

韩会庆, 苏志华. 喀斯特生态系统服务研究进展与展望[J]. 中国岩溶, 2017, 36(3): 352-358.
DOI: 10. 11932/karst20170309

喀斯特生态系统服务研究进展与展望

韩会庆¹, 苏志华²

(1. 贵州理工学院建筑与城市规划学院, 贵阳 550003;

2. 贵州财经大学管理科学学院, 贵阳 550025)

摘 要:喀斯特生态系统是全球典型的脆弱生态系统之一, 它为人类提供了重要的服务功能和价值。回顾国内外喀斯特生态系统服务研究的文献可发现, 当前研究多遵循“土地利用变化—生态系统服务价值响应”的研究范式, 仅重视中小尺度喀斯特生态系统服务价值的空间异质性, 强调土地利用变化和生态工程对生态系统服务价值的影响。而今后应加强基于“生态系统结构、过程—功能—服务”级联框架的喀斯特生态系统服务研究, 构建喀斯特生态系统服务分类体系, 突出大尺度喀斯特生态系统服务评估, 拓展喀斯特生态系统服务之间权衡与协同及喀斯特生态系统服务对人类福祉的影响, 定量分析自然和人为因素对喀斯特生态系统服务的影响。

关键词:喀斯特; 生态系统服务价值; 生态系统服务功能; 石漠化

中图分类号: X171

文献标识码: A

文章编号: 1001—4810(2017)03—0352—07

0 引 言

20 世纪后半叶以来, 随着世界经济快速发展, 人口激增以及人类过度需求, 生态系统受到严重破坏, 生态系统服务呈快速退化趋势, 这严重威胁着人类安全、健康、区域乃至全球生态安全, 生态系统服务研究也因此成为当前国际生态学及相关学科研究的热点与前沿^[1]。

喀斯特生态系统是全球典型的脆弱生态系统之一。受地质背景、水文结构等影响, 喀斯特地区土层薄、肥力差、水土资源空间不匹配、水热因子时空异质性突出, 导致生态系统具有环境容量低、敏感度高、稳定性差、抗干扰能力弱等特点^[2-3]。同时, 在特殊地质、地貌、气候、水文和土壤条件影响下, 喀斯特地区形成了类型多样的生态系统^[1], 它们为人类发展提供了涵养水源、保持水土、维持生物多样性、粮食生产、水供给和休闲娱乐等多种重要的生态系统服务功

能^[5-6]。然而, 喀斯特生态系统还面临着解决贫困人口、加快社会经济发展与环境保护的难题。一方面, 由于长期过度的人类活动, 导致生态系统遭到较大的破坏, 石漠化日趋严重^[7-8]; 另一方面, 由于喀斯特地区是贫困人口相对集中地区, 在解决贫困、保持社会经济快速发展过程中, 存在不合理开发和破坏生态环境的问题^[4]。这些过度和不合理的人类活动破坏了生态系统结构, 进而影响喀斯特生态系统服务功能。因此, 喀斯特生态系统服务研究成为当前生态系统服务研究关注的重要内容。

本文在总结国内外有关喀斯特生态系统服务研究文献的基础上, 归纳总结了喀斯特地区生态系统服务研究的现状, 对当前研究存在的问题进行了阐释, 对未来重点研究的方向进行了展望, 以期对喀斯特生态环境开发利用与保护提供科学依据, 从而更好地促进喀斯特地区环境治理、资源合理利用和社会经济可持续发展。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41563007); 贵州省教育厅高等学校人文社会科学研究项目(2017qn25)

第一作者简介: 韩会庆(1983—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为土地资源开发利用与保护。E-mail: hhuqing2006@126.com。

通信作者: 苏志华(1983—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为区域环境质量演变与污染防治。E-mail: suzhihua1219@163.com。

收稿日期: 2016—10—05

1 喀斯特生态系统服务分类与评估方法

1.1 喀斯特生态系统服务分类

前人基于不同研究目的提出了喀斯特生态系统服务分类体系。由表 1 可见,因研究目的不同,喀斯特生态系统服务分类呈现多样化特点。从各生态系

统类型看,相同生态系统类型的生态系统服务类型较为接近。如森林生态系统服务类型以林产品、涵养水源、调节气候和空气、保持水土为主。石漠化生态系统服务类型以涵养水源、土壤保持、固碳释氧为主。据案例统计,涵养水源、水土保持、固碳和产品供给是当前喀斯特生态系统服务关注的最多服务类型。

