

景观可持续性与景观可持续性科学

赵文武^{1,2}, 房学宁^{1,2*}

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室(北京师范大学), 北京 100875; 2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875;)

摘要: 人类活动已经剧烈地改变了自然环境, 全球气候变化、生物多样性丧失、环境污染等种种迹象表明我们的世界正处在一个不可持续的运行轨迹上, 实现可持续发展成为 21 世纪人类面临的巨大挑战。景观是我们理解与塑造人类社会和环境关系最具操作性的尺度, 也是提供景观服务, 实现人类福祉最重要的场所。景观可持续性研究对于人类具有重要意义。景观可持续性是指特定景观所具有的、能够长期而稳定地提供景观服务、维护和改善本区域人类福祉的综合能力。景观可持续性具有跨学科、多维度特征, 强调景观弹性和可再生能力; 景观服务是景观可持续性研究中的重要概念, 它是连接自然资本与人类福祉的关键桥梁, 也是将景观可持续性与景观生态学紧密联系在一起的纽带。格局-过程-设计新范式的产生是景观可持续性研究的新发展。在景观可持续性快速发展的同时, 聚焦于景观和区域尺度的景观可持续性科学应运而生。景观可持续性科学以景观格局、景观服务、人类福祉三者之间的动态关系为主要研究内容, 充分融合景观生态学空间显示方法及指标体系的同时结合了 GIS 与 RS 等新技术, 其理论框架和研究方法体系正在逐步形成和完善之中。景观可持续性科学是可持续性科学的重要组成部分, 虽然处于刚刚起步阶段, 它必将成为未来几十年可持续性科学的研究热点。

关键词: 景观可持续性 景观可持续性科学 景观设计 景观服务 人类福祉

Landscape Sustainability and Landscape Sustainability Science

Zhao Wenwu^{1,2}, Fang Xuening^{1,2*}

1 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2 College of Resources and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

Abstract: Human activities have drastically altered the natural environment. All the signs including global climate changes, biodiversity loss, and environmental pollution indicate that our world is on an unsustainable trajectory. Achieving sustainable development has become a huge challenge for humanity in the 21st century. Landscape is not only the most operational scale for understanding and shaping the relationship between human society and environment, but also the most important places for providing landscape services as well as achieving human well-being. Landscape Sustainability research is of great significance for humans. Landscape sustainability is defined as the capacity of a landscape to consistently provide long-term, landscape-specific ecosystem services essential for maintaining and improving human well-being. Landscape Sustainability has the characters of interdiscipline and multi-dimension, and emphasizes resilience and landscape regeneration. Landscape Services is an important concept in the Landscape Sustainability research. It is not only a key bridge between natural capital and human well-being, but also the closely

基金项目: 国家自然科学基金(Nos. 41390462 和 41171069)

收稿日期: 2013-12-04

*通讯作者 Corresponding author. E-mail:summerfxn@126.com

linking bonds between landscape sustainability and landscape ecology. The new paradigm “pattern - process – design” produced a major breakthrough in Landscape Sustainability research. With the rapid development of Landscape Sustainability research, Landscape Sustainability Science comes into being, which is focusing on landscape and regional scale. The main research contents of Landscape Sustainability Science are the dynamic relationships among landscape pattern, landscape services, and human well-being. While Landscape Sustainability Science fully integrates spatially explicit methods and index system of landscape ecology, it also takes advantages of new technologies such as GIS and RS. Its theoretical framework and research methodology are being gradually formed and improved. Landscape Sustainability Science is one of the key components of Sustainability Science. Although in its initial stage, Landscape Sustainability Science will become one of the research hotspots of Sustainability Science in the coming decades.

Key Words : Landscape Sustainability; Landscape Sustainability Science; Landscape Design; Landscape Services; Human Well-being

