区域生态学核心理论探究

高吉喜

环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042

E-mail: gaojx168@163.com

2017-07-10 收稿, 2018-01-15 修回, 2018-01-18 接受, 2018-03-19 网络版发表

国家重点研发计划(2017YFC0506606)资助

摘要 随着区域发展一体化, 区域生态环境问题日益突出. 为此亟需完善区域生态保护理论, 建立区域生态学学科体系. 本文基于区域生态问题特征, 提出“生态供体-生态受体双耦合”“生态格局-过程-功能三位一体”和“生态承载力与区域发展相适宜”三大区域生态保护核心理论; 指出在生态域内, 生态供体和生态受体之间格局完整、过程连续和功能匹配是区域协调的基本特征, 建立与生态承载力相适宜的产业结构与布局, 提高人居适宜性, 是实现人与自然环境协调的关键. 该研究为解决当前的区域环境问题提供了新的认识论和方法论.

关键词 区域生态, 生态域, 生态协调

随着全球经济快速发展, “区域生态”问题日益凸显^[1,2], 其研究引起广泛关注, 相应研究机构或实验室纷纷建立. 2017年6月最新的CNKI检索表明, 中国已有40多个高校或科研院所开展了“区域生态”研究, 有99528篇硕博论文或期刊论文将“区域生态”问题作为研究主题. 鉴于此, 第589次香山科学会议针对如何建设区域生态学学科体系, 解决当下突出的区域环境问题展开讨论, 广纳建议、凝聚共识. 与会科学家一致认为, 区域生态保护理论具有时代特色和现实价值, 区域生态学学科建设势在必行.

1 区域生态学产生背景与研究现状

1.1 产生背景

当代环境问题的区域化和综合化亟需开展区域生态学研究. 经济的高速发展加剧了水、土地、能源等的过量消耗, 资源环境压力使环境问题凸显^[3]. 同时, 随着人类经济社会活动范围的不断扩大, 导致人类对环境的影响从局地扩展到区域, 资源和环境问题

由城市向农村蔓延、由发达国家向发展中国家转移, 使环境污染和生态破坏呈现区域性特征, 威胁到人类的生存和发展^[4]. 同时, 随着区域经济一体化发展, 环境问题呈现综合性特征. 为此, 必须探寻新的解决途径, 从整体观、系统论的视角开展研究, 以解决日益突出的区域生态环境问题.

区域生态关联机制亟需建立新理论和新方法开展研究. 传统生态学的理论和方法侧重小尺度生态问题研究, 难以阐释大尺度区域生态联系. 因此需从区域的视角, 研究复杂区域生态结构、过程与功能之间的相互作用机制, 以及自然生态系统与社会经济系统的耦合机理等, 为解决当下复杂环境问题提供新思路, 促进区域可持续发展.

空间信息技术的发展使多尺度生态学研究成为可能. 20世纪90年代, 遥感、地理信息系统和全球定位系统等技术迅速发展, 因其具有强大的空间信息采集、处理功能, 被应用到生态研究中, 有助于研究多尺度、多要素的复杂时空下的生态问题, 可从点到面、从局部到整体来审视多尺度区域生态格局、过程

引用格式: 高吉喜. 区域生态学核心理论探究. 科学通报, 2018, 63: 693–700

Gao J X. The exploration of essential theories about regional ecology (in Chinese). Chin Sci Bull, 2018, 63: 693–700, doi: 10.1360/N972017-00755

和功能,并通过系统模拟进行科学预测,揭示区域生态环境发展趋势,为区域性环境问题的解决提供了强有力的技术支撑。

1.2 国内外研究现状

国际上,区域生态学起源可以追溯到Brown^[5-7]在1989年发表的文章和1995年出版的*Macroecology*专著,其定义为“研究大时空尺度下不同物种之间的食物和空间分配规律的学科^[8]”。区域生态学产生之初,存在与生物地理学是否相似的争议。为此,2002年,*Nature*曾针对区域生态学和生物地理学的关系展开激烈争论,多数科学家认为,二者存在差别,分属不同学科领域,生物地理学主要致力于描述和解释物种的分布格局,并不针对区域尺度生态问题开展研究,而区域生态学不仅研究物种的分布格局,还要探寻区域自然生态系统结构、过程和功能客观规律和基本原理^[9]。所以,从学科的产生、发展和研究范畴来讲,区域生态学和生物地理学之间既有联系,又有不同,是两个不同的学科^[10-12]。

