

全球变化背景下中国自然地域系统研究前沿

郑 度, 吴绍洪, 尹云鹤, 杨勤业, 赵东升, 张雪芹

(中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101)

摘要: 中国地域辽阔, 基于陆地表层地域分异规律, 开展自然地域系统研究是支撑自然资源有序开发和产业合理布局、保障区域可持续发展的重要基础。本文在总结分析中国自然地域系统及相关方法研究进展的基础上, 探讨全球变化背景下自然地域系统研究前沿问题。1950s以来, 伴随着社会经济发展, 中国高度重视自然地域系统研究, 包括综合自然区划、生态地理区划和综合区划工作, 目前随着全球变化研究的深入, 地域系统的动态研究被高度关注。在此过程中, 研究方法从以专家智能集成为主的定性研究, 逐步发展至以观测、实验和信息技术、数理模拟方法为主的定量研究。随着全球变化研究的日益深入, 自然地域系统研究将与未来地球计划的理念、目标和研究内容结合, 重点开展陆地表层关键要素相互作用机理及区域效应, 地域系统对全球变化的动态响应, 陆地表层地域单元界线定量化识别等研究, 加强地域系统研究中自然要素与人文要素的结合。

关键词: 全球变化; 地域系统; 分异规律; 可持续发展; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201609001

1 引言

陆地表层自然环境具有时空异质性特征, 表现为地表空间不同尺度的地带性分异和非地带性分异。其产生机制主要有三种: 一是地球表面形状, 使太阳辐射沿着纬向的分布不均匀, 是决定自然地理地带规律的根本因素。温度由赤道向极地的变化形成带状分布的温度带, 在很大程度上决定了相应的植被生长和土壤类型分布等。二是由于海陆等地表组成物质差异, 改变了太阳辐射能量收支状况分布, 导致地带性规律发生变形或扭曲。例如, 海陆分异使得区域干湿状况随着距离海洋的远近而发生变化, 以它为背景的地理成分和过程表现出类似的分异现象。三是气温随海拔高度的垂直递减, 山地自然环境及其各组成要素出现垂直分异的规律更迭现象, 即垂直地带性分异。地球表面并非所有的地方都有高大山体, 所以垂直地带的分布是不连续的、间断的, 而且与其所在的地带性基带有密切关系。

自然地域系统研究从系统的角度, 研究地表自然综合体, 揭示地域分异规律, 并以地理空间为对象, 按要素的空间分布特征及其组合对区域逐级划分^[1-5], 其目标是将一定地域范围中复杂的自然现象系统化, 区划是对自然地域系统地理地带性分异规律的刻画。中国地域辽阔、资源环境条件存在显著的空间差异, 开展地域系统工作有助于全面正确认识资源、环境和生态系统的空间分异规律, 合理规范人类活动, 指导农业生产^[6]、生态建设^[7-8]等。总体上, 地域系统为地理学及其它相关学科的研究提供了一个宏观的基

收稿日期: 2016-08-20; 修订日期: 2016-08-30

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41530749) [Foundation: Key Project of National Natural Science Foundation of China, No.41530749]

作者简介: 郑度(1936-), 中国科学院院士、研究员, 主要从事综合自然地理学研究。E-mail: zhengd@igsnrr.ac.cn

1475-1483 页

础框架,为实现区域可持续发展提供保障^[9-10]。

1950s以来,中国地域系统研究不仅促进了地理学等相关学科大力发展,同时也为社会经济发展做出过重要贡献。中国先后开展了综合自然区划、生态地理区划、综合区划。随着在全球环境变化影响不断增强、社会发展与环境保护矛盾日益突出,国际科学理事会(ICSU)、国际社会科学理事会(ISSC)等机构发起了未来地球计划(2014-2023),强调自然科学与社会科学相融合,面向地球环境管理决策的多学科交叉合作研究,以期将地球整体性研究与可持续发展研究结合起来^[11-12]。因此,全球变化背景下,自然地域系统及其动态的研究既是地理学研究的前沿,也是实现未来地球计划、推进社会过渡到可持续发展战略的一个重要方向。

