科学通报 2019 年 第 64 卷 第 21 期：2172 ~ 2179
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
香山科学会议 专栏 观 点
第 S44 次学术讨论会 • 土地资源安全 • 从科学到政策

系统认知土地资源的理论与方法

傅伯杰[1,2*]，刘焱序[1]

1. 北京师范大学地理科学学部，地表过程与资源生态国家重点实验室，北京 100875；
2. 中国科学院生态环境研究中心，城市与区域生态国家重点实验室，北京 100085
* 联系人，E-mail: bfu@rcees.ac.cn

土地是由近地表气候、地貌、表层地质、水文、土壤、动植物以及过去和现在人类活动的结果相互作用而形成的物质系统[1,2]. 土地资源是在一定的技术条件和一定时间内可以为人类利用的土地，是人类主要社会经济活动的空间载体[3~5]. 过去对土地资源的认知过于强调人类对土地的直接利用，农用地、建设用地、未利用地的三大类划分方式过于聚焦土地的农业用途与建设用途，容易导致对土地资源生态内涵的忽视[6,7]. 业界虽然能够认知土地具有系统性，但在土地资源管理实践中往往缺乏系统观，导致了土地资源利用不可持续的现实问题[6~8]. 对此，有必要进一步深化土地资源的系统认知理论，探索土地资源的系统管理方法.

耦合格局与过程是系统认知土地资源的基础要点[9]. 土地资源的空间格局影响生态和人类利用过程，生态和人类利用过程也改变该空间格局，从而产生土地系统中的各种时空效应[10]. 生态系统服务作为人类从生态系统中获得的各种惠益，体现了人类对土地资源的直接和间接利用关系，而土地利用格局与生态过程的改变是影响生态系统服务的主导因素[11]. 厘清“格局-过程-服务”级联关系，有助于深入认知土地资源空间分布与时间演化、自然条件与人类需求之间的系统关联状态及运行轨迹，将为土地资源系统研究提供重要理论指引[12].

针对区域资源承载能力与社会发展需求不相匹配、城乡土地用途的相关规划冲突不断、未利用地开发使用不可持续等我国土地资源使用现实问题，自然资源资产、空间规划等理论是土地资源管理系统观的新体现[13~15]. 解构土地系统中的自然资本存量与生态系统服务流量，聚焦生态系统服务物质量到价值量的转换路径，可为土地资源资产核算提供关键方法支撑[16,17]. 厘清“三生”空间中生产、生活、生态空间的各自规模、格局、质量特征，以及三大空间相互作用关系及重叠区域，从而识别多功能景观、构建生态安全格局，可为科学完成国土空间规划提供重要方法保障[18~21]. 应用系统认知土地资源的新理论和新方法，将对国家和区域山水林田湖草自然资源统一管理提供科学途径(图 1).

1 土地资源利用中的格局与过程耦合

土地资源利用中的格局与过程是指不同土地单元的空间关系和响应的演变过程，割裂格局与过程是导致土地资源空间配置不合理的重要原因. 耦合关系是指两个或两个以上要素之间存在相互影响，格局与过程的耦合可以表达为“格局影响过程，过程改变格局”[9]. 格局从空间组合的角度可以被拆分为组分和构型两类指标. 组分即组成成分，表示土地资源单元中不同土地类型的规模占比；构型即空间结构，表示土地资源单元中不同土地类型的布局形态[22,23]. 过程从时间演化的角度也可以被拆分为自然过程和社会过程两类指标. 在实际的土地资源空间界面上，气候变化等自然过程和城市化等人文过程往往存在复合影响，从而增加了格局与过程耦合分析的难度[24]. 全面明晰格局与过程的耦合机理，从而科学指引土地资源开发与保护实践，成为系统认知土地资源的重要理论需求.



傅伯杰 中国科学院院士，国际地理联合会副主席，国际生态学会副主席，中国地理学会监事长. 主要从事土地科学、景观生态学和自然地理学研究.

1.1 多尺度认知格局与过程耦合

土地资源及其影响因素的空间分布和时间演变具有尺度效应，包括空间和时间尺度[9]. 土地资源利用中的格局与过程耦合难点，很大程度上是源于与土地资源时空特征相关的自然过程和社会过程在尺度上不对应. 例如观测极端降雨对耕地、林地等土地资源的影响，可以在时间上精确到日或小时，在空间上精确到米；但论述人口集聚对耕地、建设用地等土地资源的影响，往往在时间上以年或多年为单位，在空间上多以行政单元的统计量进行表征. 无论是对极端降雨过程的升尺度，还是对人口集聚过程的降尺度，都会增加驱动机制分析中的不确定性.

