

中国土地利用多功能性动态的区域分析

甄霖^{1*}, 魏云洁^{1,2}, 谢高地¹, HELM ING Katharina³, 曹淑艳⁴,
杨莉^{1,2}, 潘影¹, KOENIG Hannes³

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

3 德国莱布尼兹农业景观研究中心, 柏林, 慕钦堡 15374 4. 北京石油化工学院, 北京 102617)

摘要: 当前, 国际学术界针对土地利用的研究正由土地利用格局变化向土地空间多功能变化及其可持续性的方向发展, 其宗旨是确定和度量土地多元化利用所提供的产品、服务和功能, 及其带来的环境和社会经济效益, 实现对土地利用的科学管理。基于可持续发展三维度的理念及其指标体系, 界定并定量评价了我国区域土地利用的 10 项功能, 深入研究了在经济快速发展、生态环境保护紧密相随的过去 20 年间, 各项功能的时空变化特征。研究表明, 我国土地多功能性的 10 项功能中, 就业支持功能表现出区域增减不一的特点, 生态过程维持功能具有高度的稳定性。健康保障、交通功能、居住家园、生物性土地生产、人工化土地生产、资源供给与维持、污染接收器、景观与文化支持功能在各个区域得到了不断改善与提高, 但各个功能变化的强势区和弱势区在时空分布上表现出了很强的区域性特点。区域自然条件禀赋、社会经济条件以及土地利用政策在功能变化中起着关键作用。研究结果揭示中国区域土地多功能性尚存在巨大的提升空间; 土地政策应具有系统性、功能针对性和时空针对性, 并应关注土地利用功能变化的链发效应。

关键词: 土地空间利用; 土地多功能性; 生态系统服务功能; 时空尺度; 中国

Regional analysis of dynamic land use functions in China

ZHEN Lin^{1*}, WEI Yunjie^{1,2}, XIE Gaodi¹, HELM ING Katharina³, CAO Shuyan⁴, YANG Li^{1,2}, PAN Ying¹,
KOENIG Hannes³

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Berlin, 15374 Mündelberg, Germany

4 Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China

Abstract Recent studies of land use around the world have been shifting from the spatial and temporal dynamics of land use patterns to functional changes in land use and assessments of the sustainability of such changes. The purpose is to identify and measure the products, goods, and services provided by multiple land uses, and the associated environmental and socioeconomic effects. Land-use functions (LUFs) are the goods and services provided by a land use, and summarize a region's most relevant economic, environmental, and social issues. The LUF framework integrates changes in a large set of indicators to assess the impact of policies on sustainability at various levels of spatial aggregation. It is therefore a good method to trace interrelations between land use changes and functional changes. Here, we identify 10 relevant LUFs for China in accordance with three dimensions—economic, environmental, and social dimensions of sustainable development, investigate methods for their assessment, and analyze spatial and temporal changes in the functions for 31 provinces and municipalities from 1985 to 2005. The LUFs include social functions (the provision of work, human health, and living conditions); economic functions (cover land-based production, artificial land-based production, and transportation); and

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 资助项目 (2009CB421106); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-EW-306); 科技部中欧科技合作专项资助项目 (0813); 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAC18B01, 2008BAK50B05)

收稿日期: 2009-11-06 修订日期: 2010-09-20

* 通讯作者 Corresponding author E-mail: zhen@igsnr.ac.cn

environmental functions (the provision and maintenance of resources, pollutant reception, maintenance of ecological processes and conservation of rural landscapes). Significant spatial and temporal variations were observed. Of the 10 *LUF*s we identified, the provision of work increased and decreased in different periods, whereas maintenance of ecosystem processes remained stable, but in a critical condition. Other *LUF*s improved, including human health, transportation, living conditions, land-based production, artificial land-based production, provision and maintenance of resources, pollutant reception, and landscape and cultural services. In general, the overall *LUF* of China has improved from 1985 to 2005, and coefficient of variation of *LUF*s among the Chinese provinces has decreased from 0.63 to 0.27, suggesting that the regional disparity of *LUF*s has decreased, except for the functions related to the provision of work and the conservation of rural landscapes. Maintenance of ecological processes remained stable over time, but the rest of the *LUF*s tended to exhibit improvement patterns from 1985 to 2005. Of the 10 *LUF*s that we studied, the pollutant reception function was weakest, suggesting that there is high potential to improve this *LUF* by enhancing environmental conservation measures, and that this improvement is necessary. Rural landscape conservation improved due mainly to the implementation of programs to convert agriculture on sloping land to less damaging uses throughout the country, leading to the conversion of vast areas of arable land into forest and grassland. The main factors leading to such differences are variations in natural resources and socioeconomic development; land use policy plays an especially important role. For instance, land-based production and artificial land-based production have increased slowly in the northwestern part of the country, where economic development level is relatively low, whereas the human health function is improving in regions with a relatively low population density and a high per capita grain and livestock production. There is great potential to improve *LUF*s both nationally and in specific regions. Supporting scientific management of land resources will require a systematic land use policy targeted at *LUF*s and specific to each region, and the consequences of *LUF* changes must also be considered.

Key Words spatial land use; multi-functional land use; ecosystem services; scaling; China

土地利用多功能性 (multifunctionality of land use) 指一个区域土地利用功能及其环境、经济和社会功能的状态和表现, 是评价土地利用变化对其功能影响的重要概念和方法体系^[1-4], 通常以土地利用功能 (land use functions, *LUF*s) 来表示, 即不同的土地利用方式所提供的产品和服务。土地利用的多样化和集约化及技术的改进影响了生态系统的状态和功能, 使生物地球化学循环、水文过程和景观动态发生显著变化^[5-6]; 同时, 又影响着生态系统服务的供给和人类的生存。已有研究表明, 人们需要加强人类行为对土地系统自然过程影响及其主要的驱动力和动力机制的研究, 并评价由不同土地系统变化引起的后果^[7-8]。

多功能性的概念最早源自农业部门, 到了 20 世纪 90 年代后期, 随着全球和欧洲农业政策的变化, 这一概念被广泛采纳并成为农业、林业、公共产品、就业等领域的重要研究内容^[3]。可持续发展理念的提出和迅速应用使得多功能性研究从农业领域过渡和发展到区域环境、经济、社会可持续发展, 并很快应用到土地利用的可持续性影响评估等研究领域^[7]。生态系统产品和服务概念^[9]的出现, 使人们认识到了土地利用变化对其可持续性的多维度影响, 并作为方法论应用于千年生态系统评估^[10], 由此引出了“景观功能”的概念。在 2004 年正式启动的由欧洲 25 个国家 38 个机构参与的欧盟第六框架项目“可持续性影响评估: 欧洲多功能土地利用的环境、社会、经济效应”实施的第一阶段, Mander 等人^[11]对此概念和方法进一步发展, “生态系统功能”首次作为理论框架的重要组成部分应用于区域可持续性评价^[12], 认为由土地利用变化所引起的功能变化是决定区域可持续发展的重要组成部分。由此可见, 国际土地利用相关研究正由土地利用变化向土地利用功能变化和可持续性研究方向发展。在欧洲, 土地利用的可持续性研究已成为国家各个管理层次可持续发展决策和管理的重要组成部分。