2 中国自然地域系统研究进展

2.1 综合自然区划研究

中国远古就有朴素的区域差异认识^[13]。但近现代自然地域研究始于1930年竺可桢发表“中国气候区域论”^[14],是中国现代自然地域研究的开始。1940年黄秉维发表了“中国之植物区域”^[6]等工作,开创了中国综合自然区划研究。随着国家经济建设和发展,农牧业生产规划部署需要因地制宜并且不违背自然规律,因此需要有可以提供参考的自然区划^[2]。在中国,近现代自然地域系统研究得到一定发展,主要服务于解决农业问题。全面的地域系统理论、方法与方案研究工作从1950s开始。全国各地自然条件和自然资源的综合科学考察普遍展开,建立了各类观测站网,积累了较为全面系统的基本科学资料,使自然地域系统的研究有了长足的进展。初期主要包括全国综合自然地理区划^[15]、中国自然地理区划草案^[16]等。1956年中国科学院成立自然区划工作委员会,开展了较大规模的自然区划工作。在地貌、气候、植被和动物等8个部门自然区划的基础上,竺可桢、黄秉维领导的主要相关研究团队开展了全国综合自然区划,以服务于农业生产布局为目标,完成了《中国综合自然区划(初稿)》专著(1959年)(图1),在全国影响巨大。全国农业综合自然区划也以“初稿”为基础拟定^[17]。

1950s-1960s,全国广泛开展自然地域系统研究。主要成果包括,任美锷等^[18]区划指标及数量分析评价。侯学煜等^[19]提出了以发展农、林、牧等为目的自然区划,偏重实用。1980s,在基础资料积累日益丰富的背景下,全国开展了新一轮的综合自然区划研究。黄秉维^[6]修订了1959年方案,强调将地域单元作为环境和自然资源的整体来认识,以最大限度的发挥其自然生产潜力。赵松乔^[20]设计了一个新方案,并指出最低级区划单位应与土地类型组合相结合,并互相衔接。席承藩等^[21]、侯学煜^[22]、任美锷^[23]等也在区划的方法论和方案提出了新的见解。

2.2 生态地理区划研究

1980s末以来,为满足生态建设和环境保护的需求,自然地域系统研究逐步引入生态系统观点、生态学原理和方法^[4, 24],中国学者开展了相关研究^[5, 7-8, 22]。

中国生态区划,将宏观生态系统空间差异引入到综合自然区划,关注生态环境的敏感性、胁迫性和脆弱性问题,对一些生态环境敏感和脆弱的区域进行划分^[8]。重点揭示了各生态地理区域的土地退化问题及治理的地域分异规律,并应用于生态与环境建设规划,阐明了不同生态地理区自然条件的差异、联系及其利用等问题。中国生态地理区划为地表自然过程基础研究以及环境、资源与发展的协调提供了宏观的区域框架,为提高土地生产潜力、分析研究土地管理政策、引进并推广先进农业技术、规划自然保护区等提供了必要的科学依据^[5](图2)。

要^[25]。过去 50 年,中国资源环境格局和社会经济发展格局发生了较为明显的变化,同时全球环境变化与经济一体化对中国的可持续发展和国家安全带来了新的机遇和挑战,已有的区划方案很难适应新的发展形势需求,综合考虑自然与人文要素、统筹陆地和海洋系统的综合区划成为必然趋势^[26]。国内学者在综合区划研究领域开展了一些案例研究^[27-30]。

主体功能区划注重地域功能指向,根据发生学原理构建指标体系和开展地域功能适宜性评价工作,提出以县级行政区划为单元的优化开发、重点开发、限制开发和禁止开发 4 类主体功能区^[31]。这是中国针对经济社会发展与生态环境面临的相关问题而做出的综合地域系统工作的积极探索,为自然、人文因子的综合研究提供了一条新思路。

2.4 地域系统动态研究

百余年来,以增温为主要特征的气候变化对陆地表层的影响逐步加重。1880-2012 年全球海陆表面平均温度升高了 0.85 °C [0.65~1.06 °C],其中最后的 30 年极有可能是近 800 年到 1400 年最热的 30 年^[32]。陆地表层关键要素发生变化,并因此驱动地域系统改变的研究逐渐受到关注。

