

# 土地利用/覆被变化与景观服务:评估、制图与模拟\*

宋章建 曹宇\*\* 谭永忠 陈晓东 陈先鹏

(浙江大学土地管理系, 杭州 310058)

**摘要** 从景观尺度上探讨生态系统服务功能的研究越来越引起国内外学者的重视.相比生态系统尺度,景观尺度是探索人类活动对土地利用/覆被变化影响、探究可持续景观演变机理和过程的最佳尺度.基于对当前国际学界对景观服务研究进展的系统梳理与分析,本文探讨了景观服务的内涵与分类,并对景观服务价值评估、制图与模拟等研究方法进行归纳与分析,并对景观服务的未来研究趋势进行展望.景观服务研究的未来方向应进一步明确景观服务的内涵及其分类体系,不断完善和发展景观服务评估、制图与模型模拟方法,重点开展景观格局-过程-服务-尺度长期综合研究,继续加强景观生态学及景观经济学等理论与方法在景观服务研究领域中的应用.

**关键词** 土地利用/覆被变化;景观服务评估;景观服务制图;景观服务模拟;尺度

**文章编号** 1001-9332(2015)05-1594-07 **中图分类号** Q149 **文献标识码** A

**Land use and land cover change (LUCC) and landscape service: Evaluation, mapping and modeling.** SONG Zhang-jian, CAO Yu, TAN Yong-zhong, CHEN Xiao-dong, CHEN Xian-peng (Department of Land Management, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2015, 26(5): 1594-1600.

**Abstract:** Studies on ecosystem service from landscape scale aspect have received increasing attention from researchers all over the world. Compared with ecosystem scale, it should be more suitable to explore the influence of human activities on land use and land cover change (LUCC), and to interpret the mechanisms and processes of sustainable landscape dynamics on landscape scale. Based on comprehensive and systematic analysis of researches on landscape service, this paper firstly discussed basic concepts and classification of landscape service. Then, methods of evaluation, mapping and modeling of landscape service were analyzed and concluded. Finally, future trends for the research on landscape service were proposed. It was put forward that, exploring further connotation and classification system of landscape service, improving methods and quantitative indicators for evaluation, mapping and modelling of landscape service, carrying out long-term integrated researches on landscape pattern-process-service-scale relationships and enhancing the applications of theories and methods on landscape economics and landscape ecology are very important fields of the research on landscape service in future.

**Key words:** land use/cover change (LUCC); landscape service evaluation; landscape service mapping; landscape service modeling; scale.

土地利用/覆被变化(land use/land cover change, LUCC)一直是全球变化研究的核心领域,尤其在资源环境领域中占有重要地位.生态系统服务作为连接自然生态系统与人类福祉的桥梁,日益引起人们的关注.LUCC及其生态效应研究亦逐渐由

过去仅关注生态环境的变化向具有整体性、综合性的生态系统服务变化的研究转变.近年来,LUCC与生态系统服务价值评估、制图与模拟等方面的研究成果层出不穷,如何将生态系统服务理念纳入环境决策亦逐渐成为国际社会及学术界的关注焦点<sup>[1]</sup>.然而,由于生态系统服务研究主要关注生态系统尺度上各生态组成要素的服务功能或价值<sup>[2]</sup>,而单个生态系统不能够涵盖与可持续发展密切关联的社会、经济以及环境等因素<sup>[3]</sup>,从而很难将生态系统

\* 浙江省“钱江人才计划”C类项目(QJC1302005)、教育部留学回国人员科研启动基金项目和国家自然科学基金项目(30700098)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: caoyu@zju.edu.cn

2014-06-09 收稿,2015-01-16 接受.