在西方,区域生态学侧重于研究大尺度生态空间格局、物种分布、物种多样性的纬度梯度、外来物种入侵等生物保护问题,以及下垫面异质性与区域碳循环关系、区域碳足迹和气候变化对生态系统的影响等^[13-19]。在中国,由于资源和环境问题日益突出,区域生态学研究更关注解决经济发展过程中的生态环境问题,如区域生态安全格局构建、生态资源配置、产业优化布局等^[20-23]。王如松等人^[23]和马世骏^[24]提出复合生态系统理论与城市生态调控方法,傅伯杰等人^[25]、欧阳志云和王如松^[26,27]、陈利顶等人^[28]借助景观生态学方法,开展了流域生态演变机制与修复机理、城镇化与生态安全演变等研究。高吉喜等人^[29,30]多年来从事区域生态学基础理论与实践研究,于2013和2015年相继出版了相关论文和国内第一本区域生态学专著,首次明确了区域生态学的研究范畴、学科特点和未来发展趋势,将区域生态学定义为研究区域生态结构、过程、功能以及区域间生态要素耦合和相互作用机理的学科。

2 区域生态学核心理论探索

区域生态学作为一门新兴交叉学科,研究的核心是区域与区域之间的协调发展,以及人与自然的和谐共存,其基本理论由三大核心理论构成。

2.1 生态供体-生态受体双耦合理论

生态供体是生态域中提供生态服务的生态功能体,生态受体是生态域中接受生态服务的生态功能体。生态介质指在区域内或区域之间,联系不同生态功能体或不同生态单元的生态要素。生态供体和生态受体通过生态介质共同组成一个完整的生态域。例如,以风为介质的风域、以水为介质的流域和以资源流转为驱动形成的资源域(图1)。生态供体-生态受体双耦合理论是指基于生态供体与生态受体的地-地耦合和人-地耦合的双耦合关系。

地-地耦合是指生态域中生态供体与生态受体在空间上的耦合。在生态域内,生态供体与生态受体之间存在紧密配合与相互影响的耦合关系,即通过生态过程从供体区向受体区传输物质、能量和信息。生态受体区的发展依赖于生态供体区的供给能力,且两地之间相互依存,协调发展。供体与受体之间相互依存的耦合度决定了生态域的生态完整性和健康发展程度。

人-地耦合是指生态域内经济社会系统与自然生态系统的耦合。依托自然生态系统,即生态供体的资源供给,支撑经济社会的发展,健康的人-地耦合关系必须是依据自然生态系统的生态承载能力合理布局经济社会系统的人居环境、产业结构、产业布局和产业规模。人居环境适宜性和产业适宜性程度,决定生态-经济系统的协调发展度,即人-地耦合度。

2.2 生态格局-过程-功能三位一体理论

生态域内,生态格局-过程-功能三个方面相互影响、相互联系,构成“三位一体”的统一整体。生态格

图1 生态域构成示意图

Figure 1 The composition of ecological domain

局指生态域内不同生态功能体的空间组合形式,生态过程是指构成生态域的各类生态要素和功能体之间通过介质发生联系,相互影响、相互作用,进而影响生态域内物质循环和能量流动的过程,区域生态功能则是指生态域内生态供体提供产品和服务的能力。

格局是过程的载体,格局的变化导致生态过程的变化,过程是塑造格局的动因和驱动力,其改变也会对格局产生响应,生态格局和过程的相互作用会表现出不同的生态功能。因此,三者之间相互影响,互为因果。生态域内只有实现生态供体与生态受体之间生态格局完整、生态过程连续、生态功能匹配,才能实现真正意义上的区域间协调发展和区域生态安全,如图2所示。

2.3 生态承载力与区域发展相适宜理论

区域生态承载力包括区域内各种生态系统的自我维持与自我调节能力、其资源与环境子系统的供容能力以及区域内经济社会子系统的发展能力。

该理论具有两层涵义。(1) 生态域内特有的资源环境条件——资源环境子系统,对整个生态域内人居环境、产业结构与布局模式有特定的约束性,但同时也是支撑人居与经济发展的基础(图3);(2) 生态域内经济社会子系统的产业结构与布局形成、人口集聚,会引起资源空间配置变化及环境污染的空间扩散和转移,从而影响生态域内资源与环境承载力的空间流转与变化。