多尺度认知格局与过程耦合，可以从强化观测试验和优化模型模拟两方面展开. 在观测方面，需要强调控制实

© 2019《中国科学》杂志社

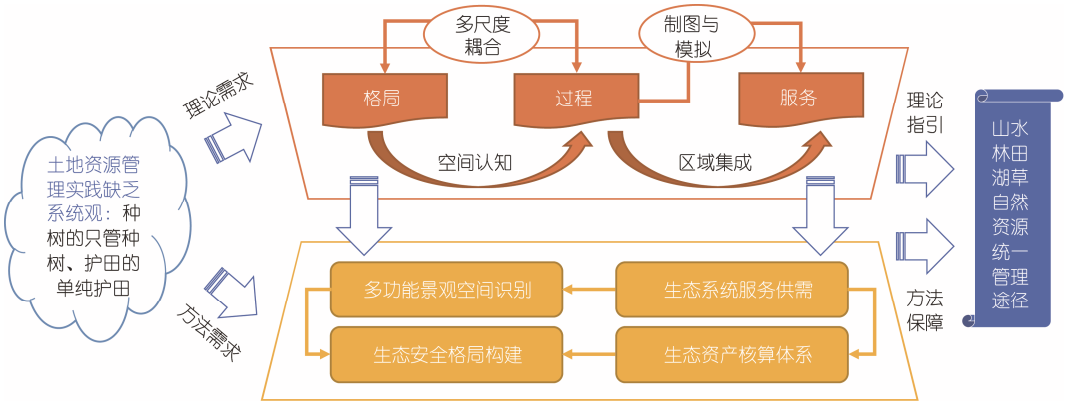


图 1 系统认知土地资源的重要理论和方法

Figure 1 Important theories and methods for systematically understanding land resource

验、定位观测、样带调查、遥感分析的立体化，为现有土地资源各类数据库补充多时相、多尺度资料. 多分辨率、全天候、全波段、多要素地球立体观测为土地资源研究提供的科学大数据将对格局与过程耦合的尺度推绎研究提供基础数据支撑[25~27]. 在模型方面，需要尽可能在不同尺度、不同复杂度的模型中描述自然与人文过程之间的双向联系[28]. 不仅要更精确模拟不同时空尺度下气候变化对土地资源的影响，并且要更深入刻画土地资源的人为管理方式改变对气候变化的反馈作用[29].

1.2 强化对土地资源的空间认知

以行政区为单元的数量规模管控是土地资源开发与保护的重要管理方式. 然而，由于对土地资源空间认知的滞后，在建设用地开发、基本农田划定等管理实践中往往具有较强的主观性. 在规划中对某种土地资源用途在空间上的承载力、适宜性认知不到位，片面强调“占补平衡”的数量关系，直接导致土地资源空间配置的不合理[30]. 在区域、流域层面，实现国土空间开发保护格局的优化配置理论创新，构建多目标、多层级的地域功能空间分区、分级体系，将为土地资源利用的空间优化提供理论指导[31~33].

在景观水平上，明晰土地资源空间构型与各种过程间的耦合关系可以为坡面、小流域乃至社区的土地资源优化配置提供支持. 例如，植被土壤斑块的镶嵌式分布格局影响着流域泥沙含量、流域出口的洪峰流量、平均径流量，从而直接关系到水土流失的治理效果[34]. 城市绿地和建设用地的错落布局方式，以及高层建筑物的分布位置，均对城市的局地热环境效应有所影响[35]. 但是，目前土地资源空间构型与生态、社会过程的耦合关系研究结论之间仍存在较大的不一致性，空间构型对生态、社会过程的影响机理仍有待进一步明晰.

1.3 明晰格局-过程-服务的级联

生态系统服务是链接自然过程与社会过程的桥梁与纽带，是现阶段“自然-社会”耦合系统研究中最为活跃的综合领域之一[36,37]. 土地利用格局与过程对生态系统服务的影响体现在 3 个方面：大多数生态系统服务产生于不同类型的土地利用方式之中，土地利用空间格局对生态系统服务有显著影响，不同程度土地利用强度对生态系统服务的产生具有不同作用[38]. 无论是生态系统服务物质量测算还是价值量评估，无论是供给视角下的生态系统服务簇刻画还是供需视角下的生态系统服务流表征，生态系统服务权衡所对应的土地资源利用方式权衡与优化一直是此类分析结果的主要落脚点[39~41].

明晰土地资源利用中格局-过程-服务的级联，首先需要准确量化土地资源类型、开发强度、空间格局的变化对生态系统服务供给的直接影响，为土地资源利用的多目标优化提供更准确的驱动参数[42,43]. 其次需要识别影响生态系统服务权衡关系的关键格局与过程指标，析取可用于生态系统管理实践的指标阈值，为规划管理提供更科学的约束条件[44,45]. 最后需要构建结合土地利用模拟与生态系统服务评估的空间分析模型，依托多种驱动过程下的生态系统服务制图情景，进行土地资源管理决策[46,47]. 土地利用变化驱动下生态系统过程与服务的相互关系、生态系统服务之间的相互关系以及生态系统服务的区域集成与优化，成为上述研究内容中的前沿科学问题[48].