服务更清晰地纳入决策者的政策制定<sup>[4]</sup>.相比生态系统尺度,景观尺度被认为是衡量人类活动对LUCC影响、研究可持续景观演变机理和过程的最佳尺度<sup>[4-5]</sup>.景观作为人与环境相互作用的基本单元,强调更大尺度上生态组成要素的综合格局与过程,且更易被人类所感知<sup>[6]</sup>.因此,从景观尺度探讨生态系统服务问题已然成为当前国际生态学界的研究热点<sup>[7]</sup>,如早在2009年于奥地利萨尔茨堡召开的欧洲国际景观生态学会已就“景观尺度上的生态系统服务”议题展开讨论<sup>[7]</sup>,2011年在北京召开的国际景观生态学会亦专门探讨了景观尺度上生态系统服务评估.随着景观服务研究受到越来越多的关注,有关景观服务的概念厘定、类型划分以及景观服务价值评估、制图与模拟研究已成为当前的学科前沿.基于对近年来景观服务研究热点与难点的梳理,本文在探讨景观服务内涵及分类基础上,进一步对景观服务评估、制图与模拟研究进行系统分析,并对景观服务研究的未来趋势进行展望,以期拓展生态系统服务研究领域提供有益借鉴.

## 1 景观服务的内涵与分类

### 1.1 景观服务的内涵

景观服务的研究是随着生态系统服务研究的深入而拓展的,是当前景观生态学与可持续性科学研究领域的新热点<sup>[8]</sup>.景观作为一个空间意义上的人类-生态复合系统,具有经济、文化和生态价值,可为人类提供多种服务功能(如粮食生产、教育、气候调节等).从景观空间尺度上,景观服务是具有综合格局的景观能够为人类提供的直接或间接效用,其并非由某个或某些特定的生态系统或景观斑块提供,而是景观内不同生态系统之间以及生态系统与人类活动之间相互作用的结果<sup>[4]</sup>.景观服务的概念以人类对景观生态系统的服务需求为出发点,充分体现了人类与生态环境的相互关系<sup>[9]</sup>.

作为景观生态学的研究核心,多尺度探讨景观格局与生态过程之间的相互关系同样也是景观服务强调的重点,且其更加关注生态系统之间及其与人类活动之间的相互作用.景观服务概念的提出,不仅有助于理解人类活动的空间分布对景观生态过程、结构及功能的不同影响<sup>[10]</sup>,也能更好地表达不同服务间的权衡与协同,更能被跨学科研究者和实践者所接受并理解<sup>[4]</sup>,从而能够切实为土地利用决策、景观生态规划等提供科学依据.相比景观服务,生态系统服务则更加强调单一生态系统类型所提供的服

务功能,关注的是生态系统组成要素的垂直功能关系<sup>[2,4]</sup>,忽视了不同类型生态系统之间的横向相互作用,很少考虑景观单元的空间结构与空间格局所体现出来的整体景观功能<sup>[2]</sup>,这在一定程度上限制了空间意义上的生态系统服务研究.然而,景观服务并不是生态系统服务的替代,而是生态系统服务的具体化或特殊化<sup>[4]</sup>,小尺度单个生态系统服务是大尺度综合景观服务产生的基础,大尺度综合景观服务是多个小尺度生态系统服务的累积<sup>[11]</sup>.两者都强调了生态系统与人类福祉之间的关系,都关注了自然生态系统的人类维度<sup>[2]</sup>.

### 1.2 景观服务的分类

景观服务的研究内容十分复杂、综合,构建科学、合理的景观服务分类体系是开展景观服务研究的基础.然而,由于景观所提供的服务功能多种多样,加之景观服务之间复杂的相互作用,所以景观服务的分类一直是景观服务研究的难点.目前,景观服务的分类体系多是建立在生态系统服务分类体系的基础上.对于生态系统服务的分类,当前较为公认的是千年生态系统评估(MA)分类,其将生态系统服务分为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务<sup>[12]</sup>.

