



系统梳理综合自然地理学作为自然地理学独立分支在中国的起源及其综合视角、综合途径的演化历程;揭示中国综合自然地理学面向全球环境变化和可持续发展的应用方向及前景。

从自然区划、土地变化到景观服务： 发展中的中国综合自然地理学

彭 建¹, 杜悦悦¹, 刘焱序¹, 吴健生², 王仰麟¹

(1. 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;

2. 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, 深圳 518005)

摘要: 综合自然地理学作为自然地理学的一个独立分支在中国的兴起并非“伊萨钦科讲学”的偶然, 而是与之相关的理论体系构建、专业人员培养、中外历史传承及社会实践需求的综合结果。中国综合自然地理学发展一直以实践性为宗旨, 围绕着自然区划、土地变化、景观服务等不同的综合视角, 经历了从农业区划、生态区划到综合区划研究, 从土地类型、土地资源到土地系统研究, 从景观格局到景观功能与服务研究等主题的演进, 学科体系不断完善和深化。新形势下, 综合自然地理学将以人地耦合系统为研究对象, 以过程耦合、区域集成为综合方向, 以景观可持续性为重点领域, 以大数据及高新技术为方法支撑, 探索新的综合途径。

关键词: 综合自然地理学; 自然区划; 土地变化; 景观服务; 人地耦合系统; 景观可持续性

DOI: 10.11821/dlyj201710001

1 引言

综合自然地理学是关注不同自然地理要素相互作用规律, 对自然地域系统进行综合、整体研究的一门自然地理学分支学科^[1]。作为“探索自然规律、昭示人文精华”的地理学的有机组成^[2], 综合自然地理学秉承了地理学关注自然和人文要素相互关系的主题以及综合性、交叉性、区域性等特点^[3], 并侧重研究以自然结构为基础的自然地域不同尺度分异与组合的空间格局、演变过程、驱动机制, 揭示对人类生存的影响以及人类活动的反馈^[4], 从而在地理学学科体系构架中形成独到的学科特色。

综合自然地理学在中国自兴起以来就密切关注地域分异规律、自然区划、土地资源分类与评价、土地利用/土地覆被变化及景观格局与过程研究等, 为生产实践提供了强有力的理论和方法支撑。进入21世纪以来, 面临全球综合思潮愈演愈烈、多学科关联与跨

收稿日期: 2017-04-24; 修订日期: 2017-07-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41330747, L1624026); 中国科学院学部学科发展战略研究项目(2016-DX-C-01)

作者简介: 彭建(1976-), 男, 四川彭州人, 博士, 副教授, 研究方向为综合自然地理学。

E-mail: jianpeng@urban.pku.edu.cn

通讯作者: 王仰麟(1963-), 男, 陕西合阳人, 博士, 教授, 研究方向为综合自然地理学。

E-mail: ylwang@urban.pku.edu.cn

学科整合日趋流行、数据获取方式和研究技术手段快速更新、国际重大科学合作愈发频繁,以及资源稀缺和人地关系矛盾加剧、生态环境与社会经济的可持续发展前景堪忧的大背景,综合自然地理学研究呈现出前所未有的机遇和挑战。面对当下学科发展诉求和社会需求特征,有必要系统梳理学科起源、发展脉络、战略方向,厘清新时期中国综合自然地理学的学科发展过程与方向,以期探求其服务实践、经世致用的新高度。基于此,本文围绕综合自然地理学在中国的源起及其综合视角、途径的发展历程展开相关讨论。

2 综合自然地理学在中国的兴起:偶然或必然?

作为自然地理学的重要分支,综合自然地理学着重研究自然地理环境各组成要素间的物质能量关系,阐明自然地理环境的历史形成、现代过程、类型结构、地域分异和发展演变^[1,5]。作为基于部门自然地理学的自然地理环境系统研究,综合自然地理学在中国的兴起看似偶然,实则必然。

20世纪50年代末期,前苏联地理学家A. R. 伊萨钦科来华讲学,先后在北京大学和中山大学系统介绍了有关地理壳、自然区划和景观学的进展,其讲稿由李世芬翻译成中文并由高等教育出版社以《自然地理学原理》为名出版。在林超教授领导下,讲学进修班经集体讨论确定了“综合自然地理学”的学科名称^[6,7],综合自然地理学由此在中国诞生。但需引起注意的是,在伊萨钦科访华之前,国内老一辈地理学家即已从事自然地理的综合研究工作,如黄秉维在20世纪30年代编撰了《自然地理原理》和《中国地理》等,周廷儒在20世纪30-40年代开创对历史时期环境变化的综合研究^[7],为综合自然地理学理论体系的引入与吸收进行了很好的专业人员铺垫。

因此,综合自然地理学在中国的形成和发展绝非“伊萨钦科讲学”的偶然,而是一个循序渐进、水到渠成的必然结果^[5,8]。一方面,中国综合自然地理学研究根植于中国古代地理学天人合一的人地协调理念,经历了20世纪初西方近代地理学“原始综合—地理学大分化—地理学新综合”发展沿革的传入,承继了前苏联地理学自然综合体思想和自然地带学说的深刻影响;另一方面,密切结合建国初期摸清资源本底、发展农业生产的经济建设需求,同时还得益于中国老一辈地理学家的长期努力(图1)。自伊萨钦科来华讲学后,中国的地理学综合研究与应用在“综合自然地理学”这一学科理论框架下迅速发展。此外,中国地域广大,自然要素差异性,也为综合自然地理学的发展提供了典型而多样的区域空间背景。因此,中国的综合自然地理学在广泛继承的基础上结合本国国情和实践需要进行创新,比欧美学派的土地系统研究和俄罗斯学派的景观学具有更丰富的综合

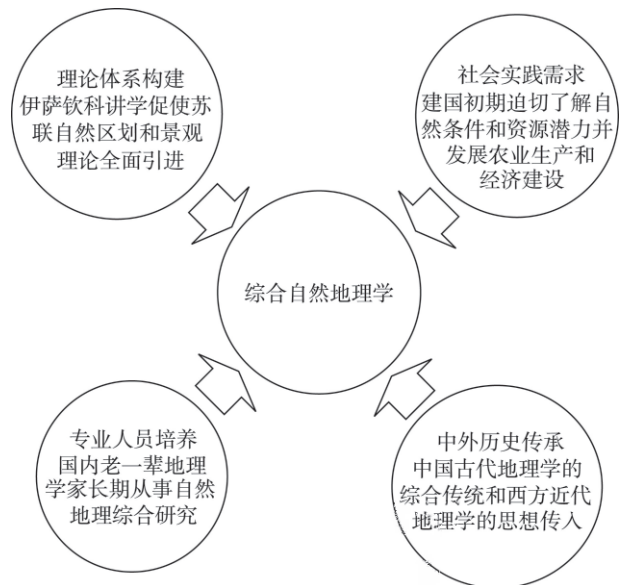


图1 综合自然地理学在中国的源起

Fig. 1 The origin of integrated physical geography in China

内涵,在科学和社会中起着更大的作用^[8]。

3 自然地理综合视角发展:从自然区划、土地变化到景观服务

综合自然地理学强调自然地理环境的综合特征解析,综合的视角作为学科发展的核心载体至关重要。面向中国社会经济发展的重大需求,自然地理综合的视角经历了从表征区域综合的自然区划,到表征类型和要素综合的土地变化、景观服务的发展历程。尽管不同时段学界主流关注热点有所差异,中国的综合自然地理学者一直尝试并坚持“在分析的基础上综合、在综合的指导下分析”,运用“自上而下的演绎方法和自下而上的归纳方法相结合的综合研究方法”,认真剖析自然地理综合的不同载体所关联的诸多综合自然地理研究命题^[8,9]。

