

前 言

20 世纪中叶以来，中国以空前速度推进工业化和城镇化，经济总量与基础设施建设实现跨越式增长，但随之而来的高强度土地开发和能源消耗显著改写了陆地生态系统的结构与过程。森林破碎、湿地萎缩、草地退化、岸线硬化等现象在多个区域同时出现，导致水文循环失衡、地表反照率变化、生物地球化学循环紊乱，进而加剧了温室气体排放与地表热岛效应。区域气候、水资源格局和生物多样性随之产生链式退化，水土流失、风暴潮灾害、大气与土壤污染等风险频度显著上升，呈现出“局域扰动—区域扩散—全球共振”的放大路径。这些生态安全隐患不仅制约了国土高质量发展，也在全球互联背景下影响着国际经贸格局与地缘安全。

改革开放四十余年间，我国经济取得瞩目成绩，但粗放式增长模式与相对滞后的生态治理理念，使本就脆弱的生态环境雪上加霜。植被覆盖率下降、河湖连通性减弱、面源污染蔓延以及城市热岛效应增强成为普遍难题，并进一步削弱了区域对气候变化的适应力。缓解城镇化负效应、重建生态系统韧性已迫在眉睫，而生态安全格局（ecological security pattern, ESP）作为统筹自然资源、优化景观结构、调节生态过程的重要手段，被寄予厚望。ESP 的理论核心是阐明格局与过程的互馈机制，通过识别生态源地、廊道与关键节点，构建支持物质循环与能量交换的蓝绿基础设施网络，从而提升系统稳定性，保障公共福祉。

21 世纪以来，党中央把生态文明建设提升至前所未有的战略高度。党的十七大首次把“生态文明”作为全面建设小康社会目标的新要求，提出要“建设生态文明，基本形成节约能源资源和保护生态环境的产业结构、增长方式、消费模式”，开创了“建设生态文明”的理论篇章。党的十八大报告进一步把生态文明纳入与经济、政治、文化、社会并列的“五位一体”总体布局，强调“必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念”，倡导“给自然留下更多修复空间，给农业留下更多良田，给子孙后代留下天蓝、地绿、水净的美好家园”，标志着我国对生态保护规律的认识迈入更深层次。党的十九大在“决胜全面建成小康社会”的实践背景下，将“坚持人与自然和谐共生”纳入新时代坚持和发展中国特色社会主义的基本方略，首次提出“构建国土空间开发保护制度”，要求“设立国有自然资源资产管理和自然生态监管机构”，为生态文明制度体系建设指明方向。党的二十大立足全面建设社会主义现代化国家新征程，对“推动绿色发展，

促进人与自然和谐共生”作出重要部署,明确应“积极稳妥推进碳达峰碳中和”“积极参与应对气候变化全球治理”;同时提出完善国土空间治理体系,要求“提升生态系统多样性、稳定性、持续性”,推进以国家公园为主体的自然保护地体系建设,坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理。这些战略安排不仅凸显了应对气候变化与提升生态系统韧性的双重考量,更强化了生态安全格局构建在实现“双碳”目标、优化国土空间治理、筑牢国家安全屏障中的基础性作用。

由此可见,从党的十七大到二十大,我国生态文明建设实现了由“末端治理”向“系统治理”、由“生态修复”向“气候变化减缓与适应”协同、由“单要素管控”向“国土空间多要素融合”的持续跃升。在这一顶层设计的牵引下,构建科学、合理且面向气候变化的生态安全格局,不仅是保护生物多样性、提升生态系统服务功能的专业命题,更是实现高质量发展和中国式现代化的战略工程,为实现“人-自然-社会”协同共生奠定坚实基础。

气候变化作用之下,生态系统服务呈现显著的时空异质性。森林、湿地、草地不仅是生物栖息地,也是调节地表能量和水汽通量的重要“绿色调温器”。但传统 ESP 研究侧重物种迁移路径与景观连通性,对陆-气耦合过程、碳汇空间布局 and 极端天气韧性缺乏深入刻画。结果是管控线虽划得精细,却难以应对洪涝灾害增多、区域热浪增强和水资源短缺等复合风险,也无法在国土治理实践中充分体现生态系统对减碳、固碳与减灾的综合贡献。因此,必须从“结构-功能”双重视角出发,对生态安全格局进行系统升级:一方面,将陆面能量平衡、土壤水分和碳通量等关键过程纳入格局评价指标;另一方面,引入遥感大数据、区域气候模式和机器学习等技术,建立可动态迭代、可量化监测的多尺度格局优化模型。

在这一转型中,“基于自然的解决方案”(nature-based solutions, NbS)架起了理论与实践的桥梁。NbS 倡导依托自然生态系统固有能力,以较低成本获得减碳、固碳、减灾、增汇和提升生物多样性等综合收益。无论是滨海蓝碳系统修复、山地森林抚育,还是城市蓝绿基础设施重构,都已被证明可以有效降低气候风险、提升居民福祉,并为区域经济提供新增长点。将 NbS 理念嵌入 ESP,可实现从“生态斑块保护”向“生态-气候协同调节”转变,为国土空间规划提供更加灵活的调控单元和韧性边界。