中国地域辽阔, 自然资源禀赋与社会经济发展的区域差异显著, 土地资源的利用方式、结构、强度等具有高度的空间异质性。中国期刊全文数据库查询结果显示, 1980—2008 年, 以土地和土地利用为关键词的发表

记录有 30484 条, 这些研究对不同时空尺度土地利用格局的演变机理和影响因素有了较为全面的认识, 为理解土地多功能性奠定了科学基础^[13-18]。然而, 我国土地多功能性研究仍多集中在农业多功能性研究^[19-22], 个别研究涉及快速城市化进程中, 多功能的农地利用与提高农民生活水平的最佳途径研究^[23], 以及我国土地多功能分析框架构建^[4]。近年在国际产生重大影响的权威性计划——全球土地计划 (GLP) 从理论角度深入探讨了土地利用变化和生态系统服务功能变化的互动性, 强调了相关研究的迫切性^[5], 从生态学的角度, 为土地多功能性研究奠定了理论基础。

总体来说, 目前为数不多针对土地多功能性的研究仅仅涉及到多功能性中的某些方面, 如多功能性对土地利用决策的影响, 农业生产对环境污染、生物多样性、动物养殖、农村就业的影响^[21], 以及粮食生产和景观保育功能^[24]; 缺乏对土地多功能性及其区域变化的研究, 难以满足土地可持续利用和管理的需求。可以预见, 相关研究将为土地利用研究和评价土地利用变化的效应开创一个崭新的领域。本研究旨在界定和分析我国土地利用的多功能性, 关注区域土地利用指标与功能关系的空间异质与时间变化, 分析区域土地利用多功能性差异的特征和内在原因, 为土地利用综合效应评估和决策提供方法基础和科学依据。

1 研究方法

1.1 建立 LUFs 评估关键性指标体系

在全面分析 LUFs 测度指标的基础上, 依据简约性、敏感性、整体性、代表性、科学性和适应性原则选取表征土地利用主要功能的关键性指标, 组建指标体系。在充分浏览文献资料, 综合专家知识, 以及考虑数据的可获得性等基础上, 共选取了 28 个指标研究我国土地多功能利用的环境、社会及经济效应 (表 1)。

表 1 土地利用功能指标选取与描述

Table 1 Land use functions indicator selection and description

序号 No	指标 Indicators	序号 No	指标 Indicators
社会指标 Social indicators		经济指标 (续) Economic indicators (continued)	
1	人口密度 I (人 / km ²)	15	人均草地面积 / hm ²
2	农业从业人员 %	16	人均水资源量 / m ³
3	农村恩格尔系数 (无量纲)	17	单位耕地化肥使用量 I (t / hm ²)
4	城镇登记失业率 %	18	单位耕地农药使用量 I (kg / hm ²)
5	城市化率 (城镇人口比例 %)	19	交通网密度 I (km / km ²)
6	粮食自给率 %	20	客运周转量占全国的比重 %
7	城镇人均绿地面积 / m ²	21	货运周转量占全国的比重 %
经济指标 Economic indicators		环境指标 Environmental indicators	
8	人均 GDP / 元	22	森林覆盖率 %
9	农业 GDP 比例 %	23	水土流失面积比例 %
10	粮食产量 I (kg / hm ²)	24	自然保护区面积占国土面积的比例 %
11	土地生产力 (气候生产潜力实现率, 无量纲)	25	COD 排放面积 I (t / (km ² · a))
12	农村人均劳动生产率 / 元	26	SO ₂ 排放面积强度 I (t / (km ² · a))
13	人均畜牧产品占有量 / kg	27	CO ₂ 排放压力 (人均能源足迹, I (gha / (人均 · a)))
14	人均耕地面积 / hm ²	28	工业废水排放达标率 %

1.2 识别指标与土地利用功能之间的关系

指标与 LUFs 一般表现为多维度性 ($n:n$) 的关系。一般而言, 在识别指标与 LUFs 关系时, 应该遵循四项基本标准: (1) 指标应该与功能有直接或间接的因果关系; (2) 指标对研究区域可持续发展具有重要意义; (3) 指标应该覆盖可持续发展的 3 个维度; (4) 避免选取重复性的指标。根据这些原则, 甄霖等^[4] 在深入分析指标与功能关联性的基础上, 将我国土地利用多功能性划分为 10 项 (表 2)。

1.3 构建指标对区域可持续发展的重要性 (权重 W) 矩阵

采用 Q 1、2 三个等级表征指标对区域可持续发展的重要性, 分为没有影响、有一定的影响和有重要影响。本研究依据表 3 内的准则确定指标对中国及其以省为单元的区域 1985 年和 2005 年两个时段可持续发展的可能性, 并建立不同时期评价单元的指标权重矩阵 (W)。

表 2 中国土地利用多功能的界定

Table 2 The ten land use functions defined for China

社会功能 Social function	经济功能 Economic function	环境功能 Environmental function
就业支持 (LUF1)	生物生产性土地的生产功能 (LUF4)	资源维持与供给 (LUF7)
健康保障 (LUF2)	人工化土地的生产功能 (LUF5)	减轻污染物排放 (LUF8)
居住家园 (LUF3)	交通 (LUF6)	农业景观保育 (LUF9)
		生态过程维持 (LUF10)

来源: 参考文献 4.

表 3 指标对区域可持续发展重要性评判准则

Table 3 Criteria for setting up the weights of LUF indicators for regional sustainable development