表 1 喀斯特生态系统服务分类、研究目的和评估方法案例

Table 1 Cases for study of classification, aim and assessment method of karst ecosystem services

类型	生态系统服务分类	研究目的	评估方法	文献
森林生态系统	气候调节、干扰调节、水分调节、水分供给、侵蚀控制、土壤形成、营养循环、废物处理、生物控制、食物生产、原材料、基因源、娱乐、文化	评估喀斯特森林生态系统服务价值	替代花费法、生产成本法、恢复费用法及影子工程法	[9]
	林产品、涵养水源、保护土壤、调节气候和气体、生物多样性维持、科研文化价值	评估喀斯特次生林恢复后生态系统服务价值	生产率变动法、影子工程法、机会成本法	[10]
	林产品、游憩、涵养水源、净化水质、保持水土、固碳释氧、净化环境	评估喀斯特森林生态系统服务价值	市场价值法、影子工程法、生产成本法、机会成本法	[11]
	林产品、水源涵养、固土保肥、固碳释氧	评估喀斯特花椒林生态系统服务价值	市场价值法、替代花费法、影子工程法等	[12]
	林产品生产、涵养水源、土壤保持、固定 CO ₂ 、净化空气、科学研究、释放 O ₂	评估喀斯特人工林生态系统服务价值	市场价值法、替代花费法	[13]
草地生态系统	气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、食物生产、原材料、娱乐文化	评估石漠化地区草地生态系统服务价值	生态系统服务价值系数法	[14]
石漠化生态系统	提供产品、涵养水源、保持土壤、土壤肥力、固碳释氧	分析生态治理工程对石漠化生态系统服务价值的影响	物质量评估法、价值量评估法	[15]
	生产有机质、固碳释氧、保持水土和景观游憩文化	分析石漠化生态系统服务价值空间分布和变化	市场价值法、影子工程法、旅行费用法	[16]
	涵养水源、保育土壤、固碳制氧、有机质生产和净化大气环境	评估石漠化生态系统服务价值	能值替代法、机会成本法、替代工程法等	[17]
	水源涵养、土壤保持和碳储量	评估石漠化生态系统功能	模型评估法	[18]
	生物多样性、林产品、薪材产品、空气调节、碳汇、持水能力、保护潜力、景观美学、文化—历史价值	分析石漠化治理工程对生态系统服务价值的影响	物质量评估法、美景度、景观分析法	[19]
湿地生态系统	生境质量	分析喀斯特湿地生态系统生境质量变化	模型评估法	[20]
耕地生态系统	气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、食物生产、原材料、娱乐文化	分析喀斯特坡耕地变化对生态系统服务价值的影响	生态系统服务价值系数法	[21]

1.2 喀斯特生态系统服务评估方法

当前生态系统服务评估方法主要包括:物质量评估法、价值量评估法和模型评估法三种^[22-23]。价值

量评估法和物质量评估法在喀斯特生态系统服务评估中应用较为广泛,如李苇洁等^[11]利用市场价值法、影子工程法、生产成本法、机会成本法对喀斯特森林

生态系统服务功能价值进行了评估。罗光杰等^[21]利用生态系统服务价值系数法分析了喀斯特坡耕地变化对生态系统服务价值的影响。高渐飞等^[13]利用物质质量评估法和价值量评估法分析了生态治理工程对生态系统服务价值的影响。然而,喀斯特生态系统服务评估中对模型评估法应用较少,仅有张斯屿^[18]和韩会庆^[20]等利用模型评估法(InVEST模型)对喀斯特生态系统服务进行了评估(表1)。

2 喀斯特生态系统服务评价与驱动机理

2.1 喀斯特生态系统服务评价

省域、县域、流域、地区尺度喀斯特生态系统服务评估占主导地位,这一方面研究以熊康宁、张明阳为代表^[15,17,21]。中小尺度喀斯特生态系统服务评估有利于区域生态系统管理和生态系统服务合理利用,但却不能厘清喀斯特生态系统服务整体特征,不利于公共政策的实施及区域政策协调^[25]。喀斯特森林生态系统^[9-13]和石漠化生态系统^[15-19]是当前喀斯特生态系统服务评估的主要生态系统类型。而对草地、耕地、湖泊、湿地等生态系统的研究相对就少。