3.1 自然区划研究:从农业区划、生态区划到综合区划

新中国成立后,迫切的社会生产实践需求和地理学的区域地理传统使得中国的自然地理综合研究率先从区域综合视角开始,着力关注自然区划研究。为适应经济建设、认识自然条件和资源潜力、优化农业生产布局,在全国开展大范围、逐级深入的综合科学考察,先后建立各类观测网站,全面系统地积累了大量科学资料,并以此为基础开展了多次大规模的综合自然区划。在综合自然地理学者的参与下,中国综合自然区划工作取得长足发展,并经历了“农业区划—生态区划—综合区划”等重要发展阶段^[5]。

具体而言,20世纪50年代,以服务农业生产布局为目标,全国先后形成林超、罗开富、黄秉维、任美镔、侯学煜、赵松乔、席承藩等若干综合自然区划方案^[10-16],推动了当时农、林、牧、副、渔业的发展和农业自然资源的综合利用。自20世纪90年代,基于生态建设和环境保护的需求,引入生态系统观点、生态学原理和方法,相继开展了生态地理地域系统研究^[17]、生态区划^[18,19]和生态功能区划^[20],为土地生产潜力的提高、自然保护区的选择与规划、区域生态安全保护等提供了科学依据。继生态地理区域系统研究之后,随着地球系统科学和可持续发展研究的深入,自然要素和社会经济要素的有机融合成为新世纪以来综合区划研究的鲜明特色,典型代表即为中国主体功能区划,统筹考虑全国人口分布、经济布局、国土利用和城镇化格局^[21]。蔡运龙等开展的中国地理多样性与可持续发展研究^[22],亦重点关注基于自然区域划分的综合区划。总体而言,中国的自然区划具有区划要素类型多样、空间单元及其尺度系列完整、应用领域广泛、影响决策明显、服务对象和领域明确等特点,在国际上居于领先地位^[23],而地表自然功能动态区划及可视化、生态地理分区优选、过渡界线识别等已成为当前综合自然区划研究的重要方向^[7,24-26]。

3.2 土地变化研究:从土地类型、土地资源到土地系统

随着综合自然区划工作的深入开展,小区域、小尺度的自然地理综合分析研究在精确化、实用性方面被提出更高的要求。土地作为地貌、岩石、气候、水文、生物等要素组成的自然地理综合体,兼具社会经济特性,毋庸置疑是综合自然地理的基本研究对象之一。中国有世界上最悠久的土地利用历史和最丰富的土地类型,在全球土地变化研究中的地位非常突出^[7]。近50年来,中国土地变化研究总体表现为从强调自然基底要素表征的土地类型制图,到面向人类利用的土地资源分类和可持续利用评价,再到关注人对自然的作用及反馈的土地系统研究(图2)。

20世纪70-80年代,中国以土地类型为自然地理综合视角的研究在自然区划工作的推动下逐渐发展^[27]。从综合自然区划到土地类型的发展恰恰是综合自然地理学的深化过

程，土地类型研究对于综合自然区划的局部环境单元组成、分布格局等形成了重要补充。更确切地说，开展土地类型研究是自下而上开展综合自然区划的空间基础和基本途径^[28]。在汲取前苏联景观学方法论精髓和英、澳等国土地综合研究方法的基础上，关注土地自然结构、资源结构和利用结构，中国相继形成了一系列土地类型制图成果，如《中国1:100万土地类型图》《中国1:100万土地资源图》《中国1:100万土地利用图》等。各省区也相继开展省区与重点地区不同比例尺土地类型图的编制^[29]。

20世纪80-90年代，土地研究的焦点转移到土地资源分类与评价方面，典型成果则是第一次全国土地资源大调查，形成了《中国土地资源》《中国土地资源调查技术》《中国土地资源调查数据集》等国家级成果。景贵和、申元村、傅伯杰、李孝芳、倪绍祥等对土地资源评价方法的探讨^[30-34]，有力推动了中国土地资源评价的定量化发展。进入20世纪90年代，随着申元村、陈百明、石玉林等的开拓性研究^[35-37]，土地资源生产力及人口承载力成为土地资源评价的重要内容；基于土地资源评价，进而形成城镇土地、农用地分等定级与估价等土地科学重要研究方向。同时，随着1990年土地持续利用思想的系统提出，张凤荣、傅伯杰、戴尔阜等相继围绕土地持续利用内涵、评价、规划与管理，尤其是核心评价指标体系开展了大量的理论方法与个案研究^[38-40]。土地可持续利用评价成为20世纪末期中国土地类型拓展研究的热点方向之一。

21世纪初，土地利用/土地覆被变化（LUCC）研究成为中国综合自然地理学研究的热点领域。围绕着LUCC的特征、过程、机理、后果及未来情景，李秀彬、傅伯杰、史培军、蔡运龙、刘纪远等在动态监测、驱动机制、生态效应、情景模拟等方面开展的大量开拓性研究^[41-45]，极大地推动了中国LUCC研究的深化。LUCC研究作为综合自然地理学研究的重要组成和支撑，集中体现于LUCC研究在日臻完善的发展中以土地系统为土地变化问题的核心，聚焦土地系统变化的结构与功能耦合、多尺度特征与尺度推绎过程以及可持续发展目标。具体而言，土地系统通过土地利用和土地覆被分别关联人类社会系统和自然生态系统，体现出系统结构和功能的双重变化。土地系统结构变化主要涉及土地系统单元数量、质量、格局的动态监测与评价，通过土地系统“空间格局”与“时间过程”特征的集成，揭示其“变化过程的格局”及“格局的变化过程”^[44]；土地系统功能变化主要涉及土地利用/土地覆被变化所产生的生态环境影响，尤其是生态系统服务变化^[42,46-48]以及综合生态风险的响应及其防范^[49,50]。土地系统动态研究致力于在“压力—状态—响应”范式下还原和解释“人类驱动—LUCC变化—区域响应—环境反馈—决策调整”的过程^[51]，以及从人类社会影响自然生态而可能导致的土地系统的脆弱性（vulnerability）向弹性（resilience）、可持续性（sustainability）的状态转变^[52]。由于土地系统动态过程在不同的时间和空间尺度发生、作用和演变，因而面对高层次的LUCC变化是低层次LUCC变化的累积和综合、宏观尺度特征从本地过程中涌现等规律，特征尺度与

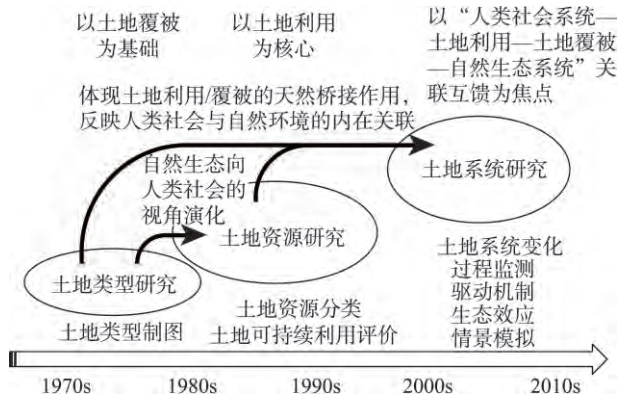


图2 从土地类型到土地资源、土地系统的土地变化研究视角演化
Fig. 2 Perspective evolution of land change research from land type to land resource, and land system

尺度推绎被当前土地变化研究高度关注^[41,48,53]。

作为全球变化的重要组成部分，LUCC和土地系统动态研究牵涉到多种陆地表层物质循环与生命过程，如生物圈—大气交互作用、生物地球化学循环等。伴随着综合自然地理学者全球视野的开放和LUCC尺度效应研究的深入，更宏大尺度的陆地表层系统过程和格局研究或将成为土地系统动态研究的拓展方向。当前，中国综合地理学者已经开始关注冰冻圈过程及效应、流域生态水文过程、青藏高原地—气耦合系统变化及其全球气候效应等^[54]。随着地理学研究方法与技术的革新，以及对陆地表层地理现象过程和机理认识的逐步深化，多圈层要素耦合的地球系统模式研发将成为可能^[2]。

