

文章编号: 1008-2786-(2009)2-0140-09

# 浅析江河源区生态系统脆弱性研究的科学问题

方一平<sup>1</sup>, 秦大河<sup>2</sup>, 永建<sup>2</sup>

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 长江、黄河源区位于青藏高原腹地, 是我国气候变化的敏感区和脆弱区, 面对全球气候变化以及我国冰冻圈萎缩的压力, 明晰基于冰冻圈变化条件下江河源区生态系统脆弱性的科学问题, 是长江、黄河流域生态安全保障及社会经济持续发展的客观要求。在分析江河源区范围、江河源区和我国冰冻圈的关系、目前生态系统脆弱性研究的基本特点的基础上, 在全球气候变化和冰冻圈变化的复杂背景下, 提出并阐述了江河源区生态系统脆弱性研究的5个重要科学问题: (1) 脆弱性概念的延伸和拓展; (2) 气候系统的非线性作用; (3) 脆弱性评价的时空尺度; (4) 脆弱性评价的临界阈值; (5) 脆弱性评价的界面链接等。

**关键词:** 江河源区; 冰冻圈变化; 生态系统脆弱性; 科学问题

**中图分类号:** P467 X14

**文献标识码:** A

江河源区位于青藏高原腹地, 分布着世界上海拔最高的高寒灌丛、高寒草甸和高寒草原等独特生态系统, 是气候变化的敏感区和脆弱区, 面对全球气候变化以及我国冰冻圈萎缩的压力, 江河源区生态环境备受关注, 明晰基于冰冻圈变化下江河源区生态系统脆弱性的科学问题, 是长江、黄河流域生态安全保障及社会经济持续发展的客观要求。

## 1 江河源区范围争议

江河源区包括长江源地区和黄河源地区, 是青藏高原的重要组成部分。江河源区是一个流域或地理上的概念, 而不是一个行政区划范围, 关于其流域范围, 不同学者具有不同的理解和划分依据, 目前学术界还没有形成统一的认识<sup>[1, 2]</sup>。20世纪90年代以来, 随着江河源区生态环境研究的日渐升温, 源区保护问题引起了全社会的普遍关注, 针对江河源区范围的科学界定研究, 也涌现了一批代表学者(表

1)。总体上看, 至今流域界限的划分依据主要包括4个方面: (1) 行政与地貌单元的完整性: 尽可能使地貌单元与行政区域相对完整; (2) 生态环境构成成分趋同性: 强调区域内宏观气候、地貌及植被等系统的相似性和趋同性; (3) 生态环境结构功能包容性: 包括干流水体对支流环境的环境和植被、土壤及气候条件等环境要素的统一性; (4) 地理与水文特征的同源性: 考虑地理、水文等要素, 所定界线体现各要素最主要的特征。不同学者基于不同的研究领域和划分原则, 勾画出了不同的源区范围和界线(表1), 尽管划分的结果极不相同, 流域面积也差异悬殊, 但其共性是: 均突出了地形地貌、气候、植被和水文水系要素分异的控制点特征, 将达日、聂恰曲和通天河交汇口作为地形地貌、气候和植被变化的转折点; 将黄河沿、多石峡、达日、麦多唐贡玛峡、久治和玛曲(黄河上游)、当曲汇口、楚玛尔河汇口、聂恰曲汇口、登额曲汇口、玉树和直门达(长江上游)作为水文水系的控制点。

收稿日期(Received date): 2008-07-21。

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2007CB411507)和冰冻圈科学国家重点实验室开放基金联合资助(SKLC08-05)。[Joint Funding from the National Basic Research Program of China(973Program, N. 2007CB411507) and Open fund from the state key Laboratory of Cryosphere Science(SKLC08-05).]