20 世纪 70 年代, 随着科技进步和人口快速增长, 环境、资源、生态等问题日趋严重, 可持续发展受到广泛关注^[1]。1987 年联合国世界环境与发展委员会 (WCED) 将可持续发展定义为: 满足当代人类的需求而不损害子孙后代满足他们自己需求的能力。1992、2002、2012 三届可持续发展地球峰会 (Earth Summit) 有效促进了全球的可持续发展进程。然而由于缺乏科学理论的指导, 早期可持续发展研究缺乏统一的概念框架和科学规范, 不具有良好的系统性和严谨性^[2]。2001 年, Kates 等人在《科学》杂志撰文指出, 可持续性科学 (sustainability science) 是 “在局地、区域、全球尺度上研究自然和社会动态关系的科学, 是为可持续发展提供理论基础和技术手段的科学”^[3]。该文的发表标志着为可持续发展提供理论和实践基础的可持续性科学正式诞生。可持续性科学超越了传统的自然、人文与社会科学的范畴, 是一门研究人类与环境动态关系的综合型科学。与可持续性科学的提出相对应, 为了应对全球变化问题实现可持续发展, 2013 年国际科学联盟 (ICSU) 整合现有四大国际研究计划 (IGBP、IHDP、WCRP 和 DIVERSITAS), 发起 “未来地球—全球可持续性研究计划 (Future Earth -Global Sustainable Development Programme)” (2014—2023 年), 提出动态星球、全球发展、可持续性转变 3 项研究主题^[4]。“未来地球——全球可持续性研究计划”的提出使得可持续性科学成为全球科学界的热点研究领域。

人类与环境的关系往往是随着时间和地点的不同而不断变化。因此在研究可持续发展问题时, 尺度显得尤为重要。对于可持续性研究的空间尺度该如何选择? 大陆或全球尺度, 通常不能很好地掌握可持续性机制来引导当地政策。而单个生态系统很难涵盖与可持续发展相关的社会经济因素, 不具有可持续性研究的意义^[1]。景观和区域尺度则是研究可持续性过程和机理最具操作性的空间尺度^[1,5], 景观作为人和环境相互作用的基本空间单元, 是有效研究和维系可持续性的最小尺度^[6], 同时也是上通全球下达局地的一个重要枢纽尺度^[7]。因此, 景观可持续性研究在可持续性科学的发展中具有重要地位。本文基于国际文献拟对景观可持续性及其可持续性科学的基本概念与研究论题作一系统介绍, 并对景观可持续性的研究方法及其可持续性科学的发展前景进行展望, 以期服务于我国景观可持续性研究与景观可持续性科学的发展。

1 景观可持续性

1.1 景观可持续性的提出

2002 年景观可持续性初步成为景观生态学的研究议题^[8]。由于当时景观生态学与可持续科学的许多相关科学概念尚不明确，理论、方法、应用方面不够成熟，景观可持续性在可持续性科学中的潜能没有得到充分发掘^[9]。如今随着景观生态学和可持续性科学的发展，“可持续发展”、“可持续景观”和“景观可持续性”这些词在近几年开始陆续出现在生态学主流刊物上^[10]。景观可持续性正日益成为一个热门话题^[11]，它的科学概念和理论框架已初步形成并日趋完善。

景观可持续性是指特定景观所具有的、能够长期而稳定地提供景观服务、从而维护和改善本区域人类福祉的综合能力^[7]。景观可持续性对人类具有非常重要的意义，景观生态系统提供了几乎所有的人类福祉要素，社区居民的最基本食物和能源等生计必需品在很大程度上依赖于景观服务的供给，生活条件改善受制于景观服务供给的程度，因此唯有景观可持续才能保证人类更好地生存与发展。景观格局是实现景观可持续过程中至关重要的一环。对于任何景观来说都存在实现生态整体性、人类福祉、环境可持续性的最优景观格局配置，而识别、规划、设计这些景观格局便是实现景观可持续性的过程。在这一过程中我们需要特别注意土地利用变化和环境波动对景观服务能力的影响。

1.2 景观可持续性的跨学科与多维度

景观可持续性具有跨学科多维度特征。景观可持续性的多维度是在“三重底线”可持续性维度（环境、经济、社会）的基础上产生的。例如，Selman（2008 年）确定了景观可持续性的五个维度：环境、经济、社会、政治、美学^[12]。而 Musacchio（2009）对景观可持续性维度进一步进行了细化和发展，确定了六个景观可持续性维度（图 1）：环境、经济、公平、美学、体验和道德^[13]。在景观尺度，美学和体验是局地生态系统文化服务的重要组成部分，对于满足人类的精神文化需求具有至关重要的作用。可持续性景观是一个多维度、多结果的动态系统，它体现多功能，并能够持续稳定地提供景观服务。