目前,生态系统服务分类仅考虑了生态组成要素的相互作用结果,如何从景观尺度对生态系统服务进行分类的研究较少.de Groot等<sup>[13]</sup>从景观视角将生态系统服务分为供给服务、调节服务、生境支持服务和文娱服务4大类,该分类也仅是基于MA分类的修正,并不能够真实反映景观的综合特性.Hermann等<sup>[14]</sup>将景观服务分为供给服务、调节服务、生境服务、信息服务和承载服务.Vallés-Planells等<sup>[15]</sup>指出,景观不仅能够依靠内生资源提供诸如食物、水等基本的物质产品服务,也因人类活动的参与而具有居住、基础设施、工业活动等服务供给功能,并首次系统地景观规划角度将景观服务分为供给服务、调节和维持服务、社会文化服务等,该分类既考虑了综合格局的景观功能特性,又兼顾人类的服务需求,只是如何发展相应的景观服务评估指标尚待研究.总之,为了能够将景观服务切实应用于景观规划和土地利用决策实践,对于景观服务的分类不仅要体现出客观的、综合格局的景观功能特性,还要能够体现人类的主观感知与需求,同时还需分清景观服务过程和结果以避免重复计算<sup>[2]</sup>.

## 2 景观服务价值评估

当前,景观服务价值评估方法主要有生态系统

服务价值参数法、基于景观服务定量指标的市场经济法以及生态系统综合评估模型等。其中, Costanza 等<sup>[16]</sup>提出的生态系统服务价值参数法在景观尺度上也得到了较为广泛的应用<sup>[6,17]</sup>, 该方法根据评估区域各种土地利用类型面积与单位面积生态系统服务的物质量或价值量参数, 计算各土地利用类型生态系统服务价值, 然后将区域内各土地利用类型的生态系统服务进行汇总得到总的生态系统服务货币价值量。该算法虽然极大地推动了生态系统服务评估研究, 但由于其直接将各类服务简单求和得到总的服务价值而颇受争议, 因为其忽略了景观类型的空间异质性及其相互作用。

生态系统服务价值参数法多是基于 LUCC 的信息, 忽略了社会经济因素的综合影响, 其评估结果不能有效地关联到人类维度, 由此, 利用一定的景观服务指标来评估景观服务价值成为重要的评估方法。如 Willemen 等<sup>[18]</sup>在研究区域发展政策对景观服务价值影响时, 首先基于一定的景观服务指标计算出景观服务物质量, 然后在一定的社会经济条件假设下, 利用产品市场价值计算出景观服务价值。该研究考虑到了 LUCC 与社会经济因素对景观服务的综合影响, 但这种方法所选的景观服务定量指标并不能完全代表景观服务, 所计算的景观服务价值也不能反映其全部价值。

生态系统综合评估模型则综合考虑了 LUCC 等景观属性以及社会经济因素, 并以现有理论和研究成果为基础, 利用 3S 技术为支撑, 综合评估多种生态系统服务(或景观服务), 如 InVEST、ARIES 和 MIMES 等模型<sup>[19]</sup>。其中, 基于 GIS 平台的 InVEST 模型开发较为成熟、应用最为广泛, 可用于多个尺度上生态系统服务的评估、制图与模拟, 尤其适用于景观尺度上生态服务的研究<sup>[19-21]</sup>。然而, 由于这类综合模型需考虑多种因素, 实际应用时为了运行方便, 往往被大量简化, 如 InVEST 模型的碳储存和碳汇模块中碳循环过程常被简化<sup>[20]</sup>, 这就可能导致评估结果的不确定性。

景观服务价值评估方法的选择, 一方面应根据研究目标的需要及数据的可获得性来确定, 另一方面, 尺度选择亦至关重要。多尺度性是景观服务的重要特征, 尺度不同、景观服务类型不同, 景观服务间的相互作用也会不同<sup>[2,22-23]</sup>。不同尺度上景观服务有何关联、如何多尺度评估景观服务均对景观服务供给机理的研究具有重要意义。然而, 现有研究多数是从单一尺度上对选定的景观服务进行评估。Her-