因此,生态承载力与区域发展相适宜的基础是人居和产业结构、布局 and 规模与资源环境禀赋相适宜。因此,生态承载能力的维系与提升直接关系到整个生态域的可持续发展,但在实际发展过程中,过快

图2 (网络版彩色)生态格局-过程-功能三位一体示意图
Figure 2 (Color online) Triune of ecological pattern-process-function

图3 生态承载与区域发展相适宜示意图
Figure 3 The suitable relationship between ecological biological capacity and regional development

的经济社会发展常导致资源环境子系统的巨大破坏,从而影响生态与经济的协调与可持续发展。近年来,各种污染事故、自然灾害的频繁发生,与生态域承载能力降低以及产业结构、产业布局的不合理有直接关系。所以,生态域内经济社会发展必须与其生态承载力相适宜,才会实现人-地系统的协调。

在生态域内,围绕生态供体-生态受体双耦合关系,运用格局-过程-功能三位一体理论,分析生态供体和生态受体之间地-地耦合关系,使其形成格局完整、过程连续和功能匹配的区域协调关系(地-地协调);运用生态承载与区域发展相适宜理论,分析生态供体和生态受体之间人-地耦合关系,建立与生态承载力相适宜的产业结构与布局,提高人居适宜性,实现人与自然环境的协调(人-地协调)(图4)。

3 区域生态协调关系分析

以区域生态学的三大理论体系为指导,理论与

图4 (网络版彩色)区域生态学理论体系框架示意图
Figure 4 (Color online) The framework of regional ecological theory

实践相结合,探讨解决地-地协调和人-地协调问题.

3.1 地-地关系协调

解决区域协调问题的核心是统筹兼顾上下游地区的自然条件与经济利益,实现生态域内生态供体与生态受体之间在格局上各就各位、过程中连续通畅、功能间互利互惠.

(i) 流域协调. 流域是以水资源为生态介质,通过连续的陆面-水体过程联结上中下游形成完整的生态域. 健康的流域应具有格局完整性、过程连续性和功能匹配性. 流域生态格局的完整性表现在特定时空尺度下,内部生态功能体类型的齐全和相互之间的有机配置,流域格局完整性越高,其稳定性越好(图5).

流域生态过程连续性,表现在水流动时发生的泥沙和营养物的迁移、积累,以及陆地坡面与水域之间的物质与能量交换等生态过程连续通畅,上游供体为下游受体提供生态功能,没有阻碍. 流域生态功能是指生态供体在特定的生态格局和生态过程条件下提供生态服务的能力. 对流域来说,除了关注为人类提供直接利用的水资源外,更要注重维持流域生态健康和安全所需要的多种功能,如保持土壤、涵养水源、调蓄洪水等,否则流域内生态过程与生态安全格局受到威胁,上中下游区域之间的协调被打破,如长江中上游由于过度放牧、陡坡地开垦、森林植被砍伐和湖泊湿地围垦等不合理的人类活动,破坏流域内生态格局合理性,进而影响整个流域生态过程,并最终成为1998年特大洪水灾害的重要原因之一.

(ii) 风域协调. 风域是指以空气为生态介质所

形成的生态区域. 通常情况下,完整健康的风域,上风向应为生态涵养区,为下风向生态受体区提供生态服务,如新鲜干净的空气,因此上风向生态供体格局一旦遭到破坏,会威胁生态受体区的大气环境,如在我国科尔沁和浑善达克地区,一旦草地遭受破坏,生态涵养区便变成了沙尘暴发生源地. 当沙尘暴路经该区域时,沙尘强度会增加,给下风向生态受体区域带来危害. 如果在该区开展生态保护与生态建设,提高植被覆盖度,区域生态过程和生态功能会向良性方向发展,降尘污染区和远距离飘尘区的风沙或浮尘天气将会明显减少. 因此,在风域上游,进行经济开发、产业布局和生态建设时,必须统筹考虑生态格局的合理性,确保生态单元原有生态功能不降低,这是实现整个风域协调发展的基础. 近年来,为增强城市污染物扩散所开展的城市通风廊道建设,以及为阻碍风沙侵害所开展的生态屏障构建等,使风域生态研究越来越具有现实意义.