3.3 景观服务研究：从景观格局到景观功能与服务

作为地理学与生态学的交叉学科，与综合自然地理学同根同源的景观生态学在中国的快速发展离不开综合自然地理学者的积极参与。从20世纪80年代初开始，林超、黄锡畴、肖笃宁、傅伯杰、陈昌笃、景贵和、李哈滨等率先将景观生态学原理与方法引入国内^[55]，标志着自然地理综合研究视角从土地向景观的拓展。景观生态学在国内学界的接受和发展过程实则是对土地系统研究的继承和深化，景观生态学的基本理论也为土地类型和土地变化研究提供了新思路（图3）。景观生态学因而带有浓重的综合自然地理学色彩^[7]，二者既有学科理论和研究视角的不同侧重，又有主题关注的内在交集。从研究对象看，景观生态学的核心——景观与综合自然地理学的焦点——土地都有地域综合体的含义，且景观结构、功能、动态研究与土地利用结构、土地功能、土地利用变化研究具有空间实体的相似性；从学科发展看，景观生态学的产生始于Troll利用航片对东非土地利用的研究，现在仍注重土地利用对物质流和能量流的影响以及结构和过程的相互关系分析^[56]；从学科视角看，景观生态学同样强调综合自然地理学的要素关联、过程综合、区域集成，而独具特色的景观格局与生态过程耦合则为综合自然地理学提供了新的综合视角。此外，景观生态学的生态整体性与空间异质性理论、等级尺度理论、景观变化与稳定性理论等均在土地利用空间规划中得以应用，亦加深了综合自然地理学者对土地可持续利用内涵的理解。

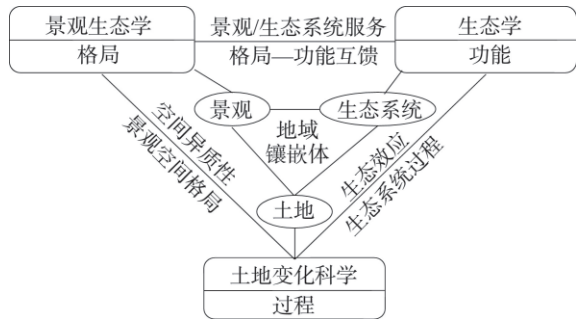


图3 综合自然地理学研究视角从土地向景观的演化基础

Fig. 3 The basis for perspective evolution of integrated physical geography research from land to landscape

20世纪末，景观生态学侧重基础理论与方法研讨^[57-59]。伴随着LUCC研究计划在中国的推进，基于景观格局指数的景观格局演变及其驱动力分析提供了综合自然地理学者解析土地利用变化的空间途径^[60-62]。2000年以来，景观指数的尺度效应、景观指数相关性及其生态意义、空间格局表征有效性等受到高度关注^[63]。围绕着景观格局与生态过程的相互关联，基于“源—汇”景观理论的景观空间负荷对比指数^[64]、景观格局与生态过程耦合研究框架^[65]等概念的提出，则为景观格局与功能互馈研究提供了可行的定量分析途径。

景观生态学在发展中既有传统领域的坚守又有新兴领域的探索，表现之一即为国内学者对景观服务（landscape service）的持续关注。景观服务研究随着生态系统服务研究的深入而拓展，是当前景观生态学与可持续性科学的热点研究领域之一^[66,67]。生态系统服务作为桥接自然生态系统与人类福祉的桥梁，核心是自然生态系统，侧重于围绕地形、

水文、植被、土壤等自然背景,以及生物与生物、生物与环境相互作用的生物物理过程来讨论服务的产生并评估其人类福祉效用^[68]。景观本身就是一个社会—自然耦合系统,因而景观服务更多关注人类活动与自然过程的相互响应,讨论人类通过改变土地利用/土地覆被直接或间接促使景观变化、多功能化所带来的附加生态、社会和经济价值^[67]。相比于生态系统服务,景观服务的概念强调了空间格局和景观要素空间配置的重要性,具备地方、利益相关者以及环境互相匹配的相关性和合理性,更容易被人类感知。景观作为不同类型生态系统组成的、具有重复性格局的异质性综合土地单元,是探索人类活动对土地利用/覆被变化影响、探究人类—自然耦合系统演变机理和过程的最佳视角。

作为综合视角下的景观生态学热点研究方向,景观服务研究的内容方法和应用指向与综合自然地理学高度融合,在景观服务分类、评估、制图、模拟研究中均有多方面体现:如景观服务评估研究采用的生态系统服务地理学框架^[69]、生态足迹和能值分析方法、InVEST模型、问卷调查和PGIS手段大多来源于综合自然地理学既有研究体系,并在继承中有所发扬;景观服务制图研究通过对特定时空尺度景观服务综合特征的可视化,方便决策者进行土地利用和景观规划决策,满足于综合自然地理学的服务目标;景观服务模拟研究基于LUCC的情景分析,假设不同生态系统管理策略和社会经济发展情景下的土地利用/土地覆被变化预案,讨论如何优化土地利用格局以实现景观服务的持续供给、如何权衡单一景观服务以实现整体效用最大化^[70],不仅联动了景观、土地、生态系统等多种研究视角,也促进了自然地理综合研究与可持续性科学的接轨。景观服务分类、评估、制图、模拟集成的一个典型方面,则是景观多功能性和多功能景观的研究^[71,72]。在景观服务系列研究中,评估同一空间多个时序的景观服务动态变化,探析服务供给区和服务受益区之间的景观服务流传递特征,理解不同景观服务权衡或协同的内在机理和形成过程,优化多功能景观和景观服务簇成为当前需要重点突破的研究方向。

4 中国综合自然地理学发展:寻求新的综合途径

综合自然地理学是将自然环境整体的综合特征作为研究对象的一门地理学分支学科。中国综合自然地理学在60余年的发展历程中,围绕自然区划与生态区划、LUCC与土地系统、景观格局、功能及服务为主题,重点关注农牧交错带、青藏高原、黄土高原、黑河流域、喀斯特地区等典型自然地域及京津冀、长三角、珠三角等城市群,结合国民经济建设的实践需求,形成了自然地域系统动态区划、土地资源评价与可持续土地利用管理、生态系统服务综合评估与区域集成等理论与方法创新。这些研究成果有效促进了部门自然地理学之间的联系,指引着自然地理学综合发展方向^[4]。当前,中外自然地理学研究热点趋向一致,而国内研究的区域特色更加鲜明^[2]。伴随着综合视角的变化,综合自然地理学在成长和发展过程中积极寻找新的综合途径,但唯一不变的是服务国家社会需求的宗旨和目标,以及“综合”的理念与理论体系。正如林超先生所言,任何时代的科学思想都是历史的产物,也都是那个时代的产物,相应的科学成果也正反映了当前的科学思潮和当代的社会需要^[73]。中国综合自然地理学历久弥新的发展源动力,恰恰在于时代背景的变迁。气候变化和快速城市化背景下人口、土地、资源、环境关系紧张,生态文明建设和可持续发展呼声渐高,地理学工作者不断面临新的挑战、接受新的使命;同时,信息化时代科学技术的进步和国内外广泛的思想交流为发现和解决科学问题提供了可能;以服务国家和社会需求为首要宗旨的中国综合自然地理学因而兼备了传承与更新的必要性和可行性。

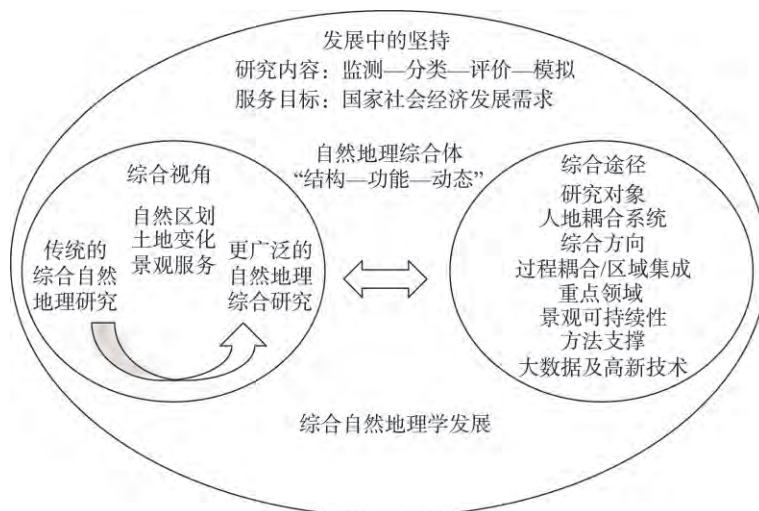


图4 综合自然地理学发展视角与途径

Fig. 4 The perspective and approach for the development of integrated physical geography