作者简介(Biography): 方一平(1965-), 男, 浙江淳安人, 研究员, 博士生导师, 主要从事产业生态与区域可持续性研究。[Fang yiping(1965-), Male, Professor, Supervisor of PhD Candidates, Focus on Industrial Ecology and Regional Sustainability.] E-mail: ypfang@imde.ac.cn  
yplang2004@yahoo.ca

表 1 江河源区范围界定的主要依据及其代表学者

Table 1 Main principles and scholars of scope division of source regions of Yangtze and Yellow Rivers

代表学者	界定原则	界定范围	参考文献
王根绪 程国栋 沈永平等	生态环境构成成分趋同性 生态环境结构功能包容性	黄河源区: 以青海果洛州达日县境的麦多唐贡玛峡为界, 包括玛多、达日、玛沁及甘德县属的部分行政区域, 总面积 $7.46 \times 10^4 \text{ km}^2$ ; 长江源区: 以楚玛尔河合口以下登艾龙曲汇口及治多和玉树县交界地为界, 包括曲麻莱县及唐古拉乡, 总面积 $11.42 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。	[ 3 ]
胥鹏海 冯永忠 杨改河等	地理与水文特征同一性	江河源区: 位于青藏高原腹地, $89^{\circ}24' \sim 102^{\circ}41' \text{ E}$ , $31^{\circ}39' \sim 36^{\circ}16' \text{ N}$ , 主要由昆仑山及其支脉巴颜喀拉山、阿尼玛卿山和唐古拉山组成, 总面积 $31.82 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。	[ 4 ]
景可 孙广友	地貌与水文特征同一性	黄河源区: 多石峡以上的集水范围, 流域面积 $2.20 \times 10^4 \text{ km}^2$ ; 长江源区: 楚玛尔河与通天河交汇口以上流域, 面积 $10.20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。	[ 5], [ 6 ]
张镜铨 刘林山 摆万奇等	地貌单元完整性 地理、水文特征同一性	黄河源区: 以黄河支流西科曲河口岗龙乡为界的黄河上游部分, 西起雅拉达泽山、东至阿尼玛卿山、南临巴颜喀拉山、北至布尔汉不达山, 流域面积 $5.17 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。	[ 7 ]
刘迎春	自然区划基础	黄河源区: 唐乃亥水文站以上区域为黄河源区, 但从流域治理和管理角度考虑, 通常将龙羊峡以上流域作为河源区; 长江源区: 以直门达水文站以上区域。	[ 8 ]
丁永建 杨建平 刘时银等	行政与地貌单元的完整性 生态环境构成成分趋同性 生态环境结构功能包容性 地理与水文特征的同一性	黄河源区: 以达日水文站为界, 介于 $33^{\circ}00' \sim 35^{\circ}35' \text{ N}$ 及 $96^{\circ}00' \sim 99^{\circ}40' \text{ E}$ , 包括青海果洛藏族自治州的玛多、达日、玛沁及甘德县属部分地区, 流域面积 $4.49 \times 10^4 \text{ km}^2$ ; 长江源区: 以聂恰曲汇合口为界, 介于 $32^{\circ}30' \sim 35^{\circ}40' \text{ N}$ 及 $90^{\circ}30' \sim 96^{\circ}00' \text{ E}$ 间, 包括曲麻莱、治多及唐古拉乡, 面积 $12.24 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。	[ 2 ]
冯永忠 杨改河 杨世琦等	自然地理学流域界定原则	长江源区: 东以巴颜喀拉山为界, 北至昆仑山脉, 西至青海省界, 南到唐古拉山北坡。包括海西州唐古拉乡, 玉树州的杂多及治多、曲麻荣、称多、玉树等部分地区。 黄河源区: 南至巴颜喀拉山, 西北至布青山, 北至拉鸡山, 东至青海省界, 包括曲麻莱、称多、玛多、达日、班玛、久治、甘德、玛沁、河南、泽库、同德、兴海、贵南、共和、贵的、化隆、同仁、尖扎、循化 19 县。	[ 9 ]

2 江河源区和我国冰冻圈的关系

冰冻圈是指地球表面水以固态形式存在的部分, 包括所有种类的冰、雪和冻结土<sup>[10]</sup>。冰冻圈由于对气候的高度敏感性和重要的反馈作用而与大气圈、水圈、岩石圈、生物圈一起被认为是影响气候系统的 5 大圈层。在全球变暖导致冰冻圈加速萎缩的现实背景下, 国际上冰冻圈的研究业已受到前所未有的重视, 成为气候系统研究中最活跃的领域之一, 也是当前全球变化和可持续发展研究领域关注的热点<sup>[11]</sup>。

我国是中、低纬度地区冰冻圈最发育的国家, 冰川面积达  $59\,425 \text{ km}^2$ , 占全球中、低纬度冰川面积的 50% 以上; 多年冻土区面积约  $220 \times 10^4 \text{ km}^2$ ; 稳定季节积雪区面积  $420 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[11]</sup>。冰川是我国极其重要的固体水资源, 通过冰川不断的补给和消融, 调