依据MA(Millennium Ecosystem Assessment)的生态系统服务分类^[1],喀斯特生态系统服务评估多集中供给服务、调节服务和支持服务,而文化服务研究相对较少。其中供给服务研究多集中林产品供给^[11-12],很少涉及农产品供给、淡水供给、遗传资源供给等方面;调节服务研究多集中在调节气候和气体^[15-16]、涵养水源^[17-18]、水土保持^[26]、净化水质^[27],而对调节疾病、调节病虫害、植物授粉等方面研究较少;支持服务研究多集中在生产氧气^[12-13]、保持土壤^[17]、提供栖息地^[20]、生物量与碳储量^[28-29],但鲜有学者关注养分循环、水循环等方面。

生态系统服务依赖于不同时空尺度的生态与地理系统过程,这使生态系统服务具有尺度效应^[30-32]。因此,重视时间和空间两个尺度是当前生态系统服务研究的重要视角^[25,33]。这在喀斯特生态系统服务评估中亦有所体现。如郜红娟等^[34]对喀斯特山区县域生态系统服务价值时空变化进行了分析。张明阳等^[35]对喀斯特山区生态系统服务空间尺度特征进行了分析。吴松等^[36]对喀斯特流域尺度生态服务价值时空分异特征进行了研究。

2.2 喀斯特生态系统服务驱动机理

喀斯特生态系统服务是多种驱动因素耦合作用

的结果,自然因素主要包括气候变化,人为因素主要包括土地利用变化、城镇化、生态治理工程等方面。

2.2.1 自然因素对喀斯特生态系统服务影响

气候变化通过温度、降水的变化直接影响生态系统服务,或影响自然植被的分布格局,间接对其他生态系统服务产生影响。如黄晓云等^[28]分析了气候变化背景下我国南方喀斯特地区NPP时空变化特征,发现在气候变化背景下2000—2010年我国南方8省喀斯特地区NPP呈先增加后降低趋势,喀斯特地区NPP变化幅度明显大于非喀斯特地区。韩会庆^[5]分析了气候变化对贵州省生态系统服务的影响,发现与土地利用变化相比,气候变化对贵州省生态系统服务影响更突出。刘俊^[37]分析了喀斯特地区森林植被气候特征,发现喀斯特地区原生滇青冈林温度调节能力较强,次生云南松林居中,石灰岩灌草丛较弱。

2.2.2 人为因素对喀斯特生态系统服务影响

土地利用变化通过结构和分布格局变化影响生态系统结构、组分、过程和功能,进而影响生态系统服务供给能力^[38]。土地利用变化对生态系统服务变化的影响既有积极的一面,又有消极的一面。坡耕地转为其他土地利用类型使贵州省生态系统服务价值增加4399.81万元^[21]。大量未利用地转化为生态价值系数较高的耕地和草地是喀斯特生态系统服务价值增加的主要原因^[39]。城镇化通过对区域土地利用、景观格局、生态过程、生物物理、生物化学循环等强烈影响着区域生态系统结构、功能和服务^[22]。城市化推动下大量耕地转为建设用地造成生态系统服务价值损失^[36]。石漠化导致贵州省有机质生产、固碳释氧、水土保持、营养物质积累、生物多样性保育和景观游憩等生态服务价值出现大幅损失^[40]。

人类可以采用生态修复手段(政策)通过人为地、积极地改变地表覆被类型,增加生物多样性,从而对生态系统服务产生积极影响。石漠化治理工程、退耕还林还草工程是喀斯特地区生态修复的重要工程,对喀斯特生态系统服务价值增加具有重要意义。退耕还林还草工程使得贵州省麻江县生态系统服务价值增加4536.2万元^[11]。退耕还林还草工程实施提高了森林覆盖率,加速土壤有机质积累、改善了土壤生物学特性,减少了水土流失^[42]。石漠化地区生态恢复重建技术使植被覆盖提高,水土流失得到明显控制,土壤侵蚀模数下降,间接利用价值大幅提高^[43]。石漠化综合治理工程增强了区域碳汇能力^[44]。