2 生态系统服务供需分析与生态资产核算

土地系统科学是全球可持续科学的重要组成部分，而生态系统服务是土地系统科学的核心研究内容之一[49]. 相较于相对容易量化的土地资源开发对生产、生活过程的影响及其社会经济效应，学界依然没有找到完善的定量方法，系统刻画生态过程与生态系统服务、生态系统服务与人类福祉之间的关系[50]. 近年来，有研究基于空间显式模型，实现生态系统服务的价值化，并应用于国家土地利用决策，取得了较大的影响力[51]. 同时，相比粮食供给空间、居住

工作空间等明确的生产、生活需求, 对土地资源生态需求的量化也存在技术瓶颈. 寻求生态系统服务供需关系的分析途径, 降低生态系统服务价值化的不确定性, 成为系统认知土地资源的重要方法需求.

2.1 基于生态系统服务供需的空间决策

生态系统服务的供给往往在空间位置上是确定的, 但生态系统服务的需求可以分为原位、全方向、特定方向等不同位置; 生态系统服务供需研究的难点, 在于如何刻画生态系统服务从供给单元到使用单元的空间流动过程, 包括流动规模、流动方向等[52]. 在已有的少量案例中, 通过构建生态系统服务供给和需求与土地资源类型的联系矩阵, 可以描述生态系统服务原位需求与供给的空间平衡格局[53]; 基于利益相关者的参与式制图, 可以实现生态系统服务供需的空间抽象示意[54]; 采用空间化人口、经济数据插值生产、生活用水统计量, 可以形成生态系统产水服务供需的简化制图[55]. 虽然生态系统服务空间流动的确切路径仍难以刻画, 但此类研究结果可以为土地资源空间配置提供相对定量化的信息. 此外, 生态系统服务需求的不确定性很大程度上缘于区域社会经济发展本身的空间需求未能确定. 有必要通过加强模型预测手段, 进一步精确预测区域社会经济发展的总体规模和空间位置, 从而推导社会经济规模扩大所引致的生态系统服务需求提升, 或社会经济发展空间占用所导致的生态系统服务空间损失. 由此, 以生态系统服务供需为纽带, 将生产、生活过程与生态过程相衔接, 支持区域生产-生活-生态空间布局决策.

ARIES 计划所提出的 SPANs 模型具有迄今相对最完整的生态系统服务供需建模理念[56]. 该模型的输出图层包括理论、可能、实际、不可达成和阻塞等多种条件下的生态系统服务供给、使用、消耗和流动. 该模型若能成功发布, 将对生态视角下的土地资源使用提供重要决策支持. 继广泛普及的 InVEST 模型后, 斯坦福大学自然资本项目组先后发布了 RIOS 和 OPAL 等集成社会经济数据的评估模型, 用于识别土地资源开发决策对生态系统服务的影响, 以及定量化的成本收益, 也是基于生态系统服务供需的土地资源管理有益尝试. 此外, 我国学者自主研发的 SAORES 模型可以实现生态系统服务制图与土地资源利用的空间决策相结合, 该模型如进一步完善生态系统服务需求评估模块, 将对区域土地资源空间配置提供更为直观的优化依据[57].

2.2 规范生态资产价值核算体系

面对生态文明体制改革中的国有自然资源资产管理现实需求, 科学评估生态资产是推进自然资源资产有偿使用工作落实的重要内容. 在资产核算语境下, 自然资本可以被理解为生态资产存量, 生态系统服务可以被理解为生态资产流量, 其中生态资产的流量也就是生态系统服务变化往往与区域人类福祉相关联[58]. 生态资产价值核算的方法难点也在于如何更合理地评估生态系统服务价值. 基于土地资源的空间格局, 实现生态系统服务价值制图, 是刻画生态资产的有效途径, 但同时对该方法的争议也已在国际上持续了 20 多年[58,59]. 由于生态系统服务不能完全进入市场流通, 一些非使用价值(存在价值)无法用货币准确表征, 因而对生态资产流量做出精确估价几乎是难以实现的. 提升对生态政策、土地政策的决策支持能力, 例如科学评估生态工程实施绩效, 应当成为生态资产价值核算方法研究的落脚点.

由于换算标准不一, 不同公式所计算得到的生态系统服务物质量差别较大, 市场价值法、费用支出法、影子工程法、机会成本法、条件价值法等各种方法所评估得到的生态系统服务价值量是否具有可比性也值得商榷. 在生态资产价值核算体系的规范中, 首先要遴选与土地资源空间配置、区域人类福祉联系紧密并具有定量核算可行性的生态系统服务, 明确主要评价指标; 其次要把握先物质量后价值量的原则, 通过区域参数率定, 先保障生态系统服务物质量也就是生态资产实物量估算的准确性[60]; 最后要贯彻市场优先的原则, 设法将社会对生态系统服务的需求以价格形式进行表达, 不同价值化方法形成的结果建议分开展示[61]; 此外, 要考虑到气候条件对生态系统服务影响存在年际波动, 在面向长期土地资源空间配置的生态资产核算中尽量去除气候变量的短期扰动[62]. 在现阶段, 向决策者和利益相关者直观展示土地资源生态用途的时空效益是生态资产价值核算结果的主要应用方式, 生态资产对土地资源优化配置的决策支持功能仍有待进一步挖掘.