节着西部的江河径流, 每年平均冰川融水量约为  $600 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[11]</sup>。江河源区地形复杂, 地势高耸, 山脉绵亘, 分布有唐古拉山、巴颜喀拉山、阿尼玛卿山、昆仑山脉等主要山系, 气候寒冷, 终年以降雪为主, 长江源区冰川分布集中, 有现代冰川 627 条, 冰川面积  $1\,168.18 \text{ km}^2$ <sup>[12]</sup>; 黄河源区山地较低, 冰川数量相对较少, 黄河上游共有冰川 68 条, 总面积  $131.44 \text{ km}^2$ <sup>[12]</sup>。江河源区连续多年冻土主要分布在长江源区, 黄河源区的大部分地区则主要分布着片状多年冻土<sup>[12]</sup>。因此, 从江河源区的地理区位和冰冻圈要素的构成特征看, 江河源区是我国冰冻圈极其重要的组成部分。

长江、黄河发源地的青藏高原是我国气候变化的启动区<sup>[13]</sup>, 对气候变化非常敏感<sup>[14 15]</sup>。近百年来, 我国冰冻圈萎缩, 已对区域气候、水资源、生态与环境产生了重大影响<sup>[11]</sup>。由于江河源区的地理区位和生态环境地位的特殊性, 在未来全球气候变暖

背景下,随着冰冻圈萎缩加剧,江河源区冰冻圈的变化对我国的水资源安全、西部生态安全以及区域乃至全球气候均具有重要影响<sup>[11]</sup>。

### 3 目前生态系统脆弱性研究的基本特点

#### 3.1 生态系统脆弱性概念的理解

脆弱性是随着生态环境退化问题成为人们关注的焦点、热点,而频繁地被人们所述及和出现在各种文献中,其最早是 20 世纪 60 年代由法国学者 A bi net 和 Margat 提出,后经过 Verhuff 和 Foster 等人的发展,2000 年被美国环保署 (USEPA) 和国际水文地质协会用于地下水脆弱性定义<sup>[16]</sup>。不同的视角对脆弱性具有不同的认识和理解。灾害角度认为脆弱性是承灾体对破坏和伤害的敏感性,是人类易受自然灾变破坏与伤害状态,是人类活动及其场地的一种性质或状态<sup>[17]</sup>。气候变化角度,认为脆弱性是指一个自然或社会系统容易遭受或没有能力对付气候变化不利影响的程度,是某一系统气候的变率特征、幅度、变化速率及其敏感性和适应能力的函数<sup>[18-21]</sup>。食物安全角度,则将脆弱性定义为存在可能导致地方居民出现食物安全问题或营养不良的因素<sup>[22]</sup>。而生态系统的脆弱性是指生态系统对刺激时空的适应能力,由生态系统土壤、生物区域、生物组织、物种、有机结构和水流范围等多层面结构特征所决定<sup>[23]</sup>。Sm it 则认为生态系统脆弱性是暴露、敏感性和适应能力在区域水平尺度的集中体现,生态环境和社会过程的相互作用决定了暴露和敏感性,不同的社会、政治、文化、经济水平形成或决定了不同的适应能力<sup>[24]</sup>。我国学者刘燕华则认为生态系统脆弱性是生态系统的特定时空尺度相对于干扰而具有的敏感反应和恢复状态,它是生态系统固有属性在干扰作用下的表现<sup>[25]</sup>。也有学者认为生态系统脆弱性是生态系统在特定时空尺度相对于外界干扰所具有的反应和自恢复能力等<sup>[26-27]</sup>。

#### 3.2 生态系统脆弱性研究的基本特点

生态系统脆弱性研究,很早就引起全球普遍关注,20 世纪 60 年代的国际生物学计划 (BP)、70 年代的人与生物圈计划 (MAB) 以及 80 年代开始的地圈、生物圈计划 (IGBP) 都把生态系统脆弱性作为重要的研究领域<sup>[28]</sup>。

从研究方法看,脆弱性研究目前逐步由定性走向定量研究,进行生态系统脆弱程度评价,其评价主

要采用建立指标体系的方法,定量方法也逐步由单一走向多元,如主成分分析、AHP 分析法、压力状态响应模型 (PSR)、以及正在兴起的神经网络法、模糊物元模型、集对分析法等 (表 2)。由于生态系统极其复杂,实际上很难建立一个为大家所公认的统一指标体系,因而有关生态系统脆弱性的研究,概念模型和定性分析仍占较大比例。

