

# 基于系统论的土地利用多功能分类 及评价指标体系研究

刘超<sup>1</sup> 许月卿<sup>1,†</sup> 刘焱序<sup>2</sup> 孙丕苓<sup>1</sup> 黄安<sup>1</sup> 周建<sup>1</sup>

1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京大学城市与环境学院, 北京 100871; † 通信作者, E-mail: xmoonq@sina.com

**摘要** 基于系统论中要素-结构-功能原理, 对土地利用系统多功能进行系统识别和分类, 建立土地利用多功能分类体系; 从经济-社会-生态维度构建多尺度、多层次的土地利用多功能评价指标体系, 并对指标数据的获取和空间化方法进行初步探讨。结果表明, 土地利用多功能具有多层次性和区域性, 应针对不同的区域背景和研究尺度建立相应的分类与评价指标体系。将土地利用功能与土地利用结构相联系, 并将评价尺度延伸至地块这一微观尺度, 拓展和丰富了土地利用多功能研究的范围与内容, 为土地利用多功能研究提供新的思路 and 途径。

**关键词** 土地利用多功能; 系统论; 分类与评价; 指标体系; 多尺度

**中图分类号** K903

## Research on Land Use Functions Classification and Evaluation System Based on System Theory

LIU Chao<sup>1</sup>, XU Yueqing<sup>1,†</sup>, LIU Yanxu<sup>2</sup>, SUN Piling<sup>1</sup>, HUANG An<sup>1</sup>, ZHOU Jian<sup>1</sup>

1. College of Resource and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193; 2. Laboratory for Earth Surface Processes (MOE), College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871;

† Corresponding author, E-mail: xmoonq@sina.com

**Abstract** The authors systematically identify and classify land use functions based on the system theory, and then construct the multi-scale and multi-level evaluation index system of land use functions from three aspects of economy, society and ecology from the perspective of patch scale. A preliminary attempt is made to obtain and spatialize index data. The results show that land use functions has multiple levels and regional characteristics, corresponding classification and evaluation index system should be established according to different regional background and research scale. Land use functions are related to land use structures, and its evaluation scale is extended to the micro-scale, which is helpful to expand the scope and enrich content of the study of land use functions.

**Key words** land use functions; system theory; classification and evaluation; index system; multi-scale

土地利用是人类对地球表面的改造行为, 基于土地的生产、基础设施和住房等均与土地利用密切相关<sup>[1]</sup>。土地利用及其变化是全球变化影响生态系统、气候变化和人类脆弱性等问题的主要决定因素

之一<sup>[2-3]</sup>。土地利用多功能(land use functions, LUFs)根植于农业、生态系统产品和服务及景观功能, 涵盖区域可持续性的经济、社会和环境维度, 指不同土地利用方式所提供的私人 and 公共的产品与

服务<sup>[4-5]</sup>, 关系着提高人类福祉和区域可持续发展。作为人地耦合系统的关联性主题, 土地利用多功能研究是目前地理学、土地科学等关注社会及环境问题的重要出发点, 推动土地利用研究从土地利用格局变化转向土地空间多功能变化及其可持续性, 并逐渐成为土地变化科学领域的新热点。快速的城镇化与工业化进程引发土地利用功能转化, 加剧了人地关系的紧张程度, 并形成比较深刻的区域土地供求问题<sup>[6]</sup>, 因此, 如何合理地调整与配置土地利用多功能, 实现土地资源高效利用, 已经成为土地可持续利用研究的重要主题和大趋势, 并受到学术界和公众的广泛关注。

近年来, 已有一些学者尝试围绕土地利用多功能开展研究, 主要集中于土地利用多功能的概念和内涵、土地利用多功能的识别与分类以及土地利用多功能性评价与影响因素分析等方面<sup>[4-5, 7-13]</sup>, 并取得较大的进展。作为土地利用多功能研究核心问题之一的土地利用多功能分类及评价指标体系研究, 是识别与判定区域土地利用功能形态及功能之间动态权衡的关键, 受到极大关注。由于对土地利用多功能关注的侧重点不同, 分类标准不一, 因此指标体系的设置和研究方法尚需完善。土地利用多功能评价具有尺度依赖性, 评价单元目前仅限于区域层面, 融合多源、多尺度数据的微观尺度评价研究几乎为空白。

本文系统地梳理土地利用多功能的分类与评价等方面的研究现状, 基于系统论中要素-结构-功能原理, 尝试建立各项功能与土地利用结构之间的有机联系, 系统地识别与分类土地利用多功能, 并将评价单元具体到地块这一微观尺度, 融合统计数据、遥感数据等多源数据到网格单元, 构建多尺度、多层次的土地利用多功能评价指标体系。