3 多功能景观识别与生态安全格局构建

建立空间规划体系、建立健全国土空间用途管制制度是当前我国国土资源管理的重大战略需求, 为此需要科学划定生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界等控制线, 构建节约资源和保护环境的生产、生活、生态空间布局. “三线”空间划定的土地资源适宜性评价依据不足、“三生”空间布局的土地资源多种用途交叠区域未能合理识别, 成为空间规划方法体系构建的重要障碍. 尤其是土地资源的生态用途如何与生产、生活用途进行空间权衡或协同优化, 是系统认知土地资源的方法难点.

3.1 多功能景观的空间识别

多功能景观是对土地单元空间用途的一种描述方式, 指一个被给定的地点或景观中生态、文化和生产等功能的整合[63,64]. 发源于欧洲乡村土地资源管理的多功能景观作为一种规划理念, 突出了土地单元的社会、生态不同功能组合, 体现了土地资源在空间用途上的整体性特征[65]. 因此, 在评价土地资源空间适宜性、识别土地资源多种用途

交叠区域时, 有必要对景观多功能性的空间特征有更加清晰的认识. 可以考虑将土地资源的特定功能供给或需求主导区域, 例如生态保护区、高标准农田等, 作为“三线”空间划定区域; 而将城市绿色基础设施、山区用材林或经济林等生活-生态或生产-生态多用途的土地资源在“三生”空间中予以标注.

科学进行特定区域空间内的不同类型土地资源配置是识别多功能性景观的重要目的, 因而首先在评价中需要明确评价单元、分区的空间尺度, 以及该尺度上的景观单元功能类型分解[66]. 其次是要基于景观单元的空间信息, 如地形、植被、土壤、气候等, 以生产、生活、生态功能供给或需求的视角, 实现各项景观功能定量评估, 其中生态系统服务是景观生态功能的主要体现[67]. 进而是结合格局、过程与各项景观功能, 评判土地资源提供每项景观功能的适宜程度, 结合相关政策法规的限制条件, 识别“三线”空间位置. 最后是进一步分析不同景观功能间的权衡协同关系, 并考虑景观单元间的空间邻接作用关系, 从而科学理解“三生”空间布局的土地资源多种用途交叠区域[67].

3.2 区域生态安全格局的构建

统筹国土空间生态修复是我国自然资源管理机构对土地资源可持续管理的重要职能体现. 区域生态安全格局是针对区域生态环境问题, 在干扰排除的基础上, 能够保护和恢复生物多样性、维持生态系统结构和过程的完整性、实现对区域生态环境问题有效控制和持续改善的区域性空间格局[68]. 与相对静态的生态保护区、生态红线划定相比, 区域生态安全格局的构建更加强调区域生态空间的斑块稳定性、格局连通性, 是格局与过程耦合的重要规划应用出口. 在 20 多年的发展中, 区域生态安全格局的构建以源地斑块提取、空间廊道链接为主要方法途径, 为国土空间生态修复的大尺度规划布局提供了科学引导[69,70]. 以满足人类的生存需求为主要目的, 城市生态安全格局的构建是区域生态安全保障的重点和难点[71]. 考虑到城市生活空间或经济社会发展空间的巨大需求, 预测城市生活、生产空间扩张的客观区域发展需要, 分析该扩张情景挤占生态空间所导致的具体生态安全胁迫, 识别保障城市社会经济平稳发展下的生态空间规模底线、空间红线, 成为城市生态安全格局研究需要解决的重点议题.

近年来, 生态安全格局构建的技术手段仍在不断完善. 例如在大城市中评估生态退化风险, 将高风险区作为生态源地斑块加以保护; 在山区改进生态廊道构建算法, 识别踏脚石与障碍点的空间分布[21,72]. 然而目前, 生态安全格局构建的技术体系仍未在空间规划具体实施中取得大量应用, 其中一项重要障碍在于空间刻画生态流的复杂性. 从理论上讲, 作为生态用途的土地资源相互之间可以进行空间物质和能量交换, 供给和需求空间之间也将有生态系统服务流相链接. 但如何通过生态廊道的构建有效强化生态流的空间联系, 如何基于城市社会经济发展情景预测出生态空间的规模底线, 仍然是当前生态安全格局研究的技术难点.

