

生态科学研究的新进展

王让会¹

摘要

生态科学与资源开发、环境保护以及经济发展密不可分,并表现出了一系列的新特点.在研究对象、研究方法、研究思路、研究的深度与广度等方面发生了一系列的变化,如理论研究系统化、研究对象复杂化、研究方法丰富化、研究时效长期化、研究尺度多样化、研究目的实用化、研究过程可视化与数字化、研究手段模型化和定量化.随着科学理念的深入,生态科学将为低碳环保、城市规划、应对气候变化以及可持续发展提供理论支撑与科学方法.

关键词

生态科学;学科体系;理论研究;方法研究

中图分类号 Q14

文献标志码 A

0 引言

生态学是一门多学科交叉渗透形成的、与人类及生物生存息息相关的的前沿学科,是研究生物与环境之间相互关系及其作用机理的科学,其知识体系涉及现代科学的诸多领域,在 21 世纪的科技、社会、自然和经济发展中具有广阔的应用前景.

全球变化背景下,围绕节能减排、低碳经济及可持续发展的一系列重大问题,生态科学与资源开发、环境保护与经济发展密不可分,并表现出了一系列的新特点.在研究对象、研究方法、研究思路、研究的深度与广度等方面发生了一系列的变化,为生态学的发展提供了现实需求.

不同学科与生态学的融合,推动了生态学研究领域的拓展.目前,从微观的分子生态学到宏观的景观生态学,从动(植)物生态学到化学经济生态学,再到生态哲学、生态美学、生态信息科学等,生态科学中各种因素的相互作用比从前更加详实和准确地被研究和认识;生态学理论与新学科理论体系的融合,从学科性质与研究思路方面得到了全面的融合,形成了新的生态科学理论体系,从人们探索社会、人文、经济、环境等方面为生态问题提供了重要的理论依据与方法支撑.

1 生态科学理论研究的主要特征

1.1 理论研究的系统化

随着相关领域学科不断发展,生态科学的发展亦表现出了一系列特征,尤其在生态科学理论研究方面.生态学理论研究的进展突出表现在物质循环、能量流动及信息传递的诸多方面,如全球变化背景下生态系统变化及其水、碳、氮物质循环和能量交换过程的生物、物理和化学机制,生态系统和区域碳储量和碳收支的机制,系统模拟与科学预测的理论问题,生物多样性保护的生物学机制,生态修复的环境效应,生态要素尺度转化的合理性,生态复杂性的理论基础,生态资产评估的经济学原理,生态格局及生态过程的关系,生态产业发展的理论基础等,上述各方面综合性地反映了现代生态科学理论研究的新进展.

1.2 学科体系不断完善

生态学是研究生物与环境关系的科学.目前,理论生态学的学科体系不断得以完善,生态学已继承并拓展了个体生态、种群生态、群

收稿日期 2012-05-17

资助项目 国家 973 计划(2006CB705809);国家科技支撑计划(2012BAC23B01;2012BAD16B03-05);中国气象局干旱气象基金(IAM201001)

作者简介

王让会,男,博士,教授,博士生导师,主要从事生态学、地理学等领域的研究工作.

rhwang@nuist.edu.cn

¹ 南京信息工程大学 环境科学与工程学院,南京,210044

落生态、系统生态的基本原理,并进一步在景观生态、区域生态及全球生态等理论生态领域拓展,逐渐形成了一系列理论生态学的学科分支。

1.3 新学科层出不穷

目前,生态学与其他多门学科交叉发展迅速^[1]。如,医学生态学、工业资源生态学、环境生态学、生态信息学、城市生态学、产业生态学、恢复生态学以及生态工程学、生态管理学等;生态学与非生命科学相结合的学科相结合亦表现出独特的学科特色,如,数学生态学、化学生态学、物理生态学、地理生态学、经济生态学、生态经济学、森林生态会计学等;与生命科学其他分支相结合的有生理生态学、行为生态学、遗传生态学、进化生态学、古生态学等。随着自然、社会、经济、人文等领域的不断发展以及它们之间的融合发展,生态学科的交叉也越来越广泛,如生态美学、生态哲学、生态规划学、生态信息学等。特别是近年来快速发展的生态经济学,以及资源经济学、环境经济学等学科的发展,为人们研究生态经济系统的结构、功能及其变化规律,揭示人类经济活动与自然生态之间相互作用的关系,以及经济活动的环境效应等提供了重要支撑,成为制定区域发展战略和经济政策的科学依据。