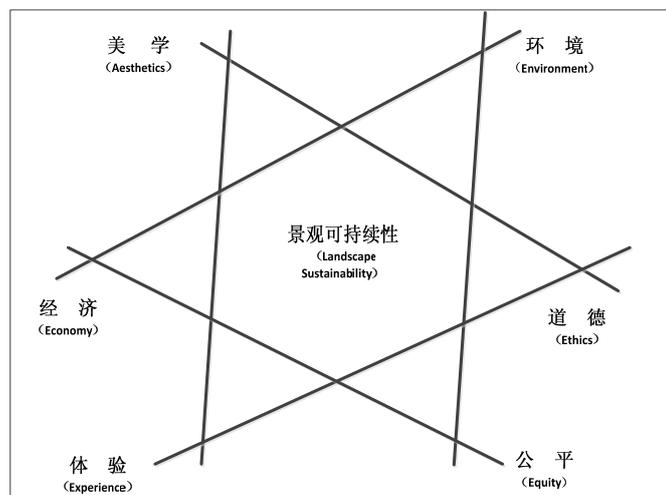


图 1 景观可持续性的六个维度（根据 Musacchio^[13] 修改重绘）

Fig.1 The six dimensions of Landscape Sustainability (redrawn with modifications based on Musacchio^[13])

景观可持续性的多维度也决定了它生态和文化知识的多样性（图 2），包括：景观建筑学、景观生态学、可持续发展、可持续性科学、可持续设计、设计科学等众多方面。因此景观可持续性需要多领域跨学科合作。有学者通过对澳大利亚北部一个热带稀树草原景观进行可持续性研究发现，联合利益相关者组成一个整体团队的合作成果明显优于不同领域单独分工最后整合的成果^[14]。这项研究说明了可持续性研究需要跨学科综合型团队。而多领域跨学科的景观可持续性研究将有助于跨学科综合型人才的培养。

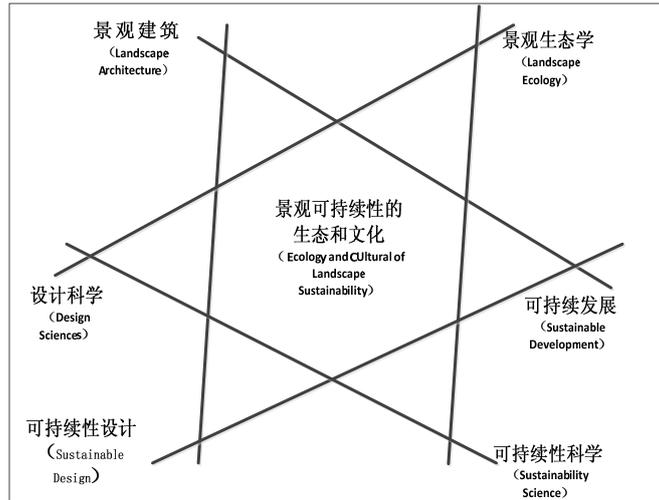


图 2 景观可持续性相关的生态和文化（根 Musacchio^[9] 重绘）

Fig.2 The ecology and culture of Landscape Sustainability (redrawn with modifications based on Musacchio^[9])

1.3 景观可持续性的可再生能力与景观弹性

景观可持续性强调可再生能力和景观弹性。大部分景观可持续发展都要求自我再生能力最大化和外部扰动最小化^[15]。应用景观可持续性研究的思想，需要我们规划和设计景观要素以维护和提高景观的自我再生能力，同时提高景观对外部干扰的抵抗力。景观弹性是一个基于空间，包含社会生态成分以及他们之间相互作用的复杂自适应系统。它是指景观系统在不改变系统状态条件下承受干扰的能力^[16]。景观生态系统是一个自然、社会、经济相互作用的复杂系统，在面对不同干扰机制（气候变化、土地利用变化等）时，景观弹性对于保持景观服务持续供给具有重要作用^[17]。因此将景观弹性理念纳入这个社会-自然生态系统对于景观可持续性分析具有重要意义。在不同尺度上，格局和过程的空间变化都会影响局地景观弹性，景观弹性必须明确地考虑景观要素成分和空间布局，同时强调位置、连通性、应变力的重要性。由于在景观中生态系统和社会的空间格局相互依赖性强，景观生态学的概念、方法、空间数据集对于推动景观弹性和景观可持续性理论的进一步发展具有很大的潜力。