4 结语

系统认知土地资源, 既是全面、综合、深入理解人地复杂系统的知识需要, 也是服务于国家生态文明建设重大战略的实际需求[73]. 以格局与过程耦合理论为出发点, 加强多尺度空间观测、模型模拟, 有效识别“格局-过程-服务”级联关系, 能够为系统认知土地资源提供更全面的理论认知. 依托生态系统服务供需、生态资产、多功能景观、生态安全格局等理念, 强化土地系统的资源-资本-资产认知, 有效识别生产-生活-生态空间, 能够为系统认知土地资源提供更有力的方法保障. 面向国家生态文明建设重大战略需求, 通过土地资源研究理论与方法的攻关, 可以更加有效地实现土地科学研究成果服务于管理决策, 支撑国家社会经济与资源环境的协调可持续发展.

致谢 国家重点研发计划(2017YFA0604701)和中央高校基本科研业务费专项资金资助.

推荐阅读文献

1 GB/T 19231–2003. Basic terminology of land (in Chinese). State Standard of the People’s Republic of China. 2003 [GB/T 19231–2003. 土地基本术语. 中华人民共和国国家标准, 2003]
2 Leng S Y, Li X B. New progresses of international study on land quality indicators (LQIs) (in Chinese). Acta Geogr Sin, 1999, 54: 83–91 [冷疏影, 李秀彬. 土地质量指标体系国际研究的新进展. 地理学报, 1999, 54: 83–91]
3 Long H L. Land use transition and land management (in Chinese). Geogr Res, 2015, 34: 1607–1618 [龙花楼. 论土地利用转型与土地资源管理. 地理研究, 2015, 34: 1607–1618]
4 Wang W M. Study on Management of Land Resource (in Chinese). Beijing: High Education Press, 2003 [王万茂. 土地资源管理学. 北京: 高等教育出版社, 2003]
5 Sun T, Feng Z Z, Yang Y Z, et al. Research on land resource carrying capacity: Progress and prospects. J Resour Ecol, 2018, 9: 331–340

6 Fu B J, Chen L D, Ma C. The index system and method of land sustainable use evaluation (in Chinese). J Nat Res, 1997, 12: 113–118 [傅伯杰, 陈利顶, 马诚. 土地可持续利用评价的指标体系与方法. 自然资源学报, 1997, 12: 113–118]
7 Rounsevell M D A, Pedroli B, Erb K H, et al. Challenges for land system science. Land Use Policy, 2012, 29: 899–910
8 Liu Y S, Li J T, Yang Y Y. Strategic adjustment of land use policy under the economic transformation. Land Use Policy, 2018, 74: 5–14
9 Fu B J. The integrated studies of geography: Coupling of patterns and processes (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2014, 69: 1052–1059 [傅伯杰. 地理学综合研究的途径与方法: 格局与过程耦合. 地理学报, 2014, 69: 1052–1059]
10 Fu B J, Liang D, Lu N. Landscape ecology: Coupling of pattern, process, and scale. Chin Geogr Sci, 2011, 21: 385–391
11 Fu B J, Zhang L W. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress (in Chinese). Progr Geogr, 2014, 33: 441–446 [傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 2014, 33: 441–446]
12 Fu B J, Wei Y P. Editorial overview: Keeping fit in the dynamics of coupled natural and human systems. Curr Opin Env Sust, 2018, 33: A1–A4
13 Fan J, Wang Y F, Ouyang Z Y, et al. Risk forewarning of regional development sustainability based on a natural resources and environmental carrying index in China. Earth Future, 2017, 5: 196–213
14 Feng Z M, Yang Y Z, Jiang D, et al. The compilation of natural resources balance sheets (NRBS) and the evaluation of resources and environment carrying capacity (RECC) (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2016, 36: 7140–7145 [封志明, 杨艳昭, 江东, 等. 自然资源资产负债表编制与资源环境承载力评价. 生态学报, 2016, 36: 7140–7145]
15 Zhang J X, Lin H C, Chen H. 40-year changes and reforms of China's spatial planning system (in Chinese). Econ Geogr, 2018, 38(7): 1–6 [张京祥, 林怀策, 陈浩. 中国空间规划体系 40 年的变迁与改革. 经济地理, 2018, 38(7): 1–6]
16 Guerry A D, Polasky S, Lubchenco J, et al. Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice. Proc Natl Acad Sci USA, 2015, 112: 7348–7355
17 TEEB Synthesis. Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB. London: The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2010
18 Long H L, Liu Y S. Rural restructuring in China. J Rural Stud, 2016, 47: 387–391
19 Liu J L, Liu Y S, Li Y R. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of "production-living-ecological" spaces in China (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2017, 72: 1290–1304 [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. 地理学报, 2017, 72: 1290–1304]
20 Peng J, Liu Y X, Liu Z C, et al. Mapping spatial non-stationarity of human-natural factors associated with agricultural landscape multifunctionality in Beijing-Tianjin-Hebei region, China. Agric Ecosyst Environ, 2017, 246: 221–233
21 Peng J, Yang Y, Liu Y X, et al. Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. Sci Total Environ, 2018, 644: 781–790
22 Turner M G. Landscape Ecology: What is the state of the science? Annu Rev Ecol Syst, 2005, 36: 319–344
23 Fu B J, Chen L D, Wang J, et al. Land use structure and ecological processes (in Chinese). Quat Sci, 2003, 23: 247–255 [傅伯杰, 陈利顶, 王军, 等. 土地利用结构与生态过程. 第四纪研究, 2003, 23: 247–255]
24 Fu B J. Thoughts on the recent development of physical geography (in Chinese). Progr Geogr, 2018, 37: 1–7 [傅伯杰. 新时代自然地理学发展的思考. 地理科学进展, 2018, 37: 1–7]
25 Guo H D, Wang L Z, Chen F, et al. Scientific big data and Digital Earth (in Chinese). Chin Sci Bull, 2014, 59: 1047–1054 [郭华东, 王力哲, 陈方, 等. 科学大数据与数字地球. 科学通报, 2014, 59: 1047–1054]
26 Crowther T W, Glick H B, Covey K R, et al. Mapping tree density at a global scale. Nature, 2015, 525: 201–205
27 Pekel J F, Cottam A, Gorelick N, et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. Nature, 2016, 540: 418–422
28 Fu B J, Li Y. Bidirectional coupling between the Earth and human systems is essential for modeling sustainability. Natl Sci Rev, 2016, 3: 397–398
29 Li Y, Kalnay E, Motesharrei S, et al. Climate model shows large-scale wind and solar farms in the Sahara increase rain and vegetation. Science, 2018, 361: 1019–1022
30 Liu Y S. Integrated land research and land resource engineering (in Chinese). Res Sci, 2015, 37: 1–8 [刘彦随. 土地综合研究与土地资源工程. 资源科学, 2015, 37: 1–8]
31 Fan J. Theoretical innovation in optimization of protection and development of China's territorial space and coping strategy of 13th five-year plan (in Chinese). Bull Chin Acad Sci, 2016, 31: 1–12 [樊杰. 我国国土空间开发保护格局优化配置理论创新与"十三五"规划的应对策略. 中国科学院院刊, 2016, 31: 1–12]
32 Zheng D, Wu S H, Yin Y H, et al. Frontiers in terrestrial system research in China under global change (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2016, 71: 1475–1483 [郑度, 吴绍洪, 尹云鹤, 等. 全球变化背景下中国自然地域系统研究前沿. 地理学报, 2016, 71: 1475–1483]
33 Liu Y X, Fu B J, Wang S, et al. Global ecological regionalization: From biogeography to ecosystem services. Curr Opin Env Sust, 2018, 33: 1–8