mann 等<sup>[14]</sup>最近尝试建立了一种能够将不同空间尺度上景观生态过程与景观服务关联的评估框架, 采用地貌类型、景观采样点和景观特征类型 3 种空间尺度对所选服务进行评估, 最后将所有服务价值拓展到地貌类型尺度, 汇总得到总的景观服务分值, 但这种方法忽略了景观服务供给范围及其相互作用。景观服务之间的相互作用导致景观服务评估时难以对各类服务价值进行完全独立的计算, 即便学者们采用不同的评价方法或者选取不同的评价指标, 也很难避免潜在的重复计算问题。如果树的授粉对于果品生产极为重要, 在计算服务价值时如果同时考虑授粉服务以及果品生产则会造成重复计算, 因为在计算果品生产价值时已经将受粉服务价值计算在内<sup>[24]</sup>。若能明确界定景观服务供给界限或可有助于解决这一问题<sup>[24]</sup>, 而如何确定这一界限还需进一步研究。综上, 当前景观服务价值评估的研究瓶颈在于选取何种评估方法才能在避免重复计算的同时较为准确地评估服务价值、如何在多个尺度上进行景观服务评估才能更好地将景观服务间的相互作用关系考虑在内。

### 3 景观服务制图

景观服务制图是根据决策需求, 利用不同的景观服务评估方法, 对特定时空尺度上景观服务的组成、数量、空间分布和相互关系等综合特征以及各种自然-社会因素影响下的情景变化特征进行定量、可视化描述的过程<sup>[13,25]</sup>。景观服务制图可为决策者提供能够揭示区域景观服务综合特征的直观而明确的空间位置信息以及具体的评价结果<sup>[25]</sup>, 有助于决策者制定合理的土地利用决策、设计景观空间规划策略, 并可使决策者明确不同决策对于景观服务功能供给能力的影响<sup>[13,25-26]</sup>。景观服务制图的研究内容主要包括景观服务供给与需求制图以及权衡与协同关系制图。

#### 3.1 景观服务供给与需求制图

景观服务供给是指在特定区域内、某一时间尺度上景观所能提供的、可供人类利用的产品和服务的能力, 可用景观服务物质量或价值量表示。景观服务需求则指在特定区域内、某一时间尺度上被人类利用的景观服务的综合。景观服务供给制图主要包括基于数据可得性的指标法制图、基于模型的景观服务制图以及公众参与式制图。其中, 基于数据可得性的指标法制图是根据研究区数据的可得性, 利用土地利用/覆被变化信息和社会经济数据, 选取一定



的景观供给服务指标,综合运用遥感与GIS技术来完成.如 Gulickx 等<sup>[27]</sup>在对荷兰乡村景观的供给服务研究时,选取湿地生境、森林游乐、畜牧业和休闲远足4种景观服务,通过构建合适的景观服务指标进行景观服务制图.基于模型的景观服务制图则最大程度地利用现有知识和理论<sup>[20-21]</sup>,多是基于一般的假设而不是具体区域内特定的定量关系,而忽略了景观格局及其服务的空间异质性<sup>[13]</sup>.以上两种方法均是研究者单方面开展的景观服务制图,并没有真正考虑当地利益相关者的切身利益.而这些利益相关者恰恰对本地景观怀有最真实的理解和感受<sup>[28]</sup>,若忽略他们的参与则很难保证规划决策的有效性和科学性.因此,公众参与式制图则成为了另外一种重要的制图方法,该方法结合参与式GIS技术,采用半结构式访谈、关键知情人访谈和焦点小组访谈等方式,让利益相关者描述其对当地景观的感知和理解,将其绘制在图纸上,再利用GIS工具将其数字化制图<sup>[29-30]</sup>.如 Fagerholm 等<sup>[28]</sup>选取14种景观物质服务和5种景观文化服务指标,利用半结构式问题访谈方式,通过218位社区成员的参与进行了景观服务空间制图.公众参与式制图能够反映社区公众对这些服务的直接感知,能够关注到非效用服务和无形的服务,但该方法更多地受制于制图者的经验及其认知能力,可能会造成结果的不可靠性.