1.4 景观可持续性的格局-过程-设计范式

传统景观生态学知识多聚焦于景观格局和过程的关系，将这些知识应用到涵盖社会维度的景观可持续性研究上则缺乏效率。2008年，Nassauer提出将景观的格局-过程范式拓展到包含景观设计的格局-过程-设计范式^[18]。新范式的产生使生态学家和实践者可以有意识地将景观生态学理论应用于景观可持续性研究，为解决科学理论与社会实践脱节问题提供了新思路。景观设计是指为了保证景观持续性地提供景观服务满足社会需求，而有意识地改变景观格局的过程。在新范式中景观设计则成为将科学理论与景观变化实践相连接的纽带（图3）。在实践中，我们根据科学理论与社会预期目标进行景观设计，并通过模型模拟与实施监测对设计结果进行预期与评价，进而检验和发展科学工具和设计理念，反馈结果有利于科学理论创新以及社会目标修正。这是一个科学与实践双向发展、良性循环、不断优化过程，也是维持和促进景观可持续发展的过程。纳入景观设计的景观格局-过程-设计的新范式，将有助于推动可持续性科学与景观生态学的有机结合，促进景观可持续性研究的发展。

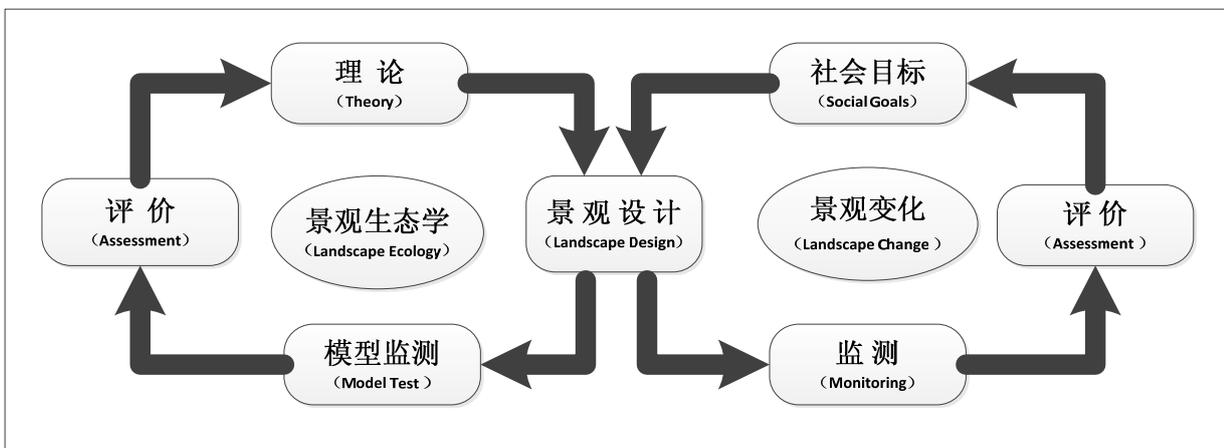


图3 景观设计-将科学与景观变化连接起来的纽带（据 Nassauer^[18]重绘）

Fig.3 Landscape design: a link between science and landscape change (redrawn with modifications based on Nassauer^[18])

2 景观可持续性科学

2.1 景观可持续性科学的产生

近10年来景观可持续性在可持续发展领域迅速开拓、不断发展，但是景观可持续性的研究却缺乏一个能够被普遍认可的理论、方法体系。这在很大程度上影响了景观可持续性研究的规范性与系统性，亟需发展景观可持续性研究的理论概念框架。景观可持续性科学（Landscape sustainability science）在这种背景下应运而生。2013年，邬建国教授将景观可持续性科学定义为“聚焦于景观和区域尺度，通过空间显示的方法来研究景观格局、景观服务和人类福祉之间动态关系的科学”^[1, 7]。这标志着为景观可持续性研究提供理论与实践指导的景观可持续性科学正式诞生。这一定义强调了景观服务和人类福祉的动态关系与景观格局之间的相互影响。并指出景观可持续性科学将着力于解决与景观组成和配置相关的可持续性科学的核心问题。由于影响可持续性的关键因素几乎都存在于具有特定社会、文化、生态特征的景

观或区域，因此景观可持续性科学毫无疑问是可持续性科学的重要组成部分^[19]。同时，景观生态系统的自适应机制、空间弹性、脆弱性分析等可以为推进景观可持续性科学提供重要的理论与方法基础。