1.4 学科特色愈加明显

随着学科的不断发展和生态科学综合性与现实性特点不断得以体现。生态科学不仅研究生物与环境的关系问题,而且逐渐拓展到社会经济领域,学科与资源开发、环境保护及经济发展领域相关问题的结合愈加紧密,成为指导上述领域发展的重要理论支持。

1.5 理论研究得以拓展与加强

人类活动及其所导致的全球环境变化成为全球尺度上生态现象及生态过程的主要驱动力。结构与过程研究的科学问题主要集中到结构、功能、动态、驱动力、过程、机制等几个方面。就景观而言,同样涉及结构、功能与动态、尺度、过程与格局以及景观异质性等关键科学问题。目前,气候过程-地貌过程-水文过程-生态过程的耦合研究重点,更为重视地形发育、径流形成、污染物迁移、土地退化、生态系统调控等领域^[2]。

根据 NPP 和生态系统耦合与演变规律,定量研究不同尺度要素及子系统之间的耦合效应,对生态稳定性、生态脆弱性、生态风险、生态健康等研究是

目前理论研究的重要方向。分形理论、元胞自动机、自组织临界理论、复杂适应系统理论等理论方法在景观生态中应用^[3],极大地促进了生态学理论研究的进程。空间自相关理论、空间非平稳理论和地统计理论的发展,也拓展了生态科学理论研究的领域^[4-5]。近期专家结合相关领域研究提出的景观格局与生态过程耦合研究基本框架^[6],丰富了生态科学的理论体系。

2 当代生态科学研究方法的主要特点

生态要素及环境信息的监测、分析、模拟、评价方法,受到技术进步的直接影响,趋于多样化。遥感、GIS 等手段的应用,促进了学科研究的深入进展。同时,多维数据获取、处理方法的应用,使研究不断深化。研究方法越来越表现出多样化的特点。

2.1 数学计算方法

生态学研究离不开数学方法的定量化表达与分析手段。无论是理论生态学各分支学科,还是众多的生态学交叉学科,都与数学计算方法紧密相连。

20 世纪是生态学成熟和发展的时期,这一时期的生态规律的研究多是在严格的假定条件下推导出来的,有严密的数学和物理学的基础,在一定程度上描述了一些理想状况下生态过程的变化。目前,空间分析法(如分形分析法和小波分析法)、基于相似性的尺度上推方法、基于局域动态模型的尺度上推方法、随机(模型)法的尺度推绎途径,均对于生态问题研究具有重要帮助。运用人工神经网络解决高度复杂、非线性及数据结构庞大等特征的生态学问题,在生物多样性及群落研究中采用系统聚类分析及非度量多维标度排序的 2D 分析,开展基于类群数和丰度数量特征的群落间差异比较^[7],景观生态学中数以百计的各类景观生态指数,都是数学方法的具体体现,也是目前生态过程及格局研究的热点。而在全球尺度上一系列气候变化情景下的生态系统结构与功能变化,更体现了数学方法的巨大潜力。

2.2 模型模拟方法

模型研究是认识生物与环境特征的重要桥梁。早期的生态学模型众多,为促进人们认识生物及环境特征发挥了重要作用。如 Pearl(1927)对 Verhulst(1838) Logistic 模型的完善, Lotka(1923)和 Volterra(1925)的捕食模型, Thompson(1924)的昆虫拟寄生模型, Kermack-Mckendrick(1927)的传染病模型等^[8]。之后,生态模型的进展主要集中在种群动态模

型方面,并综合性地包含了诸多因素,如年龄结构、时滞、迁移、种内种间竞争、取食行为以及功能响应效应等,具有代表性的模型是具年龄结构的 Leslie (1945) 矩阵模型, Hutchinson (1948) 带时滞的种群增长模型以及 Holling (1965) 提出的捕食者-被捕食者等类型的功能响应模型^[9]. 20 世纪 60 年代以后,技术的快速发展促使人们面对复杂生态系统的研究,更多地借助于系统分析及计算机模拟来进行预测系统的行为及提出治理的最佳方案,模型研究更具综合性及现实意义. 例如植被演替模型,害虫综合管理模型,渔业开发管理模型,全球气候变化模型,有毒物质的迁移和累积模型,人口模型和世界模型等. 通过模型的手段开展机制的分析和情景预测研究,是地理-生态过程的一种定量表达. 在综合与集成的研究中,可建立区域综合模型、多尺度地理-生态过程模型等.

