

# 全球变化背景下景观生态适应性特征

张小飞<sup>1,2</sup>, 彭建<sup>2</sup>, 王仰麟<sup>2\*</sup>, 吴文斌<sup>3</sup>, 杨鹏<sup>3</sup>, 刘焱序<sup>2</sup>, 宋治清<sup>2</sup>, 薛怡珍<sup>4</sup>

- (1. 北京大学深圳研究生院 城市规划与设计学院城市人居环境科学与技术重点实验室, 广东 深圳 518055;
2. 北京大学城市与环境学院 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871;
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部农业信息技术重点实验室, 北京 100081;
4. 台南大学生态科学与技术学系, 台湾 台南 70005)

**摘要:** 全球变化包含气候变化、经济发展、土地利用变化等自然、人为及共同作用下引发的转变, 是当前景观结构与功能保障面临的主要挑战。景观生态适应性是指景观这一地表镶嵌体吸纳上述影响并维持主要功能的特性, 涉及不同景观类型、组成单元及层级在不同时空尺度中的不同程度转变。本文从景观生态学视角切入, 以景观系统作为缓解与适应全球变化冲击的主体, 整合农业景观、城市景观等相关研究案例, 凝练当前景观系统适应全球变化过程的特征为: ①由部分因子的绝对主导转向复合因子共同作用; ②景观类型内部趋同, 景观多样性及独特性降低; ③同类景观间功能等级分明、分工明确, 跨区域时空联系增强; ④不同景观类型间空间边界清晰, 过渡带景观功能退化。就当前全球变化议题, 建议后续研究应加强: 不同景观类型或组成单元的适应能力对比及其不确定性分析; 基于景观系统整体健康的适应途径尺度联系解析; 多学科、多部门研究在全球变化情景下的有效整合; 景观系统适应性或适应力量化分析方法的深化。

**关键词:** 生态适应性; 景观系统; 全球变化; 农业景观; 城市景观

## 1 引言

全球变化包含气候变化、经济发展、土地利用变化等自然、人为及共同作用下引发的社会—生态系统转变。20世纪中叶以来, 全球变化过程已带来诸多的气候和环境问题, 如全球变暖、极端气候事件、建成区无序扩张、土地退化等, 对人类生存与发展产生了重大影响(张兰生等, 2000; 秦大河, 2009; 叶笃正等, 2009; Cubasch et al, 2013)。科学认识全球变化的关键影响和人类发展对这一系列变化的适应(秦大河, 2008), 从而缓解全球变化所引发的生态风险已成为当前地理学与生态研究的热点领域。

适应(Adaptation)是指自然和人类系统应对正在发生或预期发生的影响, 吸纳扰动、维持自身结

构与功能完整性的转变(Transformation)过程(Klein et al, 2007)。“适应”一词最早源于生物学, 是指在长期与环境相互作用的过程中, 有机体通过结构改变逐渐获得生存或繁衍上相对有利的状态(Holland, 1976), 而适应的结果又影响了全球变化对生态系统的冲击程度(Barton, 2011); 适应涉及一定程度的转变(Pelling et al, 2015), 转变的类型、特征及程度可视为不同时空尺度物种对全球变化的响应。例如, 植物叶片性状会因为季节或环境差异而发生变化(Jin et al, 2011), 而动物在遭遇不同环境或气候状态时新陈代谢系统及繁殖周期也会相应的调整(Conaway, 1971)。厘清全球变化下生态系统的适应性特征是制定全球变化对策的重要基础(周广胜等, 2004), 因为不同时空尺度与不同程度的

收稿日期: 2016-08; 修订日期: 2017-07。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41330747); 国家自然科学基金项目(41671180) [Foundation: Key Project of National Natural Science Foundation of China, No. 41330747; National Natural Science Foundation of China, No. 41671180]。

作者简介: 张小飞(1977-), 女, 台湾台中人, 助研, 从事城市景观生态功能评估与格局优化研究, E-mail: lzg.123@263.net。

通讯作者: 王仰麟(1963-), 男, 陕西合阳人, 教授, 从事综合自然地理学与土地生态研究, E-mail: ylwang@urban.pku.edu.cn。

引用格式: 张小飞, 彭建, 王仰麟, 等. 2017. 全球变化背景下景观生态适应性特征[J]. 地理科学进展, 36(9): 1167-1175. [Chang H F, Peng J, Wang Y L, et al. 2017. Characteristics of landscape system in the context of global change[J]. Progress in Geography, 36(9): 1167-1175.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.09.013

转变体现了适应的过程及系统的适应能力。在地理学的发展历程中,“适应”的概念被用于探讨人地之间的相互关系,具有“协调”“调节”的意涵;地理学的适应性特征包含人对自然的依赖性、人的能动地位(郑度, 1994),亦包含人类与地理环境或自然规律间的支撑、约束及响应等相互作用关系(胡兆量等, 2006)。目前,适应性已成为全球地理学、农学、生态学、环境科学等相关学科及交叉学科研究的重点(Smit et al, 2002; Adger et al, 2005; Nelson et al, 2007; Engle et al, 2010; Piao et al, 2010; Cubasch et al, 2013),涉及国家、区域及局地等不同空间尺度(Smit et al, 2006)。景观是具有等级结构的社会—生态系统(傅伯杰等, 2001),是自然环境与人为活动共同作用的结果,其绝对空间尺度因研究需要而不同(邬建国, 2000)。从综合自然地理学的视角来看,景观可被概括理解为全球、区域尺度之下(Hobbs et al, 1993),不同生态系统组成的地表综合体(吕一河等, 2007)。全球变化对景观产生的冲击涵盖多个方面,如景观尺度自然、人文共同干扰下的生物多样性降低、自然生境丧失(傅伯杰等, 2001)、植被生产力下降(Seibert et al, 2010)、地表水质退化(Otero et al, 2011)等。为完善系统自我调节与适应机制,适应性已成为景观生态学研究中的重要内容,适应性的研究亦由早期自然资源管理拓展至生态系统健康、稳定(陈利顶等, 2014)与可持续的生态系统服务优化。