2.2 景观可持续性科学的研究内容

景观可持续性科学的核心内容是景观格局、景观服务、人类福祉。因此，景观可持续性科学研究的重点应放在三者之间的动态关系上（图4）。为更好地理解这个动态关系，在非匀质景观中我们需仔细考虑生物多样性、生态过程、气候变化、土地利用变化以及其它经济社会驱动因素对景观格局的影响。景观特性对生活在景观中人类的活动、健康、自尊心和满足感产生的影响已经得到证明，人们也已普遍认识到景观服务对人类福祉具有重要作用，而对于景观服务如何影响人类福祉却了解的很少^[20]。景观可持续性科学的核心问题是在面对内外干扰下，景观格局该如何长期维持和改进景观服务和人类福祉之间的关系。景观或区域尺度上总会存在一些能够维持与改善景观服务和人类福祉的更为可取的景观配置。识别和设计这些理想的景观配置则是景观可持续性科学的关键点。然而，这并不意味着我们要在可持续性研究中寻求一个静态的景观状态。我们应该将景观可持续性当作一个追寻的目标和轨迹，而不是某个特定的终点^[1]。另外，空间异质性是景观的重要特性，它对于生物多样性、生态过程以及景观服务的产生与传递具有非常重要的作用。景观可持续性科学在理论、方法、应用上要特别注意异质性、关联性 & 景观服务与人类福祉的权衡与协同。

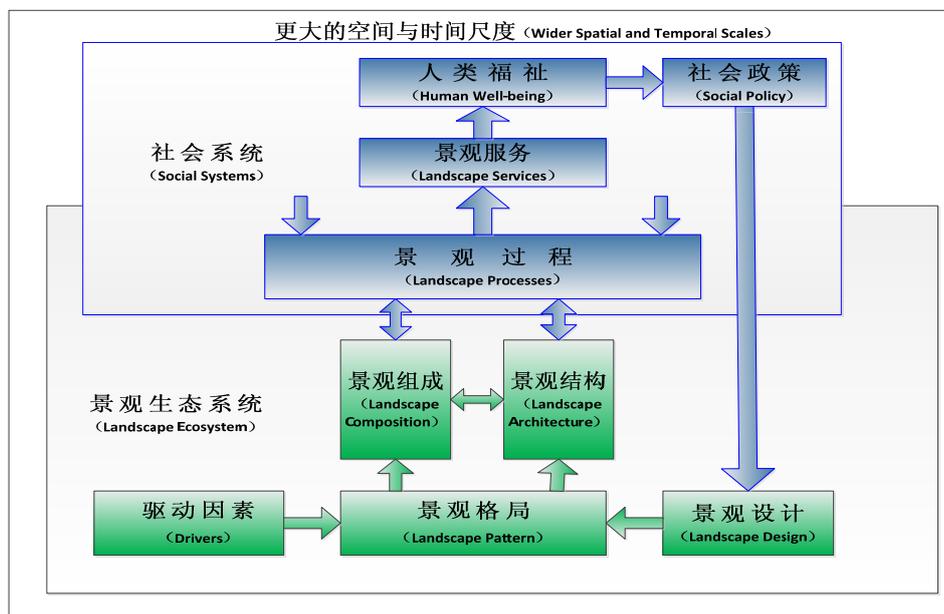


图4 景观可持续性科学的主要研究内容及其关系

Fig.4 The main research contents of Landscape Sustainability Science and its relationships

景观可持续发展的最终目的是提高特定区域的人类福祉，即满足当代人和后代人的物质、文化和精神需求。人类需求会因社会经济状况、文化传统、生活方式等众多因素改变而变化^[7]。满足一定区域的人类需求必然依赖于景观服务。景观服务是指在景观尺度上生态系统形成和所维持的人类赖以生存和发展的环境条件与效用。它是一定区域人类赖以生存和发展的基础。景观服务是一个极易衔接景观格局、生态

过程、审美观和决策的概念。它能够有效地促进参与性研究和景观可持续性设计。与生态系统服务概念相比,景观服务能够更好地表达空间异质性及不同服务间的权衡和协同效应^[21]。例如,某些服务是通过多种生态系统跨景观空间配置而产生的(例如防虫、防洪、通过妥善配置景观元素缓解城市热岛效应等)。换言之,虽然景观服务概念是新兴的,它不可能替代生态系统服务的地位。但是从景观可持续性科学的角度来看“景观服务”具有非常深远的意义。景观服务对人类福祉具有巨大贡献。然而仅考虑物质福祉是不够的,在未来的研究中不仅要关注人类的客观福祉,还要关注主观福祉,构建包含经济、社会、教育、文化、健康和生态等指标的人类福祉测度模型,即实现人类福祉的多指标测度^[22]。景观服务依赖于生物多样性和生态系统过程和功能,同时受社会、经济和政策等多方面因素的影响,被普遍认为是连接自然资本与人类福祉的重要桥梁。因此,景观服务为可持续发展研究提供了一个可操作的概念框架,并将逐渐成为景观可持续性科学的核心论题之一。