本书基于最新政策导向和国内外研究进展,对生态安全格局在气候变化背景下的转型路径进行系统梳理与实证分析。书中首先回顾生态安全格局的科学根基与经典方法,然后围绕气候调节、碳汇潜力、热岛缓释、污染防治、水源涵养、洪涝缓冲等关键过程,提出陆-气耦合指标体系与多场阻力面修正方法;在构建策略上,结合优化算法与情景模拟,形成省域-市域-县域三级协同的格局规划框架;在实践层面,以广东省及佛山市高明区为案例,开展遥感反演、气候模型耦合和 NbS 成效评估,展示新型生态安全格局在提升城市韧性、降低热岛强度、缓

解洪涝风险等方面的综合效果。

通过理论推导与实践检验,本书力图回答三个核心问题:在气候变化背景下,生态安全格局应如何重新定义其目标体系;陆-气耦合视角下,格局、过程、功能之间的互动机制如何被定量揭示;多尺度协同治理场景中,如何实现生态保护红线、碳达峰、碳中和与国土空间开发的深度耦合。我们期望,这些探索能为政府决策、规划编制和社会公众提供参考与启示,推动生态系统由“被动修复”走向“主动适应”,为构建人与自然和谐共生的现代化强国奠定坚实空间基础。

本书相关研究工作得到了国家自然科学基金面上项目(42471326、41971275)、广东省陆地-海洋生态系统碳中和科学数据中心专项项目(2024B1212070012)、广东省基础与应用基础研究基金自然科学基金项目(2024A1515030190)、广东省科学院青年人才专项项目(2023GDASQNRC-0217)等的资助。感谢中国科学院生态环境研究中心、广东省科学院广州地理研究所、中山大学、广东环境保护工程职业学院等依托单位的大力支持。诚挚感谢团队成员共同付出的努力,感谢科学出版社工作人员在本书出版过程中的支持和帮助。

限于作者学术水平,书中难免有疏漏或不妥之处,恳请各位读者批评指正。

作 者

2025 年 6 月

目 录

前言

第 1 章	生态安全格局理论基础	1
1.1	生态安全的定义和内涵	2
1.1.1	生态安全的定义	2
1.1.2	生态安全的内涵	3
1.2	生态安全格局概念的形成与发展	6
1.3	生态安全格局研究的理论基础	8
1.3.1	景观生态学：格局与过程的相互作用	9
1.3.2	干扰生态学：干扰与格局的相互作用	10
1.3.3	保护生物学：生物多样性保护	11
1.3.4	恢复生态学：生态系统结构和功能恢复	12
1.3.5	生态地理学：生态系统协调与平衡调控	14
1.3.6	生态经济学：自然资源的保护性利用	15
1.3.7	生态伦理学：构建人与自然和谐关系	17
1.3.8	复合生态系统理论：整体性与系统演变	18
第 2 章	生态安全格局的构建	20
2.1	生态安全格局构建的目的	21
2.2	生态安全格局构建原则	22
2.3	生态安全格局评估方法	24
2.3.1	生态保护重要性评价	25
2.3.2	生态安全评价	28
2.4	生态安全格局构建研究进展	29
第 3 章	传统生态安全格局构建方法	32
3.1	构建尺度	33
3.2	构建要素	34
3.2.1	格局类型	35
3.2.2	生态过程	35
3.2.3	构成要素	36
3.2.4	景观阻力	37

3.3	建模方法	38
3.3.1	生态源地识别	38
3.3.2	生态廊道识别	41
3.3.3	生态阻力面设置与修正	43
3.3.4	生态廊道提取	44
3.3.5	生态安全格局的优化及有效性评价	46
3.4	存在的问题	48
3.4.1	格局构建、维护与监管机制缺失	48
3.4.2	尺度效应突出与协同衔接不足	49
3.4.3	机理研究不足与学科融合滞后	49
3.4.4	气候变化适应性不足与过程韧性缺失	50
3.4.5	生态系统服务认知与权衡机制薄弱	50
3.5	生态安全格局研究展望	50
3.5.1	多模型、多方法、多技术的集成融合研究	51
3.5.2	生态安全标准的动态量化与适应性更新研究	51
3.5.3	多主体参与下的生态治理机制与执行路径优化研究	52
3.5.4	生态安全的智能预测、风险预警与调控机制研究	53
3.5.5	服务国家战略与全球气候治理目标的格局统筹研究	53
第4章	新区域生态安全格局构建方法	55
4.1	气候变化及其影响	56
4.1.1	气候变化的趋势与特征	56
4.1.2	气候变化对自然生态系统的影响	57
4.1.3	气候变化对人类社会系统的影响	58
4.1.4	气候变化对区域生态安全格局的挑战	59
4.1.5	应对气候变化的生态安全策略演进	61
4.2	基于自然的气候变化减缓解决方案	61
4.2.1	基于自然的解决方案：内涵、类型与发展脉络	62
4.2.2	基于自然的解决方案的空间分布特征与区域差异	64
4.2.3	基于自然的气候变化减缓解决方案的布局与优化原则	65
4.2.4	基于自然的解决方案对区域生态安全格局构建的作用机制	67
4.3	国土空间规划与气候变化	69
4.3.1	气候变化背景下国土空间规划的转型需求	69
4.3.2	国土空间规划中的气候变化适应策略	71
4.3.3	国土空间规划中的气候变化减缓路径	72
4.3.4	多尺度空间规划协同机制与生态安全格局支撑	74