## 1 相关研究回顾

### 1.1 土地利用多功能分类

土地利用功能是综合性、多元化的, 由于研究目的和侧重点不同, 在土地利用多功能识别与分类方面, 不同学者的观点存在差异。土地利用功能分类与一般的土地景观和利用类型划分有所区别, 但也有相通之处。有学者认为, 土地利用功能与土地利用结构之间存在映射关系, 将土地利用功能划分为生产功能、社会功能和生态功能<sup>[14-15]</sup>。陈婧等<sup>[7]</sup>将土地利用功能划分为生产功能、生活功能和生态功能, 并认为生态功能是基础, 是生产功能、生活功能实现的前提条件, 人类的生产、生活以生态系统的支撑为基础, 又通过人的生产、消费等活动影响着生态系统。

随着可持续发展理念的深入与发展, 土地利用可持续性也备受瞩目。众多学者为了平衡可持续发展的经济、社会和环境三大维度, 选取一系列影响可持续性的指标, 对其进行降维处理, 将土地利用多功能归结为3项基本功能: 经济功能、环境(生态)功能和社会功能<sup>[4, 9-12]</sup>。与此同时, 各土地利用功能还可以进一步细分, 如资源功能<sup>[16]</sup>和生产功能<sup>[17]</sup>由基本功能衍生而来。最具影响力的是Pérez-Soba等<sup>[4]</sup>和Helming等<sup>[18]</sup>在总结欧盟SANSOR计划研究成果的基础上, 根据不同的产业部门, 将社会功能、经济功能和环境功能细分为9个子功能(图1), 即社会功能细分为就业支撑功能、人类健康和娱乐功能、文化和美学价值功能; 经济功能细分为居住和土地的独立生产功能、土地为基础的生产功能、基础设施功能; 环境功能细分为提供非生物资源的功能、支持和供给生物资源的功能、维持生态系统过程的功能, 得到国内外学者的广泛应用和拓展。

人类对土地利用功能的认识和利用经历了从简

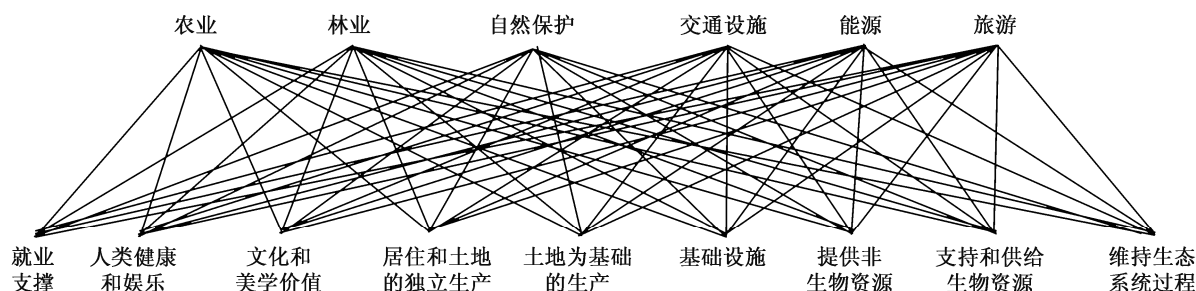


图1 土地利用部门和土地利用功能相互作用下的土地利用多功能<sup>[18]</sup>

Fig. 1 Multifunctionality of land use as interplay between land use sectors and land use functions<sup>[18]</sup>

单到复杂,从一元到多元的过程<sup>[9]</sup>,土地利用多功能的分类焦点从土地利用系统的整体性逐渐转向区域土地利用的可持续性,分类不断细化,并逐渐呈现较强的系统性及可操作性。学者们从不同角度构建土地利用多功能分类体系,但是各分类体系往往只是针对特定研究目的和研究尺度,尚未形成较科学、准确、统一的标准,其中一个重要的原因就是相对缺乏对土地利用多功能分类原理、原则和指标等理论的系统性探讨。

## 1.2 土地利用多功能评价

土地利用多功能评价是土地多功能利用的基础性工作,也是制定土地利用决策的前提。SENSOR项目提出土地利用多功能(LUFs)概念框架<sup>[4]</sup>,将区域层面上经济、环境和社会文化等关键指标降维处理,融合为9项土地利用功能,使得欧盟评估转化为综合性区域影响评估<sup>[19]</sup>,极大地推动了土地利用多功能评价方法体系的应用与发展。甄霖等<sup>[9]</sup>和Xie等<sup>[10]</sup>综合考虑经济、社会和环境功能,构建中国土地多功能利用分析框架。指标体系是土地利用多功能评价的基础,土地利用多功能涉及区域经济、社会和环境维度,因此,评价指标特别强调反映经济、社会和环境属性特征的相关要素<sup>[4,8-12]</sup>,反映经济属性特征的要素涉及产业发展、物质生产等方面,反映环境属性特征的要素涉及空气、土壤、水、生物多样性等方面,反映社会属性特征的要素涉及就业、居住条件、公共服务等方面。目前,综合指数法<sup>[4,9,12]</sup>、改进突变级数法、灰色关联投影法<sup>[11]</sup>、模糊综合评价法<sup>[20]</sup>等是主要的评价方法。