按照主流表征的地域系统的标准,基于观测的数据分析去认识陆地表层地域系统的变化在 21 世纪初开始逐步发展。如,通过分析 10 °C 界限积温值和积温日数、最暖月气温和最冷月气温的变化幅度,可以发现气候变化的影响下,中国东部温度带普遍北移,其中北亚热带和暖温带北移明显^[33-35]。相比温度带,干湿区界线呈波动式变化特征。1951-1999 年中国干湿气候界线呈现出整体移动和东西、南北相异波动的特征^[36]。近 50 年中国东北中部和华北北部,干旱和半干旱边界呈波动式东移,有明显向东扩展的趋势;在华北南部和陕西南部,半干旱边界也呈波动式南扩^[37]。最近研究显示^[38],过去 50 多年来(1960-2011 年)中国气候出现了明显的相对冷暖阶段,这一冷暖的差异导致自然地域系统发生了明显的变化。

此外,对中国自然地带对未来气候变化的响应研究也逐步受到关注。1990s 初期以全球气温增量情景为基础,对温度带进行粗略估计^[34, 39-40]。例如,预估 2100 年全球增温 3 °C,在一定的假设条件下,地域系统动态特征呈现出寒温带大部分变为中温带、中温带大部分变为暖温带等特征^[39]。随着国际上气候模式研究的深入,预估地域系统动态则通过气候模式和排放情景开展。例如,Wu 等^[41]根据区域气候模式,对未来温度带动态进行了预估,发现未来温度带普遍北移,最显著的将是亚热带、暖温带和高原温带北界。

3 中国自然地域系统研究方法论与技术手段

20 世纪科学技术的迅猛发展,在中国地域系统研究不断得到应用,推动中国地域系统研究的深入和发展,研究的方法论从定性向定量,归纳法与演绎法相结合,自上而下与自下而上相结合,地域系统划分方案的客观性和可重复性不断增强。

3.1 方法论

在 1950s 自然地域系统研究初期,由于研究资料匮乏,区域界线划分以定性为主。专家集成的方法是定性分析的代表,是学者对地域划分的经验性判断。例如,1950s 的综合自然区划由于主要目的是为农、林、牧、水等事业服务,主要划分原则有先类型区划再区域区划,偏重现代自然特征及其相互关系,地带性与非地带性相结合,地带性因素先考察较难以人力改变的温度,然后考察在一定条件下、一定限度内可以人力改变的水分状况,并且首先基于地表气候、植被、地形和土壤等自然要素的地域差异确定界线,然后再寻求较能体现地理相关性的界线指标^[2]。这里主要是应用了自上而下的方法论。而

后来赵松乔先生指出, 从土地类型入手, 逐级组合成为自然小区, 形成了自下而上的区划方法^[20]。

定性方法在确定大尺度地域分异方面具有快速且空间位置基本准确等优势, 但是小尺度由于信息复杂则有可能严重影响专家判断, 因对实际状况的了解程度以及学者不同的知识背景, 使不同学者在区域单元界线划分上存在较大分歧。例如, 众多学者对中国热带北界问题进行了广泛的学术讨论^[42-45]。

1980s 以来, 为增强地域系统划分方案的客观性和可复制性, 自然地域系统划分趋于定量研究。划分的指标主要包括反映气候、地形、土壤、植被等多个自然因子^[6]。除了这些关键指标外, 综合地域系统研究中也涉及其他学科的指标, 如人口、资源、环境状况, 社会经济发展水平, 生态治理程度等^[29]。中国主体功能区识别指标体系是由水资源、土地资源, 生态重要性、生态脆弱性、环境容量、灾害危险性、经济发展水平、人口集聚度和交通优势度等 9 类可定量指标及战略选择为 1 项定性指标构成^[31]。

自然地域系统划分指标体系主要包括温度 (如日平均气温, 10℃的积温日数, 日平均气温, 10℃积温值, 1月平均气温, 7月平均气温)、水分 (如干燥度)、植被和生态地貌类型等几个方面的指标^[5]。例如日平均气温 10℃的积温日数达到 220 天, 日平均气温 10℃积温值达到 4500℃是划分温带和亚热带的主要标准。水分指标从 Selianinov 干燥度指数, Thornthwaite 湿润指数到 Penman 综合干燥度不断完善。