在当前人类占主导地位的地质时代(Zalasiewicz et al, 2010),除了自然演化,城市化与农业耕种等人类活动被视为全球变化过程中重要的驱动力,需要以社会—经济—自然复合的角度辨析生态系统的特征与问题(马世骏等, 1984)。城市景观、农业景观等作为主要的人为景观类型,承载着主要的人为活动,面对全球变化趋势,不可避免地成为抵御与适应全球变化风险冲击的主体。本文拟通过分析相关研究案例,整合地理学时空尺度视角与生态系统整体辨析,尝试论述景观系统适应全球变化的主要特征,为景观生态学领域全球变化适应研究提供理论参考。

## 2 景观生态适应性特征

景观系统作为一个可感知的单元(图1),包含大气、土地及生物群落(Rowe, 1961),是个泛地域尺度的多层次水平地域综合体概念的统称,也被称为景

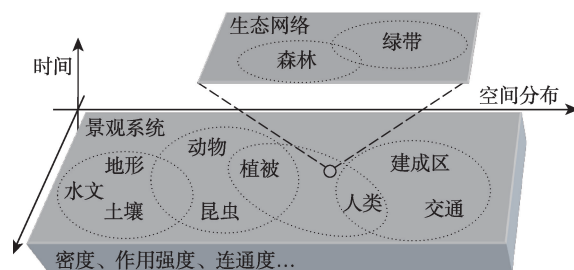


图1 景观系统结构示意图

Fig.1 A simplified diagram of landscape system components

观生态系统(王仰麟等, 1999)。可持续的景观系统具有动态稳定的特征,系统整体功能健全与稳定依赖组成单元功能的提升与结构的优化。气候变化、社会发展、土地利用变化等作为全球变化中的重点议题,其间存在着一定的联系。随着全球变化影响力不断提升,景观系统适应全球变化的结果体现于不同层次水平,适应的单元与方式亦有差异,单一斑块的适应转变或可影响系统整体,系统整体的改变也会影响系统中的个别斑块与廊道。通过对当前景观研究的综合整理,归纳不同景观类型对全球变化的响应,了解当前景观系统适应全球变化的基本特征,将有助基于未来变化趋势,主动改变景观结构与功能,降低突发事件的影响。此外,除积极改变景观结构与功能以主动适应全球变化外,景观系统适应性还可包括被动适应,或按照景观单元和类型划分为独立应对、整体应对。本文整合农业景观、城市景观等相关研究案例,聚焦景观的主动适应过程,提出景观系统适应全球变化的以下四方面主要特征:

### 2.1 由部分因子的绝对主导转向复合因子共同作用

相对于由气候、环境、区位等单一驱动因素的探讨,受全球变化影响,当前的景观格局驱动机制更为复杂。在城市景观研究中,早期注重经济发展导向,除自然环境外,城市景观格局的形成与演变涉及行政区划、经济类型、移民等因素。以中国台湾地区为例,交通通达性是近代城市发展初期主要的驱动因素。在中国大陆,城市规划主导了区域城市景观格局的发展,在深圳市快速的城市扩展过程中,交通路网配置、用地分区方案决定了城市空间格局,而地形、地质与气候条件则成为限制城市景观格局的主要因素(张津等, 2014)。随着城市可持续发展议题的不断深化,城市景观生态学的研究也由单一目标的空间格局优化,转向结合生态系统服务、生态系统健康等开发与保护结合的方向,并延伸出可



持续城市、低碳城市、城市生态安全格局等综合理念下的城市景观功能与格局优化架构,并将全球变化视为当前城市景观优化研究的热点议题之一。

在农业景观研究中,气候条件是影响早期农业景观格局与功能的主导因素,而在当前中国农业景观格局变化研究中,农业景观格局不仅取决于自然环境因子,也取决于农业人口密度、农产品价格、比较效益、市场因素和区域农业政策等社会经济因子(刘纪远等, 2009)。气候变化对粮食生产具有一定负面冲击(彭克强, 2008),结合全球变化与作物空间潜力研究成果,可知农作物空间潜力对全球变化过程中的环境、经济和技术因素相对敏感(Liu et al, 2008; 杨晓光等, 2011; Duan et al, 2013; Ye et al, 2014)。以1980年至今的中国水稻种植面积为例,由于自然和社会经济因素综合作用,温度变化、灌溉水平提升和农业经济发展对水稻空间分布皆有重要影响(Li et al, 2015)。