土地利用多功能评价多力求构建全面的评价指标体系,运用不同的数理分析方法,得出土地利用功能性指数,并以此来定量地评价土地利用功能性。由于对土地利用多功能理解的多元化,其评价指标体系存在差异,缺少明确的统一标准。指标数据多为社会经济数据,且以行政区为统计单元,使得评价单元以国家、省域、市域、县域等为主。然而,土地利用系统的组成要素具有不同的组织水平和空间尺度,决定了土地利用功能具有多层次和多尺度性。在实际情况中,土地利用功能又与土地利用覆被直接相关<sup>[21]</sup>,地理环境的复杂性、研究尺度的多样性和区域的差异性,使得不同地域、不同时间节点的土地利用多功能存在差异,特别是空间联系及空间差异性土地利用多功能时空分异规律分析的基础,因此,准确地评价微观地域单元的土地

利用多功能时空演变特征,可为不同尺度的评价研究提供途径。

## 2 土地利用多功能分类体系

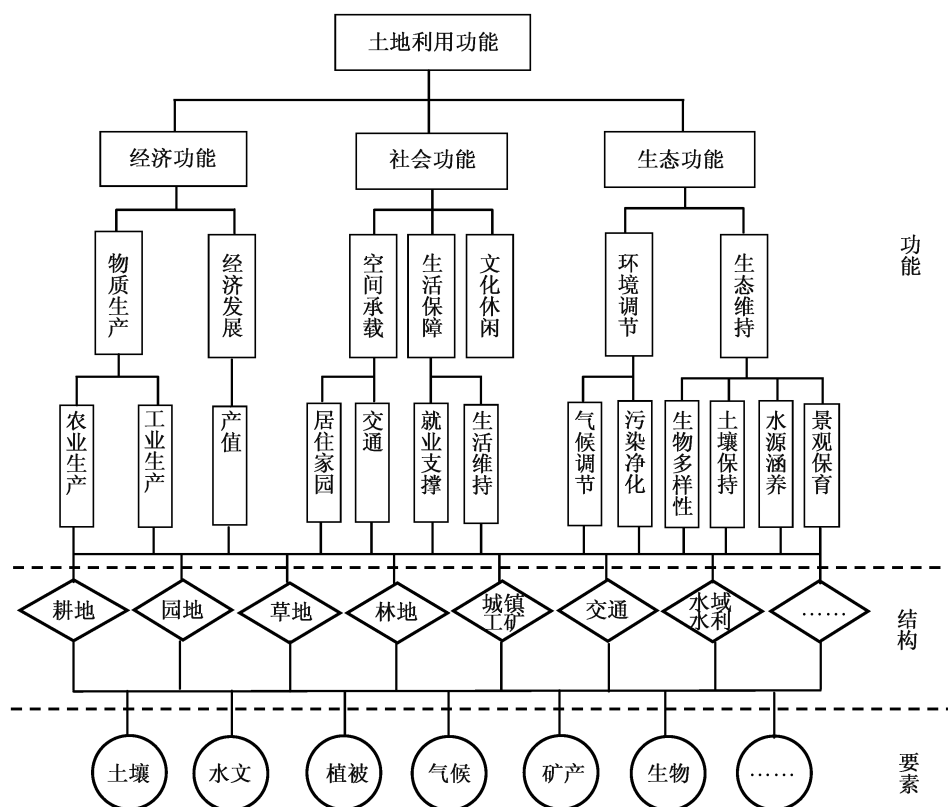
### 2.1 分类依据

奥地利生物学家贝塔郎菲最早提出一般系统论,随后推动其发展成为一门重要学科,在各个科学领域得到广泛应用。系统论是研究系统结构和功能(包括演化、协同和控制)规律的科学,认为系统是由若干要素以一定结构形式联结构成的具有某种功能的有机整体,包括系统、要素、结构和功能4个概念,表明了要素与要素、要素与系统、系统与环境三方面的关系。土地是由地质、地貌、气候、水文、土壤、植物等要素组成的,并受到人类活动作用与影响的开放系统<sup>[22]</sup>。土地系统研究中的结构-功能理论即土地结构决定土地系统功能,土地系统结构分析是揭示土地系统功能的有效途径。合理的土地利用结构可以产生结构效应,从而促使土地利用系统的功能增强,效率提高。对应变换分析理论,即土地是农业生产最基本生产资料,是工业、交通运输及其他产业的建设场所,土地结构与各种地域结构(如产业部门结构、环境结构、社会文化结构等)可以进行对应变换,如土地资源结构直接影响区域产业部门结构,土地类型结构直接影响生产力布局结构<sup>[23]</sup>。这些理论以及前期部分学者的相关研究为土地利用多功能分类体系的构建提供了理论基础与依据。