综合自然地理学发展需要重点关注综合视角和综合途径的更新(图4),前者着力于研究主题的拓展,后者则体现了研究思路、方法和过程的演化。综合视角的确立激发了为达到研究目标而寻求相应综合途径的探索过程,先进的综合途径和实施手段则有利于挖掘和定位下一阶段更深层次的综合视角,从而形成正反馈。从关注自然区划、土地变化到景观服务,传统的综合自然地理研究向更为广泛的自然地理综合研究发展,综合自然地理学趋向于发展为综合地理学^[3,74]。纵观综合自然地理学发展与演化的时代背景,全球环境变化和可持续发展是当今人类社会面临的两大重要问题。围绕着自然地理综合体结构、功能、动态等模块,开展监测、分类、评价、模拟系列工作;新时期的综合自然地理学以人地耦合系统为研究对象,以过程耦合、区域集成为综合方向,以景观可持续性为重点领域,以大数据及高新技术为方法支撑,时刻关注地理要素和地理综合体的空间异质性、时间演变规律及区域集成特征,积极探究地表系统复杂性问题及其形成机制,服务于国家资源、环境和社会经济的可持续发展。

4.1 研究对象:人地耦合系统

早期综合自然地理学的对象集中被表述为地球整体或特定地区自然界各个要素组成的“自然地理系统”的综合特征。然而,随着学科的发展和研究的深入,该界定已经逐步不能适应“人地关系”命题。综合自然地理学面临的问题正在由自然因素引发的环境变化转变为人类因素引发的环境退化,人地关系的解读也相应经历了地理环境决定论、人类决定论、人地协调论等不同阶段与流派;尤其是20世纪90年代以后,可持续发展思想的引入提供了诠释人地关系理论的新视角,人地关系地域系统^[75]、人类—自然耦合系统^[76]、社会—生态系统^[77]被确立为综合自然地理学的研究对象;人地系统优化机理及方法论探讨不断深化,并形成国土资源开发与承载力评估、全球环境变化及其区域响应、未来地球与可持续性转变等人地耦合系统研究与应用的重点领域。与此同时,伴随着利益决策或调控反馈过程的多样化和不确定性,地理现象的非线性、自组织复杂性特点被放大,人地耦合系统问题复杂、无唯一解(wicked problem)而非可驯、有简单解(tame problem)成为无法回避的客观事实,在认识(awareness)、接受(acceptance)、适应(adaptation)的基础之上开展可实践性研究也日益为地理学者达成共识^[78]。

随着对人地耦合系统的重视和强调,自然地理学开始关注人类活动对于自然地理要素及地理综合体的影响,并吸收人文地理学的若干思想理论和方法途径。在必须同时考虑人地耦合系统演化的自然与人文驱动因素背景下,综合自然地理学逐渐趋于走向综合地理学,并开展了更为广泛的综合研究^[79]。这一发展趋向和学术演进背景有迹可循:从20世纪80年代钱学森先生倡导建立地球表层学,到90年代中期黄秉维先生提出“陆地系统科学”的理论体系^[80-82],再到2012年12月“未来地球(Future Earth)”框架文件发布,关注地球表层的自然和社会、自然地理学和人文地理学合作解决资源生态环境问题、以人类社会可持续发展为核心开展自然科学和社会科学合作的呼吁相继被提出^[83],对中国综合自然地理学的发展与演化形成启发^[84]。关注人地耦合系统、自然地理学和人文地理学互相补充的思路正在国际上被认可和鼓励,如美国国家科学基金会的资助不再单分自然科学和人文科学,其研究计划强调“人与自然耦合系统的集成研究可以揭示新的、复杂的格局和过程,而单独的自然科学或者社会科学的研究不能揭示这种规律”^[83]。可以说,自然地理学不考虑人类的活动和人文地理学忽视自然生态基础都将成为各自学科孤立发展的致命弱点,当代地理学的基本特点共同指向统一地理学、全球地理学、有人的地理学^[75]。因此,面临中国城镇化时代背景下人地关系的严峻态势,综合自然地理学深入解析人地耦合系统特征,逐渐生态化、城市化、人文化(社会化),高度关注城市地域的自然地理综合研究,并趋向于综合地理学;同时,将借力于数学、物理学、化学、生物学、经济学、社会学等其他学科的理论方法、分析手段和数据来源,通过跨学科研究解决资源环境和全球变化等更深层次的综合问题,以更好服务于国家和社会需求^[85]。

4.2 综合方向:过程耦合和区域集成

综合自然地理学关注要素关联、过程耦合、区域集成的地理综合三要素,目前正从“整编式”的综合走向系统综合与集成。自然要素整编式的综合思路在18世纪末到20世纪中期地理学大分化前后尤为突出,随后“综合自然地理学不是对部门自然地理学的简单叠加”渐成共识^[1]。黄秉维基于要素分析并将地表物理、化学、生物过程综合以解决自然地理学问题的观点^[82],突破了描述性的、以要素为主体的传统综合研究模式,为当时中国综合自然地理学研究的深入探得新路^[5]。随着系统论的兴起、陆地系统科学的提倡和人地耦合系统理念的繁盛,综合自然地理学工作者愈发认识到地球表层是一个复杂巨系统,需要用“系统”的观点、理论和方法来探究自然要素之间及其与人文要素之间的相互作用规律,综合自然地理学的“要素整编式”综合逐步走向“要素—格局—过程—区域”的系统综合^[86,87]。

系统综合与集成研究包括历史数据和资料的集成,要素及要素作用的集成,对系统中各种区域变化状态的相互关系的集成、区域集成等。同时,系统综合与集成的分析基础,在于建立时间—空间转换思路、格局与过程耦合思路、区域差异与关联思路^[87]。其中,格局与过程耦合是自然地理学综合研究的重要途径,也是地表过程系统研究的重要突破点。格局反映自然地表及人文现象分异,过程显示各种地理现象和生态环境状况的时空演变;格局反衍过程,过程反衍机理,机理揭示规律^[88]。而格局与过程的耦合,具体可以通过直接观测和系统分析模拟两种途径实现^[86]。

目前,以岩石圈、大气圈、生物圈、水圈交互作用形成的地球关键带(Earth Critical Zone)为切入点,格局与过程耦合的空间维度特征得以拓展:诸多生态过程、生物地球化学过程和人文过程不仅横向覆盖地表不同生态系统类型,还囊括纵向上自植物冠层向下穿越,经土壤层、非饱和包气带、饱和含水层达到下边界的深层地下水^[89]。岩石—

土壤—植物亚系统的三维特征关联着从微观到宏观的地下、地上格局与过程;与土地利用、城市化等有关的人类活动则作为社会—生态过程的一部分,直接影响关键带的景观格局、生态系统服务与人口承载,进而加剧关键带的垂直变异性,并作用于关键带区域的可持续发展。地球关键带因而成为自然地理过程从水平方向到垂直方向综合,以及人与自然垂直关联的重点方向。