## 2.2 景观类型内部趋同,景观多样性及独特性降低

全球变暖作为当前全球变化主要现象,不仅受自然规律影响,同时人类活动中的农业种植及工业生产所产生的温室气体亦加剧了生态环境影响(Gray et al, 2014)。对自然景观而言,全球变暖及密集的人为活动影响直接导致景观与生物多样性降低,自然植被面积的减少与功能退化,使得许多物种由于栖息地丧失与质量下降,种群数量减少或消失(Andrén, 1994; Yu et al, 2017)。在人为景观中,由于长期以来对经济发展需求的过分强调,人为景观中多数景观类型趋同适应相对明显,城市景观及农业景观的大面积复制进而取代了生态景观。农业景观虽基于粮食安全考虑,粮食作物面积得到一定的保障,但许多农业用地在发展过程中已被更高效益的利用方式取代。

经济全球化与城市化带动了城市景观的空间蔓延,对当前的城市景观格局而言,受土地利用规划分区、发展需求等大目标导向影响,城市景观格局呈现出结构组份单一及网格化等特征(李伟峰等, 2005)。随着城市化程度日趋成熟,景观破碎化呈现“快速增加—增速减缓—平稳下降”的过程,上述过程在深圳(曾辉等, 2000)、上海(高峻等, 2001)、福州(林志垒等, 2002)等多个大城市中都有比较典型的表现。以深圳市为例(李卫锋等, 2004),通过景观多样性、破碎度和优势度等景观指数对城市景观格局进行量化,可知区域的社会经济发展带动了土

地资源开发,森林、草地及耕地面积的减少导致生态景观及农业景观多样性及优势度降低且破碎化相对明显。

## 2.3 同类景观间功能等级分明、分工明确,跨区域时空联系增强

景观是等级系统(Naveh, 2000; 傅伯杰等, 2001),在全球变化的影响下,景观组成单元通过不同等级的分工提高系统整体的适应能力,进而保障区域景观功能。例如,城市景观网络包含了社会、经济功能的景观类型,而社会、经济功能则是通过政治、商业、教育等单元或斑块所构成,由交通路网及基础设施联系;农业景观网络则通过耕地、果园等用地方式体现其生产功能,并由灌溉水渠及河流串连;生态景观网络则通过河流及绿带联系(Cook, 2002; Marsha et al, 2018)。通过不同等级的功能提升与分工重组,可提高并巩固景观整体的健康与稳定。因此,可采用网络来表征景观功能、等级结构与空间联系,在生态网络、城市网络及农业网络等结构中(图2),不同功能导向的景观网络组成结构会因为相互作用而显得复杂。

面对全球变化,景观系统呈现同类景观间功能等级分明、分工明确且具有跨区域的时空联系的特征。城市景观在全球变化的强力驱动下,区域发展已无法仅依赖周边资源与能源,其所需的物质、能源、信息甚至资金,通过全球市场流通,使城市的“生态足迹”或生态占用不再局限于自然或行政界线,城市景观因功能优化的需求,在强化等级结构的同时更拓展至无形的功能关系网。在中国台湾地区,早期地区经济重组的过程将台湾北部区域逐渐融入全球城际网络,而中国大陆的京津冀、长三角等地区也逐渐受到全球经济、文化的影响。当前城市景观单元的功能等级日趋明确,并在全球、区域乃至地方扮演着不同等级的功能中心;而在农业景观格局变化中,影响农民决策的因素也由传统田间土地管理、作物产量目标、经济效益等,扩展至与区域或全球农业经济联系。

在全球变化的驱动下,景观网络等级结构在景观结构与功能优化的研究与应用中亦被广泛利用(Jongman et al, 2004; 焦胜等, 2013)。依托网络的等级结构与跨尺度关联特性,调整关键的景观网络组成单元,整合景观中功能相似或相辅相成的景观结构,有助于应对全球变化冲击,适时进行功能的协调与景观结构的调整,进而维持景观系统稳定,同