4.4	新的生态安全格局理念	76
4.5	面向气候变化减缓和适应目标的生态安全格局构建方法	78
4.5.1	不同尺度陆-气格局的构建要点	79
4.5.2	不同尺度陆-气格局的构建方法	84
第 5 章	广东省生态安全格局构建实证研究	91
5.1	广东省生态系统基本特征与问题	91
5.1.1	自然生态特征	91
5.1.2	生态系统服务面临的问题与挑战	96
5.2	生态要素保护关键空间识别	101
5.2.1	饮用水水源保护关键空间识别	101
5.2.2	水源涵养保护关键空间识别	104
5.2.3	水土保持和地质灾害防治关键空间识别	106
5.2.4	城市生态环境调节关键空间识别	108
5.2.5	风暴潮灾害和洪涝灾害防治关键空间识别	109
5.2.6	生物多样性保护关键空间识别	111
5.2.7	缓解区域交通生态干扰关键空间识别	112
5.3	广东省生态安全格局构建	114
5.3.1	广东省生态安全网络体系	114
5.3.2	区域层面：构建全省生态安全空间战略格局	115
5.3.3	城际层面：建立城际生态环境建设协调体系	123
第 6 章	佛山市高明区生态安全格局构建实证研究	127
6.1	佛山市高明区区域概况	127
6.1.1	高明区总体概况	127
6.1.2	地貌条件	128
6.1.3	地质条件	128
6.1.4	气候条件	130
6.1.5	水文条件	130
6.1.6	森林资源	132
6.1.7	野生动物资源	134
6.1.8	土地覆盖	135
6.2	佛山市高明区生态环境现状分析	137
6.2.1	可开发利用水资源与水环境容量	137
6.2.2	大气环境质量与大气环境容量	142
6.2.3	土壤侵蚀现状评价	146
6.2.4	生态环境状况综合分析	150

6.2.5 面临主要的生态环境问题	154
6.3 佛山市高明区生态安全格局构建	157
6.3.1 水安全格局	157
6.3.2 大气安全格局	157
6.3.3 生物保护安全格局	159
6.3.4 地质灾害安全格局	160
6.3.5 农田安全格局	163
6.3.6 综合生态安全格局	163
参考文献	166
彩图	

第 1 章 生态安全格局理论基础

进入 21 世纪以来,中国经济快速发展与城市化进程显著提速,人口密度增大、产业扩张与土地持续开发加剧了生态环境压力,导致了区域生态系统结构与功能遭受广泛破坏。全球气候变化趋势叠加局地人类干扰,加剧了极端天气事件频发、水文循环紊乱、生物多样性锐减、土壤退化与污染等多重生态问题。这些挑战不仅深刻影响了区域生态安全,也对社会稳定与可持续发展构成了威胁。在此背景下,生态安全格局(ESP)作为一种统筹自然过程与空间格局的系统性规划理念,逐渐成为全球生态保护与国土空间治理的重要支撑(彭建等,2017;叶鑫等,2018)。

生态安全格局起源于景观生态学“格局-过程-功能”相互作用理论,是构建与维系生态系统稳定性和服务功能的关键手段。它通过识别并保护关键生态源地与连通要素,形成支撑物质循环、能量传输、生物迁徙与灾害调节的生态网络,从而在空间上保障生态服务的连贯性与区域环境的系统韧性。傅伯杰(2010)指出,生态安全格局不仅是一种生态保护策略,更是一种协调生态系统与人类活动关系的空间优化路径。在国家“双碳”目标、生态文明建设与气候适应性转型同步推进的今天,生态安全格局的重要性与紧迫性愈加凸显。

我国地域广阔、自然地理类型多样,生态功能分区与气候响应机制具有显著的空间异质性和尺度差异(孙然好等,2017)。生态安全格局的构建,不仅要回应气候变化所带来的温度升高、干湿分异和极端天气事件增加等问题,更要为碳汇潜力释放、水源涵养、安全屏障建立提供科学支撑。习近平总书记在党的十九大报告中提出“构建国土空间开发保护制度”,在党的二十大报告中再次强调“推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展”,明确把生态安全提升至国家战略高度,为生态安全格局研究与实践提供了方向引领与政策基础。

生态安全格局的意义不仅体现在生态保护上,更在于其对区域发展方式的重塑。通过以气候调节、水资源保障、灾害缓冲和碳中和支撑为核心的生态系统服务功能识别,生态安全格局有助于将生态过程嵌入国土空间规划与地方发展决策体系,从“末端治理”走向“前端预防”,实现空间结构与功能过程的协同调控(欧定华等,2015)。在当前阶段,生态安全格局研究正在从生态保护向多目标耦合转型。从识别与评估到优化与监测,构建全过程的格局调控体系已成为重要方向,特别是在应对气候变化的背景下,需要集成碳储评估、陆-气反馈分析、生