土地利用是在人类活动持续或周期性干预下,进行土地自然再生产和经济再生产的复杂社会经济过程<sup>[24]</sup>,是社会经济与生态环境相互作用形成的人地耦合系统。按照系统论的观点,土地利用的实质是人地关系地域系统中资源、生态、经济和社会等要素相互作用与影响形成的土地生态经济系统及其持续运动过程<sup>[25]</sup>。土地利用系统是一个多层次结构和功能的复合体,存在要素-结构-功能因果链,即土地系统内土壤、水文、植被、生物等要素互相关联,经过自然演化过程或人为作用,形成不同的土地利用类型,如耕地、园地、草地等,它们之间的比例关系或组成称为土地利用结构。土地利用结构的多样化,带来不同的结构效应,决定着相应的土地利用功能(图2)。

### 2.2 类型划分

土地利用经济、社会及环境功能的相互协作与



“城镇工矿”为城镇村及工矿用地,“交通”为交通运输用地,“水域水利”为水域及水利设施用地

图 2 土地利用多功能分类体系

Fig. 2 Classification system of land use functions

促进形成土地利用的良性循环态势,深刻地反映土地利用类型之间的空间组织关系,对其分类应注意: 1) 不同层次的土地利用结构决定土地利用功能的多层次性; 2) 涵盖最相关的土地利用类型和部门; 3) 同时考虑可持续发展的三大维度(经济、社会和环境); 4) 这些功能应该简单且易理解。基于此,从功能主体性的角度出发,将土地利用功能划分为经济功能、社会功能及生态功能3个一级类,并细分为7个二级类和13个三级类(图2)。

经济功能是土地直接作为劳作对象或以土地为载体进行生产活动而产出各种产品、服务和价值的功能,包括物质生产和经济发展两项子功能。物质生产功能细分为农业生产和工业生产功能,为人类提供生活和生产资料,如食物、木材、能源矿产等,是维持人类生存和发展的基础性功能。经济发展功能主要是产值功能,是对土地及其附着物进行多样化利用后产生的经济价值,即产业产值。

社会功能是土地在人类生存和发展过程中提供的空间承载、物质和精神保障服务,以满足人类身

心发展需求,实现人类福祉最大化,具体细分为空间承载、生活保障和文化休闲三方面功能。土地是一切人类活动的载体,空间承载功能包括居住家园和交通功能,为人类生活提供居住场所和出行便利。人类在土地上从事生产活动,以满足各种生活需求,因此生活保障功能主要涉及就业支撑和生活维持功能。此外,自然和人文景观为人类提供娱乐、休闲、文化及美学等服务;作为土地利用社会功能的核心内容,文化休闲功能丰富着人类的精神生活。

生态功能是土地利用系统为维持生物(包括人类)生存和生活而提供的生态资源与环境的供容能力,包括环境调节和生态维持功能。其中,环境调节功能细分为气候调节和污染净化功能,反映土地利用系统沉淀、排除、吸收和降解有毒物质的能力;生态维持功能细分为生物多样性、土壤保持、水源涵养和景观保育功能,体现土地生态系统提供的基因资源、水文和营养循环、文化服务、生态支持等能力。

3 土地利用多功能评价指标体系构建

3.1 指标选取原则

土地利用功能往往不能直接观察得到,需采用一定的技术方法来量化表征,重要途径之一就是构建评价指标体系。选取的评价指标必须能够直接或间接地表征区域土地利用多功能性,具备有效性与合理性。因此,选取指标时应遵循科学性和主导性、动态变化和空间差异性、可获取性等原则。

3.2 指标体系框架

本文参考前人研究成果<sup>[4,9-12]</sup>,从社会统计数据、遥感数据等多源数据中,初步选取与土地利用类型、部门、产业等紧密相关的一系列指标,并统一到格网空间单元中,构建“经济-社会-生态”三维土地利用多功能评价指标体系,分为:一级指标层,即最终评价结果,反映土地利用功能综合水平;二级指标层,包括制约和影响土地利用综合功能的3个功能指标,即经济功能、社会功能和生态功能;三级、四级指标层,即分别对二级、三级指标的细化;表征指标层,是评价区域土地利用功能综合水平的具体因素指标(表1)。