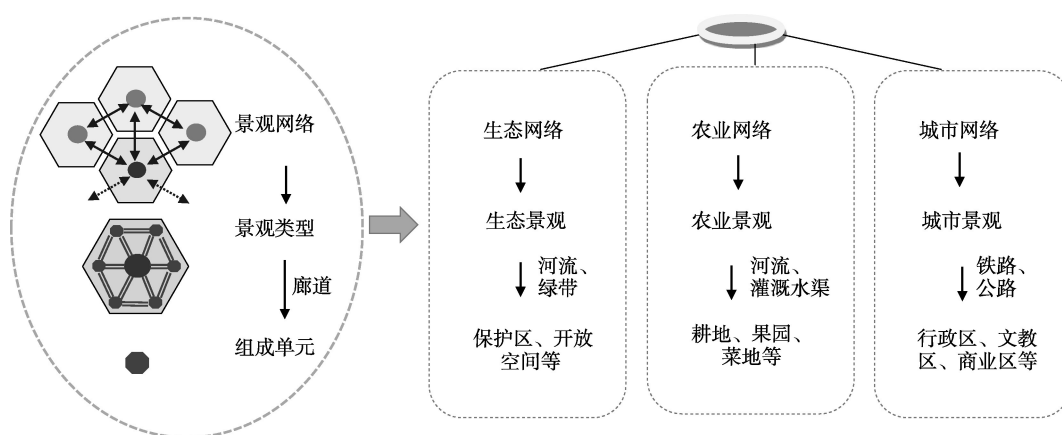


图2 景观网络结构

Fig.2 Network components of landscape

时提供自然资源与经济资源分配与调度的依据(张小飞等, 2009), 达到景观格局优化的目标。

## 2.4 不同景观类型间空间边界清晰, 过渡带景观功能退化

在自然景观结构中, 资源斑块的内在异质性有利于抵御环境的干扰, 提供抗干扰的恢复性(Forman et al, 1986), 从而使景观整体趋向动态稳定(Turner, 1987)。景观过渡带是体现景观功能稳定的特征之一(赵玉涛等, 2002), 景观的动态稳定可用来反映景观适应干扰的能力。景观生态学的众多研究证明, 过渡带或缓冲带具有较高的生物多样性和景观多样性价值(Fahrig et al, 2011)。但在人为活动主导的土地资源开发利用过程中, 土地利用分区是最常见的指导方式, 通过功能分区可有效提高土地利用效益, 实践亦证明其有助于初期农业、工业和城市的发展。基于部分景观类型间存在功能相互排斥的前提(Mander et al, 1995), 通过功能分区可保障人类特定主导经济发展需求的充分满足; 但明确的边界造成过渡带或缓冲带整体功能退化, 尤其对于区域环境净化、水土保持、气候调节及物种生存等非主导生态系统服务的维持已构成实质冲击。

在全球变化过程中, 自然环境的改变与社会经济活动皆是维持景观功能健全与稳定的重要因素。随着城市化进程不断加速, 城市边缘区域或生态功能缓冲带随时有可能因为区位或资源因素, 转变为城市景观的一部分, 进而与相邻的城市联接成为“城市带”或“城市群”, 扩展城市景观涵盖范围。针对功能过渡带或缓冲带丧失、生态系统服务功能下降等问题, 景观格局优化强调通过结合城市景观生态评估、生物或栖息地相关模型及生态经济系统

模型, 整合城市内部生态景观单元, 包括道路两侧绿带、农田、校园、公园、森林、草地、水域等, 从而在变化最小的前提下优化城市区域的景观功能。

## 3 研究展望

基于景观系统结构及功能特征, 景观生态适应性研究不仅须关注缓解全球变化对景观系统的冲击, 更强调个别景观单元在应对全球变化时发生的转变对系统整体的影响, 以及不同景观单元对系统整体发生转变时的时空响应, 通过掌握其间的变化趋势与关键环节, 明晰全球变化的景观生态适应机制, 将景观系统导向可持续发展目标。在全球变化强力作用下, 景观系统由于自身的空间分异与尺度间联系所产生的复杂性, 景观生态适应性随着时空尺度的差异具有不同的转变单元、规模、强度及方式。在全球变化与景观生态适应性的探讨过程中, 就景观系统自身, 当前景观生态学研究正尝试回答下述科学问题: ①全球变化过程中影响景观生态适应性的关键变量是什么; ②景观结构中, 哪一种单元、类型正对全球变化进行适应; ③景观单元或类型对全球变化的适应过程中, 可见的转变与不变的特征是什么; ④景观单元或系统对全球变化(风险)的适应方式为何, 例如主动适应、被动适应等; ⑤上述问题应如何科学合理地进行量化。

在适应性量化方法上, 景观生态学者将适应的过程视为景观格局与功能的变化或优化过程, 由于景观结构、功能及其间的复杂性与不确定性, 适应的过程及其转变趋势相对难以量化, 在地域分异与多重影响因子的作用下, 景观格局或功能的优化方



程多数以非线性特征体现(Nelson et al, 2007; Wilson et al, 2013);同时研究区的选择必须具有一定的典型性,通过大量相似研究区工作的积累,在整合研究区特性的同时,归纳其间适应机制。

通过适应性视角(图3)可有效地综合归纳气候变化、土地利用变化及人类活动等当前景观系统面临的主要驱动力,结合机理分析、时空格局特征、格局优化方案等显示景观系统应对全球变化过程的适应方式,进而在景观尺度有效地掌握系统整体面临的风险,如自然灾害、水土资源退化与高强度人类活动对不同时空尺度景观格局与过程产生的影响。基于景观系统多层次水平与跨尺度联系的特性,为推动景观系统适应全球变化研究,本文基于当前景观生态适应性认知,建议后续工作重点应关注不同尺度间自上而下及自下而上联系与转变规律的推演,通过量化景观基本类型、单元及系统整体的适应特性,构建基于保障生态系统服务的自上而下跨尺度的适应方案。

#### (1) 不同景观类型或组成单元的适应能力对比及其不确定性分析

就景观系统而言,不同景观类型、组成单元适应全球变化能力并不相同,在不同时间及空间尺度中亦表现出不同程度的转变,通过分析景观类型与组成单元的转变特征,有助于量化景观系统适应全球变化的响应趋势,进而说明系统整体乃至不同景观类型或组成单元的适应能力。同时,由于全球变化带来频发的极端气候事件等问题,景观生态研究在尝试归纳适应性特征时,不可避免地面临一定的非线性表现(Pelling et al, 2015),也为景观适应性研究带来许多无法明确量化的议题 (Burgman et al,

2005; Altamirano et al, 2012),例如不同时空尺度适应性的量化、适应性区间的判断、系统自身特性与其适应性限制,乃至其中的不确定性等。不确定性的存在一方面扩展了对景观系统适应范围的理解,另一方面也表明当前案例整理与量化方法的不足。有鉴于此,建议后续工作可对特定景观类型开展全球范围、特定组分局地范围的长时间案例比较研究,以提升对不同景观类型或组成单元的适应能力及其不确定性的认识。