3.2 新技术应用

在自然地域系统方法论发展的同时, 观测与实验手段、卫星遥感、全球定位系统与地理信息系统的 3S 技术也快速发展, 为表征区域特征、确定区域界线提供了强有力的支撑。进入 21 世纪, 随着 3S 技术的进步, 地理科学的综合集成有了量化的科学基础与先进技术手段的保证^[46]。同时, 模型和数理模拟等技术被逐渐应用于地域系统研究, 例如人工神经网络模型^[47]、小波变换^[48]等方法。目前地域系统研究更多地从系统整体出发, 注意发展从归纳的现实出发进行演绎, 使分析与综合、自上而下演绎方法和自下而上归纳方法结合的综合研究方法^[49]。

4 中国自然地域系统研究前沿问题

未来地球计划代表了新时期地理学发展的方向^[50], 自然地域系统研究与未来地球计划在对象、主题和目标上有共同和相似之处^[51]。并且近年来全球气候变化影响下的自然格局研究受到关注^[52]。我们认为, 在全球变化影响和未来地球计划的框架下, 自然地域系统研究将重点开展陆地表层关键要素相互作用机理及区域效应, 地域系统对全球变化的动态响应, 陆表地域单元界线定量化识别等研究, 加强地域系统研究成果的应用性, 推动该领域研究向更高水平发展。

4.1 科学认识陆地表层关键要素相互作用机理及区域效应

陆地表层要素一直处于不断变化和动态平衡之中, 驱动着自然地理环境发生变化, 并形成地表景观的地域差异。当前, 针对陆地表层关键要素单因子 (水、土、气、生等) 的变化趋势和过程研究较为成熟, 但多要素研究“综合”不够, 从“系统”视角对地表过程研究的整体思路有待理清, 目前更需要研究涉及多要素变化下的相互作用, 特别是在陆地表层关键要素的相互耦合下, 陆地表层系统动态与格局变化的内在机理。未来应针对近几十年来中国陆地表层关键要素变化的时空特征展开研究, 重点阐明关键自然要素 (温度、降水、地形、土壤等) 时空变化与相互作用对地表干湿状况、热量、地

表覆被等特征的影响过程与作用机制,研究关键要素变化协同性和差异性。

4.2 深入研究地域系统对全球变化的动态响应

全球变化背景下,人类活动和气候变化影响陆表过程强度日益加剧,陆地表层自然和人文要素以及自然—社会经济复合系统的脆弱性不断发生变化,进而驱动陆地表层地域系统呈现动态变化特征。传统陆地表层地域系统研究多以“静态”为主,力求反映长时段的平均状态,但缺乏动态过程的深入刻画。从动态视野出发,开展典型陆表关键要素变化过程与格局研究,揭示陆地表层地域系统的变化趋势和幅度,明晰陆地表层地域系统对全球变化的动态响应与变化规律,对深入理解陆地表层系统演变驱动机制、拓展地域系统演化规律研究具有重要意义。

中国过去一段时间认为长时间序列的数据更能表征陆地表层格局的“正常”状态,避免偶然事件的出现。但是,随着全球变化研究的深入,地理学家发现,如果时段足够长,特别是近百余年来人类活动推动的背景下,地表因子的变动可能推动区域格局的改变,而且这种改变可能对资源环境格局和社会经济布局产生深刻的影响。因此,需要研究陆表关键要素相互作用关系变化的机制,及其所致的空间变动幅度与增减范围;综合、定量揭示陆表要素相互作用的协同性和差异性对区域形成、发展的作用。明确不同时间尺度不同社会经济发展背景下,地域系统对全球变化的动态响应。目前,这项工作已经得到国家基金委重点项目的支持。