态韧性建模等新技术与方法。构建符合区域自然地理、生态过程与社会需求特征的生态安全格局,将为我国高质量发展与生态文明建设提供基础性空间保障。

1.1 生态安全的定义和内涵

1.1.1 生态安全的定义

生态安全作为一门交叉学科,融合了自然科学与社会科学的研究方法和理论体系,涉及生态学、环境科学、地理学、社会学、政治学等多个领域。目前学术界对生态安全的界定主要存在两种理解方式,即广义和狭义的生态安全概念。广义上的生态安全,源自1989年国际应用系统分析研究所(International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA)提出的定义,强调生态安全不仅仅是自然环境本身的健康状态,更包括人类生活、健康、安全、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会秩序及人类适应环境变化能力等多方面不受威胁的综合状态。广义生态安全超越了自然系统的范畴,涵盖了自然、经济、社会等多重维度,体现了人与自然系统的深度耦合关系,构成了一个典型的复合人工生态安全系统。狭义的生态安全则更加聚焦于自然和半自然生态系统本身的安全性,强调生态系统的健康性、完整性与稳定性,反映的是生态系统自身运作是否正常,能否在遭受外界干扰后保持组织结构和功能的持续与自我修复能力。在这一意义上,生态安全成为环境管理的新目标,关注的是生态系统在压力下保持弹性和恢复力的能力。健康而完整的生态系统可被视为安全的生态系统,而一旦出现系统退化、结构破坏或功能丧失,则意味着生态安全面临威胁。

围绕生态安全的概念,我国学者的研究多倾向于采用狭义视角,主要聚焦于生态系统与生态环境两个方面。代表性的观点包括曲格平(2002)提出的生态安全定义,即自然环境既能满足天地万物的生存发展需求,又不会对自然环境本身造成不可逆的破坏。他指出,生态安全通过防止生态退化,进而消除其对经济发展和社会稳定的威胁,从而降低环境难民数量,增强社会的可持续性。左伟等(2002)认为,生态安全体现为国家或地区生态环境在生存与发展需求下少受或不受破坏的一种状态。郭中伟等(2003)则从生态系统服务功能的角度,提出生态安全既包括生态系统自身是否遭受破坏,也包括生态系统服务是否能持续满足人类生态需求。周国富(2003)更系统地归纳了生态安全的四重含义,强调资源环境状态的良性循环、资源环境与社会经济的协调关系、资源环境对社会经济发展的支撑作用,以及生态安全本身的持续性和长期性特征。余谋昌(2004)则从环境要素综合表现的角度,将生态安全定义为基于地球优越自然条件和丰富自然资源的一种安全性状态。李中才等(2010)进一步强调了生态安全在满足经济社

会需求与不削弱自然资源基础之间的平衡,体现了对生态系统可持续利用的深刻认识。

在国际上,学者们对生态安全的理解亦多种多样,呈现出较大的研究差异。Webber 等(2004)将生态安全置于国家安全与社会安全体系中,强调文化、经济、政治、人口、生态等多领域交互作用对安全体系构成的重要性。Obi(1997)则从资源配置与民族地区生存环境之间矛盾出发,探讨了资源分配失衡引发的生态安全风险。Przybytniowski(2014)则将生态安全定义为自然与社会在地球生物圈中协调发展的状态,不仅保障人类生存条件,也不损害其他物种的生存基础。这些研究表明,在不同学科背景和应用需求下,生态安全的界定呈现出多元化的特点,尚未形成统一的国际共识。

综上所述,当前对生态安全的研究大体上可归纳为从生态系统服务功能、生态系统健康状况、生态风险识别与控制、生态环境承载力评估等不同视角展开。而究其本质,生态安全研究实际上是在不同空间尺度、不同时间尺度下,对生态系统稳定性与人类社会可持续发展的交互关系进行探讨。从更深层次来看,生态安全可以通过三个基本方面来加以诠释:一是生态系统自身的结构与功能必须保持正常,即生态系统内部应具有良好的稳定性、完整性与可持续性;二是生态系统应能够稳定提供各种生态系统服务功能,为人类的生存与发展提供必要支持;三是生态系统应能够有效防范潜在的风险因素,只有在不存在重大生态风险的前提下,生态系统的安全性才能得以保障。基于此,可以综合提出生态安全的核心概念,即生态系统健康、生态系统服务功能完整性与无重大生态风险三者的有机统一。

1.1.2 生态安全的内涵

从生态系统的角度来看,一个健康的生态系统应具备稳定性、可修复性与可持续性特征,能够展现出自我维持、自我调节、自我演替与自我发展的组织结构和系统功能。当生态系统受到环境压力影响时,仍需具备较强的恢复力,以确保系统功能的延续与生态过程的稳定运转。健康的生态系统不仅能维持其内部结构和过程的稳定,还能够为人类社会持续提供诸如食物供给、淡水清洁、空气清洁、废弃物循环等多种关键生态服务(王丽娜等,2020)。然而,一旦生态系统健康状况恶化,其提供的生态系统服务功能必然减弱甚至消失,进而对人类福祉和区域可持续发展构成严重威胁。从这一视角出发,生态安全以维护生态系统健康状态和保障生态服务供给为核心,要求人类活动对生态系统的干扰必须控制在生态系统所能承受的临界阈值以内,即保障其最低必要的结构稳定性、活力水平与弹性水平。超越这一阈值,生态系统可能进入不可逆转的退化状态,导致生态功能