(iii) 资源域协调. 资源域是区域生态资源或产品在人为驱动力下发生流转所形成的生态区域. 资源流转常伴随经济活动,典型的资源域有城市圈、经济圈等. 资源域生态格局的完整性表现在生态供体区域生态环境良好、资源类型齐全,能够为生态受体区提供足够的生态产品,且供体区与受体区能协调发展. 资源域生态过程表现在区域经济交流与合作中生态资产的耗损与流转. 资源域生态功能匹配性是区域生态资产供给能力与需求量基本平衡,且供体区与受体区不存在太大的发展落差,能够公平合理发展. 目前,资源域的生态环境问题比较突出,以

图5 (网络版彩色)典型流域生态单元空间格局

Figure 5 (Color online) The spatial pattern of typical watershed ecosystem

京津冀地区为例,这里已成为中国发展落差最大地区,即,所谓“先进的城市,落后的地区”。因此,加强京津冀区域协调,应该从整个生态域角度出发,河北应该优化产业结构与布局,增加生态供体区生态产品供应能力,减少生态破坏与环境污染,京津等主要城市应适当疏解人口和经济压力,并主动改变“虹吸效应”式资源与生态产品流动方式,增加三地生态功能的匹配程度,实现京津冀互惠互利、共同富裕。

3.2 人-地关系协调

区域生态学中的人-地协调是生态域内生态承载能力与人类活动产生的生态压力能够保持平衡。生态承载能力的高低直接取决于区域生态环境质量与人类开发利用强度的关系。维系与提升区域生态环境承载能力,或降低人类活动对环境的压力是人-地协调研究的基础。因此,为实现人-地协调,确保经济开发和资源利用在区域生态适宜范围内,需开展人居适宜性和生产适宜性等实践研究。

人居适宜性,即自然生态环境要素,如地形地貌、气候特征、资源禀赋、地质环境等对人类生活居住的适宜程度。生产适宜性是指人类的生产活动与区域资源禀赋和环境容量的相适宜性。通过资源在不同地域、不同产业之间的有效配置,提高产业适宜性,从而实现区域环境与经济的协调发展。

人-地关系协调研究,首先应对研究区域的整体人-地关系进行判定。应评价判断区域人-地系统所具有的自我维持与自我调节能力,资源与环境子系统支撑能力,可维育的经济社会活动强度及适当的人口数量,从而制定因地制宜、环境生态良好的开发策略。以我国长江经济带为例,因资源环境要素的本底差异,为达到资源环境承载与区域开发的良好协调,要求人类开发应有差异化的发展方向和模式,形成人-地系统的典型多样性。例如,长江三角洲平原、杭州湾滨海平原、苏北平原等地,这些区域具有优越的水土资源,开发程度较高,具备较好的经济基础和较强的发展潜力,有利于人口和经济的集聚。因此,从人居、产业适宜性来看,开发适宜度高、能够支撑大规模工业化和城市化,而长江上游地区的云南、四川和贵州等中西部省份,资源环境承载能力较低、生态系统脆弱或属于生态功能保育区,不适宜进行大规模工业化和城镇化建设,加强生态建设、增强生态产品供给能力是其首要任务^[31]。

其次,人-地关系协调研究还应对各区域的局地生态适宜性开展评估研究。例如,对长江下游当前的产业结构与布局的适宜性研究,可发现其中存在的问题。分析表明,长江三角洲已成为我国城镇最密集、城市化水平最高的地区之一,城市群内部的经济结构正在发生重构。各城市依据资源要素禀赋和经济基础发展出各自不同的优势领域,区域产业格局也呈现出梯度发展的态势。然而,根据资源环境承载能力和产业适宜性评价结果,长三角城市群核心区域资源、环境问题约束已经成为制约区域可持续发展的重要瓶颈,仍需要进一步的结构优化、功能升级,以降低生态压力,实现长远发展^[32,33],如可通过考虑改善城乡结合部或边缘区域的基础设施,通过发达板块的外溢效应,在环境承载力相对较高的区域实现产业承接,从而缓解核心城市区域资源环境与发展之间的矛盾。