2.3 景观可持续性科学的研究方法

空间显示是研究景观可持续性必不可少的方法。在过去 30 年间,空间显示方法在景观生态学中得到了广泛的应用^[16],但是如何创新地、综合地应用这些方法来解决景观服务和人类福祉关系的问题尚是一个较大的挑战。景观生态学实验在近几十年中得到了广泛应用,并为人类正确理解格局-过程关系机制提供了大量证据。将这些实验性研究纳入景观可持续性科学体系对于推动景观可持续性机理的研究具有非常重要的作用。但景观可持续性实验应当超越传统实验的思路和方法。因为在传统实验处理过程中,控制实验和重复实验具有同样的重要性,常用的统计方法足以对实验结果进行分析;然而景观可持续性实验需要用到景观设计的理论^[18],我们需要将景观设计当做实验,并纳入景观可持续性科学创建、测试和评估的方法体系。例如:可以通过设计不同景观之间或者与自然景观进行比较来评估景观可持续性水平,为景观配置、格局优化提供依据。在进行景观规划或者景观设计实验过程中,也需要应用先进的统计学方法。此外,空间模拟模型在结合景观设计与决策方案遴选方面具有独特优势。在进行景观设计研究中我们可以通过空间模型模拟的方式来进行最优化选择从而为可持续性决策提供可靠依据。尽管景观可持续性实验可能远达不到还原论实验要求的严谨程度,但是借助统计学方法和模拟模型,它们在推进景观可持续性科学的发展过程中将起到非常重要的作用。

为衡量和评价景观可持续性,制定可靠的景观可持续性指标是非常必要的^[23]。在建立不同景观可持续性指标时我们要注意选择合适的指标框架。指标框架是指一个基于可持续性原则的概念结构,通过指标框架我们可以使景观可持续性指标的选择、发展、整合变得简单、系统、规范。常见的可持续性指标框架有:PSR 框架(Pressure-state-response frameworks)、DSR 框架(Driving force-State-Response)、DPSIR 框架(Driving force-Pressure-State-Impact-Response framework)、基于主题框架、基于资本框架等^[24]。然而,在景观可持续科学应用研究中,景观格局指标只有在对景观服务与人类福祉关系有可靠衡量时,才具有良好的科学价值。因此,在设计景观可持续性指标过程中,需要在特定的指标框架下,纳入景观功能与服务的跨尺度耦合因素,并且应与人类福祉及政策制定相关联。建立满足这些标准的景观可持续性指标体系是一项艰巨的任务。景观生态学家可以根据他们对景观格局分析的经验为景观可持续性科学提

供很多方法依据。探讨如何将景观指标纳入景观可持续性评估方法中，对景观可持续性科学来说是极其有意义的尝试。随着景观可持续性科学理论的进一步发展完善，在景观水平上定会形成集成自然-社会-经济要素，全面且具有操作性的景观可持续性指标体系。

景观可持续性科学也应当结合地理信息系统（GIS）、遥感（RS）等新技术。这些高速发展的新技术为景观可持续性研究提供了强大的数据基础和数据处理技术。遥感已经成为景观可持续性研究不可或缺的数据源，通过遥感影像我们可以对土地利用变化、植被覆盖类型等进行动态监测、制图，从而为预测环境风险、进行景观规划设计和保持景观可持续性提供基础。GIS 具有较强的空间数据处理和分析能力，能够满足用户在数据处理分析方面的需求，引入 GIS 能够有效地促进量化技术在景观可持续性科学上的应用。