模型有不同的类型划分,也有针对不同问题的特定模型. 自回归综合移动平均模型 (ARIMA) 是时间序列数据预测中最值得注意的一种模型,通常在计量经济学研究中使用,可以较准确地预测非平稳时间序列. 生物地理静态模型根据生态系统的分类,从实测数据分析不同生态系统类型的碳密度,再根据分布面积的估计,并模拟各类生态系统的 NPP,然后进一步估算全球生态系统的碳平衡^[10-11]. 生物地化动力学模型能将植被组成和结构、土地利用与土地覆盖变化 (LUCC) 以及气候变化等因素引入到模型中,预测在全球变化情景下碳循环的动态变化,如大气反演模型在估测 CO₂ 的净通量时既包括了人类活动释放的 CO₂,也包括自然过程引起的 CO₂ 的变化, CENTURY、IMAGE 和 FOREST-BGC 等模型是其重要的代表^[12-13]. 然而,由于尺度问题的复杂性,其结果往往存在一定的局限性.

目前,生态模型的发展有其一系列的特征. 1) 生态模型问题的梳理应明确思路,如从研究对象的要素而言有哪些? 有何特点? 从研究问题而言有哪些? 有何特点? 2) 模型有使用的尺度问题,大、中、小尺度,或者宏观、微观尺度须梳理. 3) 模型有其理论基础,数学基础决定了其使用的内在条件及预测模拟的精度,须综合考虑. 4) 模型的智能化、数字化、信息化、网络化及可视化是相关技术发展相结合的新特点. 5) 模型的不确定性问题及局限性始终存在,需要理论及实践的深化研究才可能得以不断完善.

2.3 实验测量方法

仪器测试是传统生态学研究的重要方法,目前

仍在发挥着重要作用. 例如,通过 ASD Fieldspec HH 光谱仪测定植被表面的高光谱反射率,并统计相应的叶面积指数数据. 选用 RVI、NDVI 等多种植被指数和 PCA、神经网络等方法可以对植被 LAI 进行估算^[14-15]. 神经网络对非线性问题的拟合有着无可比拟的优势,因此部分研究者开始把神经网络引入到高光谱数据分析中来,以提高植被生理参数反演的精度. PCA 具有较好的压缩数据量和降低数据维数功能,可以对数据进行合理充分的利用来提高估算的精度.

碳同位素技术方法,是根据测定生态系统组成成分的碳同位素的比率来确定碳循环动态的方法. 由于碳同位素的衰变,其含量的变化能反映生态系统中的碳元素的周转期,另外,通过分析植被或土壤中碳同位素的丰度,还可确定植被或土壤中有机碳的年龄,由此可分析有机碳的动态变化^[16]. 涡度相关系统法是采用 3D 超声风速温度仪测定森林冠层与大气之间的湍流交换量的方法,目前涡度相关技术被广泛地用于陆地碳平衡的研究,IGBP、WCRP、IHDP、GCTE 和 LUCC 等大型国际合作项目均采用这种技术进行大尺度的 CO₂ 通量监测^[17-18].

生态学研究方法在获取生态要素及环境要素数据信息的手段方面亦具有一系列特征,如景观生态学的空间研究方法、地理学的空间分析方法及 3S 技术的应用,为实现 GIS 数据共享以及网络化提供了重要途径^[19].

2.4 评价评估方法

针对生态学中的生态管理问题,生态安全评价、生态风险评估、生态资产评价、生态服务价值评价以及生态环境演变及预警评价等问题备受关注. 利用决策分析方法、多目标决策方法、风险型决策方法、非确定型决策方法具有重要的理论价值与现实指导意义^[20-21]. 涉及到生态经济问题,目前评价方法具体有市场价值法、造林成本法、机会成本法、影子工程法、影子价格法和生产成本法等一系列可行的方法^[22],并在实践中得到不断完善.

3 生态科学研究的相关特点

3.1 研究对象的复杂化

在人类寻求应对全球变化行动策略的背景下,随着世界人口和社会经济的增长、科学技术的进步和人类开发资源能力的增强,全球生态系统所承受的压力日益增大,生态安全形势严峻. 人们所面临的

生态危机层出不穷,各种生态问题相互交织的研究问题日趋复杂化和综合化.生态学各分支学科在解决复杂问题方面具有一定的可能性.

围绕地球系统的生态环境问题,不同尺度的生态问题众多.如全球变化的区域响应、地表生态过程、生物地球化学循环、生态边界层、生态交错带、生态系统碳储量、生态承载能力、生态可持续性研究等,既有一系列不确定性,也极具复杂性.