从研究对象看,生态系统脆弱性研究主要包括:地下水脆弱性、水资源脆弱性、自然灾害脆弱性、农业生态系统脆弱性和特殊区域 (如岩溶、矿区) 生态系统脆弱性研究等。

从研究内容看,利用定性与定量相结合的方法评估不同生态系统在各种情景下构成脆弱性的压力 (暴露)、敏感性表现是其主要的工作之一,同时从可持续发展的角度,提出如何防范风险、降低脆弱性的适应对策是目前生态系统脆弱性研究极为重要的内容。

从研究程度看,由于生态系统脆弱性研究类型多样、内容复杂,存在研究面广而研究深度不足的问题,在指标体系构造和评价过程中,尽管许多学者考虑了社会经济要素对生态系统的作用效应,但就生态系统脆弱性本质而言,固有的生态系统脆弱性是由其系统结构的不稳定性引起的,而外部干扰叠加的脆弱性是相对于周围环境的影响来说的。因此,应科学涵盖周围环境的影响和人类活动的影响,尤其是气候变化与人类活动作用于研究系统而引起的加剧或减缓系统脆弱性的影响,人类活动和全球气候变化是导致生态系统破坏的重要原因<sup>[17]</sup>,而这种趋向目前还没有得到应有的关注。

### 4 江河源区生态系统脆弱性研究应关注的问题

#### 4.1 脆弱性概念内涵的拓展问题

尽管至今还没有一个共识的脆弱性的定义,但脆弱性所涵盖内容的不断拓展,已是不争的事实,概念已从一维结构向多维结构进行了延伸<sup>[38]</sup> (图 1)。总体看,脆弱性已经扩展到较为综合的概念,包括:敏感性、暴露、应对能力、适应能力以及不同的热点领域 (自然、社会、经济、环境和制度脆弱性),从要素维度、策略维度和概念维度均拓宽了脆弱性概念包容的自然、经济、社会元素,尤其是加重了经济的、社会的、制度的、管理的和技术的要素影响份量<sup>[39]</sup>。

(图 2)。因此, 就江河源区生态系统脆弱性评估而言, 如何与扩展的脆弱性概念内涵相匹配, 在科学、充分地体现源区自然生态系统本身脆弱性、敏感性特征的同时, 突出源区制度的、政策的、管理的以及宗教要素对生态系统的叠加和干扰效应, 是江河源区生态系统脆弱性评价研究的重要命题。

表 2 生态系统脆弱性评价的主要方法和指标  
Table 2 Main assessment approaches and indicators of ecosystem vulnerability

方法	指标	主要文献
压力 - 状态 - 响应 (PSR)模型	压力、活力、组织、功能、状态指标	[ 29]
主成分分析	坡度、年均降雨、降雨侵蚀力、年均温、积温、干燥度、土壤侵蚀率、森林覆盖率、土壤可蚀性	[ 30]
AHP法	敏感性指数 适应性指数	[ 31]
集对分析 (Set Pair Analysis SPA)	生态本底指标 人类胁迫指标	[ 32]
专家打分法	主要成因指标	[ 33]
一步分析法	结果表现指标	
模糊评价	生态本底指标 人类胁迫指标	[ 34]
BP 人工神经网络		
聚类分析		
压力 - 状态 - 响应 PSR 模型	湿地生态特征指标	[ 35]
模糊和 AHP 评价	湿地整体功能指标	
	湿地社会环境指标	
因子分析法	自然要素本底脆弱性指标	[ 36]
	社会要素脆弱性指标	
模糊物元模型	水资源指标	[ 37]
	土地资源指标	
	环境指标	
	人工干预指标	