指标 Indicators	$W = 2$	$W = 1$	$W = 0$
农业从业人员 Rural employees %	≥ 60	(5 60)	≤ 5
城镇登记失业率 Registered urban unemployment rate %	≥ 5	(2 5)	≤ 2
农村恩格尔系数 (无量纲) Rural Engel coefficient (dimensionless)	≥ 55	< 55	-
粮食自给率 Food self sufficiency rate %	-	[0 100]	-
城镇人均绿地面积 Green area per urban resident/m ²	$U \geq 55$	10 < U < 55	$U \leq 10$
人口密度 Population density / (人 / km ²)	≥ 300	< 300	-
城市化率 (城镇人口比例) Urbanization rate (rate of urban population / %)	≥ 55	(10 55)	≤ 10
人均 GDP 元 GDP per capita/RMB	≥ 14000	< 14000	-
农业 GDP 比例 Percentage of agricultural GDP to the local total %	≥ 35	(5 35)	≤ 5
粮食产量 Grains (equivalent) output / (kg/hm ²)	≥ 8000	(1000 8000)	≤ 1000
土地生产力 (气候生产潜力实现率, 无量纲) Land productivity (achievement rate of crop climate productive potential dimensionless)	≥ 0.5	(0.2 0.5)	≤ 0.2
农村人均劳动生产率 元 Per agricultural labor productivity/RMB	≥ 15000	< 15000	-
单位耕地化肥使用量 Chemical fertilizer applied per unit arable area / (t/hm ²)	≥ 0.45	(0.07 0.45)	≤ 0.07
单位耕地农药使用量 / (kg/hm ²) Pesticide and herbicide applied per unit arable area	≥ 3	(0.45 3)	≤ 0.45
人均耕地面积 Arable area per capita /hm ²	≥ 0.19	< 0.19	-
人均草地面积 Grassland area per capita /hm ²	≥ 0.67	< 0.67	-
人均畜牧产品占有量 Per capita share of livestock products (equivalent meat)	≥ 36	< 36	-
交通网密度 Transportation density / (km/km ²)	≥ 0.35	< 0.35	-
客运周转量占全国的比重 % Percentage of passenger turnover volume to the national total	≥ 10	< 10	-
货运周转量占全国的比重 % Percentage of cargo turnover volume to the national total	≥ 10	< 10	-
人均水资源量 Water resource per capita /m ³	≥ 7500	< 7500	-
工业废水排放达标率 Discharge standard meeting rate of industrial wastewaters %	-	[0 100]	-
COD 排放面积强度 Emission intensity of COD per unit area / (t/(km ² ·a))	≥ 4.4	(0.22 4.4)	≤ 0.22
CO ₂ 排放压力 (人均能源足迹) Emission intensity of CO ₂ per capita (fossil energy footprint per capita / (gha/(人均·a)))	≥ 4.0	(0.20 4)	≤ 0.20
SO ₂ 排放面积强度 Emission intensity of SO ₂ per unit area / (t/(km ² ·a))	≥ 36	(1.8 36)	≤ 1.8
自然保护区面积占国土面积的比例 % ** Percentage of nature reserve area to the local total area	$K \geq 5$	$2 \leq K < 5$	$K < 2$
森林覆盖率 Forest coverage %	≥ 25	< 25	-
水土流失面积比例 Percentage of soil erosion area to the local total land area %	≥ 35	< 35	-

* U = 城镇化水平 %; ** K 是人口密度、水土流失面积比例、农业从业人员 3 个指标的权重之和

1.4 确定区域 (或区域不同时期) 土地利用指标-功能关系专用矩阵

表 4 是在专家评估打分的基础上形成的 1985 年中国部分省份可持续发展指标重要性评估结果, 该表的每一列即为某一省份的可持续发展指标权重矩阵 W 。截取表 4 中的部分结果作为案例区, 以说明如何采用乘

积方法, 基于区域指标权重表 W 与土地利用指标-功能关系通用表得到区域土地利用指标-功能关系专用矩阵 (ST)。

$$\text{由通用矩阵 } GT = \begin{bmatrix} & LUF1 & LUF1 & LUF3 \\ I_1 & 2 & 0 & 0 \\ I_2 & 1 & 0 & 0 \\ I_3 & 0 & -1 & 0 \\ I_4 & 0 & 2 & 0 \\ I_5 & 0 & 1 & 0 \\ I_6 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ 各列与权重矩阵 } W = \begin{bmatrix} & w \\ I_1 & 1 \\ I_2 & 0 \\ I_3 & 1 \\ I_4 & 1 \\ I_5 & 2 \\ I_6 & 2 \end{bmatrix} \text{ 元素对应做乘即可得到区}$$

域土地利用指标-功能关系专用矩阵 ST , 即:

$$ST = \begin{bmatrix} & LUF1 & LUF1 & LUF3 \\ I_1 & 2 \times 1 & 0 \times 1 & 0 \times 1 \\ I_2 & 1 \times 1 & 0 \times 0 & 0 \times 0 \\ I_3 & 0 \times 1 & -1 \times 1 & 0 \times 1 \\ I_4 & 0 \times 1 & 2 \times 1 & 0 \times 1 \\ I_5 & 0 \times 2 & 1 \times 2 & 1 \times 2 \\ I_6 & 0 \times 2 & 0 \times 2 & 1 \times 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & LUF1 & LUF1 & LUF3 \\ I_1 & 2 & 0 & 0 \\ I_2 & 0 & 0 & 0 \\ I_3 & 0 & -1 & 0 \\ I_4 & 0 & 2 & 0 \\ I_5 & 0 & 2 & 2 \\ I_6 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

表 4 中国部分省份可持续发展指标重要性评估结果 (1985年)

Table 4 Weights of LUF indicators to sustainable regional development by province of China (1985)

指标 Indicators	京	津	冀	晋	蒙	辽	吉	黑	沪	苏	浙	皖	闽	赣
农业从业人员 Rural employees %	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
城镇登记失业率 % Registered urban unemployment rate	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
农村恩格尔系数 (无量纲) Rural Engel coefficient (dimensionless)	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2
粮食自给率 % Food self sufficiency rate	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
城镇人均绿地面积 /m ² Green area per urban resident	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
人口密度 / (person/km ²) Population density	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
城市化率 (城镇人口比例, %) Urbanization rate (rate of urban population)	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
人均 GDP 元 GDP per capita/RMB	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
农业 GDP 比例 % Percentage of agricultural GDP to the local total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
粮食产量 / (kg/hm ²) Grains (equivalent) output	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
土地生产力 (气候生产潜力实现率, 无量纲) Land productivity (achievement rate of crop climate productive potential dimensionless)	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

续表

指标 Indicators	京	津	冀	晋	蒙	辽	吉	黑	沪	苏	浙	皖	闽	赣
农村人均劳动生产率 /元 Per agricultural labor productivity	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
单位耕地化肥使用量 /(t/hm^2) Chemical fertilizer applied per unit arable area	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
单位耕地农药使用量 /(kg/hm^2) Pesticide and herbicide applied per unit arable area	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2
人均耕地面积 / hm^2 Arable area per capita	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
人均草地面积 / hm^2 Grassland area per capita	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
人均畜牧产品占有量 /kg Per capita share of livestock products (equivalent meat)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
交通网密度 /(km/km^2) Transportation density	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1
客运周转量占全国的比重 % Percentage of passenger turnover volume to the national total	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
货运周转量占全国的比重 % Percentage of cargo turnover volume to the national total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
人均水资源量 / m^3 Water resource per capita	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
工业废水排放达标率 % Discharge standard-meeting rate of industrial wastewaters	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
COD 排放面积强度 /($t/(km^2 \cdot a)$) Emission intensity of COD per unit area	2	2	1	1	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1
CO ₂ 排放压力 (人均能源足迹 / $gha/(人均 \cdot a)$) Emission intensity of CO ₂ per capita (fossil energy footprint per capita)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SO ₂ 排放面积强度 /($t/(km^2 \cdot a)$) Emission intensity of SO ₂ per unit area	1	1	1	1	0	1	0	0	2	1	1	1	0	1
自然保护区面积占国土面积的比例 % Percentage of nature reserve area to the local total area	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
森林覆盖率 Forest coverage % Forest coverage %	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2
水土流失面积比例 % Percentage of soil erosion area to the local total land area	1	0	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1