经济功能包括物质生产功能、经济发展功能两

个二级指标。其中,物质生产功能细分为:农业生产功能,涉及粮食产量、土地垦殖率等指标;工业生产功能,涉及工矿用地面积等指标。经济发展功能主要指间接生产功能,是对土地及其附着物进行多样化利用后间接产生的经济价值,即产业产值,涉及第一产业值、第二三产业值等指标。

社会功能包括空间承载和生活保障功能两个二级指标。其中,空间承载功能细分为:居住家园功能,涉及城镇村居民点用地面积比例等指标;交通功能涉及交通用地面积比例、公路网络通达性、路网密度等指标。生活保障功能主要指就业支撑和生活维持功能,分别涉及农林牧渔业从业人员密度和人口密度等指标。

生态功能包括环境调节和生态维持功能两个二级指标。其中,环境调节功能细分为:气候调节功能,涉及气候调节服务价值量等指标;污染净化功能,涉及单位耕地农用作肥施用量、单位耕地农药施用量。生态维持功能细分为:生物多样性功能,涉及生境丰度指数等指标;土壤保持功能,涉及土壤保持等指标;水源涵养功能,涉及地形湿度指数、水源涵养量等指标;景观保育功能,涉及植被覆盖度等指标。

表1 多尺度、多层次的土地利用多功能评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of land use functions from the viewpoint of multiple scales and levels

一级指标	二级指标	三级指标	四级指标	表征指标	指标尺度
土地利用综合功能	经济功能	物质生产功能	农业生产功能	粮食产量	中/宏观
				土地垦殖率	微观
		经济发展功能	工业生产功能	工矿用地面积	微观
			产值功能	第一产业值	中/宏观
	社会功能	空间承载功能		第二三产业值	中/宏观
			居住家园功能	城镇村居民点用地比例面积	微观
				交通用地面积	微观
			交通功能	路网密度	中/宏观
		生活保障功能		公路网络通达性	中/宏观
			就业支撑功能	农林牧渔业从业人员	中/宏观
	环境功能	环境调节功能	生活维持功能	人口密度	中/宏观
			气候调节功能	气候调节服务价值量	中/宏观
			污染净化功能	农用作肥施用量	中/宏观
				农药施用量	中/宏观
		生态维持功能	生物多样性功能	生境丰度指数	微观
			土壤保持功能	土壤保持	中/宏观
			水源涵养功能	地形湿度指数	中/宏观
			景观保育功能	水源涵养量	中/宏观
				植被覆盖度	微观