4.3 重点领域:景观可持续性

在全球一体化时代,全球变暖、全球环境变化、经济全球化、地缘政治变化等影响地球地表系统,对各国生态环境、社会经济发展和居民健康产生显著冲击。为保障资源、环境与生态安全,推动跨学科研究集成,促进科学共识对决策共识的应用性支撑,IGBP、IHDP、WCRP、DIVERSITAS、ESSP、Future Earth等一系列国际重大科学计划相继开展,为寻求地球系统可持续途径而努力。在可持续发展的全球呼声中,可持续性科学(Sustainability Science)于21世纪应运而生^[90]。景观和区域不但是可持续性科学研究最可操作的空间尺度,同时也是上通全球、下达地方的可持续性科学研究枢纽尺度。景观可持续性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;景观可持续性科学则被定义为“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”^[91]。景观可持续性理论内涵的关键在于理解生物多样性、生态过程、气候变化、土地利用变化以及其他经济社会驱动因素对景观格局的影响,以及内外干扰下景观格局如何长期维持景观服务和人类福祉的关系,从而通过“格局—过程—设计”范式提供将科学理论与景观变化实践相连接的可行途径^[66]。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,是当前综合自然地理学发展的新动向和领域延伸,而景观服务可以成为景观可持续性理论和人类福祉提升实践的中枢纽带。

景观可持续性研究以景观为载体,以可持续性作为要素关联、过程综合、区域集成的核心概念,尤其强调地理学、生态学、社会学等多学科、跨学科的综合。因此,景观可持续性不仅提供了人类与自然耦合、和谐相处、可持续生态系统服务供给的目标导向,还指出了实现这一目标的空间途径。以自然地理综合研究问题的脆弱性、弹性、惯性、阈值为切入点,通过适应性管理和社会学习来寻求环境保护、经济发展、社会平等多目标协同的景观途径,不失为解决自然地理综合研究所面临的棘手抗解问题(wicked problem)的新思路^[78,92]。整体来看,景观可持续性的理论内核涵盖了海绵城市、城市适应气候变化、社会—生态系统恢复力测度、生态风险适应、生态安全格局优化、自然灾害脆弱性防范、生态文明建设等当前自然地理综合研究的热点方向,并与“未来地球”国际研究计划中的十大科学问题、三项研究主题相契合^[9]。因此,景观可持续性研究能够有效促进自然地理综合研究与可持续性科学的接轨,为综合自然地理学提供新思路,向着“景观格局—景观服务—人类福祉”耦合联动的方向发展。

4.4 方法支撑:大数据及高新技术

从传统的综合自然地理研究过渡到更广泛的自然地理综合研究,数据、方法和技术进步是综合自然地理学传承与更新的基础支撑。在集成原有优势的前提下,传统的勘察、观测、记录、制图、区划与规划逐步被当代空间统计、对地观测、GIS、模型模拟、决策系统所替代^[2]。自然地理过程研究的各种测量技术如全球定位系统、电子扫描显微镜、侵蚀测量、模拟分析等有利于自然地理学研究主题和内容的细化,为地理现象过程与机制的深化认识提供可能^[93]。遥感和GIS技术的革新则为测量、分析和可视化地理数据,以及提出和回答新的科学问题提供了创新机会。

随着“互联网+”时代的到来,大数据也为地理学研究的深化和从地理学视角解决社会需求问题提供一种新的思路 and 模式^[94,95]。自然地理研究中的大数据源主要包括遥感大数据、地面传感大数据、地理成果累积数据,对地观测和自动感知是其主要生产方式^[96]。近年来兴起的自发地理信息(Volunteered Geographic Information, VGI)和公众参与式地理信息系统(Public Participation GIS/Participatory GIS, PPGIS/PGIS),也弥补了综合自然地理学传统数据源无法有效感知社会经济环境的不足,一定程度上打破了自然地理、地图学与地理信息系统关注“空间”(Space)而人文地理偏重“场所”(Place)的界限,有利于综合自然地理学趋向于综合地理学的发展。在大数据时代背景下,自然地理研究将向数据密集型范式转变,包括美国地质调查局模块式科学框架与“数据—信息—知识”工作流程在内的国际科学战略可为国内学者提供参考^[97]。通过把研究对象由传统的样本数据重新定义为总体数据,借助海量连续数据的交换、融合、匹配及交叉学科的联合分析,实现科学和技术的新发现,用以解决中国的城市化、气候变化、生态系统健康、环境容量、自然灾害、资源能源可持续性问题^[98]。在这一背景下,地理学研究势必实现新的综合,应用地理学得到发展,研究队伍结构将更加多元化,众包研究或成为新的方式^[93,96]。大数据使用过程中应对数据的代表性有充分认识,集成多源数据交互验证,相关机构和部门应促进数据开放共享,规避新地理学(Neogeography)时代源于数字技术使用有效性而产生的数字鸿沟^[93]。

参考文献(References)

- [1] 刘胤汉,岳大鹏.综合自然地理学纲要.北京:科学出版社,2010. [Liu Yinhan, Yue Dapeng. Essentials of Integrated Physical Geography. Beijing: Science Press, 2010.]
- [2] 傅伯杰,冷疏影,宋长青.新时期地理学的特征与任务.地理科学,2015,35(8): 939-945. [Fu Bojie, Leng Shuying, Song Changqing. The characteristics and tasks of geography in the new era. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(8): 939-945.]
- [3] 郑度.关于地理学的区域性和地域分异研究.地理研究,1998,17(1): 4-9. [Zheng Du. A study on the regionality and regional differentiation of geography. Geographical Research, 1998, 17(1): 4-9.]
- [4] 倪绍祥,查勇.综合自然地理研究有关问题的探讨.地理研究,1998,17(2): 112-118. [Ni Shaoxiang, Zha Yong. A preliminary study on some issues in the study of integrated physical geography. Geographical Research, 1998, 17(2): 112-118.]
- [5] 杨勤业,郑度,吴绍洪,等.20世纪50年代以来中国综合自然地理研究进展.地理研究,2005,24(6): 899-910. [Yang Qinye, Zheng Du, Wu Shaohong, et al. Review and prospects: Integrated physical geography in China since the 1950s. Geographical Research, 2005, 24(6): 899-910.]
- [6] 陈传康.中国自然地理学的发展.见:苏泽霖,陈金永.地理研究与发展.香港:香港大学出版社,1993: 337-344. [Chen Chuankang. The development of Chinese physical geography. In: Su Zelin, Chen Jinyong. Geographical Research and Development. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1993: 337-344.]
- [7] 许学工,李双成,蔡运龙.中国综合自然地理学的近今进展与前瞻.地理学报,2009,64(9): 1027-1038. [Xu Xuegong, Li Shuangcheng, Cai Yunlong. Recent progress and prospect of integrated physical geography in China. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(9): 1027-1038.]
- [8] 蔡运龙.当代自然地理学态势.地理研究,2010,29(1): 1-12. [Cai Yunlong. New perspectives on physical geography. Geographical Research, 2010, 29(1): 1-12.]
- [9] 蔡运龙,李双成,方修琦.自然地理学研究前沿.地理学报,2009,64(11): 1363-1374. [Cai Yunlong, Li Shuangcheng, Fang Xiuyi. The research forefront of physical geography. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(11): 1363-1374.]
- [10] 罗开富.中国自然地理分区草案.地理学报,1954,20(4): 379-394. [Luo Kaifu. The draft of Chinese natural geographical division. Acta Geographica Sinica, 1954, 20(4): 379-394.]
- [11] 黄秉维.中国综合自然区划的初步草案.地理学报,1958,24(4): 348-363. [Huang Bingwei. Preliminary draft of comprehensive natural regionalization in China. Acta Geographica Sinica, 1958, 24(4): 348-363.]
- [12] 任美镔,杨初章.中国自然区划问题.地理学报,1961,27(12): 66-74. [Ren Mei'e, Yang Renzhang. Chinese natural geo-