1.5 确定指标阈值和指标标准化处理

指标阈值是指土地资源在现阶段可持续利用状态下,各指标能够达到的合理值。研究遵照以下 3 个准则和优先顺序确定指标阈值: (1)尽可能揭示自然的承压阈值(应用指标编号: 17、18、23、25、26、27,参照表 1); (2)系统资源约束与开放系统相结合(应用指标编号: 6、14、15、16、22); (3)高标准且可以追求的发展目标(1、2、3、4、5、7、8、9、10、11、12、13、19、20、21、24、28)。LUFs 评估指标既有数量指标与比率指标之分,又有正指标和逆指标之别,为了使不同量纲、数量级的各指标具有可比性,需要对指标进行标准化处理。根据指标的

正逆性特征与指标数值分布区间的跨度, 本研究指标划归为如下 3 组: (1) 逆向^①且分布跨度相对不大的指标 (I): 城镇登记失业率、农业 GDP 比例 (%)、单位耕地化肥施用量及单位耕地农药施用量; (2) 分布跨度相对较大的指标 (III): 见表 5; (3) 正向且分布跨度相对不大的指标 (II): 见表 6。

对于第 I、II 组指标采用线性变换进行标准化处理, 计算方法分别见式 (1)、(2); 对于第 III 组指标, 综合采用分段法与线性变化法见式 (3)。在本研究中, 经过标准化处理的指标的值表示相对影响力大小, 值域为 [1, 5], 以 3 作为临界影响的分水岭。

$$R'_i = \begin{cases} 1 & (R_i^{act} \leq R_i^{upp}) \\ 3 + 2 \times \frac{R_i^{act} - R_i^{hd}}{|R_i^{upp} - R_i^{hd}|} & (R_i^{kw} \leq R_i^{act} \leq R_i^{upp}) \\ 5 & (R_i^{act} \leq R_i^{kw}) \end{cases} \quad (1)$$

$$R'_i = \begin{cases} 1 & (R_i^{act} \leq R_i^{kw}) \\ 3 + 2 \times \frac{R_i^{act} - R_i^{hd}}{|R_i^{upp} - R_i^{hd}|} & (R_i^{upp} \leq R_i^{act} \leq R_i^{kw}) \\ 5 & (R_i^{act} \geq R_i^{upp}) \end{cases} \quad (2)$$

式 (1)、(2) 中, R' 为标准化指标值, 下标 i 为指标编号, R^{act} 为指标实际值, R^{upp} 、 R^{hd} 与 R^{kw} 依次为某指标的最可持续阈值、可持续临界阈值、最不可持续阈值。

$$R'_j = \begin{cases} L_j + \frac{R_j^{act} - TL_j^{min}}{TL_j^{max} - TL_j^{min}} & (L_j = 1, 2, 3, 4) \\ 5 & (L_j = 5) \end{cases} \quad (3)$$

式 (3) 中, TL_j^{max} 与 TL_j^{min} 分别表示某一指标的第 j 级的上、下阈值, 其他同式 (1)、(2)。

表 5 值域跨度相对较大的指标的分级

Table 5 LUFs indicators with relatively large threshold ranges

分级 Group L_j	等级范围 Range	人口密度 Population density /(人 / km ²)	COD 排放面积强度 Emission intensity of COD /(t/(km ² ·a))	CO ₂ 排放压力 Emission intensity of CO ₂ /(gha/(人均·a))	SO ₂ 排放面积强度 Emission intensity of SO ₂ /(t/(km ² ·a))	水土流失面积比例 Percentage of soil erosion area %
5		≥ 1200	≥ 3.80	≥ 3.0	≥ 14.4	≥ 40
4	[4, 5)	[600, 1200)	[1.32, 3.80)	[1.2, 3.0)	[7.2, 14.4)	[20, 40)
3	[3, 4)	[300, 600)	[0.44, 1.32)	[0.4, 1.2)	[3.6, 7.2)	[10, 20)
2	[2, 3)	[100, 300)	[0.33, 0.44)	[0.3, 0.4)	[2.7, 3.6)	[5, 10)
1	[1, 2)	[0, 100)	[0.0, 0.33)	[0.0, 0.3)	[0.2, 7)	[0, 5)

1.6 土地利用多功能性的综合评价方法

土地利用功能量 (F) 的含义分别为: $F > 0$ 表示土地利用某项功能被合理利用, 值越大, 表示功能效用越大; $F < 0$ 表示土地利用某项功能被超强度利用, 其值越远离 0 表示该项功能为人类超强度利用的程度越高; $F = 0$ 表示土地利用某项功能基本处于未被利用的状态。

土地利用各功能存在理论上的最大值和最小值。在所有对区域土地利用某项功能具有促进作用的指标的值均达到最可持续即 $R' = 5$ 而所有对区域土地利用某项功能具有抑制作用的指标的值均达到最小即 $R' = 1$ 时, 区域土地利用的该项功能达到理论最大值; 反之则达到最小值。例如上面所举某区域的 ST 矩阵中,

① 这里的指标正逆性是相对于指标及其对土地功能影响的大小确定的, 不涉及影响发生的方向 (影响方向在权重系数表中用正号或负号表达); 对于某一指标, 如果其值越高, 对土地利用的某项功能的影响就越大, 则称该指标为正指标; 反之, 如果其值越高, 对土地利用的某项功能的影响越小, 则称该指标为逆指标