3 景观可持续性科学与景观生态学的关系

景观可持续性科学与景观生态学联系紧密^[25]。景观生态学为景观可持续性科学提供了有效研究自然-社会关系的最具操作性的尺度，并为其解决多尺度上生物多样性和生态系统功能问题提供了等级性和集成性的生态学基础。此外，景观生态学也为景观可持续性科学研究空间异质性、自然和社会经济格局、尺度、不确定性问题等提供了理论和方法支持^[26]。景观可持续性科学与景观生态学两者都强调空间异质性和景观格局-过程在研究中的重要意义。景观服务则是将两者连接在一起的纽带。在认可景观生态学与景观可持续性科学具有密切联系的同时，承认景观生态学和景观可持续性科学的区别也具有重要意义。景观生态学主要偏重于自然生态研究，而景观可持续性科学则是一个注重“目标导向、任务驱动”协调人类与自然相互关系的多学科交叉科学。同时景观生态学是研究和改进空间格局与生态过程关系的科学，而景观可持续性科学则聚焦于社会、经济和环境状况变化情景下景观服务与人类福祉的动态关系。对于人类主导的景观，虽然景观生态学和景观可持续性科学的研究要素相似，但侧重点和研究结果却存在很大差异。在过去十几年中，景观可持续性从产生之时便呈现出与景观生态学相互影响、相互促进的趋势。这个多元化、层次化的作用趋势将有助于提升我们对可持续发展理论和实践的理解。景观可持续性科学是一门利用景观生态学的理论方法解决可持续性问题的新兴跨领域交叉科学，它既是可持续性科学的一个新的领域，又为景观生态学注入了新鲜血液，进而有效地促进景观生态学的发展。

4 景观可持续性科学展望

景观可持续性科学是一门研究景观可持续性的多学科交叉的新兴科学，尽管它刚处于起步阶段，但它却表现出蓬勃的生命力。在以后的发展中，景观可持续性科学应将可持续性科学与可持续性设计更好地整合到景观生态学的理论、方法和应用上。立足于景观尺度，景观可持续性科学同时也应该处理好景观间的联系甚至整个区域乃至与全球的联系，注重跨尺度人和自然相互作用对景观可持续性的影响。在强调目的驱动和地域驱动研究的同时，景观可持续性科学也要重视基础性研究，如：空间异质性对景观服务可持续性的影响机制，景观服务与预期变化方向的异同及这种协同或者权衡的背后机制，预期景观

变化轨迹对景观服务弹性和脆弱性的影响，面对各种驱动力情况下景观管理对景观服务弹性的影响程度等。

景观可持续性科学理论方法体系的发展与完善，需要不同尺度类型的景观管理、规划、设计实践研究的支撑。以黄土高原为例，黄土高原是我国的生态脆弱区，长期的人类活动（农业活动、放牧等）对黄土高原的自然景观造成了严重破坏，黄土高原成为我国水土流失最严重的区域之一，黄土高原的发展明显处于不可持续的轨迹上。景观可持续性科学对黄土高原的生态恢复具有重要指导意义。在黄土高原生态恢复过程中我们可利用景观设计思想进行景观植被类型合理配置，以期达到景观环境、社会经济因素、景观服务的最优化。在这一过程中，我们需要注意不同的干扰机制（人类社会经济活动、气候变化等）对景观格局的影响，并要充分理解不同尺度的景观格局对景观过程及景观服务的影响机制，如：不同土地利用与植被类型配置对土壤保持、水源涵养、碳固定等景观服务的影响过程。在景观恢复与设计的过程中，同时需要考虑景观服务与人类福祉的动态关系。通过景观格局-过程-服务-福祉机理系统研究，为当地景观生态与环境管理、规划、政策设计等提供科学依据，从而促进整个黄土高原区域的可持续发展。此外，通过野外实验与过程模拟，开发耦合人与环境相互关系的景观可持续性定量评价模型与指标体系是景观可持续性科学走向严谨性、系统性的必然要求。可持续发展是 21 世纪人类共同的主题，景观可持续性科学作为可持续科学重要组成部分，定会为全球可持续发展做出巨大贡献。它必将成为未来几十年可持续科学的研究热点。

致谢：

论文撰写过程中，得到北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室何春阳教授的热忱帮助，特致诚挚感谢！