表 2 指标空间化的定量测度模型  
Table 2 Quantitative measure model for indices spatialization

指标名称	公式	解释	文献
粮食产量	$FO_i = fo_{ij} / A_{ij} \times A_i$	$FO_i$ 为第 $i$ 个格网中的粮食产量, $fo_{ij}$ 为第 $j$ 县粮食总产量, $A_{ij}$ 为第 $j$ 县耕地总面积, 为 $A_i$ 第 $i$ 个格网中的耕地面积	[26]
土地垦殖率			
城镇村居民点用地面积	$P_i = S_i / S_{\text{区域}}$	$S_i$ 为单元格网内第 $i$ 种地类面积( $i=1, 2, 3, 4$ , 分别为耕地、城镇村居民点用地、交通用地、工矿用地), $S_{\text{区域}}$ 为单元格网面积	
交通用地面积			
工矿用地面积			
第一产业值	$GL_i = GL1_i + GL2_i + GL3_i + GL4_i$ $= \sum_{j=1}^n (g_{ij} \times Lk_{ij})$	$GL_i$ 为第 $i$ 个格网的第一产业值, $GL1_i$ , $GL2_i$ , $GL3_i$ 和 $GL4_i$ 分别为第一产业中农、林、牧、渔业的产值, $g_{ij}$ 为第 $i$ 个格网中第 $j$ 种地类的平均 GDP, $Lk_{ij}$ 为第 $j$ 种二级土地类型所占的面积	[27]
第二三产业值	$G23_i = \sum_j (A_{ij} \times NL_{ij} + B_{ij} \times NU_{ij} + C_{ij} \times LE_{ij})$	$G23_i$ 为第 $i$ 个格网的第二、三产业值之和, $NL_{ij}$ , $NU_{ij}$ 和 $LE_{ij}$ 分别为该格网中城镇村及工矿用地的第 $j$ 种二级土地类型的 3 个土地灯光参数值, $A_{ij}$ , $B_{ij}$ 和 $C_{ij}$ 为该格网第 $j$ 种土地利用类 3 个参数对应的权值	[27]
人口密度	$POPden_i = P_i / N \times \phi_i$	$POPden_i$ 为第 $i$ 个格网的人口密度, $P_i$ 为区域总人口数, $N$ 为区域居民点总个数, $\phi_i$ 为第 $i$ 个格网的居民点密度	[28]
路网密度	$f_n(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k \left( \frac{x - x_i}{h} \right)$	$k()$ 为核函数, $h>0$ , 为带宽, $(x-x_i)$ 为估计点到样本 $x_i$ 处的距离	[29]
公路网络通达性	$A_i = \left( \sum_j^n W_{ij} + \sum_j^n L_{ij} \right) / n$	$A_i$ 为格网 $i$ 的通达性值, $j$ 为研究节点, $W_{ij}$ 为格网 $i$ 到达最近公路网络的距离, $L_{ij}$ 为公路网络上离格网 $i$ 最近的点到 $j$ 节点的最短距离	[30]
农林牧渔业从业人员	$WPden_i = \sum_{i=1}^n k_i \times X_i$	$WPden_i$ 为农林牧渔业从业人员密度, $X_i$ 为建模因子, 即耕地、林地、草地和水域 4 个建模因子, $k_i$ 为各个因子对应的回归系数	
气候调节服务价值量	$TJV_i = \sum A_k \times V_{ki}$	$TJV_i$ 表示气候调节服务价值量, $A_k$ 表示 $k$ 类土地利用类型的面积, $V_k$ 表示第 $k$ 类土地利用类型的相应服务系数	[31]
农用化肥施用量	$SY_i = sy_{ij} / A_{ij} \times A_i$	$SY_i$ 为第 $i$ 个格网中的农用化肥施用量或农药施用量, $HF_{ij}$ 为第 $j$ 县农用化肥施用量或农药施用量, $A_{ij}$ 为第 $j$ 县耕地总面积, $A_i$ 第 $i$ 个格网中的耕地面积	
农药施用量			
生境丰度指数	$BRI = A_{bio} \times (0.35 \times S_{\text{林地}} + 0.21 \times S_{\text{草地}} + 0.28 \times S_{\text{水域}} + 0.11 \times S_{\text{耕地}} + 0.04 \times S_{\text{建设用地}} + 0.01 \times S_{\text{未利用地}}) / S_{\text{区域}}$	$BRI$ 为生物丰度指数, $S_{\text{林地}}$ 为林地面积, $S_{\text{草地}}$ 为草地面积, $S_{\text{水域}}$ 为水域面积, $S_{\text{耕地}}$ 为耕地面积, $S_{\text{区域}}$ 为单元格网面积, $A_{bio}$ 为生物丰度指数的归一化系数	[32–33]
土壤保持	$A = R \times K \times LS - R \times K \times LS \times C \times P$	$A$ 为土壤保持量, $R$ 为降雨侵蚀力因子, $K$ 为土壤可蚀性因子, $LS$ 为坡度坡长因子, $C$ 为植被覆盖管理因子	[34–35]
地形湿度指数	$W = \ln(A_s / \tan \beta)$	$W$ 为地形湿度指数, $A_s$ 为上坡区域通过单位等高线长汇集到此栅格单元的面积, $\beta$ 为该单元格网的坡度, $\tan \beta$ 为单元网格的坡角	[36]
水源涵养量	$WR = (1 - TI) \times \text{Min}(1, K_{\text{sat}}/300) \times \text{Min}(1, \text{TravTime}/25) \times \text{Yield}$	$WR$ 为多年平均涵养水量, $TI$ 为地形指数, $K_{\text{sat}}$ 为土壤饱和和导水率, $\text{TravTime}$ 为径流运动时间, $\text{Yield}$ 为产水量	[37]
植被覆盖度	$C_i = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{s}}) / (\text{NDVI}_{\text{v}} - \text{NDVI}_{\text{s}})$	$C_i$ 为植被覆盖度指数, $\text{NDVI}_{\text{s}}$ 是完全为裸土或无植被覆盖区域的 $\text{NDVI}$ 值, $\text{NDVI}_{\text{v}}$ 为完全被植被所覆盖像元的 $\text{NDVI}$ 值, 即纯植被像元的 $\text{NDVI}$ 值	[38]

### 3.3 指标获取与表达

特定尺度下的指标获取及计算单元是不同的, 存在微观、中观、宏观的差异性。在地块尺度层面, 中/宏观指标包括粮食产量、第一产业产值、第二三产业产值、农林牧渔业从业人员、农用化肥施用量、农药施用量、人口密度、气候调节服务价值

量等指标, 其基础数据通过搜集、整理统计报表及统计年鉴等资料获取, 以行政区为统计单元, 通过空间量化后落实到相应地块上。地形、气象等数据可通过中国科学院资源环境科学数据中心、中国气象科学数据共享服务网等途径获得, 虽然能估测到每个地块上, 但从数据获取、计算及空间变异性角