4.3 定量识别陆表地域单元界线

虽然陆地表层各个要素的发生、发展过程的定量化研究日趋成熟,但由于陆地表层格局地域系统表征的是不同因子相互作用的结果,单因子过程研究的方法常常不能完全应用于格局形成的研究之中。而且要素之间的相互作用通常是非线性的,其结果在空间表现不能完全一致,因而一个区域的边界不能是几个要素边界的简单相加,这使得以往区域界线的识别常常存在争论。陆地表层区域边界的划定,应该是在理论认识统一的前提下,通过划界信息技术的突破来缩小分歧。综合专家个人与团体智能、理念分析、信息技术、模型应用和多学科集成等方法,实现陆表地域单元界线的定量识别,将成为地域系统研究发展的突破点之一。

4.4 提高地域系统研究中自然要素与人文要素的结合

在认识自然和社会经济系统分异规律的基础上,探讨自然与人文要素的相互作用机制,将为全面、客观刻画区域特征提供依据。协调自然、人文因子在不同区划等级的重要性,选取合理指标等,是需要进一步认真研究的科学问题。在自然与人文要素相结合方面,应更多地研究生态系统与人类活动之间的相互制约和促进,人类活动对生态系统的结构与功能的影响,以及生态系统对人类社会经济活动影响的反馈。

地域系统研究的目的是认识和把握自然规律性,为农业生产、生态建设和可持续发展等实践服务。中国学者的已有研究成果为政府提供了决策的科学依据,产生了巨大的经济效益和社会效益,在国家和地区的建设中起到了重要的作用,尤其是在农业生产条件布局、国土调查和规划、资源调查和开发规划、环境整治、区域规划和城市规划、自然保护区建设、生态建设和环境保护等众多方面。同时也对提高区划研究的应用价值和科学水平,推动了相关分支学科的发展起到了积极作用。随着全球变化问题的凸显,充分考虑到人与环境的和谐,资源、生态与环境问题已成为自然地域系统研究中必须首先考虑的重要因素之一。需要更多地研究和考虑人类活动对环境的影响及反馈,提高研究成果的客观性和应用性,以正确指导生态与环境建设和社会经济的可持续发展,更好地应对全球变化。

参考文献(References)