34 Fu B J, Xu Y D, Lü Y H. Scale characteristics and coupled research of landscape pattern and soil and water loss (in Chinese). Adv Earth Sci, 2010, 25: 673–681 [傅伯杰, 徐延达, 吕一河. 景观格局与水土流失的尺度特征与耦合方法. 地球科学进展, 2010, 25: 673–681]
35 Liu Y X, Peng J, Wang Y L. Relationship between urban heat island and landscape patterns: From city size and landscape composition to spatial configuration (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2017, 37: 7769–7780 [刘焱序, 彭建, 王仰麟. 城市热岛效应与景观格局的关联: 从城市规模、景观组分到空间构型. 生态学报, 2017, 37: 7769–7780]
36 Fu B J, Tian H Q, Tao F L, et al. The impact of global change on ecosystem services (in Chinese). Chin Basic Sci, 2017, 19: 14–18 [傅伯杰, 田汉勤, 陶福禄, 等. 全球变化对生态系统服务的影响. 中国基础科学, 2017, 19: 14–18]
37 Zhao W W, Liu Y, Feng Q, et al. Ecosystem services for coupled human and environment systems (in Chinese). Progr Geogr, 2018, 37: 139–151 [赵文武, 刘月, 冯强, 等. 人地系统耦合框架下的生态系统服务. 地理科学进展, 2018, 37: 139–151]
38 Fu B J, Zhang L W, Xu Z H, et al. Ecosystem services in changing land use. J Soil Sediment, 2015, 15: 833–843
39 Johnson K A, Polasky S, Nelson E, et al. Uncertainty in ecosystem services valuation and implications for assessing land use tradeoffs: An agricultural case study in the Minnesota River Basin. Ecol Econ, 2012, 79: 71–79
40 Nagendra H, Reyers B, Lavorel S. Impacts of land change on biodiversity: Making the link to ecosystem services. Curr Opin Env Sust, 2013, 5: 503–508
41 Birge H E, Allen C R, Garmestani A S, et al. Adaptive management for ecosystem services. J Environ Manage, 2016, 183: 343–352
42 Woodruff S C, Bendor T K. Ecosystem services in urban planning: Comparative paradigms and guidelines for high quality plans. Landscape Urban Plan, 2016, 152: 90–100
43 Viglizzo E F, Paruelo J M, Laterra P, et al. Ecosystem service evaluation to support land-use policy. Agric Ecosyst Environ, 2012, 154: 78–84
44 Qiu J, Turner M G. Spatial interactions among ecosystem services in an urbanizing agricultural watershed. Proc Natl Acad Sci USA, 2013, 110: 12149–12154
45 Hao R F, Yu D Y, Wu J G. Relationship between paired ecosystem services in the grassland and agro-pastoral transitional zone of China using the constraint line method. Agric Ecosyst Environ, 2017, 240: 171–181
46 Vorstius A C, Spray C J. A comparison of ecosystem services mapping tools for their potential to support planning and decision-making on a local scale. Ecosyst Serv, 2015, 15: 75–83
47 Sharps K, Masante D, Thomas A, et al. Comparing strengths and weaknesses of three ecosystem services modelling tools in a diverse UK river catchment. Sci Total Environ, 2017, 584-585: 118–130
48 Fu B J, Zhang L W. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress (in Chinese). Progr Geogr, 2014, 33: 441–446 [傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 2014, 33: 441–446]
49 Verburg P H, Erb K, Mertz O, et al. Land System Science: Between global challenges and local realities. Curr Opin Env Sust, 2013, 5: 433–437
50 Crossman N D, Bryan B A, De Groot R, et al. Land science contributions to ecosystem services. Curr Opin Env Sust, 2013, 5: 509–514
51 Bateman I J, Harwood A R, Mace G M, et al. Bringing ecosystem services into economic decision-making: Land use in the United Kingdom. Science, 2013, 341: 45–50
52 Xiao Y, Xie G D, Lu C X, et al. Involvement of ecosystem service flows in human wellbeing based on the relationship between supply and demand (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2016, 36: 3096–3102 [肖玉, 谢高地, 鲁春霞, 等. 基于供需关系的生态系统服务空间流动研究进展. 生态学报, 2016, 36: 3096–3102]
53 Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, et al. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. Ecol Ind, 2012, 21: 17–29
54 Palomo I, Martín-López B, Potschin M, et al. National Parks, buffer zones and surrounding lands: Mapping ecosystem service flows. Ecosyst Serv, 2013, 4: 104–116
55 Li D, Wu S, Liu L, et al. Evaluating regional water security through a freshwater ecosystem service flow model: A case study in Beijing-Tianjian-Hebei region, China. Ecol Indic, 2017, 81: 159–170
56 Bagstad K J, Johnson G W, Voigt B, et al. Spatial dynamics of ecosystem service flows: A comprehensive approach to quantifying actual services. Ecosyst Serv, 2013, 4: 117–125
57 Hu H T, Fu B J, Lü Y H, et al. SAORES: A spatially explicit assessment and optimization tool for regional ecosystem services. Landscape Ecol, 2015, 30: 547–560
58 Costanza R, de Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services. Glob Environ Chang, 2014, 26: 152–158
59 Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253–260
60 Feng Z M, Yang Y Z, Jiang D, et al. The compilation of natural resources balance sheets (NRBS) and the evaluation of resources and environment carrying capacity (RECC) (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2016, 36: 7140–7145 [封志明, 杨艳昭, 江东, 等. 自然资源资产负债表编制与资源环境承载力评价. 生态学报, 2016, 36: 7140–7145]
61 Gao J X, Fan X S, Li H M, et al. Research on constituent elements, operation modes and political demands for capitalizing ecological assets