- graphical division issues. *Acta Geographica Sinica*, 1961, 27(12): 66-74.]
- [13] 侯学煜, 姜恕, 陈昌笃, 等. 对于中国各自然区的农、林、牧、副、渔业发展方向的意见. *科学通报*, 1963, 8(9): 8-26. [Hou Xueyu, Jiang Shu, Chen Changdu, et al. Opinions on the development direction of agriculture, forestry, animal husbandry, animal husbandry, fishery and fishery in the natural areas of China. *Chinese Science Bulletin*, 1963, 8(9): 8-26.]
- [14] 赵松乔. 中国综合自然地理区划的一个新方案. *地理学报*, 1983, 38(1): 1-10. [Zhao Songqiao. A new scheme for comprehensive physical regionalization in China. *Acta Geographica Sinica*, 1983, 38(1): 1-10.]
- [15] 席承藩, 张俊民, 丘宝剑, 等. 中国自然区划概要. 北京: 科学出版社, 1984. [Xi Chengfan, Zhang Junmin, Qiu Baojian, et al. *Summary of Chinese Natural Geographical Division*. Beijing: Science Press, 1984.]
- [16] 林超, 冯绳武, 关伯仁. 中国自然地理区划大纲(草案). 北京: 北京大学地质地理系(油印稿), 1954. [Lin Chao, Feng Shengwu, Guan Boren. *Outline of Chinese Natural Geographical Division (Draft)*. Beijing: Department of Geology and Geography, Peking University (Mimeographed Manuscript), 1954.]
- [17] Zheng D. A Study on the Eco-geographic Regional System of China. Cambridge, UK: FAO Global Ecological Zoning Workshop, 1999.
- [18] 侯学煜. 中国自然生态区划与大农业发展战略. 北京: 科学出版社, 1988. [Hou Xueyu. *Natural Ecological Regionalization and Mega-agriculture Development Strategy of China*. Beijing: Science Press, 1988.]
- [19] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案. *生态学报*, 2001, 21(1): 1-6. [Fu Bojie, Liu Guohua, Chen Liding, et al. *Scheme of ecological regionalization in China*. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 1-6.]
- [20] 欧阳志云. 中国生态功能区划. *中国勘察设计*, 2007, (3): 21-22. [Ouyang Zhiyun. *China's ecological function division*. *China Investigation Design*, 2007, (3): 21-22.]
- [21] 樊杰. 我国主体功能区划的科学基础. *地理学报*, 2007, 62(4): 339-350. [Fan Jie. *The scientific foundation of major function oriented zoning in China*. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(4): 339-350.]
- [22] 蔡运龙. 中国可持续发展总纲: 第14卷: 中国地理多样性与可持续发展. 北京: 科学出版社, 2007. [Cai Yunlong. *The Overview of China's Sustainable Development: Vol. 14: China's Geographical Diversity and Sustainable Development*. Beijing: Science Press, 2007.]
- [23] 中国科学技术协会, 中国地理学会. 2008-2009地理学学科发展报告: 自然地理学. 北京: 中国科学技术出版社, 2009. [China Association for Science and Technology, The Geographical Society of China. *Report on Advances in Geography: Physical Geography*. Beijing: China Science and Technology Press, 2009.]
- [24] 郑度, 葛全胜, 张雪芹, 等. 中国区划工作的回顾与展望. *地理研究*, 2005, 24(3): 330-344. [Zheng Du, Ge Quansheng, Zhang Xueqin, et al. *Regionalization in China: Retrospect and prospect*. *Geographical Research*, 2005, 24(3): 330-344.]
- [25] Wu S H, Zheng D, Yin Y H, et al. Northward-shift of temperature zones in China's eco-geographical study under future climate scenario. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(5): 643-651.
- [26] Peng J, Ma J, Yuan Y, et al. Integrated urban land-use zoning and associated spatial development: Case study in Shenzhen, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 2015, 141(4): 05014025.
- [27] 赵松乔, 陈传康, 牛文元. 近三十年来我国综合自然地理学的进展. *地理学报*, 1979, 34(3): 187-199. [Zhao Songqiao, Chen Chuankang, Niu Wenyan. *Thirty years in integrated physical geography in People's Republic of China*. *Acta Geographica Sinica*, 1979, 34(3): 187-199.]
- [28] 申元村. 土地类型研究的意义、功能与学科发展方向. *地理研究*, 2010, 29(4): 575-583. [Shen Yuancun. *Studies on land types: Academic significance, function and prospect*. *Geographical Research*, 2010, 29(4): 575-583.]
- [29] 陈传康, 郑度, 申元村, 等. 近10年来自然地理学的新进展. *地理学报*, 1994, 49(s1): 684-690. [Chen Chuankang, Zheng Du, Shen Yuancun, et al. *Progress of Chinese physical geography in recent ten years*. *Acta Geographica Sinica*, 1994, 49(s1): 684-690.]
- [30] 景贵和. 土地生态评价与土地生态设计. *地理学报*, 1986, 41(1): 1-7. [Jing Guihe. *Ecoevaluation and ecodesign of land*. *Acta Geographica Sinica*, 1986, 41(1): 1-7.]
- [31] 申元村. 以土地类型为基础进行土地资源评价的研究: 以北京市丰台区为例. *资源科学*, 1987, 9(1): 27-37. [Shen Yuancun. *Land resources evaluation based on land types: A case study of Fengtai district, Beijing city*. *Resources Science*, 1987, 9(1): 27-37.]
- [32] 傅伯杰. 土地评价的技术与方法. *地域研究与开发*, 1989, 8(4): 1-4. [Fu Bojie. *The technology and method of land evaluation*. *Areal Research and Development*, 1989, 8(4): 1-4.]
- [33] 李孝芳. 土地资源评价的基本原理和方法. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1989. [Li Xiaofang. *The Basic Principle and Methods of Land Resource Evaluation*. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 1989.]
- [34] 倪绍祥. 土地类型与土地评价. 北京: 高等教育出版社, 1992. [Ni Shaoxiang. *Land Types and Land Evaluation*. Bei-