#### (2) 基于景观系统整体健康的适应途径尺度联系解析

景观健康包含了对环境的影响和响应,景观格局与功能转变,以及社会—经济—自然复合生态系统的整合等内容(曹宇等, 2002)。在面临全球变化带来的环境灾害与风险时,景观适应的理念强调不仅是通过管理与控制,而是基于社会经济发展与生态功能保障目标,通过景观内部各个单元、组分自身的调整与优化,以关键且细微的变化获得未来个体生存、系统整体发展的最大利益。不同尺度的景观适应性存在尺度间的联系,基于特定的功能定位,不同的景观单元可通过自身于景观系统中的重要性与影响力,构建不同层次等级与空间尺度的功能廊道与节点,提出自上而下的优化策略,强化景观系统的适应能力。提升对适应途径尺度联系的理解,有助于在强化景观系统适应能力的同时,降低景观优化的经济成本与对本底环境的干预,如对小流域关键点的植被恢复,可降低流域的泥沙淤积、净化水质,进而提高其生态服务价值。因此,建议后续工作可基于景观系统整体健康视角,解析不同时空单元的环境灾害与风险等级,构建具有尺度联系的分等分级评估方案,作为适应途径的判定依据。

#### (3) 多学科、多部门在全球变化情景下的有效整合

全球变化的议题包含气候变化、社会发展、经济政策等不同层面,涉及个人、社会乃至全球尺度,甚至包含可预期的未来情景或不可预期的突发性事件,因而景观适应性的探讨包括了跨学科、跨部门相关理论与经验的归纳综合。在人为活动引导下,全球社会经济发展与生态环境问题的关联程度不断提升,景观系统对全球变化的适应取决于多学科、多部门的有效整合。景观格局、功能的优化涉及资源、能源、农业、环境保护、健康风险、教育、交通、社会救助、城乡发展、科技研发及国际合作等多

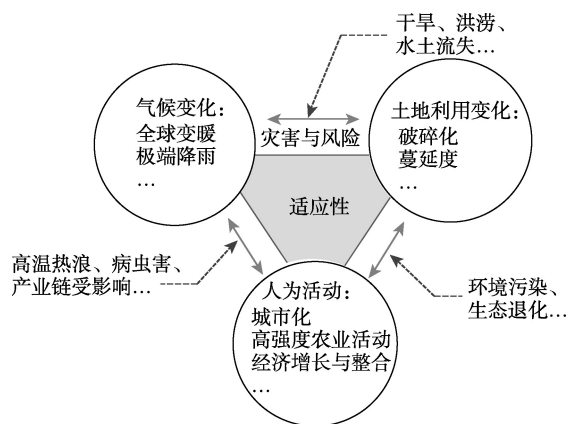


图3 景观系统适应性视角与全球变化

Fig.3 Adaptation of landscape system to global change

项内容,需要跨区域、多部门及不同研究领域的共同合作。以农业景观为例,其空间格局包含了单一作物的空间分布特征和多种作物组合形成的种植制度特征(唐华俊等, 2009)。在城市景观系统中,当前适应能力主要集中体现在基础设施健全及应急机制完备方面,以应对全球变化过程所带来的相关问题。由于当前的适应能力分析与适应管理的研究中,情景分析或预测是比较常见的方法,可帮助研究者或管理人员了解未来的气候特征、人口结构、农作物产量等情况,进而整合相关的信息,提出可行的处理方案(Karinen et al, 2010; Fuerth, 2011; Goudie, 2013)。对景观系统而言,适应性研究需要了解及掌握气候变化趋势与影响,以降低或改善人类活动对环境的负面影响,同时构建结合文化传承、产业发展、环境净化、气候调节、灾害防范及生境维持等多功能、多目标的土地利用方案,方可提升景观系统对全球变化的适应能力。通过掌握气候变化趋势,辨析特定地区或产业的特性,推导其对气候变化的响应,通过模型模拟探讨其未来状态,进而结合相似地区或相关部门管理与应对措施,强化系统整体应对全球变化的能力。

#### (4) 景观系统适应性或适应力量化分析方法的深化

全球变化的趋势及其影响日益显著,当前景观系统的适应性研究仍处于起步阶段,同时,景观系统包括生产力、恢复力、稳定性及其他与适应性相关的特征量化,乃至社会、经济及文化层面对全球变化的响应研究,仍有进一步提升的空间。适应能力的研究仰赖于长期且持续对全球变化风险不确定性的掌握及系统自身综合能力的提升,通过强化风险发生位置的判定与风险影响量化能力,有助于提升面对全球变化风险的适应能力。由于全球变化过程自身的复杂性与景观系统的多等级、跨尺度的特性,景观系统适应性的辨析需要整合大范围、长时间的趋势分析及突发事件冲击的影响等,加上当前数据精度的提升及数据量的增加,需要更明确的空间制图与更具有指示性的数量方法配合,因而量化分析方法的深化亦是提升景观生态系统适应性的关键因素。