3 喀斯特生态系统服务权衡与协同研究

由于生态系统服务种类的多样性、空间分布的不均衡性以及人类使用的选择性,生态系统服务之间关系出现了动态变化,表现为此消彼长的权衡、相互增益的协同等形式^[45-46]。目前喀斯特生态系统服务权衡与协同研究多集中在供给服务、调节服务和支持服务之间。有学者研究发现我国西南喀斯特地区水供给与水土保持之间为协同关系,净初级生产力(NPP)与水供给和水土保持之间为权衡关系^[47]。贵州省水供给与水土保持、碳储量与生物多样性、粮食生产与水供给以及粮食生产与水土保持为协同关系,其他生态系统服务之间为权衡关系^[5]。

生态系统服务权衡与协同关系形成主要受气候变化、土地利用/覆被变化、生物入侵等自然因素以及市场政策、利益相关方偏好、文化因素等人为因素影响^[45]。目前喀斯特生态系统服务权衡与协同驱动机理研究多集中在土地利用与气候变化方面。韩会庆^[5]研究认为喀斯特生态系统服务权衡与协同形成与土地利用和气候变化驱动下两两生态系统服务变化趋势是否一致有关。

目前生态系统服务权衡与协同分析研究以定性分析为主。近年来,图形比较法、情景分析法以及模型模拟法等得到广泛应用^[48]。然而,喀斯特地区生态系统服务权衡与协同研究方法主要利用相关分析法^[5,47],很少涉及图形比较法、情景分析法以及模型模拟法。

4 喀斯特生态系统服务与人类福祉

生态系统服务可以影响人类福祉的所有组成要素,两者之间存在非线性关系,同时人类福祉也直接或间接影响着生态系统服务^[49-50]。由于部分人类福祉指标量化难度较大,这导致喀斯特生态系统服务与人类福祉关系研究多集中于生态系统服务与收入水平之间的研究。有学者研究发现喀斯特生态系统服务价值变化与人均GDP变化之间为正相关性,且存在一定的空间相关性^[51]。贫困发生率与喀斯特生态系统服务价值之间存在空间的正相关性,贫困发生率较高的地区生态系统服务价值越高^[52]。林权制度使得喀斯特山区森林不再作为少数民族基本生计手段和重要经济来源,仅作为提供修建房屋的木材、良好的生态环境保障和生活能源^[53]。居民对喀斯特生态系统为人们提供各种福祉的认知存在差异,

吕玲^[54]研究发现居民对各喀斯特生态系统服务的认知程度从高到低依次为食物供应、原材料供应、水资源供应、社会保障、生物多样性、休闲娱乐、废弃物处理、空气净化、自然灾害最小化、水质净化、文化。

5 存在的问题与研究展望

5.1 喀斯特生态系统服务分类与评估方法

依据研究目的看,当前喀斯特生态系统服务分类多从服务价值评估、土地利用变化和生态治理工程对生态系统服务价值影响等方面进行,这些分类尚未统一化,这使得评价结果难以进行横向比较。此外,当前喀斯特生态系统服务分类多移植于 Millennium Ecosystem Assessment (MA)^[1]、谢高地^[31]、Costanza^[55]等研究成果,忽视了喀斯特生态系统的特殊性。今后应依据研究结果的决策使用方向以及喀斯特生态系统结构与功能特点,构建喀斯特生态系统服务分类体系。

尽管物质量评估法与价值量评估法在喀斯特生态系统服务评估中得到广泛应用,但物理量评估法和价值量评估法的评估结果的不确定性引起了学者关注。由于生态系统的复杂性和异质性以及各种服务之间的依赖或对立关系,导致价值量评估结果准确性较低,存在重复计算问题^[56-57]。此外,受生态系统多样性、空间异质性、数据可获得性等影响,不同甚至相同生态系统服务的物质量评估方法存在较大差异,这导致评价结果难以比较。因此,今后在喀斯特生态系统服务评估中物质量评估法和价值量评估法的使用应合理选择评估方法,避免重复计算,提高评估结果的准确性。另外,近年来,在GIS技术支持下,以遥感、社会经济、生态环境数据为基础,生态系统服务评估模型不断涌现,评估模型具有快速、简便、清晰空间表达的优势,已广泛应用于各个地区。然而当前喀斯特生态系统服务评估使用模型评估法相对较少,且多集中于 InVEST 模型,对 ARIES、SolVES、MIMES、EPM、InFOREST、EcoMetrix 等模型鲜有使用。需要指出的是,受自然界自身的不确定性、模型的结构和模拟方法的不确定性以及输入数据不确定性等影响,评估模型的模拟结果亦存在不确定性^[58]。同时,由于当前评估模型多由国外开发,模型本土化利用过程中参数适宜性、模型适用范围等需要考虑。因此,今后应根据喀斯特生态系统结构与功能特点,开发适用于喀斯特地区的评估模型。