4 讨论

区域生态学具有时代特色,研究内容和方法需不断完善。面对当今严峻的生态环境问题,区域生态学具有明显时代特色:(1)研究视角偏向系统、整体和综合,需要科学整合自然生态系统与社会经济系统,解决当下综合性生态问题;(2)研究目标由机理研究转向服务于可持续发展,直接服务于经济、社会发展和人类可持续发展;(3)研究内容侧重解决区域实际生态问题,从生态格局、过程、功能三位一体理论解决区域协调(地-地协调)问题,从区域生态环境与社会经济发展适宜性角度研究人与环境协调(人-地协调)问题。为此,区域生态学需进一步完善学科理论体系,明确学科理论支撑与核心研究内容,进一步探索定性、定量与半定量相结合的区域生态学研究方法,不断完善区域生态学科体系建设。

区域生态安全格局构建与区域生态恢复是区域生态学研究的重要目标。区域生态学研究目标应以维护区域生态过程完整性、提升生态服务能力为目标。区域生态安全格局是由各类生态功能体、关键生态系统、廊道等共同构成,是对维护区域生态安全起关键作用的空间框架。可以通过优化国土空间开发格局,理顺保护与发展的关系,逐步构建结构完整、功能稳定的区域生态安全格局。在此基础上,围绕恢复生态系统健康和区域生态安全关键区建设,开展区域生态修复研究,将修复目标从以生态问题为导

向转向以生态功能为导向,恢复和提升区域生态功能与生态服务能力。

尺度问题仍是区域生态研究的难点。生态学尺度包含组织尺度、空间尺度和时间尺度。区域生态学的组织尺度介于景观与全球之间,空间尺度应以中观尺度和局地尺度为重点,但是针对实践中的具体问题,尺度选取决定于生态介质的扩展范围,如由于沙尘暴的影响,将浑善达克沙地与北京、甚至东南沿海联系了起来,区域的范围从局地扩展到了中观甚至宏观尺度。考虑时间尺度时,由于长期的生态过程常常隐含于“不可见的存在”中,生态过程和生态现象的时间延迟效应十分明显,许多生态过程、生态现象与生态过程的因果关系需要长期观测才能发现,足够的时间尺度才能理解生态环境问题的本质,因此,区域生态学研究的时间尺度应以中长期为主。在研究实践中,研究尺度是动态的、变化的、弹性的,并且研究中需要进行尺度转换,某一尺度上发现的问题往往需要在更小尺度上去揭示其形成原因和制约机制,进而在更大尺度上寻找解决问题的综合途径,尺度划分和尺度转换仍是区域生态学研究中的

难点。

5 结论

区域生态学从生态域内生态供体、生态受体、生态介质的相互作用角度,分析生态域内生态格局、过程和功能,强调生态承载能力与自然、经济、社会要素的耦合。

生态供体-生态受体双耦合理论,区域生态格局-过程-功能三位一体理论,生态承载力与区域发展相适宜理论是区域生态学的核心理论体系。该理论体系是解决地-地协调和人-地协调问题的根本,研究成果将在区域生态安全格局构建与空间优化、区域生态保护与生态功能提升、区域生态调控保护与修复技术以及区域产业结构与布局优化等方面的发挥重要指导作用。

随着科学技术进步和研究实践不断积累,区域生态学将得到长足的发展,研究方法和研究手段得到改进和加强,学科体系进一步完善,为从根本上解决区域生态问题提供科学指导和重要支撑。由于区域环境问题形成机制复杂,区域生态学理论方法仍需不断发展完善,该学科发展任重而道远。