丧失与生态风险叠加。总体而言,生态安全具有多方面特征,如整体性、综合性、区域性、长期性、动态性与不可逆性等。这些特征共同揭示了生态安全作为一个复杂系统性问题的本质。但综合来看,本书认为生态安全的内涵可以凝练为以下三个核心方面。

1. 资源与环境生态安全

在生态系统结构中,资源与环境构成了最基本的物质支撑和骨架,是生态过程得以正常进行的必要条件。环境通常指独立存在于某一主体之外的所有客体的总和,而生态环境则强调生物群落与其自然环境之间的相互关系与功能统一体。在环境科学中,“环境”多偏向自然环境范畴,而在生态学中,“生态环境”则强调生命系统与自然环境的交互过程与适应机制。

从“生态”的词源来看,生态安全主要关联于“环境”或“生态环境”的安全,其含义与“环境安全”“生态环境安全”等概念密切相关,但在实际应用中也存在一定的泛化与交叉(刘士余等,2004;徐海根等,2004)。特别是在环境变化加剧和生态风险上升的背景下,“环境安全”与“生态安全”的关系成为环境安全研究的重要议题。此外,有学者将环境安全进一步界定为环境资源安全,强调资源条件对环境承载力与生态系统稳定性的基础作用(张雷等,2002;胡敬涛等,2016)。尽管生态安全与环境安全都来自“国家生态安全”体系,它们都是国家安全从单一的纯军事意义的国防安全扩展到经济、政治、科技、信息以及生态环境安全等更广义的含义,但两者之间存在着一定的差异。生态安全指的是在自然生态和人类生态意义上,生存和发展的风险大小,具体包括了环境安全、生物安全、食物安全、人体安全、企业及社会生态系统安全。环境安全是指以大气、海洋、江河、陆地等为主要内容的一种安全状态。环境安全与一般的环境破坏不同,并不是每一种环境问题都能成为安全问题,当环境的损害对人的生命安全产生了威胁时,它才被归入了生态安全的范畴。环境资源安全指的是与人类生存和生产活动密切相关的生态环境和自然资源基础条件保持在一个较好的状态,或不遭受不可恢复的破坏。环境资源安全涉及国土安全,其主要问题包括水土流失、土地退化和荒漠化等,还涉及水环境资源安全,主要问题是地下水、江河、湖泊和海洋污染以及资源性缺水和污染性缺水;另外,生物多样性资源、矿产资源、能源资源也是一个值得关注的问题。由此可以看出,环境资源安全是从资源环境问题出发,是以人类能够可持续获得资源和环境保障为目标的安全理念(杨丹辉,2018)。

2. 生物与生态系统安全

从生态学基本概念出发,生态安全更深层地关联于生态系统安全或复合生态

系统安全。“生态”本质上是指生物与环境及生物与生物之间复杂的相互关系和能量物质交换过程。衡量生态安全,需要考虑生态系统的结构完整性、功能连续性,以及其内在的自我调节和自我恢复能力。有学者指出,生态安全的内涵可以通过生物与环境可持续发展关系进行界定,并将可持续发展视为生态安全的重要理论基础和内在逻辑补充(李志龙等,2023)。在《我们共同的未来》中,“和平、安全、发展与环境”一章明确提出,和平与安全问题和可持续发展理念有着直接且深刻的联系,可持续发展正是全球生态安全的根本支撑。1996年发布的《地球宪章》进一步规范了生态安全与可持续发展的责任框架和实践指引。在国内,有学者提出以国家可持续发展能力作为生态安全程度的衡量标准(李志英等,2022)。从生态系统视角出发,一个可持续的生态系统通常具有强韧的内部恢复力和外部适应力,即在没有外力干扰的情况下,生态系统可以保持一个相对平衡的状态,其变化和波动范围也是在可承受的范围内。而一个生态系统即使在短期内处于相对安全状态,如果其资源利用模式不可持续,缺乏长远发展的韧性与潜力,那么它未必能被认定为真正意义上的可持续系统。

从功能和结构角度看,生态安全意味着生态系统能够在不受破坏的情况下维持基本的生态过程和服务功能,保证生物多样性水平、能量流动和物质循环的正常进行;而从生态平衡角度看,生态安全指的是一定区域内生态系统各组成要素之间保持动态平衡状态,能支撑人类生产、生活的基本需求。因此,生态安全既包括生态系统本身的内在安全性,也包括其对人类社会可持续供给生态服务的能力。