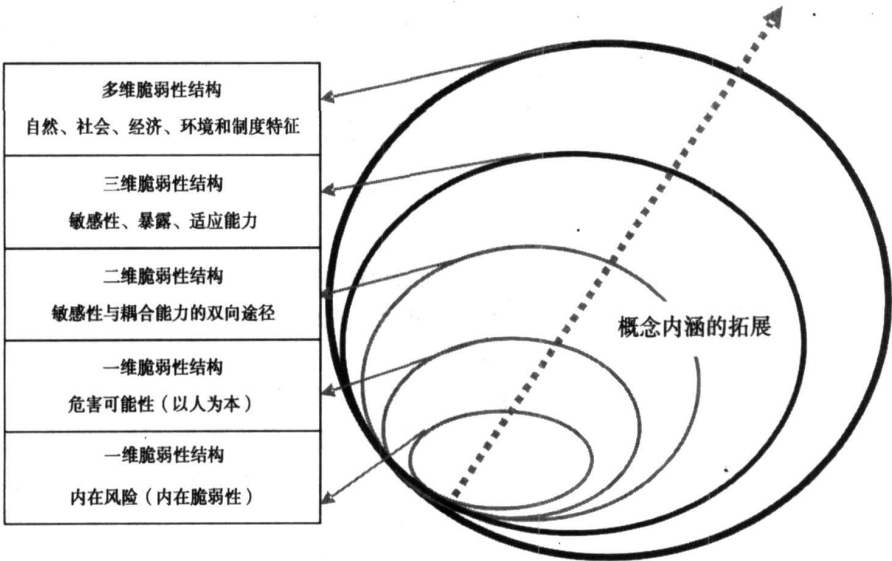


图 1 脆弱性概念的延伸和拓展 (源自 Birkmann, 2007)

Fig. 1 Extension of vulnerability concept (Source: Birkmann, 2007)

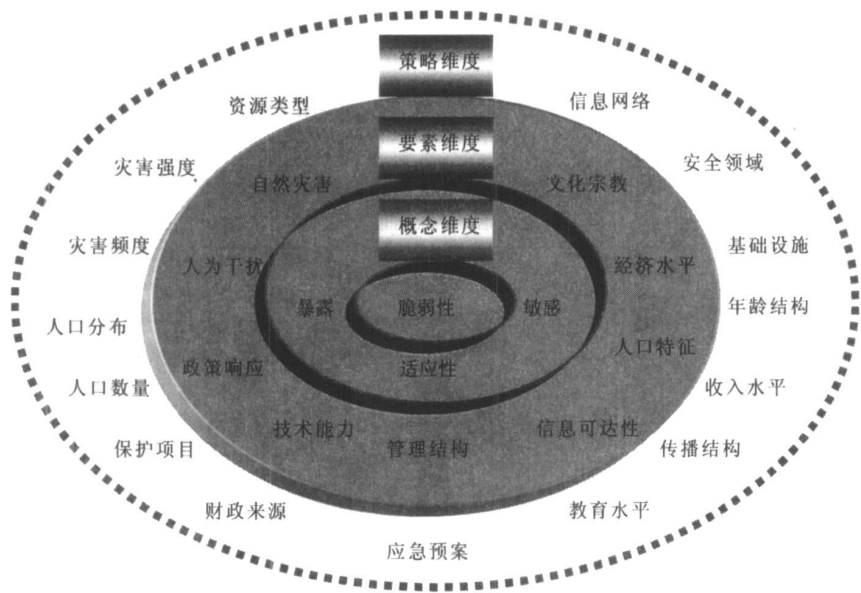


图 2 脆弱性要素维度和层次结构 (源自 Polskya等, 2007)

Fig 2 Dimensions and hierarchical structure of vulnerability (Source Polskya etc 2007)

4.2 气候系统的非线性作用问题

近年来,人们更多地关注气候变化对生态系统脆弱性的影响,现有的研究表明,全球气候变化特别是温度升高和二氧化碳浓度增加,生态系统将受到严重破坏,同时气候变化会加剧荒漠化和干旱灾害出现的频率,减少生物物种,生态系统的脆弱性将明显加剧<sup>[18-21]</sup>。

气候系统中存在许多非线性过程,包括气温的、降水的、辐射的非线性过程等,这些过程往往导致气候突变,并对某些生态脆弱区造成重大影响<sup>[28]</sup>。从江河源区与气候变化的关联性看,江河源区是冰冻圈的重要组成部分,是气候变化启动区的核心,气候变化是影响冰冻圈变化的背景和基础,是冰冻圈变化的前提条件,而冰冻圈的变化又将进一步影响江河源区生态系统结构和功能的变化,这种连锁关系本身存在着非线性的作用效应;与此同时还表现生态系统内外部的非线性作用关系:(1)江河源区生态系统对冰冻圈变化响应的滞后性和非线性;(2)江河源区生态系统结构变化和功能表现的非线性;(3)各子系统之间的作用关系和作用贡献大小的非线性;(4)基础生态位和实际生态位与环境因子作用的非线性。这些非线性应力对源区生态系统脆弱性产生的影响,应是未来值得关注和有待研究的重要课题。