景观服务需求制图则常与景观服务供给制图相结合,将景观服务供给图与需求图叠加得到景观服务供求关系图,这样能够将景观服务供求关系可视化.Burkhard 等<sup>[31]</sup>利用服务指标和土地覆被类型构建评价矩阵,分别对服务供给与需求能力进行打分,将其定量化制图,并将两者进行空间叠加得到综合景观服务图,通过综合图可分析服务供给与需求的匹配关系.此外,针对生态系统服务流的研究亦成为分析服务供给与需求动态匹配的重要手段<sup>[32]</sup>,这一研究能够将生态系统服务供给区、受益区以及连接区考虑在内<sup>[33]</sup>,从而可以综合考量景观服务供给与需求的空间分布、景观服务流动通道以及供需平衡状况.Serna-Chavez 等<sup>[34]</sup>提出了一种分析服务供给与需求空间流动关系的基本框架(图1),此框架可满足各种尺度上服务供给与需求的空间关系研究.

3.2 景观服务权衡与协同制图

景观服务权衡与协同的存在不仅仅是由于景观生态系统之间的相互影响,人类的土地利用活动及景观偏好也会对其有重要影响.开展景观服务权衡与协同的研究,可使人们了解不同决策对景观服务

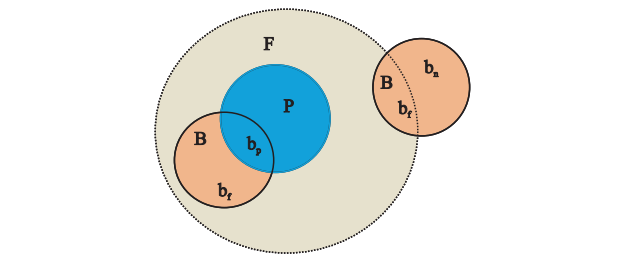


图1 生态系统服务流分析框架  
Fig.1 Framework to analyze and quantify ecosystem service flows.

B代表服务受益区,P代表服务供给区,F代表服务供给潜在的流动范围, $b_f$ 代表不与服务供给区P重叠但在服务流动范围F内的受益区, $b_n$ 代表服务受益区在服务流动范围外的区域, $b_p$ 代表服务受益与供给重叠的区域 B represented benefiting area, while P represented provisioning area. F was the flow area within which services from provisioning area could potentially be delivered,  $b_f$  was the benefiting area not overlapping with P but within F,  $b_n$  was the benefiting area not-overlapping with the provisioning area and outside F, and  $b_p$  was the benefiting area overlapping with the provisioning area.

的影响,从而有利于制定能够使总体利益最大化的决策.现有对生态系统服务权衡与协同的研究多是对权衡与协同关系的辨识,如景观尺度上供给服务几乎与所有的调节服务和文化服务之间存在权衡关系<sup>[22]</sup>,分析方法主要采用相关性分析<sup>[22]</sup>、雷达图(蛛网图)分析<sup>[14]</sup>等.当前生态系统服务权衡与协同研究方法主要有生态-经济综合模型模拟和基于土地利用的情景模拟<sup>[35]</sup>.其中,后者最为常用,如 Butler 等<sup>[36]</sup>利用4种土地利用情景分析了澳大利亚大堡礁地区水质调节服务与其他10种服务之间的权衡与协同关系,研究发现最直接的竞争关系发生在食物、纤维生产与水质调节之间,而水质调节与渔业生产之间表现为协同促进作用.此外,生态系统服务簇也常被用于景观服务权衡与协同的相关研究,所谓生态系统服务簇指跨时空同时出现的景观服务(或生态系统服务),其可综合利用主成分分析、空间自相关和聚类分析方法将生态系统服务的自然属性联系到一起,能够综合考量景观服务之间的相互作用<sup>[22]</sup>.由于景观格局与过程之间的非线性复杂关系以及人类-生态复合系统的多尺度性和复杂性,当前对景观服务权衡与协同的存在机理与形成过程尚未有清晰的理解,综合社会经济数据进行景观格局-过程长期研究或可有助于权衡与协同关系研究的突破.

4 景观服务模拟

景观格局演化将会给景观服务带来怎样的影响、如何优化土地利用格局才能实现景观服务的持

续供给、怎样有效权衡各项景观服务才能使得整体利益最大化等问题都使得景观服务的模拟与预测显得格外重要.近年来,景观服务模拟与预测方法主要是基于 LUCC 的情景分析法,情景的设定多为假设不同生态管理策略、社会经济发展情景下的土地利用/覆被变化,或是直接设定不同的土地利用/覆被情景.