3. 自然与社会生态安全

生态安全的概念反映出了人类的主观能动性,所以有些学者提出,应当从人类社会的角度来对生态安全进行界定,并将其界定为社会、政治、经济性的安全,这个安全问题不仅仅是对当代人群的健康和后代人的健康成长造成的威胁,更多的是指由于环境污染与生态破坏造成的对世界的和平与发展,对国家安全、经济安全甚至对整个人类的生存与发展造成的不利影响。早在1989年,国际应用系统分析研究所(IIASA)便提出构建全球生态安全监测系统的构想,明确指出生态安全涉及人的生命安全、健康权利、幸福生活、生活资源保障、社会秩序稳定以及适应环境变化的能力等多个方面。这一观点奠定了自然生态安全与社会生态安全紧密关联的理论基础。在学术界,多数学者将生态安全理解为由自然生态安全与社会生态安全两大部分共同构成。例如,许为义(2003)指出,生态安全在最初阶段主要关注自然或人工生态系统是否维持健康的、自组织、自我调节的有序状态,但随着认识的深化,生态安全已扩展为涉及环境、健康、经济、社会乃至国家层面广义安全问题。郑万生等(2002)则强调,生态安全应被视为自然系统、技术系统与社会系统之间协调互动的综合状态,它要求不仅自然资源和生态

潜力得到保障,还必须增强生物圈整体的自我调适与风险防御能力,以支撑人类社会多样化的需求。此外,张桥英等(2002)提出,生态安全包括环境、资源、生物多样性、食物供给及社会生态系统的稳定与健康。关文彬等(2003)则进一步指出,生态安全可以视为生态风险的反函数,是指在生活、健康、基本权利、社会秩序等方面不受重大威胁的理想状态,其中包含了自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全的有机融合。

我国在《全国生态环境保护纲要》(2000年)中明确指出:生态安全是国家安全和社会稳定的重要组成部分。其主要任务包括:一方面,要防止生态环境退化对国家经济基础造成威胁,尤其要关注环境质量恶化和自然资源枯竭导致的经济发展支撑能力下降;另一方面,要警惕环境恶化诱发社会矛盾、激化民众不满情绪,进而引发社会动荡甚至“环境难民”问题(郭沛源,2003)。总体来看,生态安全内涵的丰富性与复杂性正是其作为国家可持续发展战略核心议题的重要体现(彭少麟等,2004)。

1.2 生态安全格局概念的形成与发展

生态安全格局的概念源于生态安全,作为服务生态安全目标的重要空间支撑手段,其研究具有极强的综合性和应用性特征。生态安全格局涉及的领域极为广泛,属于多学科交叉、多尺度嵌套、多层次整合的综合性研究问题。根据不同学科领域和理论背景的差异,学者们从不同角度对生态安全格局的内涵进行了阐释与界定,例如从地理学视角强调空间组织与资源环境关系(张虹波等,2006),从景观生态学视角关注生态过程与空间结构的耦合(韩文权等,2005),从经济学视角则聚焦于生态系统服务与经济社会发展的协调机制(刘菁华等,2018)。

当前,国内外学者针对生态安全格局的概念界定与构建方法展开了较多探讨,形成了丰富的研究体系。在国外,相关研究更多地着眼于宏观尺度,强调将生态安全置于国家安全、全球可持续发展以及全球化进程的大背景下,关注人口增长、资源枯竭、环境恶化等问题对国家和地区安全的潜在威胁。在文献梳理过程中可以发现,“绿色基础设施”(green infrastructure)、“生态网络”(ecological network)、“生态系统服务”(ecosystem services)、“生态控制线”(ecological control line),以及“城市生长边界”(urban growth boundary)等概念体系与生态安全格局密切相关,体现了从理论探索到实践应用的演进过程。其中,“绿色基础设施”概念强调,应当将自然生态元素系统性地整合到人类基础设施建设之中,实现绿色空间与传统灰色基础设施(如交通、能源网络)的有机融合,从而在国家、区域乃至城市尺度构建起连续的生态保护网络(Benedict et al., 2002)。