#### 参考文献(References)

- 曹宇, 哈斯巴根, 宋冬梅. 2002. 景观健康概念、特征及其评价[J]. 应用生态学报, 13(11): 1511-1515. [Cao Y, Khasbagan, Song D M. 2002. A review on the concept, characteristic and assessment of landscape health[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 13(11): 1511-1515.]
- 陈利顶, 李秀珍, 傅伯杰, 等. 2014. 中国景观生态学发展历程与未来研究重点[J]. 生态学报, 34(12): 3129-3141. [Chen L D, Li X Z, Fu B J, et al. 2014. Development history and future research priorities of landscape ecology in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 34(12): 3129-3141.]
- 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 2001. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社. [Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. 2001. Jingguan shengtaixue yuanli ji yingyong[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 高峻, 宋永昌. 2001. 上海西南城市干道两侧地带景观动态研究[J]. 应用生态学报, 12(4): 605-609. [Gao J, Song Y C. 2001. Landscape dynamics of two-side lands along main urban roads in southwestern Shanghai[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 12(4): 605-609.]
- 胡兆量, 阿尔斯朗, 琼达, 等. 2006. 中国文化地理概述[M]. 2版. 北京: 北京大学出版社. [Hu Z L, Arsilan M, Qiong D, et al. 2006. Zhongguo wenhua dili gaishu[M]. 2nd ed. Beijing, China: Peking University Press.]
- 焦胜, 李振民, 高青, 等. 2013. 景观连通性理论在城市土地适宜性评价与优化方法中的应用[J]. 地理研究, 32(4): 720-730. [Jiao S, Li Z M, Gao Q, et al. 2013. The application of landscape connectivity theory in urban ecology suitability assessment and optimization[J]. Geographical Research, 32(4): 720-730.]
- 李伟峰, 欧阳志云, 王如松, 等. 2005. 城市生态系统景观格局特征及形成机制[J]. 生态学杂志, 24(4): 428-432. [Li W F, Ouyang Z Y, Wang R S, et al. 2005. Landscape pattern and their formation of urban ecosystems[J]. Chinese Journal of Ecology, 24(4): 428-432.]
- 李卫锋, 王仰麟, 彭建, 等. 2004. 深圳市景观格局演变及其驱动因素分析[J]. 应用生态学报, 15(8): 1403-1410. [Li W F, Wang Y L, Peng J, et al. 2004. Landscape spatial changes in Shenzhen and their driving factors[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 15(8): 1403-1410.]
- 林志垒, 沙晋明. 2002. 闽江下游地区景观空间格局及其变化[J]. 水土保持研究, 9(1): 126-128, 132. [Lin Z L, Sha J M. 2002. Spatial pattern of landscape in the lower reaches of the Minjiang River and its change[J]. Research of Soil and Water Conservation, 9(1): 126-128, 132.]
- 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 2009. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报, 64(12): 1411-1420. [Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. 2009. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J]. Acta Geographica Sinica, 64(12): 1411-1420.]
- 吕一河, 陈利顶, 傅伯杰. 2007. 景观格局与生态过程的耦合

- 途径分析[J]. 地理科学进展, 26(3): 1-10. [Lü Y H, Chen L D, Fu B J. 2007. Analysis of the integrating approach on landscape pattern and ecological processes[J]. Progress in Geography, 26(3): 1-10.]
- 马世骏, 王如松. 1984. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. 生态学报, 4(1): 1-9. [Ma S J, Wang R S. 1984. The social-economic-natural complex ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica, 4(1): 1-9.]
- 彭克强. 2008. 旱涝灾害视野下中国粮食安全战略研究[J]. 中国软科学, (12): 6-17, 36. [Peng K Q. 2008. Study on China's grain security strategy from the perspective of droughts and floods[J]. China Soft Science, (12): 6-17, 36.]
- 秦大河. 2008. 气候变化科学的最新进展[J]. 科技导报, 26(7): 3. [Qin D H. 2008. Latest progress on climate change research[J]. Science & Technology Review, 26(7): 3.]
- 秦大河. 2009. 气候变化: 区域应对与防灾减灾: 气候变化背景下极端事件相关灾害影响及应对策略[M]. 北京: 科学出版社: 16-17. [Qin D H. 2009. Qihou bianhua: Quyu yingdui yu fangzai jianzai: Qihou bianhua Beijing xia jiduan shijian xiangguan zaihai yingxiang ji yingdui celue [M]. Beijing, China: Science Press: 16-17.]
- 唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 等. 2009. 土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J]. 地理学报, 64(4): 456-468. [Tang H J, Wu W B, Yang P, et al. 2009. Recent progresses of land use and land cover change (LUCC) models[J]. Acta Geographica Sinica, 64(4): 456-468.]
- 王仰麟, 赵一斌, 韩荡. 1999. 景观生态系统的空间结构: 概念、指标与案例[J]. 地球科学进展, 14(3): 235-241. [Wang Y L, Zhao Y B, Han D. 1999. The spatial structure of landscape ecosystems: Concept, indices and case studies [J]. Advance in Earth Sciences, 14(3): 235-241.]
- 邬建国. 2000. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社. [Wu J G. 2000. Landscape ecology: Pattern, process, scale and hierarchy[M]. Beijing, China: Higher Education Press.]
- 杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 2011. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响: VI. 未来气候变化对中国种植制度北界的可能影响[J]. 中国农业科学, 44(8): 1562-1570. [Yang X G, Liu Z J, Chen F. 2011. The possible effects of global warming on cropping systems in China: VI. Possible effects of future climate change on northern limits of cropping system in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 44(8): 1562-1570.]
- 叶笃正, 季劲钧, 严中伟, 等. 2009. 简论人类圈: 在地球系统中的作用[J]. 大气科学, 33(3): 409-415. [Ye D Z, Ji J J, Yan Z W, et al. 2009. Anthroposphere: An interactive component in the earth system[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 33(3): 409-415.]
- 曾辉, 姜传明. 2000. 深圳市龙华地区快速城市化过程中的景观结构研究: 林地的结构和异质性特征分析[J]. 生态学报, 20(3): 378-383. [Zeng H, Jiang C M. 2000. Landscape structure study of Longhua area in Shenzhen City during the fast urbanization process: Structure and heterogeneity analysis of forest land[J]. Acta Ecologica Sinica, 20(3): 378-383.]
- 张津, 李双成, 王阳. 2014. 深圳市城市扩展预测与分区评价[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 50(2): 379-387. [Zhang J, Li S C, Wang Y. 2014. Prediction and zoning evaluation of urban sprawl in Shenzhen[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 50(2): 379-387.]
- 张兰生, 方修琦, 任国玉. 2000. 全球变化[M]. 北京: 高等教育出版社: 1-3. [Zhang L S, Fang X Q, Ren G Y. 2000. Quanguo bianhua[M]. Beijing, China: Higher Education Press: 1-3.]
- 张小飞, 李正国, 王如松, 等. 2009. 基于功能网络评价的城市生态安全格局研究: 以常州市为例[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 45(4): 728-736. [Chang H F, Li Z G, Wang R S, et al. 2009. Study on network analysis for urban ecological security pattern in Changzhou City[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 45(4): 728-736.]
- 赵玉涛, 余新晓, 关文彬. 2002. 景观异质性研究评述[J]. 应用生态学报, 13(4): 495-500. [Zhao Y T, Yu X X, Guan W B. 2002. Review on landscape heterogeneity[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 13(4): 495-500.]
- 郑度. 1994. 中国21世纪议程与地理学[J]. 地理学报, 49(6): 481-489. [Zheng D. 1994. China's agenda 21 and geography[J]. Acta Geographica Sinica, 49(6): 481-489.]
- 周广胜, 许振柱, 王玉辉. 2004. 全球变化的生态系统适应性[J]. 地球科学进展, 19(4): 642-649. [Zhou G S, Xu Z Z, Wang Y H. 2004. Adaptation of terrestrial ecosystems to global change[J]. Advances in Earth Science, 19(4): 642-649.]
- Adger W N, Vincent K. 2005. Uncertainty in adaptive capacity [J]. Comptes Rendus Geoscience, 337(4): 399-410.
- Altamirano A, Miranda A, Jiménez C. 2012. Uncertainty of landscape indices for spatial structure analysis[J]. Bosque (Valdivia), 33(2): 171-181.
- Andrén H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: A review[J]. Oikos, 71(3): 355-366.
- Barton B T. 2011. Local adaptation to temperature conserves top-down control in a grassland food web[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 278: 3102-3107.
- Burgman M A, Lindenmayer D B, Elith J. 2005. Managing landscapes for conservation under uncertainty[J]. Ecology, 86(8): 2007-2017.
- Conaway C H. 1971. Ecological adaptation and mammalian reproduction[J]. Biology of Reproduction, 4(3): 239-247.