LUF_1 、 LUF_2 、 LUF_3 的理论最大值依次为 10、19、20 最小值分别为 2、1、4

表 6 值域跨度相对不大的指标的阈值

Table 6 LUFs indicators with relatively small threshold ranges

指标 Indicators	最不可持续阈值上限 Upper limit of the least sustainable (R^{low})	可持续临界阈值 Threshold value of sustainability (R^{thr})	最可持续阈值下限 Lower limit of the most sustainable (R^{upp})
农业从业人员 Rural employees/%	5	40	75
城镇登记失业率 Registered urban unemployment rate/%*	7.0	4.5	2.0
农村恩格尔系数(无量纲) Rural Engel coefficient (dimensionless)	0.65	0.40	0.15
粮食自给率 Food self-sufficiency rate/%	15	55	95
城镇人均绿地面积 Green area per urban resident/m ²	5	25	45
城市化率(城镇人口比例) Urbanization rate (rate of urban population /%)	10	50	90
人均 GDP GDP per capita/元	2000	20000	38000
农业 GDP 比例 Percentage of agricultural GDP to the local total/%*	30	20	10
粮食产量 Grains (equivalent) output/(kg/hm ²)	1000	5500	10000
土地生产力(气候生产潜力实现率, 无量纲) Land productivity (achievement rate of crop climate productive potential dimensionless)	0.10	0.30	0.50
农村人均劳动生产率 Per agricultural labor productivity/元	1000	10500	20000
单位耕地化肥使用量/(t/hm ²)* Chemical fertilizer applied per unit arable area	0.425	0.225	0.025
单位耕地农药使用量/(kg/hm ²)* Pesticide and herbicide applied per unit arable area	2.8	1.5	0.2
人均耕地面积 Arable area per capita/hm ²	0.01	0.09	0.17
人均草地面积 Grassland area per capita/hm ²	0.03	0.33	0.63
人均畜牧产品占有量 /kg Per capita share of livestock products	2	11	20
交通网密度 Transportation density/(km/km ²)	0.15	0.30	0.45
客运周转量占全国的比重 % Percentage of passenger turnover volume to the national total	1.0	4.5	8.0
货运周转量占全国的比重 Percentage of cargo turnover volume to the national total/%	1.0	4.5	8.0
人均水资源量 Water resource per capita/m ³	100	2300	4500
工业废水排放达标率 % Discharge standard-meeting rate of industrial wastewaters	30	65	100
自然保护区面积占国土面积的比例 % Percentage of nature reserve area to the local total area	2	12	22
森林覆盖率 Forest coverage/%	5	20	35

* 逆指标

研究构建土地利用功能理论最大值实现率(简称土地利用功能实现率)指标测度某一时期区域土地利用某项功能的实现程度,等于一定时期区域土地利用某项功能的实际值与理论最大值的比率,最大值为 1。当研究涉及不同时期时,采用土地利用功能量倍比系数(γ)与增长量(β)两个指标分别反映土地利用功能的相对变化程度和绝对变化程度。其中,土地利用功能倍比系数(γ)和增长量(β)分别等于 $t+1$ 时期区域土地利用某项功能(F_{t+1})与 t 时期该项功能(F_t)的比值和差值。据此,区域土地利用功能的变化可能出现良性逆转、恶性逆转、维持不变(良性维持、恶性维持、闲置维持)、良性提高(超强利用、合理利用)与退化(合理衰减、恶性退化)5类 9种情况。

2 结果与讨论

2.1 土地利用总功能的区域差异

中国土地利用总功能存在的区域差异性(图 1)表现为:1985—2005年期间,土地利用总功能的区域差异

明显下降, 各省份间土地利用总功能的变异系数由 0.63 下降至 0.27。研究依照 1985—2005 年各省份土地利用功能倍比率 (y_i) 与国家尺度土地利用倍比率 (\bar{y}) 的对比关系, 将所有省份划归为 A、B、C、D 四类区域 (图 2):

(1) A 类区 $y_i < 0$ 的省份, 仅包括贵州一省;

(2) B 类区 $y_i / \bar{y} < 0.9$ 的省份。依据其社会、经济与环境的差异, 可进一步分为 B_I、B_{II} 和 B_{III} 三类亚区。B_I 亚区是大都市或第二、三产业发达的地区, 包括京、津、沪、苏、浙、粤等 6 省市; B_{II} 亚区是人口稀疏 (每平方公里人口密度低于 50 人)、人均相对丰富的西部省份, 包括藏、新、甘、青等 4 省区; B_{III} 亚区是自然条件较为优越但人均资源少的省份, 包括四川;

(3) C 类区: $0.9 \leq y_i / \bar{y} \leq 1.9$ 的省份;

(4) D 类区: $y_i / \bar{y} > 1.9$ 的省份, 包括中国的“四西”(山西、陕西、江西、广西)、“二南”(云南、河南)、湖北、山东、安徽等 9 个省区。

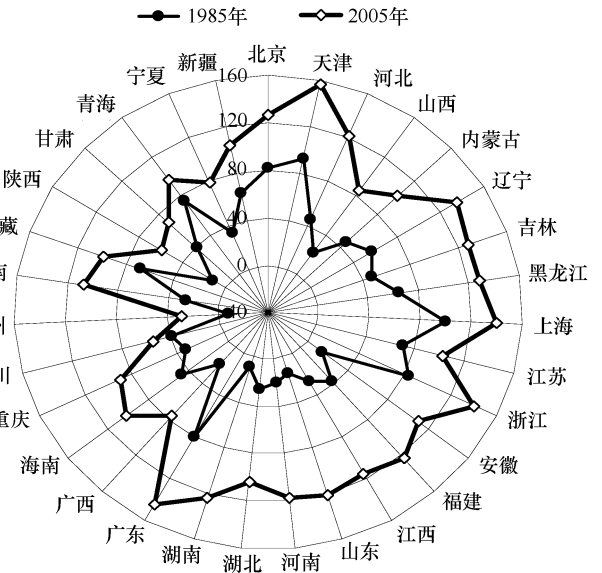


图 1 1985—2005 年中国各省份土地利用总功能变化
Fig 1 Dynamics of total land use functions by province in China in 1985—2005

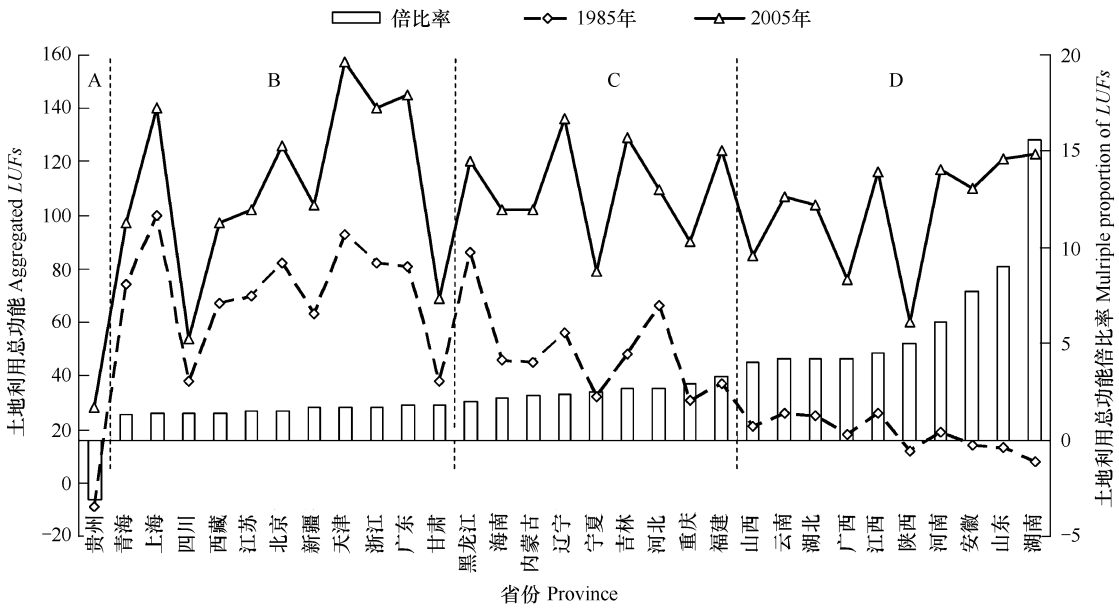


图 2 1985—2005 年中国各省份土地利用功能变化倍比率
Fig 2 Increase rate of total land use functions by province in China in 1985—2005