参考文献

- Underwood N, Hambäck P, Inouye B D. Large-scale questions and small-scale data: Empirical and theoretical methods for scaling up in ecology. *Oecologia*, 2005, 145: 176–177
- Vetter D, Storch I, Bissonette J A. Advancing landscape ecology as a science: The need for consistent reporting guidelines. *Landsc Ecol*, 2016, 31: 469–479
- Pace M L, Gephart J A. Trade: A driver of present and future ecosystem. *Ecosystems*, 2017, 20: 44–53
- Palmer M, Bernhardt E, Chornesky E, et al. Ecology for a crowded planet. *Science*, 2004, 304: 1251–1252
- Brown J H, Maurer B A. Macroecology: The division of food and space among species on continents. *Science*, 1989, 243: 1145–1150
- Brown J H. Macroecology. Chicago: University of Chicago Press, 1995
- Brown J H. Macroecology: Progress and prospect. *Oikos*, 1999, 87: 3–14
- Blackburn T M, Gaston K J. Introduction: Why macroecology? In: Blackburn T M, Gaston K J, eds. *Macroecology: Concepts and Consequences*. Oxford: Blackwell Science, 2003. 1–14
- Peng Z B, Jiang Y, Jiang J S. Hotspots and status of macroecology research (in Chinese). *Ecol Sci*, 2012, 31: 91–96 [彭宗波, 蒋英, 蒋菊生. 区域生态学研究热点及进展. *生态科学*, 2012, 31: 91–96]
- Rangel T F L V B, Diniz-Filho J A F, Bini L M. Towards an integrated computational tool for spatial analysis in macroecology and biogeography. *Global Ecol Biogeogr*, 2006, 15: 321–327
- Gaston K J. Macroecology and people. *Basic Appl Ecol*, 2004, 5: 303–307
- Heino J, Soininen J, Alahuhta J, et al. Metacommunity ecology meets biogeography: Effects of geographical region, spatial dynamics and environmental filtering on community structure in aquatic organisms. *Oecologia*, 2017, 183: 121–137
- Song L F, Qin F G, Potter K. Macrosystems ecology: Novel methods and new understanding of multi-scale patterns and processes. *Landsc Ecol*, 2016, 31: 1–6
- Cumming G S. Global biodiversity scenarios and landscape ecology. *Landsc Ecol*, 2007, 22: 671–685
- Smith S D, Huxman T E, Zitze R F, et al. Elevated CO₂ increases productivity and invasive species success in an arid ecosystem. *Nature*, 2000, 408: 79–82

- 16 Jiang Y Y, Adrian V R, Edward B, et al. C-N-P interactions control climate driven changes in regional patterns of C storage on the North Slope of Alaska. *Landsc Ecol*, 2016, 31: 195–213
- 17 Hutrya L R, Yoon B, Alberti M. Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: A study of the Seattle, WA region. *Glob Change Biol*, 2011, 17: 783–797
- 18 Adom F, Maes A, Workman C, et al. Regional carbon footprint analysis of dairy feeds for milk production in the USA. *Int J Life Cycle Assess*, 2012, 17: 520–534
- 19 Bobbink R, Hicks K, Galloway J, et al. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: A synthesis. *Ecol Appl*, 2010, 20: 30–59
- 20 Shang Z B, Gao Q. Watershed ecology—A new research area of ecology (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2001, 21: 468–473 [尚宗波, 高琼. 流域生态学——生态学研究的一个新领域. *生态学报*, 2001, 21: 468–473]
- 21 Gao J X, Fan X S, Chen Y L, et al. Regional Ecological Asset Evaluation—Theory, Method and Application (in Chinese). Beijing: Science Press, 2013 [高吉喜, 范小杉, 陈雅琳, 等. 区域生态资产评估——理论、方法与应用. 北京: 科学出版社, 2013]
- 22 Yang X B, Wu Q S, Zou W, et al. Urban Ecology (in Chinese). Beijing: Science Press, 2000 [杨小波, 吴庆书, 邹伟, 等. 城市生态学. 北京: 科学出版社, 2000]
- 23 Wang R S, Zhou Q X, Hu D. Ecological Control Method of Urban Sustainable Development (in Chinese). Beijing: Meteorological Press, 2000 [王如松, 周启星, 胡聃. 城市可持续发展的生态调控方法. 北京: 气象出版社, 2000]
- 24 Ma S J. Perspective of Modern Ecology (in Chinese). Beijing: Science Press, 1990 [马世骏. 现代生态学透视. 北京: 科学出版社, 1990]
- 25 Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. Principle and Application of Landscape Ecology (in Chinese). Beijing: Science Press, 2001 [傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001]
- 26 OuYang Z Y, Wang R S. Regional Ecological Planning Theory and Method (in Chinese). Beijing: Chemical Industry Pres, 2005 [欧阳志云, 王如松. 区域生态规划理论和方法. 北京: 化学工业出版社, 2005]
- 27 OuYang Z Y, Zheng H, Huang B R, et al. Regional Ecological Environment Assessment and Ecological Function Zoning (in Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 2009 [欧阳志云, 郑华, 黄宝荣, 等. 区域生态环境状况评价与生态功能区划. 北京: 中国环境科学出版社, 2009]
- 28 Chen L D, Sun R H, Ji Y H, et al. Study on Water Ecological Function of Haihe River Basin (in Chinese). Beijing: Science Press, 2013 [陈利顶, 孙然好, 汲玉河, 等. 海河流域水生态功能分区研究. 北京: 科学出版社, 2013]
- 29 Gao J X. The basic theoretical exploration of regional ecology (in Chinese). *China Environ Sci*, 2013, 33: 1252–1262 [高吉喜. 区域生态学基本理论探索. *中国环境科学*, 2013, 33: 1252–1262]
- 30 Gao J X, Chen Y M, Tian M R, et al. Regional Ecology (in Chinese). Beijing: Science Press, 2015 [高吉喜, 陈艳梅, 田美荣, 等. 区域生态学. 北京: 科学出版社, 2015]
- 31 Fan J, Wang Y F, Chen D, et al. Analysis on the spatial development structure of the Yangtze River Economic Belt (in Chinese). *Prog Geogr*, 2015, 34: 1336–1344 [樊杰, 王亚飞, 陈东, 等. 长江经济带国土空间开发结构解析. *地理科学进展*, 2015, 34: 1336–1344]
- 32 Shen H P. Research of industrial distribution of Yangtze River delta urban agglomeration and new urbanization (in Chinese). Master Dissertation. Nanjing: Nanjing University, 2014 [沈浩平. 长三角城市群产业布局与新型城镇化研究. 硕士学位论文. 南京: 南京大学, 2014]
- 33 Du J J, Liu X H, Zhang J W. Spatial and temporal evolution of industrial structure of Yangtze River delta urban cluster (in Chinese). *Inquiry Econ Issues*, 2016, 9: 166–171 [杜建军, 刘学华, 张军伟. 长三角城市群产业结构的时空演变研究. *经济问题探索*, 2016, 9: 166–171]