References

- [1] Wu J. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes[J]. *Landscape Ecology*, 2013: 1-25.
- [2] Jerneck A, Olsson L, Ness B, et al. Structuring sustainability science[J]. *Sustainability science*, 2011, 6(1): 69-82.
- [3] Kates R W, Clark W C, Corell R, et al. Environment and development - Sustainability science. *Science*, 2001, 292(5517): 641-642.
- [4] Liu Y X,Zhao W W. Future Earth-Global Sustainable Development Programme[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(23):7610-7613. [5]Fu B J, Lv Y H,Chen L D,et al.The latest progress of landscape ecology in the world[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2):798-804.
- [6]Wu J. Landscape ecology, cross-disciplinarity, and sustainability science[J]. *Landscape Ecology*, 2006, 21(1): 1-4.
- [7] Wu J G ,Guo X C, Yang J,et al. What is sustainability science? [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 2014, 25(1):1-11.[8]Wu J, Hobbs R. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis[J]. *Landscape ecology*, 2002, 17(4): 355-365.
- [9]Musacchio L R. The grand challenge to operationalize landscape sustainability and the design-in-science paradigm[J]. *Landscape Ecology*, 2011, 26(1): 1-5
- [10]Wu J. Key concepts and research topics in landscape ecology revisited: 30 years after the Allerton Park workshop[J]. *Landscape Ecology*, 2013, 28(1): 1-11.

- [11]Kajikawa Y, Ohno J, Takeda Y, et al. Creating an academic landscape of sustainability science: an analysis of the citation network[J]. Sustainability Science, 2007, 2(2): 221-231.
- [12]Selman P. What do we mean by sustainable landscape?[J]. Sustainability: Science, Practice, & Policy, 2008, 4(2): 23-28.
- [13]Musacchio L R. The scientific basis for the design of landscape sustainability: a conceptual framework for translational landscape research and practice of designed landscapes and the six Es of landscape sustainability[J]. Landscape Ecology, 2009, 24(8): 993-1013.
- [14] Duff G, Garnett D, Jacklyn P, et al. A collaborative design to adaptively manage for landscape sustainability in north Australia: lessons from a decade of cooperative research[J]. Landscape ecology, 2009, 24(8): 1135-1143.
- [15] Potschin M, Haines-Young R. Landscapes, sustainability and the place-based analysis of ecosystem services[J]. Landscape Ecology, 2012: 1-13.
- [16]Wu J, Wu T. Ecological resilience as a foundation for urban design and sustainability[M]//Resilience in Ecology and Urban Design. Springer Netherlands, 2013: 211-229.
- [17] Cumming G S. Spatial resilience: integrating landscape ecology, resilience, and sustainability[J]. Landscape ecology, 2011, 26(7): 899-909.
- [18] Nassauer J I, Opdam P. Design in science: extending the landscape ecology paradigm[J]. Landscape Ecology, 2008, 23(6): 633-644.
- [19]Wiens J A. Is landscape sustainability a useful concept in a changing world?[J]. Landscape Ecology, 2012: 1-6.
- [20] Turner M G, Donato D C, Romme W H. Consequences of spatial heterogeneity for ecosystem services in changing forest landscapes: priorities for future research[J]. Landscape Ecology, 2012: 1-17.
- [21]Termorshuizen J W, Opdam P. Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development[J]. Landscape Ecology, 2009, 24(8): 1037-1052.
- [22]Fang X N,Zhao W W. Progress and Prospects of Ecosystem Services: Review on the 11thInternational Ecology Conference (INTECOL Congress)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(20):6736-6740.[23] Botequilha Leitão A, Ahern J. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning[J]. Landscape and urban planning, 2002, 59(2): 65-93.
- [24]Wu J, Wu T. Sustainability indicators and indices: an overview[J]. Handbook of sustainable management. Imperial College Press, London, 2012: 65-86.
- [25]Potschin M, Haines-Young R. “Rio+ 10”, sustainability science and Landscape Ecology[J]. Landscape and urban planning, 2006, 75(3): 162-174.
- [26]Pearson D M, McAlpine C A. Landscape ecology: an integrated science for sustainability in a changing world[J]. Landscape Ecology, 2010, 25(8): 1151-1154.

参考文献:

- [4]刘源鑫, 赵文武. 未来地球—全球可持续性研究计划[J]. 生态学报, 2013, 33(23) : 7610-7613.
- [5]傅伯杰, 吕一河, 陈利顶, 等. 国际景观生态学研究新进展[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 798-804.
- [7]邬建国, 郭晓川, 杨劼, 等. 什么是可持续性科学? [J]. 应用生态学报, 2014,25(1):1-11.
- [22]房学宁, 赵文武. 生态系统服务研究进展——2013 年第 11 届国际生态学大会 (INTECOL Congress) 会议述评[J]. 生态学报, 2013, 33(20): 6736-6740.