5.2 喀斯特生态系统服务评价与驱动机理

由于生态系统服务依赖于不同时空尺度上的自

然生态和社会文化过程。因此,生态系统服务存在着一定的尺度效应^[48]。当前喀斯特生态系统服务评估以中小尺度为主^[59-61],对全球尺度、全国尺度的研究相对较少。这使得当前研究难以厘清大尺度喀斯特生态系统服务整体特征,不利于公共管理政策的制定和实施。此外,喀斯特生态系统服务评估对象过于单一(集中森林和石漠化生态系统),而对湿地、耕地、湖泊等生态系统服务的研究较为薄弱。因此在今后的研究中,应加强大尺度研究,同时注意扩展研究对象,丰富喀斯特生态系统服务研究内容。

当前喀斯特生态系统服务研究多遵循“土地利用变化—生态系统服务价值响应”的简单线性研究范式,缺乏基于生态系统过程的生态系统服务评估^[62-65]。这种简单的线性研究范式忽视了生态系统的复杂性和多样性。今后应基于“生态系统结构、过程—功能—服务”级联框架进行喀斯特生态系统服务研究,从而厘清喀斯特生态系统与生态系统功能和服务之间关系。另外,喀斯特生态系统服务研究多集中在生态系统为人类提供的正服务(服务盈利),而对负服务(服务损失)的研究相对较少^[66]。今后应从温室气体排放、重金属污染等方面构建喀斯特生态系统负服务评价指标体系和评估方法。

尽管已有研究表明土地利用与气候变化是影响生态系统服务的重要因素^[1]。但如何定量分解喀斯特生态系统服务形成与变化的原因成为当前研究的难点,对此缺乏系统的研究。当前喀斯特生态系统服务驱动机理研究多集中在土地利用变化和生态工程对生态系统服务的影响,很少涉及气候变化的影响分析,更鲜有综合分析自然和人为因素对生态系统服务的影响。

5.3 喀斯特生态系统服务权衡与协同研究

生态系统服务权衡与协同关系的研究可为区域生态环境和社会经济发展政策制定提供科学依据,对自然资源的合理利用具有重要意义^[45,67]。然而,当前喀斯特生态系统服务权衡与协同研究处于起步阶段,多利用传统的相关分析法宏观判别权衡与协同类型,导致难以厘清生态系统服务之间非线性动态的复杂关系。今后应加强多种生态系统服务之间权衡与协同分析,不能仅局限于少数几个生态系统服务之间。重视权衡与协同关系的时空异质性研究。另外,图形比较法、情景分析法以及模型模拟法等前沿方法亟需得到广泛应用。

5.4 喀斯特生态系统服务与人类福祉

喀斯特地区是我国贫困人口相对集中区域。生

态系统为当地居民提供的各种福祉对该区脱贫、社会经济发展至关重要。由于当前人类福祉数据获取难度较大且空间表达困难,导致喀斯特地区人类福祉指标多选择经济指标,忽视了社会、教育、文化、健康、生态等方面^[68]。今后应构建包括物质福祉和主观福祉在内的喀斯特综合人类福祉指标体系,从而全面、准确地评估生态系统服务对人类福祉的影响。另外,由于不同尺度人类福祉指标体系有所不同,在指标体系构建中应注意多尺度效应。