“生态网络”概念则主张以核心生态斑块、生态廊道、缓冲区和生态节点为基本元素,通过网络化的空间连接方式,实现生物多样性保护与生态过程维持的双重目标。“生态系统服务”概念进一步突出生态系统在人类社会福祉中的基础性作用,涵盖供给服务、调节服务、文化服务和支持服务等多个维度,构成生态安全保障体系的理论基础。“生态控制线”概念强调划定并严格保护一定范围内的生态空间,禁止非生态性建设活动,以遏制生态退化。“城市生长边界”概念则提出以科学划定城镇扩展边界,防止城市无序蔓延,同时保护外围自然生态区域,兼顾城市发展与生态保护的双重需求。在此基础上,国际上多个组织和国家已建立了若干生态安全保护区,如联合国教科文组织(UNESCO)设立的生物圈保护区(biosphere reserves)、欧盟提出的 Natura 2000 生态网络体系等。这些实践案例标志着生态安全研究已由单一自然保护领域,逐步转向生态系统-社会经济系统深度耦合的综合实践,为全球可持续发展目标(SDGs)的实现提供了重要的理论支撑与现实路径(叶鑫等,2018)。相比之下,我国生态安全格局研究起步稍晚,主要集中在技术层面的探索与应用。自20世纪90年代以来,中国学界围绕生态安全与生态格局建设展开了广泛而深入的讨论。俞孔坚(1999)最早提出“生态安全格局”概念,认为其是由点、局域与空间关系共同组成的一种空间模式,具有指导生物多样性保护和生态修复实践的重要功能。他强调,合理的生态安全格局布局有助于提高区域生态系统的稳定性和韧性。郭明等(2006)则将生态安全格局的研究重点放在了生态风险评估与生态管理方法的创新上,主张通过系统识别区域生态风险源和脆弱区,实现生态风险的空间化管控。马克明等(2004)进一步提出,在保障区域生态环境不受破坏的前提下,生态安全格局应有助于生物多样性的保护与恢复,同时促进生态系统结构与生态过程的完整性与连续性。刘洋等(2010)则从空间规划的角度出发,提出生态安全格局是一种综合自然要素与人文因素,通过科学布局、优化配置所形成的多层次、多类型的空间结构体系,旨在保障生态系统健康、稳定和可持续运行。随着研究的不断深化,国内学者根据不同的研究背景、关注重点与现实问题,提出了多样化的生态安全格局类型。例如土地利用生态安全格局强调通过优化土地利用配置,控制土地退化和生态风险(侯大伟等,2017);城市生态安全格局则聚焦于城市内部绿地系统布局与生态网络构建,以提升城市生态系统服务功能(孙枫等,2021);耕地生态安全格局强调保障耕地质量与农业生态系统稳定性(李丹等,2020);景观生态安全格局从景观格局优化角度出发,强调维持生态过程连续性(王让虎等,2014);草原生态安全格局关注草原退化防控与生物多样性保护(冯琰玮等,2021);水生生态安全格局则重点研究水生生态系统健康与水资源安全之间的关系(彭建等,2017)。尽管研究角度各异,但学者们普遍认为,生态安全格局建设的核心目标是通过合理布局生态要素,协调人类活动与自然环境之间的关系,在促进经济社

会发展的同时,实现生态环境的有效保护(杨天荣等,2017)。

综上所述,生态安全格局建设的核心内容是维持生态系统的稳定与可持续性,它的理念可以概括为:以社会可持续发展为宏观背景,将主要生态问题作为切入点,基于景观格局与生态过程之间的交互关系,系统识别区域生态系统中的关键结构单元及其空间分布特征,进而进行生态要素的合理配置与优化布局,促进生态系统结构完整性与功能稳定性,修复因气候变化与人类干扰导致的生态脆弱环节与受损生态功能。其研究目标主要包括:以区域尺度上复杂生态环境问题为切入点,以生物多样性保护与生态系统恢复为主线,维护生态系统的结构与功能完整性,实现区域尺度上生态环境问题的防控与生态系统可持续发展。

为实现上述目标,生态安全格局研究需要以多学科融合的理论体系与规划方法为支撑,结合生态过程诊断、生态功能需求评估、景观格局优化设计等技术手段,综合运用地理信息系统(GIS)、遥感(RS)、景观生态模型(如LEAM)等工具,在深入认识区域生态系统变化规律与内在联系的基础上,统筹生态保护与空间发展,最大限度地发挥人类主观能动性,推动生态系统朝着健康、稳定、可持续的方向演替与发展(钟晓春,2017)。

1.3 生态安全格局研究的理论基础

区域生态安全格局研究以区域尺度为基本单元,立足于复杂多变的自然环境与社会经济背景,综合考察生态环境问题、生态格局与生态过程的互动关系、不同等级尺度之间的耦合机制、干扰因子的作用、生物多样性保护目标、生态系统恢复路径以及社会经济发展对生态系统的反馈效应等诸多内容,力图从整体上揭示人与自然系统的协调演变规律,探索区域生态系统在不断变化背景下的韧性与可持续性路径。

随着全球气候变化、土地利用变化和城市化进程加剧,生态系统服务功能日益退化,生态安全问题成为制约区域可持续发展的核心议题。区域生态安全格局的构建,不仅要关注生态系统内部的自组织、自调控机制,还要兼顾外部干扰压力和社会经济需求,寻求生态保护与人类发展的动态平衡。为了构建科学合理、具有可操作性的区域生态安全格局,必须以多学科理论体系为支撑,包括景观生态学、干扰生态学、保护生物学、恢复生态学、生态地理学、生态经济学、生态伦理学以及复合生态系统理论等。这些学科的交叉融合,不仅为理解复杂生态系统的结构、功能与演变提供了坚实基础,也为应对区域环境变化、优化空间布局 and 实现可持续发展提供了系统的理论指导和实践路径。

此外,区域生态安全格局的构建强调系统观与整体性思维,要求突破传统单

一学科的局限,通过多学科知识体系的集成创新,形成对生态系统多功能、多尺度、多过程动态演变规律的系统认知。这种跨学科整合有助于精准识别关键生态过程、重要生态节点与潜在脆弱区域,从而制定更加科学有效的保护与修复策略。区域生态安全格局研究,正是多学科交融互鉴、系统集成创新的典范,也是新时期生态文明建设的重要支撑。