- [1] Koeppen W. Grundriss der Klimakunde. Berlin: Walter de Gruyter, 1931.
- [2] Huang Bingwei. Draft of the integrated physical geographical regionalization of China. Chinese Science Bulletin, 1959, 18: 594-602. [黄秉维. 中国综合自然区划草案. 科学通报, 1959, 18: 594-602.]
- [3] Holdridge L R. Life Zone Ecology. San Jose: Tropical Science Center, 1967.
- [4] Bailey R G. Delineation of ecosystem region. Environmental Management, 1983, 7: 365-373.
- [5] Zheng Du, Yang Qinye, Wu Shaohong, et al. China's Ecogeographical Regionalization Research. Beijing: The Commercial Press, 2008. [郑度, 杨勤业, 吴绍洪, 等. 中国生态地理区域系统研究. 北京: 商务印书馆, 2008.]
- [6] Huang Bingwei. Outline of the comprehensive physical geographical regionalization of China. Collected Works of Geography, 1989, 21: 10-20. [黄秉维. 中国综合自然区划纲要. 地理集刊, 1989, 21: 10-20.]
- [7] Zheng D. A Study on the Eco-geographic Regional System of China. FAO FRA2000 Global Ecological Zoning Workshop. Cambridge, 1999.
- [8] Fu Bojie, Liu Guohua, Chen Liding, et al. Scheme of ecological regionalization in China. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(1): 1-6. [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.]
- [9] Liu Yanhua, Zheng Du, Ge Quansheng, et al. Problems on the research of comprehensive regionalization in China. Geographical Research, 2005, 24(3): 321-329. [刘燕华, 郑度, 葛全胜, 等. 关于开展中国综合区划研究若干问题的认识. 地理研究, 2005, 24(3): 321-329.]
- [10] Zheng Du, Yang Qinye. Review and prospects: geography in China since 1950s. Science, 2015, 67(4): 29-33. [郑度, 杨勤业. 中国现代地理学研究与前瞻. 科学, 2015, 67(4): 29-33.]
- [11] Future Earth. Future Earth Initial Design Report. <http://www.futureearth.org/media/future-earth-initial-design-report>, 2013.
- [12] Qin Dahe. Climate change science and sustainable development. Progress in Geography, 2014, 33(7): 874-883. [秦大河. 气候变化科学与人类可持续发展. 地理科学进展, 2014, 33(7): 874-883.]
- [13] Yang Wenheng, Yang Qinye. History of Geography in China (Ancient Volume). Guangxi Education Press, 2014. [杨文衡, 杨勤业. 中国地学史(古代卷). 广西: 广西教育出版社, 2014.]
- [14] Zhu Kezhen. Climatic provinces of China. Geographical Journal, 1930, 3(2). [竺可桢. 中国气候区域论. 地理杂志, 1930, 3(2).]
- [15] Lin Chao. Outline of the physical geographical regionalization. Acta Geographica Sinica, 1954, 20(4): 395-418. [林超. 中国自然区划大纲(摘要). 地理学报, 1954, 20(4): 395-418.]
- [16] Luo Kaifu. Draft of the physical geographical regionalization of China. Acta Geographica Sinica, 1954, 20(4): 379-394. [罗开富. 中国自然地理分区草案. 地理学报. 1954, 20(4): 379-394.]
- [17] Qiu Baojian. A scheme of national agricultural integrated regionalization in China. Journal of Henan University (Natural Science), 1986, 16(1): 21-28. [丘宝剑. 全国农业综合自然区划的一个方案. 河南大学学报(自然科学版), 1986, 16(1): 21-28.]
- [18] Ren Mei'e, Yang Renzhang. Physical geographical regionalization in China. Acta Geographica Sinica, 1961, 27: 66-74. [任美锷, 杨纫章. 中国自然区划问题. 地理学报, 1961, 27: 66-74.]
- [19] Hou Xueyu, Jiang Shu, Chen Changdu. Suggestion on the developing direction of agriculture, forestry, animal husbandry, sideline production and fishery in different regions of China. Chinese Science Bulletin, 1963, (9): 8-26. [侯学煜, 姜恕, 陈昌笃. 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, (9): 8-26.]
- [20] Zhao Songqiao. A new scheme for comprehensive physical regionalization in China. Acta Geographica Sinica, 1983, 38(1): 1-10. [赵松乔. 中国综合自然区划的一个新方案. 地理学报, 1983, 38(1): 1-10.]
- [21] Xi Chengfan, Zhang Junmin, Qiu Baojian, et al. Outline of Physical Regionalization of China. Beijing: Science Press, 1984. [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.]
- [22] Hou Xueyu. Physical Ecological Regionalization and Macro-agricultural Developing Strategy in China. Beijing: Science Press, 1988. [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.]
- [23] Ren Mei'e. Outline of Chinese Physical Geography. rev. ed. Beijing: The Commercial Press, 1982. [任美锷. 中国自然地理纲要. 修订版. 北京: 商务印书馆, 1982.]
- [24] Bailey R G. Ecosystem Geography. New York: Springer-Verlag, 1996.
- [25] Huang Bingwei. Problems on regionalization in the new period//Editorial Committee of Huang Bingwei Collection//Collections of Huang Bingwei's Integrated Research in Physical Geography. Beijing: The Commercial Press, 2003: 350-352. [黄秉维. 新时期区划工作应当注意的几个问题//《黄秉维文集》编辑组. 地理学综合研究: 黄秉维文集. 北京: 商务印书馆, 2003: 350-352.]
- [26] Liu Yanhua, Ge Quansheng, Zhang Xueqin. Thoughts about the development for the research of human dimensions on