1985 年, 这四类区依次是土地利用功能的负值区、相对高值区、相对中值区和低值区。在发展过程中, B_I 和 B_{III} 亚区由于资源与环境容量约束、B_{II} 亚区由于发展基础制约, 土地利用功能提高相对缓慢。而 D 类区快速的城镇化进程 (较全国平均水平高 10%—50%) 从两个方面显著提高了土地利用功能: 一是加快了资源开发利用的强度与效率, 二是降低了人口对农业的依赖性, 农业生产率和农民生活条件得到了显著提高, 加上土地利用功能基数低, 功能的提升最为显著。在一些 D 类地区, 土地利用功能的提高暗含着未来的发展风险, 例如, 1985—2005 年云南水土流失面积占区域面积的比重由 5% 提高到 36%, 山西与陕西由 40% 提高到 60%。

1985 年土地利用总功能实现率的变异系数为 0.58, 该年中国土地利用总功能的区域差异主要应归因于

区域社会、经济与环境发展能力差异。例如 1985 年 D 类区土地利用总功能的实现率仅为 0.05—0.11,到了 2005 年,省份间总功能实现率的变异系数下降到 0.21,土地利用功能潜力得到了发挥。2005 年,中国土地利用总功能实现率的低值区集中分布在西部,值域主要分布在 0.25—0.35 间,而其他区域的总功能实现率主要分布在 0.40—0.45 间。2005 年,天津市土地利用总功能的实现率居全国之首,达到 0.52 这主要是其人均 GDP、农业生产率、对外交通能力和工业废水达标排放率显著提高的综合贡献。2005 年,天津市人均 GDP 为 3.57 万元,仅次于上海和北京,居全国第 3 位,是全国平均水平的 2.5 倍;农业人均劳动生产率为 1.37 万元,仅次于海南,居全国第 1 位,是全国平均水平的 1.9 倍;交通网密度为 0.97 km/km²,仅次于上海和江苏,居全国第 3 位,是全国平均水平的 4.4 倍;货运周转量居全国榜首,占全国总货运周转量的 16%。

2.2 土地利用多功能的区域差异及其变化

1985—2005 年土地利用各功能中(图 3),就业支持功能与景观与文化支持功能的区域(省份尺度)差异有所扩大,生态过程维持功能基本保持不变,其他功能均朝相对更均质化的方向发展。

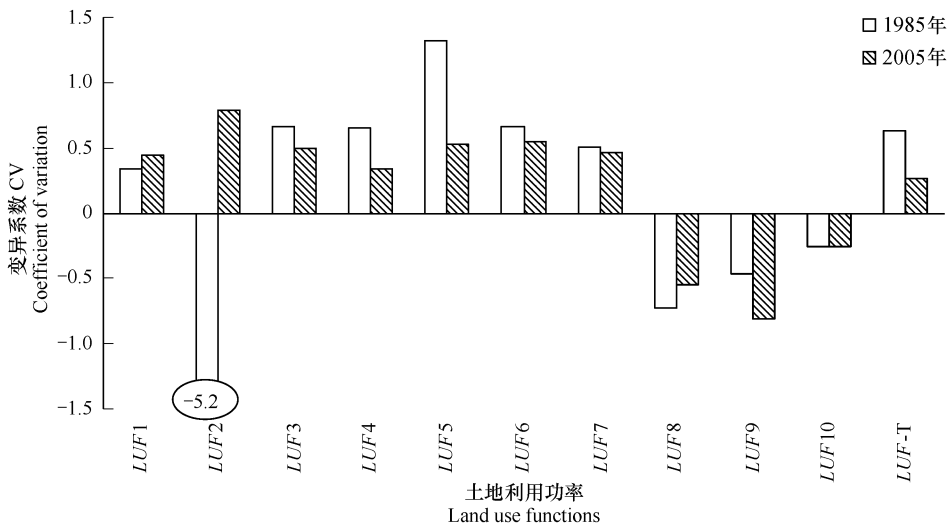


图 3 中国土地利用功能的区域差异

Fig 3 Spatial variations of land use functions in China

(1) 就业支持功能 (LUF1) 1985—2005 年,山西、云南、辽宁 3 省土地利用的就业支持功能分别提高了 92%、14% 与 37%,这主要与交通条件普遍改善和辽宁省城镇失业率变化密切相关;北京市就业支持功能衰退,主要原因是农业生产率提高,郊区丰富的土地资源没有得到有效利用,交通网络的输运功能受到周边省份挤压。相比之下,天津与上海人均土地资源紧缺,加上物流活跃,就业支持功能下降幅度较小。其他省份 LUF1 均有不同程度的衰退。2005 年,各省份 LUF1 实现率主要分布在 0.40—0.60 区间,超过 0.60 的有河北 (0.64)、河南 (0.66)、安徽 (0.62)、山东 (0.61)、湖南 (0.64)、云南 (0.70) 等 6 省,其共同特点是城镇化水平低、人均土地资源紧张(云南除外),但自然条件好,便于精耕细作。同年,内蒙古、黑龙江、吉林、青海、新疆、宁夏、甘肃、上海、江苏等 9 省(市、区)土地功能实现率均在 0.35 以下。

(2) 健康保障功能 (LUF2) 1985 年中国省际 LUF2 普遍处于不良状态,主要是人民食物消费压力大、粮食生产存在农药过度施用的安全隐患以及资源超强度利用。在人口密度相对较低且人均粮食或畜牧产品具有优势的省份,其 LUF2 处于合理利用状态,包括吉林、黑龙江、内蒙古、甘肃、青海、新疆、宁夏等。随着粮食生产效率与畜牧业生产能力的提高和社会生活条件的改善,1985—2005 年所有省份 LUF2 得到了显著的改善与提高。但是,2005 年 LUF2 实现率除在内蒙古 (0.65)、黑龙江 (0.52)、吉林 (0.46)、西藏 (0.45)、宁夏 (0.51)、新疆 (0.49) 等 6 省区接近或超过 0.5 以外,大部分省份低于 0.25,其中,重庆、四川、贵州、广西、广东、海南、湖北、山东、浙江、上海、江苏、山西等 12 省(市、区)甚至低于 0.15,主要系各省存在农药超强施用与