3.2 研究时效长期化

面对当前日趋复杂和综合化的生态与环境问题,对相关要素短时间尺度的生态学研究已经不足以解释这些复杂的综合的生态问题和现象,而开展长期的生态学定位和网络研究显得十分迫切.为此,世界上相继建立了长期生态研究网络(LTER)、CERN和英国环境变化网络(ECN)等,以应对日益复杂而变化多端的生态环境问题.当前人们所关心的热点问题主要是区域或全球性的全球变暖,生物多样性和可持续发展等环境问题,生态学研究也逐渐把空间尺度扩展到区域和全球.基于全球变化的国际协作项目的相继建立,如全球陆地观测系统/全球陆地观测网络(GTOS/GT-NET)、国际长期生态研究计划(ILTER)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、千年生态系统监测计划(MA)等,均在一定程度上体现了生态学监测与研究长期化的态势.

3.3 研究尺度多样化

针对不同的生态学问题,目前的研究从时空两个尺度展开研究.时间尺度从秒、分、时、天、旬、月,到年、数十年、百年、千年直至万年以上等;空间尺度从微观到宏观的不同空间,涵盖全球、区域及国家等不同类型的空间地域.加上遥感信息时间分辨率、波段分辨率、空间分辨率的差异性及多样性,生态学研究尺度表现出多样化的特征.

3.4 研究目的实用化

生态学研究主要目的曾以解释生态现象和规律,分析生态系统的结构和功能为宗旨,目前生态学研究越来越关注生态系统的价值和环境服务功能,生态资源的可持续利用与保护,生态功能的维持与延伸,在理念上已经开始从对生态系统的适应转向对生态系统的科学管理.特别是信息化、现代化及低碳化的发展理念,在城市化及区域社会经济发展中,具有重要的指导意义.

3.5 研究过程可视化与数字化

可视化及数字化技术直接促进了对生态要素、

生态学过程研究的深化,也使生态学研究更为直观、更为合理,也更为科学.可视化技术使研究者或者工程技术人员能够科学把握生态现象及生态过程的时空特征,规划与预测研究对象的可能状态,实现情景模拟与仿真.与此同时,数字化手段把研究过程以多种类型的数字方式进行表达、存储、处理与应用,体现了信息技术与计算机技术等生态学研究中的新特点.

3.6 研究手段模型化和量化

模型作为探索复杂事物特征的重要工具,在生态学研究不可或缺.科研工作者希望借助数学模型来模拟与预测生态现象及生态过程的现状和未来趋势,生态学模型研究已成为生态学研究的重要方向,模型研究对于人们认识复杂现象及问题提供了重要思路与途径,延伸了人们的认识能力.随着生态学研究问题的复杂化和综合化,生态学研究对象时空尺度的不断扩展以及信息系统和计算技术的进步,特别是监测手段的系统化与多样化,基于生态系统和区域,甚至全球的生态学研究也逐渐趋于量化,利用GIS和遥感等技术来监测和分析生态现象,大大加快了量化与数字化研究生态学问题的进程.

以上几方面的生态学发展新趋势,使现代生态学逐渐进入了一种以网络化长期定位观测为基础,以量化和现代化信息技术为研究手段,以建立区域和全球可持续生态系统为总体目标,以大型国际科学行动计划为支撑的全新阶段,未来的生态学将在人与自然和谐相处以及人类的生存与发展等方面发挥出更大的作用.

4 生态科学研究展望

科学技术的发展与时代创新思维的发展给学科发展提供了重要基础.到目前为止,生态学研究领域之广,涉及问题之多,运用层面之复杂,在诸多学科中具有其特色.生态学已成为认识自然规律的重要学科,也成为指导人类社会行为准则的一个重要知识体系.目前,关于生态科学发现与机理认识,多过程、多尺度、多学科综合研究,系统模拟与科学预测,服务社会需求以及基础平台建设方面均取得了重要进展,同时,生态科学发展成就主要集中在典型生态系统碳氮水通量特征、过程机制及时空格局研究,生物入侵与生物灾害控制、生态系统服务功能评价、生态恢复、生物多样性保护、人类生态与生态健康以及

生态文明等诸多方面^[23]. 面对日益严峻的生态环境问题,人们应用生态学的原理与方法提出了一些解决问题的方案,它对于协调人与自然的关系,促进社会经济可持续发展发挥着重要作用.