- global environmental change in China. *Advances in Earth Science*, 2004, 19(6): 889-895. [刘燕华, 葛全胜, 张雪芹. 关于中国全球环境变化人文因素研究发展方向的思考. *地球科学进展*, 2004, 19(6): 889-895.]
- [27] Wu Shaohong. The basic designation of integrated zonation: Case study of Chaidam Basin. *Geographical Research*, 1998, 17(4): 367-374. [吴绍洪. 综合区划的初步设想. *地理研究*, 1998, 17(4): 367-374.]
- [28] Zheng Du, Fu Xiaofeng. A preliminary study on issues of integrated geographical regionalization. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, 19(3): 193-197. [郑度, 傅小锋. 关于综合地理区划若干问题的探讨. *地理科学*, 1999, 19(3): 193-197.]
- [29] Ge Quansheng, Zhao Mingcha, Zheng Jingyun, et al. Division of the terrestrial system in China: A case study from Huang's theory on terrestrial system science. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(1): 1-6. [葛全胜, 赵名茶, 郑景云, 等. 中国陆地表层系统分区: 对黄秉维先生陆地表层系统理论的学习与实践. *地理科学*, 2003, 23(1): 1-6.]
- [30] Wu Shaohong, Liu Weidong. An integrated approach to classification of territorial systems: A case study of Tibetan Plateau. *Geographical Research*, 2005, 24(2): 169-177. [吴绍洪, 刘卫东. 陆地表层综合地域系统划分的探讨: 以青藏高原为例. *地理研究*, 2005, 24(2): 169-177.]
- [31] Fan Jie. Draft of major function oriented zoning of China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(2): 186-201. [樊杰. 中国主体功能区划方案. *地理学报*, 2015, 70(2): 186-201.]
- [32] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment*. http://www.climate-change2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_All.pdf. 2013.
- [33] Sha Wanying, Shao Xuemei, Huang Mei. Climate warming and its impact on natural regional boundaries in China in the 1980s. *Science in China (Series D)*, 2002, 32(4): 317-326. [沙万英, 邵雪梅, 黄玫. 20世纪80年代以来中国的气候变暖及其对自然区域界线的影响. *中国科学(D辑)*, 2002, 32(4): 317-326.]
- [34] Zhao Xinyi, Zhang Huiyuan, Wan Jun. The impact of climatic change on the climate zones in the Qinghai-Tibetan Plateau. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(2): 190-195. [赵昕奕, 张惠远, 万军. 青藏高原气候变化对气候带的影响. *地理科学*, 2002, 22(2): 190-195.]
- [35] Ye D Z, Jiang Y, Dong WJ. The northward shift of climatic belts in China during the last 50 years and the corresponding seasonal responses. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20(6): 959-967.
- [36] Yang Jianping, Ding Yongjian, Chen Rensheng, et al. The interdecadal fluctuation of dry and wet climate boundaries in China in recent 50 years. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(6): 655-661. [杨建平, 丁永建, 陈仁升, 等. 近50年来中国干湿气候界线的10年际波动. *地理学报*, 2002, 57(6): 655-661.]
- [37] Ma Zhuguang, Fu Congbin. Decadal variations of arid and semi-arid boundary in China. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, 48(3): 519-525. [马柱国, 符淙斌. 中国干旱和半干旱带的10年际演变特征. *地球物理学报*, 2005, 48(3): 519-525.]
- [38] Wu Shaohong, Liu Wenzheng, Pan Tao, et al. Amplitude and velocity of the shifts in the Chinese terrestrial surface regions from 1960 to 2011. *Chinese Science Bulletin*, 2016, 61(19): 2187-2197. [吴绍洪, 刘文政, 潘韬, 等. 1960-2011年中国陆地表层区域变动幅度与速率. *科学通报*, 2016, 61(19): 2187-2197.]
- [39] Huang Bingwei. How to deal with global warming//Editorial Committee of Huang Bingwei Collection. *Collections of Huang Bingwei's Sixty Years Comprehensive Work of Physical Geography*. Beijing: The Commercial Press, 1993: 470-484. [黄秉维. 如何对待全球变暖问题//黄秉维文集编辑小组. *自然地理综合工作六十年: 黄秉维文集*. 北京: 科学出版社, 1993: 470-484.]
- [40] Zhao Mingcha. Impact of CO₂ multiplication on the differentiation of physical zones and the potential agricultural productivity in China. *Journal of Natural Resources*, 1995, 10(2): 148-157. [赵名茶. 全球CO₂倍增对我国自然地域分异及农业生产潜力的影响预测. *自然资源学报*, 1995, 10(2): 148-157.]
- [41] 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.
- [42] Zeng Zhaoxuan, Liu Nanwei, Li Guozhen, et al. Discussion on tropical border of China. *Acta Geographica Sinica*, 1980, 35(1): 87-91. [曾昭璇, 刘南威, 李国珍, 等. 中国热带界限问题的商榷. *地理学报*, 1980, 35(1): 87-91.]
- [43] Huang Bingwei. Comment on the northern border of tropical zone in China: I. The international definition of tropical zone and sub-tropical zone. *Scientia Geographica Sinica*, 1992, 12(2): 97-104. [黄秉维. 关于中国热带界线问题: I. 国际上热带和亚热带定义. *地理科学*, 1992, 12(2): 97-104.]
- [44] Qiu Baojian. The northern border of tropical zone in China. *Scientia Geographica Sinica*, 1993, 13(4): 297-306. [丘宝剑. 关于中国热带的北界. *地理科学*, 1993, 13(4): 297-306.]
- [45] Wu Shaohong, Zheng Du. New recognition on boundary between tropical and subtropical zone in the middle section of eco-geographic System. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(6): 689-697. [吴绍洪, 郑度. 生态地理区域系统的热带北