4.3 脆弱性评价的时空尺度问题

评价尺度的存在根源于地球表层自然界的等级

组织和复杂性<sup>[40]</sup>。江河源区生态系统脆弱性的时空性是生态系统在不同时间、不同区域尺度上脆弱性的差异,由于江河源区地域广阔、内部差异十分明显,对于不同生态系统类型、同一生态系统内部的时空尺度的理解影响着江河源区生态系统的脆弱性特征、影响着预测源区未来生态系统对于环境变化响应方式的适应能力。由于人类认识的局限和各种观测、研究手段的有限性,将所有尺度上的脆弱性问题研究清楚,在一定程度上说是不现实的,但是仅仅开展一个尺度上的研究,往往不能解决其他尺度上存在的问题。如何通过脆弱性研究的时空尺度转换,将在局部地区、生态子系统获得的结果推广到更多的尺度上,或将大尺度获得的结果下移并应用至更次一级的区域尺度(图3);或将短期的评估结果推演至长期的时间尺度,将历史的、过去的结果推演至未来的时间尺度(图4),这均是目前江河源区生态系统脆弱性评估研究的重点和难点。

4.4 脆弱性评价的临界阈值问题

生态系统对气候变化的适应和调节能力是有限的,如果气候变化幅度过大或持续时间过长超出了生态系统自身的调节和修复能力,生态系统的结构和功能就会遭到破坏,这个临界限度,称之为生态系统阈值。从外力角度分析,生态系统阈值决定于外力的类型、强度、节奏、持续时间等诸多因素,从生态系统自身来讲,系统的结构、功能、成熟程度等都影响生态系统阈值的高低,当超出这个阈值时,生态系