1.3.1 景观生态学:格局与过程的相互作用

景观生态学作为一门新兴交叉学科,起源于20世纪70年代末,旨在研究大尺度生态系统的空间格局、生态过程及其相互作用关系,强调在广阔的时间和空间尺度下理解生态系统的结构动态与功能演变。景观生态学打破了传统生态学对局部小尺度生态系统的研究局限,提出了格局-过程-功能的有机统一框架,成为研究生态系统空间组织与动态变化的重要理论工具。在自然等级体系中,景观层次高于单一生态系统,具有更强的综合性与空间异质性特征。斑块、廊道和基体构成了景观生态学中最基本的空间元素,其中斑块代表相对均质的生态单元,廊道起到连接和传输的功能,基体则是构成景观主体的背景元素。这些基本单元通过不同的空间组合模式,决定了景观的整体异质性、连通性与功能性。景观格局直接影响资源分布、物种迁移、能量流动和物质循环等关键生态过程,对生态系统的抗干扰能力、恢复力、稳定性及生物多样性具有深远影响。格局决定过程,过程又反过来塑造格局,二者相互作用、动态演变,构成了景观生态系统复杂适应性的基本机制。正如孙欣欣等(2022)所指出,格局与过程的耦合关系是理解景观动态变化和区域生态安全演变的核心所在。

景观格局优化是保障区域生态安全的关键途径之一。通过深入分析格局与过程的交互机制,可以科学提出最优景观格局方案,明确有害与有益的格局特征,实现对生态过程的积极调控。尤其要确定哪些是有害的,哪些是有益的。因此,要维持该地区的生态安全,就必须对其进行调控,并对不利的过程加以控制,使其恢复到有利的过程。最优景观模式是建立在相应的理论基础上,便于实施与管理的一种空间表达方式。景观格局优化的实施途径是景观的恢复和重建。景观恢复与重建就是对被人为破坏的原有生态系统之间的关系进行修复,其主要手段是对景观单元的空间结构进行调整和重构。通过对已有的景观结构进行调整、引入新的景观要素来恢复被破坏的生态系统的功能。例如,在退化地区,通过建设生态廊道、恢复湿地斑块,可以有效增强物种迁移通道与生态系统连通性,提升整体景观的生态功能与韧性。

景观生态学的研究重点在于景观层面的生态修复方式和技术,以及生态修复重点区域的选择和生态安全格局的构建。空间格局与生态过程之间具有多层次、

多尺度的交互作用。传统的以物种保护为主的自然观,往往忽略了多个尺度下的生物多样性格局与过程,以及它们之间的联系。景观生态学分级理论认为,在不同的生物组织层面,以不同的形式,对生物多样性的研究与保护,应当在多个组织层面,多个时间与空间尺度上进行。所以,在对物种进行保护的同时,也要对其所在的生态系统的结构和相应的生态过程给予足够的重视,而对其生存环境的修复是对其进行有效保护的前提。与之相似,区域生态安全格局的研究,除了注重区域规划的设计之外,还应注重更多更小规模的格局和过程,只有将这些小规模格局进行了详细的设计,才能让总体规划有针对性。

由此可见,景观生态学不仅为理解区域生态系统的空间结构与动态演变提供了理论支撑,也为科学构建区域生态安全格局提供了方法指导和技术路径。

1.3.2 干扰生态学:干扰与格局的相互作用

干扰生态学聚焦于自然或人为因素引起的生态系统结构和功能变化过程,强调干扰事件在生态系统演变中的核心作用。干扰通常指能够显著改变生态系统自然格局的事件,如火灾、风暴、洪水等自然灾害,也包括土地开垦、城市扩张等人为活动。干扰不仅是生态系统不可或缺动态过程,也是推动生态系统更新、维持生物多样性的重要机制。在天然生态系统中,适度的自然干扰有助于维持系统的动态平衡,促进群落演替和物种多样性。然而,随着人类活动强度的加剧,各类人为干扰频发,导致生态系统结构破碎、功能退化,成为区域生态安全格局构建面临的主要挑战。干扰生态学强调,区域生态安全格局设计的首要目标是识别不同类型干扰的特征与机制,排除有害干扰、控制干扰强度、优化干扰模式,促进生态系统自我恢复与重建。

干扰不仅改变景观格局,还受到景观格局的反向制约。不同景观类型、不同空间异质性条件下,干扰的传播能力存在显著差异。例如,密集连片的森林格局能够有效减缓火灾扩散速度,而高度破碎的景观则容易加剧干扰传播。因此,开展干扰对景观格局的破坏机制及其反馈效应研究,是构建区域生态安全格局的重要科学依据。干扰生态学提出,景观格局对干扰的响应存在一系列阈值,干扰规模与强度超过阈值后,系统结构与功能将发生不可逆转的质变。因此,区域生态安全格局设计需基于明确的人类干扰效应阈值,制定合理的干扰控制与生态恢复策略。此外,干扰与格局之间的关系具有明显的尺度依赖性,不同尺度上干扰类型、频率与景观响应机制存在差异,需结合多尺度分析方法,科学识别关键尺度与关键过程,制定针对性的管理措施。在实际操作中,通过有益人为干扰恢复与优化退化景观成为重要策略。例如,模拟自然干扰(如小规模火烧、间伐作业)可以促进物种多样性与生态系统功能恢复。应特别重视人为干扰与格局的动态适