- 界中段界线的新认识. 地理学报, 2000, 55(6): 689-697.]
- [46] Chen Shupeng. Information and modernization of geography. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(3): 193-197. [陈述彭. 地理科学的信息化与现代化. 地理科学, 2001, 21(3): 193-197.]
- [47] Li Shuangcheng, Zheng Du. Applications of artificial neural networks to geosciences: Review and prospect. *Advances in Earth Science*, 2003, 18(1): 68-76. [李双成, 郑度. 人工神经网络模型在地学研究中的应用进展. 地球科学进展, 2003, 18(1): 68-76.]
- [48] Li Shuangcheng, Zhao Zongci, Gao Jiangbo. Identifying eco-geographical boundary using spatial wavelet transform. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4313-4322. [李双成, 赵志强, 高江波. 基于空间小波变换的生态地理界线识别与定位. 生态学报, 2008, 28(9): 4313-4322.]
- [49] Cai Yunlong. New perspectives on physical geography. *Geographical Research*, 2010, 29(1): 1-10. [蔡运龙. 当代自然地理学态势. 地理研究, 2010, 29(1): 1-10.]
- [50] Fu Bojie, Leng Shuying, Song Changqing. The characteristics and tasks of geography in the new era. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(8): 939-945. [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.]
- [51] Wu Shaohong, Zhao Yan, Tang Qiuhong, et al. Land surface pattern study under the framework of Future Earth. *Progress in Geography*, 2015, 34(1): 10-17. [吴绍洪, 赵艳, 汤秋鸿, 等. 面向“未来地球”计划的陆地表层格局研究. 地理科学进展, 2015, 34(1): 10-17.]
- [52] Irina M, John S D, Susan S. Pace of shifts in climate regions increases with global temperature. *Nature Climate Change*, 2013, 3: 739-743.

Frontiers in terrestrial system research in China under global change

ZHENG Du, WU Shaohong, YIN Yunhe, YANG Qinye,
ZHAO Dongsheng, ZHANG Xueqin

(Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and
Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: In view of the regional differentiation rules of land surface, research on terrestrial system (TS) has provided significant basis for the rational development of natural resources and layout of industries, and supported regional sustainable development as well. In this paper, the progress of TS research in China is overviewed and research frontiers in TS research in the near future under global change are explored. Since the 1950s, China has paid great attention to the TS study as its socio-economic development, and conducted research on physical geographical regionalization, eco-geographical regionalization and comprehensive regionalization. Along with the deepening of global change research, dynamics of TS have been highly concerned. During the studies, methodology has been developed from qualitative research of integration of experts' brainpower gradually to quantitative research based on field observation and experiments of the natural processes, including physical, chemical and biological processes, as well as application of information technology and mathematical simulation. Along with the emphasis on global change, TS would be combined with the ideology, objectives and key researches of Future Earth program, to focus on the mechanism and regional effects of interaction among land surface elements, the response of TS to global change, the quantitative recognition on regional unit boundary, and the combination of physical and human elements.

Keywords: global change; terrestrial system; differentiation rules; sustainable development; China