4.1 研究尺度得以进一步拓展与深化

现代生态学向微观和宏观两个方向发展. 生态学除了研究传统界定的领域外,还涉及到一系列快速发展的领域,如景观生态学、恢复生态学、地理生态学、组织生态学等. 生态学的研究层次已涉及分子、基因、个体直到整个生物圈. 分子生态学的兴起及其发展是20世纪末生态学发展的最重要特征之一,同时,生态学迅速发展的另一个非常重要的特点是应用生态学的发展,尤其与经济及人类社会需求的结合,是应用生态学中最重要的领域.

4.2 研究重点进一步强调过程与机理

生态现象及生态过程研究是探索复杂系统的关键问题,也成为生态科学研究的重要理论问题. 未来人们将进一步在生态系统模型开发方面重视水循环、碳循环、氮代谢过程的耦合关系,并通过生态系统观测研究网络对全球的不同类型生态系统开展联网式动态观测研究,中国生态系统研究网络(CERN)发挥着巨大作用.

4.3 新的学科仍在拓展与创新

目前,一些学者还从生态学角度研究现代大学制度、社会学、政治学、管理学、心理学、大众传媒学、风水学等,毫无疑问,上述研究是生态科学进一步拓展的新领域. 不同学科与生态学的融合,增加了各学科之间的交流,形成了许多新的学科体系,创造了新的研究模式,推动了许多重要实践问题的解决. 多种理论的创新结合,为更多的生态学研究带来了新的思想和新的研究方法.

4.4 应用领域进一步拓展

随着产业生态学及应用生态学相关领域及研究方向不断发展,生态学在资源开发、生态建设、环境保护及经济发展中的指导作用进一步显现,特别是应对气候变化、生态省市建设、节约型社会构建、低碳经济发展等均需要生态科学创新理论的指导,诸多新领域不同程度地与生态科学建立起直接与间接的联系,并进一步拓展生态学的应用领域.

致谢 陈东强、茹万凤、孙舒、朱婵璿、张玥等参与了本研究的部分工作,一并表示感谢.

参考文献

References

- [1] 王让会. 生态信息科学研究导论[M]. 北京:科学出版社,2011
WANG Ranghui. Introduction of ecological information science[M]. Beijing: Science Press, 2011
- [2] 傅伯杰,赵文武,陈利顶. 地理:生态过程研究的进展与展望[J]. 地理学报,2006,61(11):1123-1131
FU Bojie, ZHAO Wenwu, CHEN Liding. Processes and prospect of geography-ecological process research[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 60(11): 1123-1131
- [3] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2007
WU Jianguo. Landscape ecology science: Pattern, process, scale and level[M]. 2nd Ed. Beijing: Higher Education Press, 2007
- [4] 张娜. 生态学中的尺度问题:尺度上推[J]. 生态学报,2007,27(10):4252-4266
ZHANG Na. Scale problem of ecology: Scale push[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(10): 4252-4266
- [5] 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[J]. 地理学报,2009,64(9):1027-1038
XU Xuegong, LI Shuangcheng, CAI Yunlong. Nearly progress and forward of China's comprehensive natural geography[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(9): 1027-1038
- [6] 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[J]. 地理科学进展,2007,26(3):1-10
LÜ Yihe, CHEN Liding, FU Bojie. Coupling approach analysis of landscape patterns and ecological processes[J]. Geographical Science Progress, 2007, 26(3): 1-10
- [7] 葛宝明,张代臻,张华彬,等. 盐城市春季几种城市绿地大型土壤动物群落结构与功能群[J]. 生态学杂志,2012,31(1):87-92
GE Baoming, ZHANG Daizhen, ZHANG Huabin, et al. Large soil animal community structure and functional group of several urban green spaces in the spring of Yanchen[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(1): 87-92
- [8] 李典谟,马祖飞. 展望数学生态学与生态模型的未来[J]. 生态学报,2000,20(6):1084-1087
LI Dianmo, MA Zufei. Prospect of mathematical and ecological modeling[J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(6): 1083-1089
- [9] 谌爱文. 基于BP和RBF神经网络的数据预测方法研究[D]. 长沙:中南大学信息科学与工程学院,2007:24-25
CHEN Aiwen. Data to predict research method based on BP and RBF neural network[D]. Changsha: School of Information Science and Engineering, Central South University, 2007: 24-25
- [10] 周玉荣,于振良,赵士洞. 我国主要森林生态系统碳储量与碳平衡[J]. 植物生态学报,2000,24(5):518-522
ZHOU Yurong, YU Zhenliang, ZHAO Shidong. Carbon storage and carbon balance of main forest ecological system in our country[J]. Acta Phytoecologica Sinica,