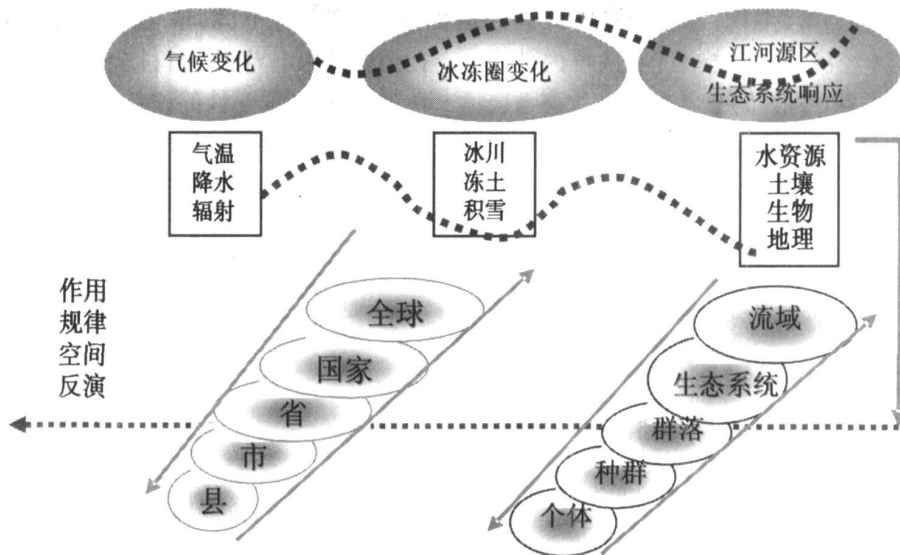


图 3 江河源区生态系统脆弱性评价的空间尺度

Fig. 3 Spatial scale of vulnerability assessment of ecosystem

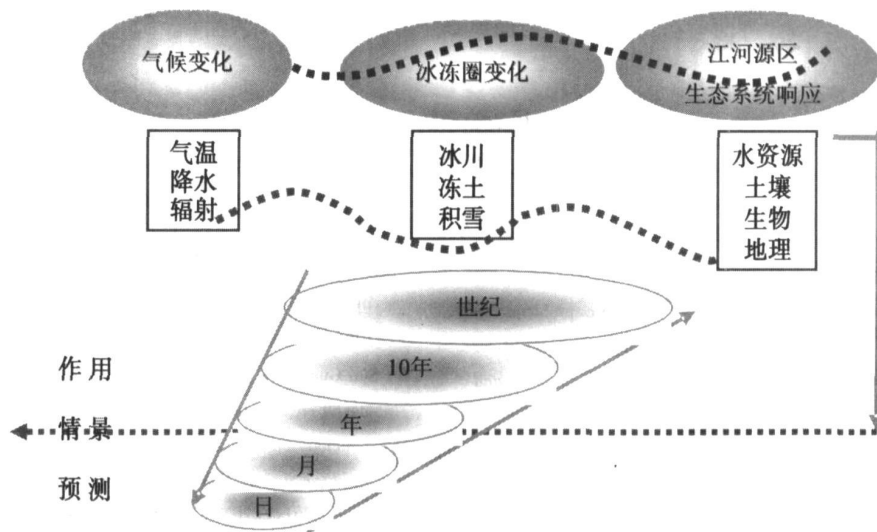


图 4 江河源区生态系统脆弱性评价的时间尺度

Fig. 4 Temporal scale of vulnerability assessment of ecosystem

统的结构功能和稳定性就会遭到严重破坏,产生突发性连锁反应,甚至放大效应,使系统发生不可逆转的变化<sup>[28]</sup>。

确定阈值是否存在及其范围是气候变化响应评估的重要课题,目前的全球变化研究还没有找到温室气体排放总量与气候和生态系统危险水平的关系<sup>[28]</sup>。事实上,在气候变化背景下,考虑冰冻圈变化胁迫下的江河源区生态系统脆弱性门槛问题将更趋复杂,江河源区生态系统在冰冻圈变化的一定情景下,生态系统本身的调解和修复能力,生态系统的

结构、功能和稳定性临界限度的界定显然是一个复杂、艰难、但又十分重要的一个科学问题。

#### 4.5 脆弱性评价的界面链接问题

界面概念源自于工程技术领域,原意是指各类不同组件之间的结合部分;在现代管理理论中,界面是指两个异质实体的联系和衔接状态。同样,江河源区生态系统的脆弱性评价涉及到气候、冰冻圈、源区生态系统以及社会经济系统等不同系统界面之间的联系(图 5),也涉及到气候变化(气温、降水、辐射)、冰冻圈变化(冰川、冻土、积雪)、江河源区生态

系统响应(水资源、土壤、生物、地理)、江河源区社会经济系统调整(经济、社会、技术)等系统内部和之间要素界面的关联(见图5)。江河源区生态系统在冰冻圈变化的驱动下,如何将两者关系紧密地联系在一个整体进行分析考虑,如何将冰冻圈变化的

要素(冰川、冻土、积雪)在江河源区生态系统自然、社会经济两个界面进行科学表达,建立完整性、系统性、针对性和科学性的评判指标体系,应是源区生态系统脆弱性研究的另一项重要科学任务。