景观生态系统是一种具有多稳态机制、自适应的非线性复杂系统,其演化与发展往往难以准确预测.情景分析法针对影响系统的关键不确定性,通过对系统发展的几种可能性进行探索而构建一组不同的未来景象,能够提高决策的有效性<sup>[37]</sup>.通过模拟未来不同情景下景观服务的变化,不仅能够判断何种情景下景观服务价值最大,而且能够使决策者清楚地决定应当采取何种管理措施<sup>[38-39]</sup>.如 Willemen 等<sup>[39]</sup>从区域、管理单元和局地 3 种尺度模拟了不同景观管理决策对景观服务的影响,虽然情景设定相对简单,但可为景观服务变化情景模拟提供新的研究视角.

模拟模型的广泛应用使得景观服务模拟可实现直接对不同 LUCC 情景下景观服务的变化进行综合分析,通过对模型输入数据,综合运用分析工具,模拟输出预期结果.Nelson 等<sup>[40]</sup>通过采用利益相关者设定了 3 种不同 LUCC 情景,利用 InVEST 模型模拟预测了美国俄勒冈州威拉米特流域景观服务供给的变化.由德国德累斯顿工业大学开发的 GISCAME 模型是一个融合了 GIS 模块、元胞自动机和多标准评估框架的决策支持软件<sup>[41-43]</sup>,其可模拟分析不同土地覆被格局下景观服务的变化<sup>[42-43]</sup>.Koschke 等<sup>[43]</sup>利用此模型,从区域水平上研究了不同土地利用情景下景观服务供给变化,研究表明,合理的土地利用分配不仅能够增加景观服务的供给,还能够有效地调控景观服务之间的权衡.

## 5 结论与展望

针对景观服务评估、制图及其模拟的研究虽呈现出百家争鸣的态势,但就当前研究进展来看,未来景观服务研究领域将会呈现以下趋势:1)进一步深入探索景观服务的基本概念与内涵,完善景观服务分类体系.景观服务的内涵与分类不仅要考虑综合空间格局的景观特性,还应充分考虑人类活动影响的维度,既要能较好地平衡物质服务与非物质服务,也尽可能避免重复计算.2)发展较为全面的反映社会文化、经济和生态价值的景观服务量化评价指

标体系及其评估方法,当是未来研究的另一大重点和难点.基于景观指数的景观格局变化分析方法已经比较成熟地将景观空间分析量化指标应用到了景观服务评估与制图中,未来将会更大地推动景观服务供给机制的研究<sup>[42,44]</sup>.近年来,景观经济学研究亦已从更具综合性的景观层面应用享乐价值法、条件价值法、选择实验法等方法评估景观的经济价值,将其应用到景观服务价值评估中也将成为今后研究的另一大重要领域<sup>[45]</sup>.此外,对于景观服务需求的量化制图、景观服务供给阈值以及评估与制图精度同样将是未来研究的重要方向.3)进一步将景观生态学理论与方法应用到景观服务的研究中,可形成一种全景式、多维度和多尺度的视角来探讨景观格局与过程的相互作用,也是研究景观为人类提供产品和服务的基础.尺度是整个研究过程的关键,尺度不同,景观服务供给、不同利益相关者的景观感知及相关决策目标均会有所不同.因此,适时、系统地对特定研究区开展景观格局-过程-服务-尺度长期综合研究亦当成为日后研究的重要前沿.