- Cook E A. 2002. Landscape structure indices for assessing urban ecological networks[J]. *Landscape and Urban Planning*, 58(2-4): 269-280.
- Cubasch U, Wuebbles D, Chen D, et al. 2013. Introduction [M]//Stocker T F, Qin D, Plattner G K, et al. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, MA: Cambridge University Press: 121-151.
- Duan J Q, Zhou G S. 2013. Dynamics of decadal changes in the distribution of double-cropping rice cultivation in China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 58(16): 1955-1963.
- Engle N L, Lemos M C. 2010. Unpacking governance: Building adaptive capacity to climate change of river basins in Brazil[J]. *Global Environmental Change*, 20(1): 4-13.
- Fahrig L, Baudry J, Brotons L, et al. 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes[J]. *Ecology Letters*, 14(2): 101-112.
- Forman R T T, Godron M. 1986. *Landscape ecology*[M]. New York: Wiley: 64-72.
- Fuerth L. 2011. Operationalizing anticipatory governance[J]. *Prism*, 2(4): 31-46.
- Goudie A. 2013. *The human impact on the natural environment: Past present, and future*[M]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell: 833-838.
- Gray J M, Frolking S, Kort E A, et al. 2014. Direct human influence on atmospheric CO<sub>2</sub> seasonality from increased cropland productivity[J]. *Nature*, 515: 398-401.
- Hobbs R J, Saunders D A, Arnold G W. 1993. Integrated landscape ecology: A western Australian perspective[J]. *Biological Conservation*, 64(3): 231-238.
- Holland J H. 1976. *Adaptation*[M]//Rosen R F, Snell F M. *Progress in theoretical biology IV*. New York: Academic Press: 263-293.
- Jin T T, Liu G H, Fu B J, et al. 2011. Assessing adaptability of planted trees using leaf traits: A case study with *Robinia pseudoacacia* L. in the Loess Plateau, China[J]. *Chinese Geographical Science*, 21(3): 290-303.
- Jongman R H G, Külvik M, Kristiansen I. 2004. European ecological networks and greenways[J]. *Landscape and Urban Planning*, 68(2-3): 305-319.
- Karinen R, Guston D H. 2010. Toward anticipatory governance: The experience with nanotechnology[M]//Kaiser M, Kurath M, Maasen S, et al. *Governing future technologies: Nanotechnology and the rise of an assessment regime*. Dordrecht, Netherlands: Springer: 217-232.
- Klein R J T, Huq S, Denton F, et al. 2007. Inter-relationships between adaptation and mitigation[M]//Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, et al. *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press: 745-777.
- Li Z G, Liu Z H, Anderson W, et al. 2015. Chinese rice production area adaptations to climate changes, 1949-2010[J]. *Environmental Science & Technology*, 49(4): 2032-2037.
- Liu J G, Fritz S, van Wesenbeeck C F A, et al. 2008. A spatially explicit assessment of current and future hotspots of hunger in Sub-Saharan Africa in the context of global change[J]. *Global and Planetary Change*, 64(3-4): 222-235.
- Mander Ü, Kuusemets V, Ivask M. 1995. Nutrient dynamics of riparian ecotones: A case study from the Porijõgi River catchment, Estonia[J]. *Landscape and Urban Planning*, 31(1-3): 333-348.
- Marsha A, Steel E A, Fullerton A H, et al. 2018. Monitoring riverine thermal regimes on stream networks: Insights into spatial sampling designs from the Snoqualmie River, WA [J]. *Ecological Indicators*, 84: 11-26.
- Naveh Z. 2000. What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction[J]. *Landscape and Urban Planning*, 50(1-3): 7-26.
- Nelson D R, Adger W N, Brown K. 2007. Adaptation to environmental change: Contributions of a resilience framework[J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 32: 395-419.
- Otero I, Boada M, Badia A, et al. 2011. Loss of water availability and stream biodiversity under land abandonment and climate change in a Mediterranean catchment (Olzinelles, NE Spain)[J]. *Land Use Policy*, 28(1): 207-218.
- Pelling M, O'Brien K, Matyas D. 2015. Adaptation and transformation[J]. *Climatic Change*, 133(1): 113-127.
- Piao S L, Ciais P, Huang Y, et al. 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China[J]. *Nature*, 467: 43-51.
- Rowe J S. 1961. The level-of-integration concept and ecology [J]. *Ecology*, 42(2): 420-427.
- Seibert J, McDonnell J J, Woodsmith R D. 2010. Effects of wildfire on catchment runoff response: A modelling approach to detect changes in snow-dominated forested catchments[J]. *Hydrology Research*, 41(5): 378-390.
- Smit B, Skinner M W. 2002. Adaptation options in agriculture to climate change: A typology[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7(1): 85-114.
- Smit B, Wandel J. 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability[J]. *Global Environmental Change*, 16(3): 282-292.
- Turner M G. 1987. Spatial simulation of landscape changes in Georgia: A comparison of 3 transition models[J]. *Land-*