度考虑,土壤保持、地形湿度指数、水源涵养量应归为中/宏观指标,路网密度、公路网络通达性等也属于此类指标。土地利用数据及其比例关系(如耕地面积、草地面积、城镇村居民点用地、工矿用地面积、交通用地面积等)以自然单位为基础,是由TM 遥感影像解译得到不同时期土地利用现状图,获取相应面积,并进行相应计算,得到土地垦殖率、生境丰度指数、植被覆盖度等指标,属于微观指标。

土地利用多功能评价指标均有获取或计算的单元,但最终必须统一到同一种评价单元上进行评价,通过对地理数据的网格化处理,可以实现这一目标。本文运用“3S”等空间分析技术及相关方法模型将各指标进行空间的离散化处理,对应到统一标准的网格单元上,实现多源、多尺度数据的融合,进行微观尺度的评价。数据具体处理与表达方法如表2所示。

## 4 结论与讨论

土地利用多功能是一个长期动态变化的过程,土地利用多功能评价是衡量多功能土地利用程度的重要手段,构建土地利用多功能指标体系是土地利用多功能评价的前提。本文借鉴土地利用系统论的相关理论,着眼于要素→结构→功能视角,试图将各项功能与土地利用结构建立有机联系,系统地识别与分类土地利用多功能,形成涵盖经济功能、社会功能和生态功能3个一级功能类,物质生产、经济发展、空间承载等7个二级功能类和农业生产、工业生产、交通、居住家园等13个三级功能类的土地利用多功能分类体系,充分反映了不同地类结构的功能类型。

本文从地块这一微观尺度出发,将统计数据、遥感数据等多源、多尺度数据统一到网格单元上,构建多尺度、多层次的土地利用多功能评价指标体系,使土地利用多功能评价尺度不仅仅定位于区域层次,而且延伸至地块尺度,拓展并丰富了土地利用多功能研究的范围和内容。通过尺度推绎,可将微观尺度上的信息扩展到大、中尺度,研究尺度的内敛与外扩使土地利用多功能的分析、评价更具科学性,有助于深化土地利用多功能理论及实证研究。在此基础上,本文进一步讨论了指标数据的获取方法和空间化等关键问题,为土地利用多功能评价提供了一种新的思路和视角。

土地利用多功能具有多层次性和区域性,针对不同的区域背景和研究尺度,建立不同的评价指标体系是十分有必要的。区域土地利用功能评价是一项复杂、综合的过程,特别是格网空间单元的空间分析和动态变化研究,指标的空间量化是土地利用多功能评价的关键所在,如何实现不同尺度的转换,有待继续研究。

特定区域的土地利用功能是各项子功能的综合表现,但不是各项子功能或各评价指标的简单加和,需采用一定的科学方法进行综合定量的评价研究。近年来,GIS的兴起为土地利用多功能评价带来技术上的革新,可将属性数据和空间数据结合起来,具有强大的空间分析能力。如局部空间自相关、核密度、空间插值等空间分析技术渐趋成熟,为土地利用多功能性的空间化提供了科学支撑。本文提出的土地利用多功能分类及评价体系的适应性和可行性,后续工作中将进一步探讨。

## 参考文献

- [1] Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309: 570–574
- [2] 赵荣钦, 黄贤金, 刘英, 等. 区域系统碳循环的土地调控机理及政策框架研究. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(5): 51–56
- [3] Verburg P H, Mertz O, Erb K H, et al. Land system change and food security: towards multi-scale land system solutions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(5): 494–502
- [4] Pérez-Soba M, Petit S, Jones L, et al. Land use functions: a multifunctionality approach to assess the impact of land use changes on land use sustainability // Helming K, Pérez-Soba M, Tabbush P. *Sustainability impact assessment of land use changes*. Berlin: Springer, 2008: 375–404
- [5] Paracchini M L, Pacini C, Jones M L M, et al. An aggregation framework to link indicators associated with multifunctional land use to the stakeholder evaluation of policy options. *Ecological Indicators*, 2011, 11(1): 71–80
- [6] 王文刚, 庞笑笑, 宋玉祥, 等. 土地利用的区域问题与区域间功能置换. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(9): 68–75
- [7] 陈婧, 史培军. 土地利用功能分类探讨. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2005, 41(5): 536–540
- [8] 刘沛, 段建南, 王伟, 等. 土地利用系统功能分类