- 2000,24(5):518-522
- [11] 杨洪晓,吴波,张金屯,等. 森林生态系统的固碳功能和碳储量研究进展[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2005,41(2):172-177
YANG Hongxiao, WU Bo, ZHANG Jintun, et al. Solid carbon function and carbon storage research progress of forest ecological system [J]. Beijing Normal University Journal; Natural Science Edition, 2005, 41(2): 172-177
- [12] 王维枫,雷渊才,王雪峰,等. 森林生物量模型综述[J]. 西北林学院学报,2008,23(2):58-63
WANG Weifeng, LEI Yuancai, WANG Xuefeng, et al. Summarize of forest biomass model [J]. Northwest Forestry College Journals, 2008, 23(2): 58-63
- [13] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报,1996,16(5):498-508
FANG Jingyun, LIU Guohua, XU Songling. Biomass and net output of forest vegetation in our country [J]. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(5): 498-508
- [14] 张正杨,马新明,贾方方,等. 烟草叶面积指数的高光谱估算模型[J]. 生态学报,2012,32(1):168-175
ZHANG Zhengyang, MA Xinming, JIA Fangfang, et al. High spectrum estimation model of tobacco leaf area index [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 168-175
- [15] 杨飞,张柏,宋开山,等. 大豆叶面积指数的高光谱估算方法比较[J]. 光谱学与光谱分析,2008,28(12):2951-2955
YANG Fei, ZHANG Bo, SONG Kaishan, et al. High spectrum estimation comparison of soybean leaf area index [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2008, 28(12): 2951-2955
- [16] 于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积[J]. 北京:气象出版社,2003
YU Guirui. Carbon cycle and carbon accumulation of global change and terrestrial ecosystems [J]. Beijing: Meteorological Press, 2003
- [17] 郝庆菊,王跃思,宋长春,等. 三江平原农田生态系统二氧化碳收支研究[J]. 农业环境科学学报,2007,26(4):1556-1560
HAO Qingju, WANG Yuesi, SONG Changchun, et al. Carbon dioxide payments of farmland ecosystem in the Sanjiang plain [J]. Journal of Agricultural Environment Science, 2007, 26(4): 1556-1560
- [18] 于贵瑞,孙晓敏. 陆地生态系统通量观测的原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2006,1:6-7
YU Guirui, SUN Xiaomin. Principle and method of flux observation in the terrestrial ecosystems [M]. Beijing: High Education Press, 2006, 1: 6-7
- [19] 冉慧,邢立新,潘军等. 遥感技术与陆地生态系统碳循环研究[J]. 环境科学与管理,2010,35(3):117-121
RAN Hui, XING Lixin, PAN Jun, et al. Remote sensing technology and carbon circulation research of terrestrial ecosystems [J]. Environmental Science and Management, 2010, 35(3): 117-121
- [20] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用[J]. 北京:中国人民大学出版社,2008
LI Wenhua. Theory, method and application of service function value assessment in the ecosystem [J]. Beijing: Chinese People's University Press, 2008
- [21] 李文华,欧阳志云,赵景柱. 生态系统服务功能研究[M]. 北京:气象出版社,2002
LI Wenhua, OUYANG Zhiyun, ZHAO Jingzhu. Research of ecosystem service function [M]. Beijing: Meteorological Press, 2002
- [22] 王让会. 城市生态资产评估与环境危机管理[M]. 北京:气象出版社,2008
WANG Ranghui. Urban ecological assets evaluation and environmental crisis management [M]. Beijing: Meteorological Press, 2008
- [23] 中国生态学会. 生态学学科发展报告[M]. 北京:中国科学技术出版社,2010
Chinese Ecology Society. Report on advances in ecology [M]. Beijing: Science and Technology Press of China, 2010

The advance of ecological science research

WANG Ranghui¹

¹ School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Ecological science is inseparable to resources development, environmental protection and economic development. It shows a series of new features. Ecological science presents a series of changes in aspects that conclude the research objects, the research methods, ideas, research depth and breadth and so on. Theory research is systematized, research object is complicated, methods become more colorful, limitation becomes long-term changed, scaling becomes diversified, objective becomes pragmatism, process becomes visualization and digitalization, and the means become modeling and quantified. Along with the depth of scientific concept, ecological science will provide the theory supports and scientific methods for low carbon environmental protection, urban planning, cope with climate change and sustainable development.

Key words ecological science; subject system; theoretical study, methodological research