- scape Ecology, 1(1): 29-36.
- Wilson S, Pearson L J, Kashima Y, et al. 2013. Separating adaptive maintenance (resilience) and transformative capacity of social-ecological systems[J]. Ecology and Society, 18(1): 22.
- Ye Q, Yang X G, Liu Z J, et al. 2014. The effects of climate change on the planting boundary and potential yield for different rice cropping systems in Southern China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 13(7): 1546-1554.
- Yu D D, Lu N, Fu B J. 2017. Establishment of a comprehensive indicator system for the assessment of biodiversity and ecosystem services[J]. Landscape Ecology, 32: 1563-1579.
- Zalasiewicz J, Williams M, Steffen W, et al. 2010. The new world of the anthropocene[J]. Environmental Science & Technology, 44(7): 2228-2231.

## Characteristics of landscape system in the context of global change

CHANG Hsiao-fei<sup>1,2</sup>, PENG Jian<sup>2</sup>, WANG Yanglin<sup>2\*</sup>, WU Wenbin<sup>3</sup>, YANG Peng<sup>3</sup>, LIU Yanxu<sup>2</sup>,  
SONG Zhiqing<sup>2</sup>, HSUEH Ichen<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, Guangdong, China; 2. Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agri-informatics, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China; 4. Department of Ecoscience and Ecotechnology, Tainan University, Tainan 70005, Taiwan, China)

**Abstract:** Global change is an integral phenomenon including the impact of climate change, social development, land-use change, as well as other natural and anthropogenic effects and their interactions, which has become the most important driving forces of change in landscape systems. The adaptation of landscape system mainly involves absorbing the consequences of global change and maintaining the principal functions of landscape. This adaptive capacity encompasses different landscape types and components of the system and varying degrees of change in different temporal and spatial scales. From the perspective of landscape ecology, this study takes landscape systems as the main objects for alleviating and adapting to the risks and transformations of global change. We summarize the current adaptive characteristics of the landscape system by integrating relevant landscape research such as agriculture landscape and urban landscape. In the process of adaptation, landscape system shows the following characteristics: (1) The interactions and joint impacts of natural and anthropogenic factors are pronounced; (2) The internal geographic characteristics of landscape types are assimilated, and diversity and uniqueness of landscape systems are decreasing; (3) Landscapes functions are much more hierarchical, demonstrating clear division of responsibilities and more strength of cross-regional linkages in different spatial-temporal scales; (4) A clear spatial boundary exists between different functional landscape types, and the functional degradation of transitional or buffer zones has become more serious. Based on these characteristics, future work should focus on improving the following aspects to relieve the impacts of global change: (1) Adaptability and uncertainty analysis of different landscape types or units; (2) Cross scale adaptation approach analysis based on holistic improvement of system health; (3) Integration of multidisciplinary and multisector studies under the background of global change; (4) Promotion of quantitative analysis method of adaptability of landscape system.

**Key words:** ecological adaptation; landscape system; global change; agricultural landscape; urban landscape