(in Chinese). Res Environ Sci, 2016, 29: 315–322 [高吉喜, 范小杉, 李慧敏, 等. 生态资产资本化: 要素构成·运营模式·政策需求. 环境科学研究, 2016, 29: 315–322]
62 Liu Y X, Fu B J, Zhao W W, et al. Ecological asset accounting and ecosystem services evaluation: Concept intersection and key research priorities (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2018, 38: 8267–8276 [刘焱序, 傅伯杰, 赵文武, 等. 生态资产核算与生态系统服务评估: 概念交汇与重点方向. 生态学报, 2018, 38: 8267–8276]
63 Tang Q, Ding S Y. A review of multifunctional landscape (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2014, 34: 3151–3157 [汤茜, 丁圣彦. 多功能景观研究进展. 生态学报, 2014, 34: 3151–3157]
64 Peng J, Lü H L, Liu Y X, et al. International research progress and perspectives on multifunctional landscape (in Chinese). Adv Earth Sci, 2015, 30: 465–476 [彭建, 吕慧玲, 刘焱序, 等. 国内外多功能景观研究进展与展望. 地球科学进展, 2015, 30: 465–476]
65 Fu B J, Lü Y H, Chen L D, et al. The latest progress of landscape ecology in the world (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2008, 28: 798–804 [傅伯杰, 吕一河, 陈利顶, 等. 国际景观生态学研究新进展. 生态学报, 2008, 28: 798–804]
66 Liu Y, Liu Y S. Progress and prospect in the study of rural region multifunction (in Chinese). China Popul Res Environ, 2012, 22: 164–169 [刘玉, 刘彦随. 乡村地域多功能的研究进展与展望. 中国人口·资源与环境, 2012, 22: 164–169]
67 Lü Y H, Ma Z M, Fu B J, et al. Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: From scientific concepts to integrative assessment (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2013, 33: 1153–1159 [吕一河, 马志敏, 傅伯杰, 等. 生态系统服务多样性与景观多功能性: 从科学理念到综合评估. 生态学报, 2013, 33: 1153–1159]
68 Ma K M, Fu B J, Li X Y, et al. The regional pattern for ecological security (RPES): The concept and theoretical basis (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2004, 24: 761–768 [马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 等. 区域生态安全格局: 概念与理论基础. 生态学报, 2004, 24: 761–768]
69 Yu K J, Li H L, Li D H, et al. National scale ecological security pattern (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2009, 29: 5163–5175 [俞孔坚, 李海龙, 李迪华, 等. 国土尺度生态安全格局. 生态学报, 2009, 29: 5163–5175]
70 Yu K. Security patterns and surface model in landscape ecological planning. Landsc Urban Plan, 1996, 36: 1–17
71 Chen L D, Jing Y C, Sun R H. Urban eco-security pattern construction: Targets, principles and basic framework (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2018, 38: 4101–4108 [陈利顶, 景永才, 孙然好. 城市生态安全格局构建: 目标、原则和基本框架. 生态学报, 2018, 38: 4101–4108]
72 Peng J, Pan Y, Liu Y, et al. Linking ecological degradation risk to identify ecological security patterns in a rapidly urbanizing landscape. Habitat Int, 2018, 71: 110–124
73 Fu B J. Geography: From knowledge, science to decision making support (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2017, 72: 1923–1932 [傅伯杰. 地理学: 从知识、科学到决策. 地理学报, 2017, 72: 1923–1932]

