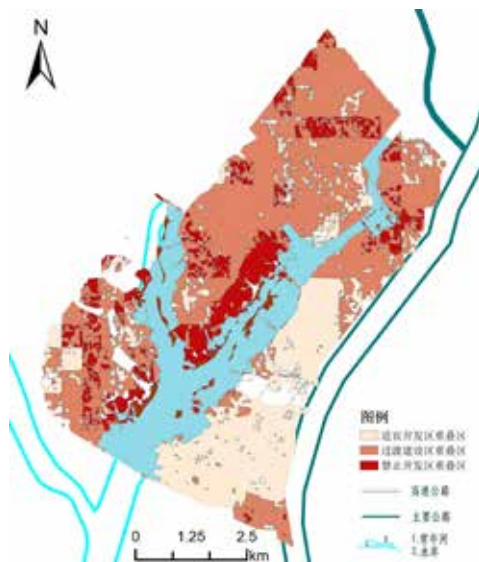


图3 基于生态优先的国土双评价与现行控规对比结果图

4 结语

4.1 展望

在微观尺度区域开展基于生态优先的国土空间规划是深入贯彻生态文明建设的必然之势。就现阶段的规划工作而言,单纯以经济为导向的规划布局模式已无法满足当下贯彻生态文明建设的需要,必须处理好建设区域的生态需求,正确地识别区域开发特性,有效地协调空间管制与产业布局建设。期待本文基于生态优先的国土空间双评价探索,能够以中马产业园为例,为其他微观尺度区域在生态化的开发建设中提供启思与借鉴。

4.2 研究不足

4.2.1 数据精度不足

受限于现有的数据采集方式,本文采用的生物量数据精度相较研究尺度而言较为粗糙,无法精准地反映细微地块的具体情况,同时因数据分辨率的不同,导致结果的精准程度受到影响。

4.2.2 指标体系构建较为粗糙

因微观尺度场地双评价工作研究目前较为空白,本次研究作为研究方法的初探,在缺乏相关方向研究基础上的指标体系构建工作显得较为粗糙,影响因子的选取和相关指标的分析工作更多根据场地条件进行专门筛选,在普遍性和科学性的因子筛选工作研究方面还需加强,更多交叉学科的知识经验还需要不断地去学习并与研究内容有机结合。

(下转第36页)