- jing: Higher Education Press, 1992.]
- [35] 申元村. 土地人口承载能力研究理论与方法探讨. 资源科学, 1990, 12(1): 21-26. [Shen Yuancun. Theory and method study on population carrying capacity of the land. Resources Science, 1990, 12(1): 21-26.]
- [36] 陈百明. “中国土地资源生产能力及人口承载量”项目研究方法概论. 自然资源学报, 1991, 6(3): 197-205. [Chen Baiming. An outline of the research method of the project "the productivity and population carrying capacity of the land resource in China". Journal of Natural Resources, 1991, 6(3): 197-205.]
- [37] 石玉林. 中国土地资源的人口承载能力研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. [Shi Yulin. Study on Population Carrying Capacity of Chinese Land Resources. Beijing: China Science and Technology Press, 1992.]
- [38] 张凤荣. 持续土地利用管理的理论与实践. 北京: 北京大学出版社, 1996. [Zhang Fengrong. Theory and Practice of Sustainable Landuse Management. Beijing: Peking University Press, 1996.]
- [39] 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(2): 112-118. [Fu Bojie, Chen Liding, Ma Cheng. The index system and method of land sustainable use evaluation. Journal of Natural Resources, 1997, 12(2): 112-118.]
- [40] 戴尔阜, 蔡运龙, 傅泽强. 土地可持续利用的系统特征与评价. 北京大学学报: 自然科学版, 2002, 38(2): 231-238. [Dai Erfu, Cai Yunlong, Fu Zeqiang. Systematic analysis and assessment on sustainable land use. Universitatis Pekinensis: Acta Scientiarum Naturalium, 2002, 38(2): 231-238.]
- [41] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558. [Li Xiubin. A review of the international researches on land use/land cover change. Acta Geographica Sinica, 1996, 51(6): 553-558.]
- [42] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响: 以延安市羊圈沟流域为例. 地理学报, 1999, 54(3): 241-246. [Fu Bojie, Chen Liding, Ma Keming. The effect of land use change on the regional environment in the Yangjuangou catchment in the Loess Plateau of China. Acta Geographica Sinica, 1999, 54(3): 241-246.]
- [43] 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析. 地理学报, 2000, 55(5): 151-160. [Shi Peijun, Chen Jin, Pan Yaoshong. Landuse change mechanism in Shenzhen city. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(5): 151-160.]
- [44] 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. [Cai Yunlong. A study on land use/cover change: The need for a new integrated approach. Geographical Research, 2001, 20(6): 645-652.]
- [45] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12. [Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, Zhuang Dafang, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s. Geographical Research, 2003, 22(1): 1-12.]
- [46] 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(4): 441-446. [Fu Bojie, Zhang Liwei. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress. Progress in Geography, 2014, 33(4): 441-446.]
- [47] Chen L D, Huang Z L, Gong J, et al. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the Loess Plateau, China. Catena, 2007, 70(2): 200-208.
- [48] Li S C, Zhao Z Q, Xie M M, et al. Investigating spatial non-stationary and scale-dependent relationships between urban surface temperature and environmental factors using geographically weighted regression. Environmental Modelling & Software, 2010, 25 (12): 1789-1800.
- [49] 王仰麟, 蒙古军, 刘黎明, 等. 综合风险防范: 中国综合生态与食物安全风险. 北京: 科学出版社, 2011. [Wang Yanglin, Meng Jijun, Liu Liming, et al. Integrated Risk Governance: China's Integrated Ecological and Food Safety Risks. Beijing: Science Press, 2011.]
- [50] 彭建, 党威雄, 刘焱序, 等. 景观生态风险评价研究进展与展望. 地理学报, 2015, 70(4): 664-677. [Peng Jian, Dang Weixiong, Liu Yanxu, et al. Review on landscape ecological risk assessment. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(4): 664-677.]
- [51] 陈百明. 试论中国土地利用和土地覆被变化及其人类驱动力研究. 自然资源, 1997, 19(2): 31-36. [Chen Baiming. Studies on land use and land cover change in China and man's driving force upon it. Natural Resources, 1997, 19(2): 31-36.]
- [52] Peng J, Du Y Y, Liu Y X, et al. How to assess urban development potential in mountain areas? An approach of ecological carrying capacity in the view of coupled human and natural systems. Ecological Indicators, 2016, 60: 1017-1030.
- [53] 李双成, 蔡运龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨. 地理研究, 2005, 24(1): 11-18. [Li Shuangcheng, Cai Yunlong. Some scaling issues of geography. Geographical Research, 2005, 24(1): 11-18.]
- [54] 宋长青, 柴育成, 李军. 2014年度地球科学部基金项目会议评审工作报告. 地球科学进展, 2014, 29(12): 1394-1395.

- [Song Changqing, Chai Yucheng, Li Jun. Profiles of project review work of Department of Earth Sciences, National Natural Science Foundation of China in 2014. *Advances in Earth Science*, 2014, 29(12): 1394-1395.]
- [55] 陈利顶, 李秀珍, 傅伯杰, 等. 中国景观生态学发展历程与未来研究重点. *生态学报*, 2014, 34(12): 3129-3141. [Chen Liding, Li Xiuzhen, Fu Bojie, et al. Development history and future research priorities of landscape ecology in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(12): 3129-3141.]
- [56] 彭建, 王仰麟, 刘松, 等. 景观生态学与土地可持续利用研究. *北京大学学报: 自然科学版*, 2004, 40(1): 154-160. [Peng Jian, Wang Yanglin, Liu Song, et al. Research on landscape ecology and sustainable land use. *Universitatis Pekinensis: Acta Scientiarum Naturalium*, 2004, 40(1): 154-160.]
- [57] 傅伯杰. 景观多样性分析及其制图研究. *生态学报*, 1995, 15(4): 345-350. [Fu Bojie. Landscape diversity analysis and mapping. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(4): 345-350.]
- [58] 王仰麟. 景观生态分类的理论方法. *应用生态学报*, 1996, 7(s1): 121-126. [Wang Yanglin. A theoretical methodology of landscape eco-classification. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(s1): 121-126.]
- [59] 邬建国. *景观生态学*. 北京: 高等教育出版社, 1994. [Wu Jianguo. *Landscape Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 1994.]
- [60] 肖笃宁, 赵羿, 孙中伟, 等. 沈阳西郊景观格局变化的研究. *应用生态学报*, 1990, 1(1): 75-84. [Xiao Duning, Zhao Yi, Sun Zhongwei, et al. Study on the variation of landscape pattern in the west suburbs of Shenyang. *Journal of Applied Ecology*, 1990, 1(1): 75-84.]
- [61] 曾辉, 江子瀛, 孔宁宁, 等. 快速城市化景观格局的空间自相关特征分析以深圳市龙华地区为例. *北京大学学报: 自然科学版*, 2000, 36(6): 824-831. [Zeng Hui, Jiang Ziyang, Kong Ningning, et al. Auto-correlation analysis of landscape pattern for a fast urbanization area: A case study of Longhua area, Shenzhen city. *Universitatis Pekinensis: Acta Scientiarum Naturalium*, 2000, 36(6): 824-831.]
- [62] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 等. 景观格局指标对不同景观格局的反应. *生态学报*, 2004, 24(1): 123-134. [Li Xiuzhen, Bu Rencang, Chang Yu, et al. The response of landscape metrics against pattern scenarios. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 123-134.]
- [63] Peng J, Wang Y, Zhang Y, et al. Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns. *Ecological Indicators*, 2010, 10(2): 217-223.
- [64] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 等. 基于“源—汇”生态过程的景观格局识别方法: 景观空间负荷对比指数. *生态学报*, 2003, 23(11): 2406-2413. [Chen Liding, Fu Bojie, Xu Jianying, et al. Location-weighted landscape contrast index: A scale independent approach for landscape pattern evaluation based on "Source-Sink" ecological processes. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2406-2413.]
- [65] 吕一河, 陈利顶, 傅伯杰. 景观格局与生态过程的耦合途径分析. *地理科学进展*, 2007, 26(3): 1-10. [Lv Yihe, Chen Liding, Fu Bojie. Analysis of the integrating approach on landscape pattern and ecological processes. *Progress in Geography*, 2007, 26(3): 1-10.]
- [66] 赵文武, 房学宁. 景观可持续性 & 景观可持续性科学. *生态学报*, 2014, 34(10): 2453-2459. [Zhao Wenwu, Fang Xuening. Landscape sustainability and landscape sustainability science. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(10): 2453-2459.]
- [67] Termorshuizen J W, Opdam P. Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development. *Landscape Ecology*, 2009, 24(8): 1037-1052.
- [68] Ouyang Z H, Zheng H, Xiao Y, et al. Improvement in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [69] 李双成, 王珏, 朱文博, 等. 基于空间与区域视角的生态系统服务地理学框架. *地理学报*, 2014, 69(11): 1628-1639. [Li Shuangcheng, Wang Jue, Zhu Wenbo, et al. Research framework of ecosystem services geography from spatial and regional perspectives. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(11): 1628-1639.]
- [70] 宋章建, 曹宇, 谭永忠, 等. 土地利用/土地覆被变化与景观服务: 评估、制图与模拟. *应用生态学报*, 2015, 26(5): 1594-1600. [Song Zhangjian, Cao Yu, Tan Yongzhong, et al. Land use and land cover change (LUCC) and landscape service: Evaluation, mapping and modeling. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(5): 1594-1600.]
- [71] 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(4): 465-476. [Peng Jian, Lv Huiling, Liu Yanxu, et al. International research progress and perspectives on multifunctional landscape. *Advances in Earth Science*, 2015, 30(4): 465-476.]
- [72] Wu J, Feng Z, Gao Y, et al. Hotspot and relationship identification in multiple landscape services: A case study on an area with intensive human activities. *Ecological Indicators*, 2013, 29(3): 529-537.
- [73] 林超, 蔡运龙. 我国综合自然地理学发展应用阶段的总结成果: 评《自然地理学与国土整治》和《自然地理学与中国