参考文献

- [1] Millennium Ecosystem Assessment (MA). Ecosystems and human well-being: the assessment series (four volumes and summary) [M]. Washington, DC: Island Press, 2005, 10.
- [2] 熊康宁,池永宽. 中国南方喀斯特生态系统面临的问题及对策[J]. 生态经济, 2015, 31(1): 23-30.
- [3] 张殿发,王世杰,李瑞玲. 贵州省喀斯特山区生态环境脆弱性研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 77-79.
- [4] 侯文娟,高江波,彭韬,等. 结构—功能—生境框架下的西南喀斯特生态系统脆弱性研究进展[J]. 地理科学进展, 2016, 35(3): 320-330.
- [5] 韩会庆. 贵州省生态系统服务变化及驱动机理研究[D]. 广州: 中山大学, 2016: 170-172.
- [6] 凡非得,罗俊,王克林,等. 桂西北喀斯特地区生态系统服务功能重要性评价与空间分析[J]. 生态学杂志, 2011, 30(4): 804-809.
- [7] 苏维词. 贵州喀斯特山区生态环境脆弱性及其生态整治[J]. 中国环境科学, 2000, 20(6): 547-551.
- [8] 王荣,蔡运龙. 西南喀斯特地区退化生态系统整治模式[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4): 1070-1080.
- [9] 李阳兵,王世杰,周德全. 茂兰岩溶森林的生态服务研究[J]. 地球与环境, 2005, 33(2): 39-44.
- [10] 吴孔运,蒋忠诚,邓新辉,等. 喀斯特石山区次生林恢复后生态服务价值评估: 以广西壮族自治区马山县弄拉国家药物自然保护区为例[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 1011-1014.
- [11] 李苇洁,李安定,陈训. 贵州茂兰喀斯特森林生态系统服务功能价值评估[J]. 贵州科学, 2010, 28(4): 72-77.
- [12] 李苇洁,汪廷梅,王桂萍,等. 花江喀斯特峡谷区顶坛花椒林生态系统服务功能价值评估[J]. 中国岩溶, 2010, 29(2): 152-154.
- [13] 周传艳,陈训,贺瑞坤. 贵阳环城喀斯特人工林生态系统服务功能评价[J]. 贵州科学, 2010, 28(4): 40-45.
- [14] 池永宽,王元素,张锦华,等. 石漠化背景下贵州天然草地生态系统服务功能价值初步评估[J]. 广东农业科学, 2013, 40(23): 163-166.
- [15] 高渐飞,熊康宁. 喀斯特石漠化生态系统服务价值对生态治理的响应: 以贵州花江峡谷石漠化治理示范区为例[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(6): 775-784.
- [16] 郭红艳,王月容,卢琦,等. 岩溶石漠化地区生态系统服务价值评价: 以金沙县为例[J]. 中国岩溶, 2013, 32(2): 211-217.
- [17] 吴光梅,熊康宁,陈洪,等. 喀斯特石漠化生态系统服务价值研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2012, 30(3): 25-30.
- [18] 张斯屿,白晓永,王世杰,等. 基于 InVEST 模型的典型石漠化