- 与评价体系研究. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2010, 36(1): 113–118
- [9] 甄霖, 曹淑艳, 魏云洁, 等. 土地空间多功能利用: 理论框架及实证研究. 资源科学, 2009, 31(4): 544–551
- [10] Xie G D, Zhen L, Zhang C X, et al. Assessing the multifunctionalities of land use in China. *Journal of Resources and Ecology*, 2010, 1(4): 311–318
- [11] 王枫, 董玉祥. 基于灰色关联投影法的土地利用多功能动态评价及障碍因子诊断——以广州市为例. 自然资源学报, 2015, 30(10): 1698–1713
- [12] 杜国明, 孙晓兵, 王介勇. 东北地区土地利用多功能性演化的时空格局. 地理科学进展, 2016, 35(2): 232–244
- [13] König H J, Podhora A, Helming K, et al. Confronting international research topics with stakeholders on multifunctional land use: the case of Inner Mongolia, China. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 2014, 7(6): 403–413
- [14] 易秋圆. 县域城市土地利用功能分类与评价——以中方县为例[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013
- [15] 梁小英, 顾铮鸣, 雷敏, 等. 土地功能与土地利用表征土地系统和景观格局的差异研究——以陕西省蓝田县为例. 自然资源学报, 2014, 29(7): 1127–1135
- [16] 李德一, 张树文, 吕学军, 等. 基于栅格的土地利用功能变化监测方法. 自然资源学报, 2011, 26(8): 1297–1305
- [17] 张晓平, 朱道林, 许祖学. 西藏土地利用多功能性评价. 农业工程学报, 2014, 30(6): 185–194
- [18] Helming K, Tscherning K, König B, et al. 2008. Ex ante impact assessment of land use changes in European regions: the SENSOR approach // Helming K, Pérez-Soba M, Tabbush P. Sustainability impact assessment of land use changes. Berlin: Springer, 2008: 77–105
- [19] Hermanns T, Helming K, Schmidt K, et al. Stakeholder strategies for sustainability impact assessment of land use scenarios: analytical framework and identifying land use claims. *Land*, 2015, 4(3): 778–806
- [20] 张乐敏. 青海省海晏县土地利用多功能评价[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012
- [21] Walz A, Lardelli C, Behrendt H, et al. Participatory scenario analysis for integrated regional modelling. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81: 114–131
- [22] 李边疆, 王万茂. 区域土地利用与生态环境耦合关系的系统分析. 干旱区地理, 2008, 31(1): 142–148
- [23] 杨宝亮, 刘卫东. 土地系统研究的理论与方法. 华中师范大学学报(自然科学版), 1992, 26(1): 95–99
- [24] 朱连奇, 许叔明, 陈沛云. 山区土地利用/覆被变化对土壤侵蚀的影响. 地理研究, 2003, 22(4): 432–437
- [25] 刘彦随. 区域土地利用系统优化调控的机理与模式. 资源科学, 1999, 21(4): 60–65
- [26] 刘忠, 李保国. 基于土地利用和人口密度的中国粮食产量空间化. 农业工程学报, 2012, 28(9): 1–8
- [27] 韩向娣, 周艺, 王世新, 等. 基于夜间灯光和土地利用数据的GDP空间化. 遥感技术与应用, 2012, 27(3): 396–405
- [28] 闫庆武, 卞正富, 张萍, 等. 基于居民点密度的人口密度空间化. 地理与地理信息科学, 2011, 27(5): 95–98
- [29] 刘锐, 胡伟平, 王红亮, 等. 基于核密度估计的广佛都市区路网演变分析. 地理科学, 2011, 31(1): 81–86
- [30] 李涛, 曹小曙, 黄晓燕. 珠江三角洲交通通达性空间格局与人口变化关系. 地理研究, 2012, 31(9): 1661–1672
- [31] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911–919
- [32] 环境保护部. 生态环境状况评价技术规范 HJ 192–2015 [S]. 2015
- [33] 凡宸, 夏北成, 秦建桥. 基于 RS 和 GIS 的县域生态环境质量综合评价模型——以惠东县为例. 生态学杂志, 2013, 32(3): 719–725
- [34] 陈思旭, 杨小唤, 肖林林, 等. 基于RUSLE模型的南方丘陵山区土壤侵蚀研究. 资源科学, 2014, 36(6): 1288–1297
- [35] 肖洋, 欧阳志云, 徐卫华, 等. 基于 GIS 重庆土壤侵蚀及土壤保持分析. 生态学报, 2015, 35(21): 7130–7138
- [36] Beven K J, Kirkby M J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 1979, 24: 43–69
- [37] 傅斌, 徐佩, 王玉宽, 等. 都江堰市水源涵养功能空间格局. 生态学报, 2013, 33(3): 789–797
- [38] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 等. 2001–2010年内蒙古植被覆盖度时空变化特征. 地理学报, 2012, 67(9): 1255–1268