Summary for “区域生态学核心理论探究”

The exploration of essential theories about regional ecology

Jixi Gao

Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China

E-mail: gaojx168@163.com

With the integration of regional development, regional ecological environment problems are becoming more and more severe, which has attracted extensive attention of researchers. Therefore, the 589th XiangShan Science Conference was organized to discuss how to build the regional ecology disciplinary system, and how to solve the current outstanding regional environment problems. It was agreed that regional ecological protection theory has characteristics of the current times and practical value, and the construction of regional ecological discipline is imperative.

Based on the features of regional ecological problems, this paper puts forward three core theories of regional ecological protection. Firstly, the theory of “the dual coupling of ecological donor-ecological receptor”, which refers to the dual relationship of the land-land coupling and human-land coupling, are based on the ecological donor and the ecological acceptor. Land-land coupling indicates the coupling of ecological donor and receptor on space in the ecological domain, and the interdependence level between the donor and receptor determines healthy development and the ecological integrity of the ecological domain; human-land coupling refers to the coupling of the economic social system and natural ecological system in the ecological domain, and the suitability of human living environment and industries determines the degree of human-land coupling in the ecological-economic system.

The second theory is the “triune theory of ecological pattern-process-function”. It was argued that the pattern is the carrier of the process, and the change of pattern leads to the change of ecological process. Process is the motivation and the driving force in forming pattern, and pattern will also respond to the change of process. The interaction of ecological pattern and process will show different ecological functions. Therefore, they are mutually affected and are reciprocal causation for each other. The regional coordinated development and ecological security can only be realized by integrated pattern, continuous process and matching function between the ecological donor and receptor.

The third theory is “the suitable relationship between ecological biological capacity and regional development”, which is based on the suitability among human settlements, industrial structure, distribution, scale and natural resources & environment. Therefore, the maintenance and improvement of the ecological carrying capacity has direct effect on the sustainable development of the whole ecological domain. The economic and social development in the ecological domain must be appropriate with its ecological carrying capacity in order to realize the coordination of human-land system.

From the view of the interaction among the ecological donors, ecological receptors, and ecological medium in the ecological domain, regional ecology analyzes ecological pattern, process and function in the ecological domain, and emphasizes the coupling of ecological carrying capacity as well as natural, economic and social factors. Three core-theory system is the fundamental solution to solve the land-land and human-land coordination problems, and the research results will play an important role in guiding the construction of regional ecological security pattern and space optimization, regional ecological protection and improvement of ecological service function, protection and repair technologies of regional ecological governance, as well as the optimization of regional industrial structure and distribution, etc. This theory provides new epistemology and methodology for solving current regional environmental problems.

regional ecology, ecological domain, ecological coordination

doi: 10.1360/N972017-00755