- 地区生态系统服务评估:以晴隆县为例[J]. 地球环境学报, 2014,5(5):328-338.
- [19] 黄小荣, 庞世龙, 侯远瑞, 等. 喀斯特地区4种植被模式生态系统服务评价[J]. 林业科技开发, 2015, 29(6):139-143.
- [20] 韩会庆, 苏志华, 罗绪强, 等. 2000—2010年草海自然保护区生境质量变化[J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(5):158-163.
- [21] 罗光杰, 王世杰, 李阳兵, 等. 岩溶地区坡耕地时空动态变化及其生态服务功能评估[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11):233-243.
- [22] 马凤娇, 刘金铜, A Egrinya Eneji. 生态系统服务研究文献现状及其不同研究方向评述[J]. 生态学报, 2013, 33(19):5963-5972.
- [23] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12):3360-3367.
- [24] 张明阳, 王克林, 陈洪松, 等. 喀斯特生态系统服务功能遥感定量评估与分析[J]. 生态学报, 2009, 29(11):5891-5901.
- [25] 赵军, 杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(1):346-356.
- [26] 陈强, 常恩福, 毕波, 等. 滇东南岩溶地区三种退耕还林模式的水土保持效应研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5):1-4.
- [27] 韩会庆, 罗绪强, 游仁龙, 等. 基于InVEST模型的贵州省珠江流域水质净化功能分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2016, 40(5):87-92.
- [28] 黄晓云, 林德根, 王静爱, 等. 气候变化背景下中国南方喀斯特地区NPP时空变化[J]. 林业科学, 2013, 49(5):10-16.
- [29] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 等. 生态恢复对桂西北典型喀斯特区植被碳储量的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(9):2288-2295.
- [30] 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(11):6183-6188.
- [31] 谢高地, 肖玉, 鲁春霞. 生态系统服务研究:进展、局限和基本范式[J]. 植物生态学报, 2006, 30(2):191-199.
- [32] 张宏锋, 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务功能的空间尺度特征[J]. 生态学杂志, 2007, 26(9):1432-1437.
- [33] 陈能汪, 王龙剑, 鲁婷. 流域生态系统服务研究进展与展望[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(2):113-119.
- [34] 郜红娟, 蔡广鹏, 王后阵. 岩溶山区生态系统服务价值时空特征分析[J]. 贵州师范学院学报, 2014, 30(12):26-29.
- [35] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 等. 桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征[J]. 生态学报, 2011, 31(14):3947-3955.
- [36] 吴松, 安裕伦, 马良瑞. 城市化背景下喀斯特流域生态服务价值时空分异特征:以贵阳市南明河流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(9):1591-1598.
- [37] 刘俊. 喀斯特地区森林植被气候特征研究:以云南石林县为例[D]. 昆明:云南师范大学, 2015:2.
- [38] 李双成. 生态系统服务地理学[M]. 北京:科学出版社, 2014:115.
- [39] 熊鹰, 谢更新, 曾光明, 等. 喀斯特区土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以广西环江县为例[J]. 中国环境科学, 2008, 28(3):210-214.
- [40] 王月容, 卢琦, 周金星, 等. 贵州省岩溶石漠化地区生态服务价值损失评估[J]. 中国岩溶, 2013, 32(1):88-94.
- [41] 郜红娟, 张朝琼, 王后阵. 岩溶山区生态服务价值对退耕还林(草)工程的响应[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2014, 32(6):21-24.
- [42] 韩媛媛. 西南喀斯特区域峰丛洼地退耕还林(草)的生态效应研究[D]. 南宁:广西大学, 2009:52.
- [43] 吴孔运, 蒋忠诚, 罗为群. 喀斯特石漠化地区生态恢复重建技术及其成果的价值评估:以广西平果县果化示范区为例[J]. 地球与环境, 2007, 35(2):159-165.
- [44] 郭红艳. 石漠化对土壤碳库和碳排放的影响研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2013:4.
- [45] 李双成, 张才玉, 刘金龙, 等. 生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题[J]. 地理研究, 2013, 32(8):1379-1390.
- [46] 戴尔卓, 王晓莉, 朱建佳, 等. 生态系统服务权衡/协同研究进展与趋势展望[J]. 地球科学进展, 2015, 30(11):1250-1259.
- [47] Tian Y C, Wang S J, Bai X Y, et al. Trade-offs among ecosystem services in a typical karst watershed, SW China [J]. Science of the Total Environment, 2016, 566-567:1297-1308.
- [48] 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[J]. 地理科学进展, 2014, 33(4):441-446.
- [49] 代光烁, 余宝花, 娜日苏, 等. 内蒙古草原生态系统服务与人类福祉研究初探[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5):656-662.
- [50] 王晓峰, 吕一河, 傅伯杰. 生态系统服务与生态安全[J]. 自然杂志, 2012, 34(5):273-276.
- [51] 郜红娟, 韩会庆, 罗绪强, 等. 贵州省生态系统服务价值与社会经济空间相关性分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(2):262-266.
- [52] 郜红娟, 蔡广鹏, 韩会庆, 等. 贵州省贫困发生率与生态系统服务价值相关性分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5):274-277.
- [53] 卢之遥. 林权制度对民族地区森林生态与经济社会的影响:以贵州雷山县为例[D]. 北京:中央民族大学, 2016:4-7.
- [54] 吕玲. 村域尺度上农户对生态系统服务的认知响应及其政策启示[D]. 北京:中国地质大学, 2015:62-65.
- [55] Costanza R, d'Argo R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(6630):253-260.
- [56] Johnson K A, Polasky S, Nelson E, et al. Uncertainty in ecosystem services valuation and implications for assessing land use tradeoffs: An agricultural case study in the Minnesota River Basin [J]. Ecological Economics, 2012, 79:71-79.
- [57] Limburg K E, O'Neill R V, Costanza R, et al. Complex systems and valuation [J]. Ecological Economics, 2002, 41(3):409-420.
- [58] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12):3360-3367.
- [59] Zhang M, Wang K, Liu H, et al. How ecological restoration alters ecosystem services: an analysis of vegetation carbon sequestration in the karst area of northwest Guangxi, China [J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 74(6):5307-5317.
- [60] 高渐飞, 熊康宁. 喀斯特生态系统服务价值评价:以贵州花江示范区为例[J]. 热带地理, 2015, 35(1):111-119.
- [61] 张明阳, 王克林, 刘会玉. 桂西北典型喀斯特区生态系统服务价值对景观格局变化的响应[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5):1174-1179.
- [62] 周传艳, 陈训, 刘晓玲, 等. 基于土地利用的喀斯特地区生态系统服务功能价值评估:以贵州省为例[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(2):174-179.
- [63] 罗俊, 王克林, 陈洪松. 喀斯特地区土地利用变化的生态服务功能价值响应[J]. 水土保持通报, 2008, 28(1):19-24.
- [64] 韩会庆, 蔡广鹏, 张凤太, 等. 喀斯特地区土地利用变化对生态