- 区域开发》. 地理学报, 1991, 46(3): 375-377. [Lin Chao, Cai Yunlong. The achievements of Chinese integrated physical geography during development and application: Comments on "Physical Geography and Land Consolidation" and "Physical Geography and China's regional development". Acta Geographica Sinica, 1991, 46(3): 375-377.]
- [74] 陈传康. 自然地理学、地球表层学和综合地理学. 地理学报, 1988, 43(3): 258-264. [Chen Chuankang. Physical geography, earthscape science, and integrated geography. Acta Geographica Sinica, 1988, 43(3): 258-264.]
- [75] 陆大道. 关于地理学的“人—地系统”理论研究. 地理研究, 2002, 21(2): 135-145. [Lu Dadao. Theoretical studies of man-land system as the core of geographical science. Geographical Research, 2002, 21(2): 135-145.]
- [76] Liu J G, Dietz T, Carpenter S R, et al. Complexity of coupled human and natural systems. Science, 2007, 317(5844): 1513-1516.
- [77] Ostrom E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. Science, 2009, 325(5939): 419-422.
- [78] Xiang W N. Working with wicked problems in socio-ecological systems: Awareness, acceptance, and adaptation. Landscape & Urban Planning, 2013, 110(1): 1-4.
- [79] 陈传康. 综合自然地理学发展趋势. 地域研究与开发, 1990, 9(7): 2-6. [Chen Chuankang. Developing trend of integrated physical geography. Areal Research and Development, 1990, 9(7): 2-6.]
- [80] 黄秉维, 陈传康. 区域持续发展的理论基础: 陆地系统科学. 地理学报, 1996, 51(5): 445-453. [Huang Bingwei, Chen Chuankang. The theoretical foundation of regional sustainable development: Land system science. Acta Geographica Sinica, 1996, 51(5): 445-453.]
- [81] 黄秉维. 关于地球表层的一些看法. 见: 钱学森, 等. 论地理科学. 杭州: 浙江教育出版社, 1994: 47-58. [Huang Bingwei. Some views about the earth surface. In: Qian Xuesen, et al. The Theory of Geographical Science. Hangzhou: Zhejiang Education Press, 1994: 47-58.]
- [82] 黄秉维. 地理学综合研究: 黄秉维文集. 北京: 商务印书馆, 2003. [Huang Bingwei. Comprehensive Study of Geography: Collection of Huang Bingwei. Beijing: Commercial Press, 2003.]
- [83] 陆大道. “未来地球”框架文件与中国地理科学的发展: 从“未来地球”框架文件看黄秉维先生论断的前瞻性. 地理学报, 2014, 69(8): 1043-1051. [Lu Dadao. The framework document of "Future Earth" and the development of Chinese geographical science: The foresight of academician Huang Bingwei's statement. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(8): 1043-1051.]
- [84] Fu B J, Pan N Q. Integrated studies of physical geography in China: Review and prospects. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(7): 771-790.
- [85] 郑度, 陈述彭. 地理学研究进展与前沿领域. 地球科学进展, 2001, 16(5): 599-606. [Zheng Du, Chen Shupeng. Progress and disciplinary frontiers of geographical research. Advance in Earth Sciences, 2001, 16(5): 599-606.]
- [86] 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(8): 1052-1059. [Fu Bojie. The integrated studies of geography: Coupling of patterns and processes. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(8): 1052-1059.]
- [87] 宋长青, 冷疏影. 21世纪中国地理学综合研究的主要领域. 地理学报, 2005, 60(4): 546-552. [Song Changqing, Leng Shuying. Some important scientific problems of integrative study of Chinese geography in 5 to 10 ten years. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(4): 546-552.]
- [88] 王仰麟. 农业景观格局与过程研究进展. 环境科学进展, 1998, 6(2): 29-34. [Wang Yanglin. The progress of studies on agro-landscape pattern and processes. Advances in Environmental Science, 1998, 6(2): 29-34.]
- [89] Richter D D, Mobley M L. Monitoring earth's critical zone. Science, 2009, 326(5956): 1067-1068.
- [90] 郭建国, 郭晓川, 杨劼, 等. 什么是可持续性科学?. 应用生态学报, 2014, 25(1): 1-11. [Wu Jianguo, Guo Xiaochuan, Yang Jie, et al. What is sustainability science?. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(1): 1-11.]
- [91] Wu J G. Landscape sustainability science: Ecosystem service and human well-being in changing landscapes. Landscape Ecology, 2013, 28(6): 999-1023.
- [92] Sayer J, Sunderland T, Ghazoul J, et al. Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013, 110(21): 8349-8356.
- [93] 美国国家科学院国家研究理事会. 理解正在变化的星球: 地理科学的战略方向. 刘毅, 刘卫东, 等译. 北京: 科学出版社, 2011. [The National Academy of Sciences. Understanding the Changing Planet: Strategic Directions for the Geographical Sciences. Translated by Liu Yi, Liu Weidong, et al. Beijing: Science Press, 2011.]
- [94] 宋长青. 地理学研究范式的思考. 地理科学进展, 2016, 35(1): 1-3. [Song Changqing. On paradigms of geographical research. Progress in Geography, 2016, 35(1): 1-3.]
- [95] 吴志峰, 柴彦威, 党安荣, 等. 地理学碰上“大数据”: 热反应与冷思考. 地理研究, 2015, 34(12): 2207-2221. [Wu Zhi-

- feng, Chai Yanwei, Dang Anrong, et al. Geography interact with big data: Dialogue and reflection. *Geographical Research*, 2015, 34(12): 2207-2221.]
- [96] 马振刚, 李黎黎, 许学工. 自然地理学的大数据研究. *地理与地理信息科学*, 2015, 31(3): 54-58. [Ma Zhengang, Li Lili, Xu Xuegong. Big data research of physical geography. *Geography and Geo-Information Science*, 2015, 31(3): 54-58.]
- [97] 杨宗喜, 唐金荣, 周平, 等. 大数据时代下美国地质调查局的科学新观. *地质通报*. 2013, 32(9): 1337-1343. [Yang Zongxi, Tang Jinrong, Zhou Ping, et al. Earth science research in U.S. Geological Survey under the big data revolution. *Geological Bulletin of China*. 2013, 32(9): 1337-1343.]
- [98] 宋庆丰, 牛香, 王兵. 基于大数据的森林生态系统服务功能评估进展. *生态学杂志*, 2015, 34(10): 2914-2921. [Song Qingfeng, Niu Xiang, Wang Bing. Review on forest ecosystem service assessment based on big data. *Chinese Journal of Ecology*. 2015, 34(10): 2914-2921.]

From natural regionalization, land change to landscape service: The development of integrated physical geography in China

PENG Jian¹, DU Yueyue¹, LIU Yanxu¹, WU Jiansheng², WANG Yanglin¹

(1. Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, School of Urban Planning and Design, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, Guangdong, China)

Abstract: The rise of integrated physical geography in China is not an accidental event. It was closely connected with the construction of the related theory system, the fostering of domestic professional scholars, the inheritance of academic history both at home and abroad, and the demand of social development in China. Specifically speaking, it was influenced by the spread of Western modern geography in the early 20th century, and the traditional harmony theory of Chinese ancient geography; it was also associated with the geographical intensive Sino-Soviet academic communications in the 1950s, as well as the needs of economic development in China. All in all, as a branch of physical geography, the integrated physical geography is a practice-oriented subject, focusing on comprehensive perspectives of natural regionalization, land change, and landscape service. The main contents of integrated physical geography studies in China have developed from agricultural regionalization and ecological regionalization to integrated regionalization; from land type, land source to land system; from landscape pattern research to landscape function and service research. Along with the change of the study theme, this subject kept on improving and deepening. Faced with the growing challenges such as rapid urban expansion, serious environmental pollution, and the natural resource exhaustion, the integrated physical geography in China is trying to explore new integrated approaches in accordance with the transformation of the time background. It chooses coupled human and natural systems as its study object, considers the synthesis of processes interaction at different regional scales, makes landscape sustainability as its key research field, and uses big data and high technology as its methodology.

Keywords: integrated physical geography; natural regionalization; land change; landscape service; coupled human and natural systems; landscape sustainability