## 参考文献

- [1] Bateman IJ, Harwood AR, Mace GM, *et al.* Bringing ecosystem services into economic decision-making: Land use in the United Kingdom. *Science*, 2013, **341**: 45-50
- [2] Liu W-P (刘文平), Yu Z-R (宇振荣). A research review of landscape service. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2013, **33**(21): 7058-7066 (in Chinese)
- [3] Wu JG. Landscape sustainability science: Ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*, 2013, **28**: 999-1023
- [4] Termorshuizen JW, Opdam P. Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development. *Landscape Ecology*, 2009, **24**: 1037-1052
- [5] Wu J-G (郇建国). What is sustainability science? *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2014, **25**(1): 1-11 (in Chinese)
- [6] Aretano R, Petrosillo I, Zaccarelli N, *et al.* People perception of landscape change effects on ecosystem services in small Mediterranean islands: A combination of subjective and objective assessments. *Landscape and Urban Planning*, 2013, **112**: 63-73
- [7] Müller F, de Groot R, Willemen L. Ecosystem services at the landscape scale: The need for integrative approaches. *Landscape Online*, 2010, **23**: 1-11
- [8] Wu JG. Landscape ecology, cross-disciplinarity, and sustainability science. *Landscape Ecology*, 2006, **21**: 1-4
- [9] Bing Z-H (郇振华). The Research on Natural Reserve Landscape Services and Values Assessment: A Case Study on Jiuzhaigou Natural Reserve. PhD Thesis. Shanghai: Shanghai Normal University, 2013 (in Chinese)

- nese)
- [10] Hermann A, Schleifer S, Wr6bka T. The concept of ecosystem services regarding landscape research: A review. *Living Reviews in Landscape Research*, 2011, **5**: 1–37
  - [11] Wang D-S (王大尚), Zheng H (郑 华), Ouyang Z-Y (欧阳志云). Ecosystem services supply and consumption and their relationships with human well-being. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2013, **24**(6): 1747–1753 (in Chinese)
  - [12] Millennium Ecosystem Assessment (MA). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington DC: Island Press, 2005
  - [13] de Groot R, Alkemade R, Braat L, *et al.* Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 2010, **7**: 260–272
  - [14] Hermann A, Kuttner M, Hainz-Renetzeder C, *et al.* Assessment framework for landscape services in European cultural landscapes: An Austrian Hungarian case study. *Ecological Indicators*, 2014, **37**: 229–240
  - [15] Vallés-Planells M, Galiana F, Van Eetvelde V. A classification of landscape services to support local landscape planning. *Ecology and Society*, 2014, **19**: 44. doi: 10.5751/ES-06251-190144
  - [16] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, **387**: 253–260
  - [17] Scolozzi R, Morri E, Santolini R. Delphi-based change assessment in ecosystem service values to support strategic spatial planning in Italian landscapes. *Ecological Indicators*, 2012, **21**: 134–144
  - [18] Willemen L, Hein L, Verburg PH. Evaluating the impact of regional development policies on future landscape services. *Ecological Economics*, 2010, **69**: 2244–2254
  - [19] Huang C-H (黄从红), Yang J (杨 军), Zhang W-J (张文娟). Development of ecosystem services evaluation models: Research progress. *Chinese Journal of Ecology* (生态学报), 2013, **32**(12): 3360–3367 (in Chinese)
  - [20] Leh MDK, Matlock MD, Cummings EC, *et al.* Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, **165**: 6–18
  - [21] Su CH, Fu BJ. Evolution of ecosystem services in the Chinese Loess Plateau under climatic and land use changes. *Global and Planetary Change*, 2013, **101**: 119–128
  - [22] Raudsepp-Hearne C, Peterson GD, Bennett EM. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, **107**: 5242–5247
  - [23] Jones KB, Zurlini G, Kienast F, *et al.* Informing landscape planning and design for sustaining ecosystem services from existing spatial patterns and knowledge. *Landscape Ecology*, 2013, **28**: 1175–1192
  - [24] Hein L, Van Koppen K, de Groot R, *et al.* Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 2006, **57**: 209–228
  - [25] Zhang L-W (张立伟), Fu B-J (傅伯杰). The progress in ecosystem services mapping: A review. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2014, **34**(2): 316–325 (in Chinese)
  - [26] Hauck J, Görg C, Varjopuro R, *et al.* 'Maps have an air of authority': Potential benefits and challenges of ecosystem service maps at different levels of decision making. *Ecosystem Services*, 2013, **4**: 25–32
  - [27] Gulickx MMC, Verburg PH, Stoorvogel JJ, *et al.* Mapping landscape services: A case study in a multifunctional rural landscape in the Netherlands. *Ecological Indicators*, 2013, **24**: 273–283
  - [28] Fagerholm N, Käyhkö N, Ndumbaro F, *et al.* Community stakeholders' knowledge in landscape assessments: Mapping indicators for landscape services. *Ecological Indicators*, 2012, **18**: 421–433
  - [29] Carver S, Watson A, Waters T, *et al.* Developing computer-based participatory approaches to mapping landscape values for landscape and resource management//Geertman S, Stillwell J, eds. Planning Support Systems Best Practice and New Methods. Amsterdam, the Netherlands: Springer, 2009: 431–448
  - [30] Fagerholm N, Käyhkö N. Participatory mapping and geographical patterns of the social landscape values of rural communities in Zanzibar, Tanzania. *Fennia*, 2009, **187**: 43–60
  - [31] Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, *et al.* Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 2012, **21**: 17–29
  - [32] Palomo I, Martín-López B, Potschin M, *et al.* National Parks, buffer zones and surrounding lands: Mapping ecosystem service flows. *Ecosystem Services*, 2013, **4**: 104–116
  - [33] Syrbe RU, Walz U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. *Ecological Indicators*, 2012, **21**: 80–88
  - [34] Serna-Chavez HM, Schulp CJE, van Bodegom PM, *et al.* A quantitative framework for assessing spatial flows of ecosystem services. *Ecological Indicators*, 2014, **39**: 24–33
  - [35] Li P (李 鹏), Jiang L-G (姜鲁光), Feng Z-M (封志明), *et al.* Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services: An overview. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2012, **32**(16): 5219–5229 (in Chinese)
  - [36] Butler JRA, Wong GY, Metcalfe DJ, *et al.* An analysis of trade-offs between multiple ecosystem services and stakeholders linked to land use and water quality management in the Great Barrier Reef, Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, **180**: 176–191
  - [37] Zhang X-L (张向龙), Wang J (王 俊), Yang X-J (杨新军), *et al.* Scenario analysis and its application in ecosystem research. *Chinese Journal of Ecology* (生态学报), 2008, **27**(10): 1763–1770 (in Chinese)