- 服务价值的影响:以贵州省绥阳县为例[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 272-275.
- [65] 白晓永,熊康宁,苏孝良,等. 喀斯特石漠化景观及其土地生态效应:以贵州贞丰县为例[J]. 中国岩溶, 2005, 24(4): 276-281.
- [66] 张亮,胡宝清. 基于土地利用变化的喀斯特地区生态服务价值损益估算:以广西都安瑶族自治县为例[J]. 中国岩溶, 2008, 27(4): 335-339.
- [67] 李晶,李红艳,张良. 关中一天水经济区生态系统服务权衡与协同关系[J]. 生态学报, 2016, 36(10): 3053-3062.
- [68] 房学宁,赵文武. 生态系统服务研究进展:2013年第11届国际生态学大会(INTECOLCongress)会议述评[J]. 生态学报, 2013, 33(20): 6736-6740.

Research progress and prospects of karst ecosystem services

HAN Huiqing¹, SU Zhihua²

(1. College of Architecture and Urban Planning, Guizhou Institute of Technology, Guiyang, Guizhou 550003, China;

2. School of Management Science, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract Karst ecosystems are typical vulnerable ecosystems in the world. The variety of ecosystems provides multiple important services such as water conservation, soil retention, biodiversity, grain production, water supply and leisure entertainment for humankind. However, excessive and unreasonable human activities in recent years has seriously destroyed karst ecosystem structure and influenced the effectiveness of karst ecosystem services. In order to clarify current situation and existing problem of karst ecosystem service research, this paper provides an in-depth overview in the progress and prospect of karst ecosystem service research on the basis of throughout literature and reference material surveys. The results showed that current classification of karst ecosystem service research has mainly transplanted the results of other fields, which ignored the particularity of karst ecosystems. The objects of assessment are water and soil conservation carbon fixation and forest products, but rarely involve cultural services. Quantity of value and material methods were widely applied in assessment of karst ecosystem services, whereas there was a lack of ecosystem service assessment based on these ecosystem processes. Current researches have much paid attention to spatial heterogeneity of karst ecosystem service value on the meso-small scale, while ignored the large-scale research. Research paradigm of karst ecosystem services was that the effects of land use change in ecosystem services value, which underlined the effects of land use changes and ecological projects on karst ecosystem services value. Few scholars paid close attention to the effects of climate change as well as coupling effects of natural factors and human factors on karst ecosystem services. We should enhance the study of karst ecosystem services based on the framework of "ecosystem structure and process—ecosystem function—ecosystem service" and establish unique classification system of karst ecosystem services. The applicability of the evaluation method of ecosystem services and development and utilization of evaluation model in karst region should be emphasized. Ecosystem services assessment in karst region at a large scale and associated cultural services assessment should be strengthened. We should expand the study of balance and synergy among karst ecosystem services as well as the effects of karst ecosystem services on human welfare. Spatial and temporal heterogeneity of tradeoff and synergy as well as the application of new techniques in tradeoff and synergy research should be given with more attention. Future research should attach great importance to comprehensive index system of human welfare and relationship between karst ecosystem services and human welfare in karst region. Finally, quantitative analysis of the impacts of natural factors and human factors on karst ecosystem services should be enhanced.

Key words karst, ecosystem services value, ecosystem services function, rocky desertification

(编辑 黄晨晖)