强环境污染负荷的威胁, 构成了对 *LUF2* 未来发展的制约。

(3) 居住家园功能 (*LUF3*) 1985—2005 年, 城镇化进程的推进与交通网络的建设与完善, 使得各省 *LUF3* 均得到不同程度的提高。内蒙古 (0.37)、西藏 (0.27)、甘肃 (0.31)、新疆 (0.32)、宁夏 (0.40)、广西 (0.44)、陕西 (0.44)、黑龙江 (0.46)、四川 (0.39)、贵州 (0.41) 等 10 省区 *LUF3* 实现率接近或低于全国 0.38 的平均水平, 生态环境脆弱是这些省份的共同特征, 而其他省份的值在 0.6 以上, 其中北京 (0.82)、天津 (0.77)、上海 (0.84)、山东 (0.71)、广东 (0.69)、浙江 (0.67)、河南 (0.66) 等 7 省市已经接近或超过 0.70 区位优势起了重要作用。

(4) 生物性土地生产功能 (*LUF4*) 各省份 *LUF4* 均明显提高, 特别是云南和西藏的功能扭亏为盈。沿海省份是这一时期 *LUF4* 提高最为明显的区域。2005 年, 北京、天津、上海三大直辖市的 *LUF4* 实现率已经接近最大限值, 达到 0.95 及以上; 江苏 (0.87)、广东 (0.84)、福建 (0.81)、山东 (0.81)、辽宁 (0.71)、河北 (0.76)、湖北 (0.72)、河南 (0.69)、海南 (0.67) 等 9 省的实现率明显高于全国 0.55 的平均水平。

(5) 人工化土地生产功能 (*LUF5*) *LUF5* 也取得了不同程度的提高, 并在安徽、福建、江西、广西、贵州、西藏等 6 省区实现了由负到正的转变。相对于 *LUF4* 各省 *LUF5* 的变化极其不均衡 (图 4)。1985—2005 年, 四川省 *LUF5* 仅提高了 1.8 个单位, 不及山东省增长量的 1/14。*LUF5* 变化具有明显的区域性规律, 低增长量区域集中在经济水平相对不发达的西部, 即实现率低的区域。

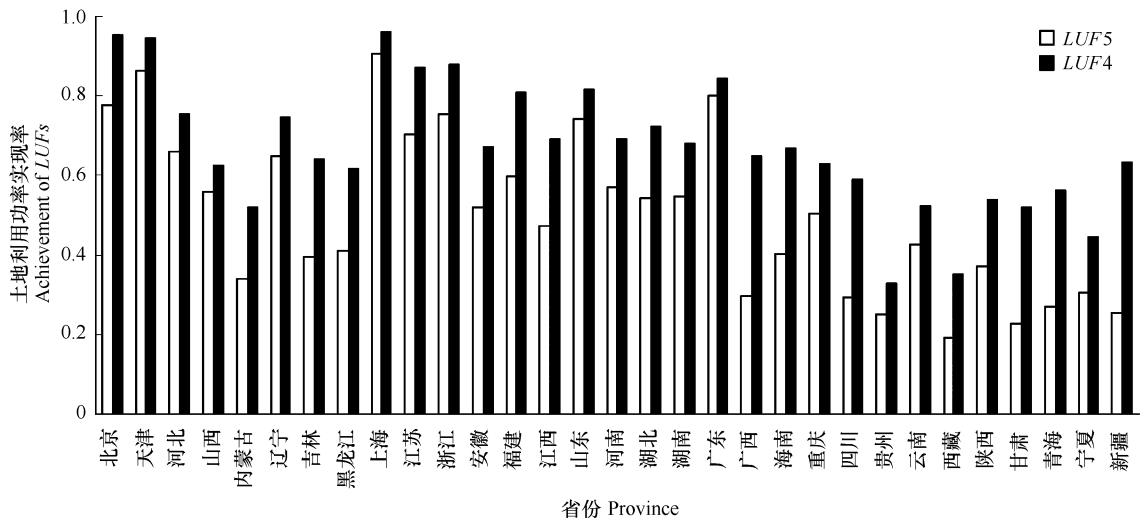


图 4 省份尺度上中国生物性土地与人工化土地的生产功能实现程度对比

Fig. 4 Realization rate of *LUF4* and *LUF5* by province of China

(6) 交通功能 (*LUF6*) 1985 年中国 *LUF6* 优势区域主要是天津、广东、上海、江苏、浙江等 5 个临海省份, 2005 年优势区向东部临海和近临海省份延伸, 同时中国腹地省份河南的交通枢纽功能也明显提升, 形成中国 *LUF6* 东强西弱的空间格局。这很大程度上是中国经济倾斜发展战略的结果。辽宁、黑龙江、内蒙古和西部地区 *LUF6* 实现率低, 是中国目前经济发展相对滞后的区域。

(7) 资源供给与维持功能 (*LUF7*) 1985—2005 年大部分省份 *LUF7* 均有所提高, 其中提高幅度最大的省份集中在西部和东北地区, 如青海、新疆和西藏, 形成了目前中国 *LUF7* 的三大弱势区: 京津冀地区、华南地区与华东地区。这里也是中国 *LUF7* 实现率的低值区, 在京津冀平均为 0.4 左右, 不足全国平均水平的一半, 在华南和华东地区多不超过 0.5。这三类地区应是未来中国资源开发、利用与保育的潜力地区。

(8) 污染接收器功能 (*LUF8*) 各省 *LUF8* 理论最大值均为正值, 但 1985 与 2005 年, 实际发生值在各省 (1985 年西藏除外) 均为赤字。主要因为在 1985—2005 年间, 除四大直辖市、辽宁、山东、湖南、陕西、宁夏、贵州的环境压力有所舒缓外, 其他省份的环境压力均有所扩大。*LUF8* 是中国土地利用各项功能中最为薄弱的

一项。

(9)景观与文化支持功能 (*LUF9*) *LUF9*理论最大值均为正值,而在1985年与2005年两个年度,各省(2005年上海、广东除外)实际发生值均为赤字。与*LUF8*不同的是,*LUF9*总体上在不断改善。这主要是各地重视生物多样性保护与植树造林的结果。

(10)生态过程维持功能 (*LUF10*) 与其他土地利用功能相比,*LUF10*具有高度的稳定性。1985—2005年间,其值在全国各省基本持平。但是,这是一种赤字承压维持。要扭转这种维持状态,必须在退化土地管理、农业辅助投入方面做出更大的努力。

3 结论

土地利用多功能性是土地可持续性利用和管理的重要组成部分。本文全面系统研究了土地利用多功能性的理论基础与方法体系,基于区域可持续发展三维度的理念及其指标体系,界定了我国区域土地利用功能的10项功能,研究了过去20年间,各项功能的时空变化特征。其中社会功能包括就业支持、健康保障与居住家园功能,经济功能包括生物性土地生产功能、人工化土地生产功能和交通功能,环境功能包括资源维持与供给、污染接收器、景观与文化支持和生态过程维持功能。