[38] Malinga R, Gordon LJ, Lindborg R, *et al.* Using participatory scenario planning to identify ecosystem services in Changing Landscapes. *Ecology and Society*, 2013, **18**: 10. doi: 10.5751/ES-05494-180410

[39] Willemen L, Veldkamp A, Verburg PH, *et al.* A multi-scale modelling approach for analyzing landscape service dynamics. *Journal of Environmental Management*, 2012, **100**: 86–95

[40] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, *et al.* Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, **7**: 4–11

[41] Fürst C, Volk M, Pietzsch K, *et al.* Pimp your landscape: A tool for qualitative evaluation of the effects of regional planning measures on ecosystem services. *Environmental Management*, 2010, **46**: 953–968

[42] Frank S, Fürst C, Koschke L, *et al.* A contribution towards a transfer of the ecosystem service concept to landscape planning using landscape metrics. *Ecological*

*Indicators*, 2012, **21**: 30–38

[43] Koschke L, Fürst C, Lorenz M, *et al.* The integration of crop rotation and tillage practices in the assessment of ecosystem services provision at the regional scale. *Ecological Indicators*, 2013, **32**: 157–171

[44] Roces-Díaz JV, Díaz-Varela ER, Álvarez-Álvarez P. Analysis of spatial scales for ecosystem services: Application of the lacunarity concept at landscape level in Galicia (NW Spain). *Ecological Indicators*, 2014, **36**: 495–507

[45] Tagliafierro C, Longo A, van Eetvelde V, *et al.* Landscape economic valuation by integrating landscape ecology into landscape economics. *Environmental Science & Policy*, 2013, **32**: 26–36

---

作者简介 宋章建,男,1989年生,硕士研究生.主要从事景观生态学、土地利用/覆被变化(LUCC)与生态系统服务评价研究. E-mail: jianzhangsong@163.com

责任编辑 杨 弘

---