Summary for “系统认知土地资源的理论与方法”

The theories and methods for systematically understanding land resource

Bojie Fu[1,2*] & Yanxu Liu[1]

[1] *State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;*
[2] *State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China*
* Corresponding author, E-mail: bfu@rcees.ac.cn

Land is a physical system formed by the interaction of near-surface climate, geomorphology, surface geology, hydrology, soil, flora and fauna, and the results of past and present human activities. Land resource is the land which can be used for human beings in a certain technical condition and a certain period of time. In the past, the recognition of land resources put too much emphasis on the direct use of land by human, which can easily lead to the neglect of the ecological connotation of land resources. Although the systematic characteristic of land has been widely accepted, a systematic view in the practice of land planning and management is often lacked, and results in unsustainable land resource utilization. Therefore, it is necessary to deepen the systematic theories and methodologies for further understanding land resources.

Coupling pattern and process is the basic point of understanding land resource. Pattern refers to the size, shape, quantity, type and spatial composition of land; and the process includes the natural and social processes occurring in the land system. The land pattern affects the ecological and anthropogenic processes, and these processes also influence the land pattern, thus producing various spatiotemporal effects in the land system. The change of land pattern and process is the leading factor that affects ecosystem services. A clear understanding on the cascade of “pattern-process-service” would help to deeply understand the systematic relationship between the natural conditions and human needs in the spatiotemporal evolution of land resources. It will provide new important theoretical guidance for the systematic study of land resource.

The methods of natural capital assessment and space planning are the new embodiment of the systematic land resource management. Deconstructing the natural capital stock and ecosystem service flow in the land system, as well as transforming the physical quantity of ecosystem service to ecosystem service value, can provide key methodological support for managing the land resource assets. Based on quantifying the size, pattern and quality of the production, living and ecological spaces, as well as identifying the interactions relationships and overlapping areas, the multifunctional landscape could be located and the ecological security pattern could be constructed, which can provide new methodological support for spatial planning. It has become an important requirement to seek an analytical approach for the relationship between supply and demand of ecosystem services, and reduce the uncertainty of the valuation on ecosystem services. Moreover, it has been a methodological difficulty to spatially trade-off and optimize the coordination of the land use purposes among production, living and ecological space.

In conclusion, systematically understanding land resource is not only a theoretical need for comprehensive and in-depth understanding of the complex human-land system knowledge, but also a practical demand for China’s ecological civilization strategy. Starting from the coupling of pattern and process, strengthening multi-scale space observation and model simulation, and effectively identifying the “pattern-process-service” cascade relationship, can provide more comprehensive theoretical knowledge for systematically understanding land resource. Relying on the concepts of ecosystem service supply and demand, ecological assets, multifunctional landscape, and ecological security pattern, etc., to improve the “resource-capital-asset” knowledge of land system, and effectively identify “production-living-ecological space”, can provide more powerful methods for systematically understanding land resource. Facing the great strategic demand of China’s ecological civilization construction, by tackling the theoretical and methodological key problems of land resources research, the scientific results can be more effectively serve the governmental decision-making, and support the sustainable development of national society, economy, resources and environment.

pattern and process, ecosystem service, multifunctional landscape, spatial planning

doi: 10.1360/N972018-01149