研究得出的主要结论有:1985—2005年间,我国土地多功能性的10项功能中,表现为不断改善与提高的功能包括健康保障、交通、居住家园、生物性土地生产、人工化土地生产、资源供给与维持、污染接收器、景观与文化支持功能,但各项功能变化的强势区和弱势区在时空分布上表现出了很强的区域性特点。生物性土地生产和人工化土地生产功能的低增长区域集中在经济水平相对不发达的西部,即实现率低的区域;健康保障功能在人口密度相对较低且人均粮食或畜牧产品具有优势的省份。区域自然条件禀赋、社会经济条件差异、以及土地利用政策因素在功能变化中起着关键作用。未来中国及各省土地利用政策必须关注土壤环境、水环境与大气环境的保育,只有在农业生态环境健康的前提下,土地利用的健康支持功能才能切实得到保障与提高。研究揭示了在区域空间尺度上,我国土地利用总功能与各项功能及其实现率均存在明显的差异,但1985—2005年区域差异总体缩小。

研究构建的*LUFs*评估框架和指标体系有三大突出优点:一是方法简捷,系统地涵盖了土地的多功能性;二是关注区域土地利用指标与功能关系的空间异质与时间变化;三是具有良好的土地利用政策评估与决策支持功能,建议国家尺度的土地利用政策效果评估,宜采用自下而上的*LUFs*评估框架。

References

- [1] OECD. Multifunctionality: Towards an Analytical Framework. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 2001.
- [2] Perez-Soba M, Peti S, Jones L, Bertrand N, Briquel V, Omodei Zorini L, Contini C, Helmig K, Farrington JH, Mossello M T, Wascher D, Kienast F, de Groot R. Land use functions: a multifunctionality approach to assess the impact of land use changes on land use sustainability // Helmig K, Pérez-Soba M, Tabbush P eds. Sustainability Impact Assessment of Land Use Changes. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008: 375-404.
- [3] Helmig K, Perez-Soba M, Tabbush P eds. Sustainability Impact Assessment of land use changes. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.
- [4] Zhen L, Cao S Y, Wei Y J, Xie G D, Li F, Yang L. Land use functions: Conceptual framework and application for China. Resources Science, 2009, 31(4): 544-551.
- [5] GLP (Global Land Project). GLP science plan and implementation strategy. IGBP Report No. 53/DHP Report No. 19. Stockholm: IGBP Secretariat, 2005.
- [6] Melillo J M, Field C B, Moilan B. Interactions of the Major Biogeochemical Cycles. Washington, D. C.: Island Press, 2003.
- [7] Kates R W, Clark W C, Corell R, Hall M, Jaeger C C, Lowe J M, McCarthy J J, Schellnhuber H J, Bolin B, Dickson N M, Faucheux S, Galpin G C, Grubler A, Huntley B, Jäger J, Jodha N S, Kasperson R E, Mabogunje A, Matson P, Mooney H, Moore III B, O'Riordan T, Svedin U. Sustainability science. Science, 2001, 292(5517): 641-642.
- [8] NRC (National Research Council). Our Common Journey: A Transition Toward Sustainability. Washington, D. C.: National Academy Press, 1999.
- [9] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington, D. C.: Island Press, 1997.

- [10] MEA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and Human Wellbeing: A Framework for Assessment. Washington, D. C.: Island Press, 2003.
- [11] Mander U, Wiggering H, Helmig K, eds. Multifunctional Land Use: Meeting Future Demands for Landscape Goods and Services. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- [12] De Groot R, Hein L. The concept and valuation of landscape goods and services // Mander U, Wiggering H, Helmig K, eds. Multifunctional Land Use: Meeting Future Demands for Landscape Goods and Services. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- [13] Cai Y L. A study on land use/cover change: the need for a new integrated approach. Geographical Research, 2001, 20(6): 645-652.
- [14] Bai W Q, Zhao S D. An analysis on driving force system of land use changes. Resources Science, 2001, 23(3): 39-41.
- [15] Zhang Y M, Zhao S D, Verburg P H. CLUE-S and its application for simulating temporal and spatial change of land use in Nanaim Banner. Journal of Natural Resources, 2003, 18(3): 310-318.
- [16] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, Deng X Z, Zhang Z X. Analysis of recent land use change spatial patterns in China. Science in China, Series D, 2002, 32(13): 1031-1040.
- [17] Zhen L, Xie G D, Yang L, Cheng S K. Characters of landscape patterns and correlation in Jinghe watershed. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3343-3353.
- [18] Liu Y S, Chen B M. The study framework of land use/cover change based on sustainable development in China. Geographical Research, 2002, 21(3): 324-330.
- [19] Chen Q Z, Sumelius J. Review of multifunctional agriculture in China and foreign countries. China Rural Survey, 2007, (3): 71-80.
- [20] Liu W D. A study of multifunctional protection of cultivated land. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2008, 25(1): 1-5.
- [21] Zhang H. On the multifunctionality of agriculture in the liberalization of trade. Journal of Lanzhou University (Social Sciences), 2005, 33(3): 93-98.
- [22] Zhang L B. Agriculture multifunctionality and China's position in trade negotiation. Problem of Agricultural Economy, 2002, (6): 12-15.
- [23] Yuan H, Jiang F, Liu S H, Cai J M. The multifunction of agricultural land use and its evolution in Beijing. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(10): 18-23.
- [24] Bunnstad R J. Multifunctionality of agriculture: an inquiry into the complementarities between landscape preservation and food security. European Review of Agricultural Economics, 2005, 32(4): 469-488.

参考文献:

- [4] 甄霖, 曹淑艳, 魏云洁, 谢高地, 李芬, 杨莉. 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.
- [13] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径. 地理研究, 2001, 20(6): 645-652.
- [14] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用变化驱动力系统分析. 资源科学, 2001, 23(3): 39-41.
- [15] 张永民, 赵士洞, Verburg P H. CLUE-S模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用. 自然资源学报, 2003, 18(3): 310-318.
- [16] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 邓祥征, 张增祥. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. 中国科学 D 辑, 2002, 32(13): 1031-1040.
- [17] 甄霖, 谢高地, 杨丽, 成升魁. 泾河流域分县景观格局特征及相关性. 生态学报, 2005, 25(12): 3343-3353.
- [18] 刘彦随, 陈百明. 中国可持续发展问题与土地利用/覆被变化研究. 地理研究, 2002, 21(3): 324-330.
- [19] 陈秋珍, Sumelius J. 国内外农业多功能性研究文献综述. 中国农村观察, 2007, (3): 71-80.
- [20] 刘卫东. 耕地多功能保护问题研究. 国土资源科技管理, 2008, 25(1): 1-5.
- [21] 张焯. 贸易自由化进程中的农业多功能性. 兰州大学学报(社会科学版), 2005, 33(3): 93-98.
- [22] 张陆彪. 农业多功能性与我国贸易谈判立场. 农业经济问题, 2002, (6): 12-15.
- [23] 袁弘, 蒋芳, 刘盛和, 蔡建明. 城市化进程中北京市多功能农地利用. 干旱区资源与环境, 2007, 21(10): 18-23.