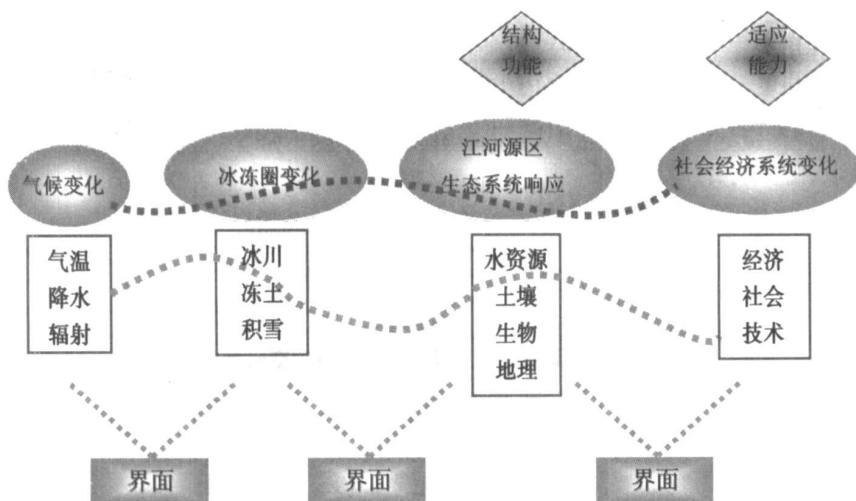


图5 江河源区生态系统脆弱性评价的界面

Fig.5 Interfaces of vulnerability assessment of ecosystem

## 参考文献 (References)

- [1] Yang Gahe, Wang Dexing, Li Yabin. Scientific problems on source regions of Yangtze River, Yellow River and Lantsang River [J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest*, 2004, 32(1): 1~4 [杨改河, 王得祥, 李轶冰. 有关江河源区的科学问题[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(1): 1~4]
- [2] Ding Yongjian, Yang Jianping, Liu Shiyin, et al. Exploration of Eco-Environment Range in the Source regions of the Yangtze and Yellow Rivers [J]. *ACTA GEOGRAPHICA SINICA*, 2004, 58(4): 519~526 [丁永建, 杨建平, 刘时银, 等. 长江黄河源区生态环境范围的探讨[J]. 地理学报, 2004, 58(4): 519~526]
- [3] Wang G. X., Cheng G. D., Sheng Y. P., et al. Ecosystem Change and Integrated Conservation in the Source Regions of Yangtze and Yellow Rivers [M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2001 [王根绪, 程国栋, 沈永平, 等. 江河源区的生态环境变化及其综合保护研究[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2001]
- [4] Xu Penghai, Feng Yongzhong, Yang Gaihe, et al. Study on changes of water environment in source regions of Yangtze River, Yellow River, Lantsang River and its factors [J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest*, 2004, 32(3): 10~14 [胥鹏海, 冯永忠, 杨改河, 等. 江河源区水环境变化规律及其影响因素分析[J]. 西北农林科技大学学报, 2004, 32(3): 10~14]
- [5] Jing Ke, You Liangyuan. Inspection anthology of Yellow River Source [C]. Xining: Qinghai People Press, 1982, 169~189 [景可, 尤联元. 黄河源头考察文集[C]. 西宁: 青海人民出版社, 1982, 169~189]
- [6] Sun Guangyou, Deng Wei, Shao Qingchun. Study on mire in periglacial environment in the Changjiang River Source-Dedicated to the centenary of the birth of Professor Zhu Kezhen [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1990, 10(1): 86~94 [孙广友, 邓伟, 邵庆春. 长江源区冰缘环境沼泽研究——献给竺可桢教授诞辰百年[J]. 地理科学, 1990, 10(1): 86~94]
- [7] Zhang Yili, Liu Linshan, Bai Wangqi, et al. Grassland Degradation in the Source Region of the Yellow River [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(1): 3~14 [张锦锂, 刘林山, 摆万奇, 等. 黄河源地区草地退化空间特征[J]. 地理学报, 2006, 61(1): 3~14]
- [8] Liu Yingchun. Eco-environment of Yangtze and Yellow Rivers Source and its impact on basin [A]. In: China Qinghai-Tibet Plain Research board, Qinghai Province Science and Technology Commission. Qinghai resources environment and development seminar collection [C]. Beijing: Meteorological Publishing House, 1996, 91~94 [刘迎春. 江河源生态环境对其流域的影响[A]. 见: 中国青藏高原研究会、青海省科学技术委员会. 青海资源环境与发展研讨会论文集[C]. 北京: 气象出版社, 1996, 91~94]
- [9] Feng Yongzhong, Yang Gahe, Yang Shiqi, et al. Definition on the source regions of Yangtze River, Yellow River and Lantsang River

- [J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest*, 2005, 22(11): 77~80 [冯永忠, 杨改河, 杨世琦, 等. 江河源区地域界定研究 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2005, 22(11): 77~80]
- [10] ShiYafeng. Chinese Glacier and Environment——Now, Past and Future[M]. Beijing: Science Press, 2000 [施雅风. 中国冰川与环境——现在、过去和未来 [M]. 北京: 科学出版社, 2000]
- [11] Q in D a h e, X i a o C u n d e, D i n g Y o n g j i a n, et al. Progress on cryospheric studies by international and Chinese Communities and Perspectives[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2006, 16(6): 649~656 [秦大河, 效存德, 丁永建, 等. 国际冰冻圈研究动态和我国冰冻圈研究的现状与展望 [J]. 应用气象学报, 2006, 17(6): 649~656]
- [12] LiY b i n g. Environment Evolvement and Spatio-Temporal Patterns in the Source Regions of Yangtze, Yellow and Lancang Rivers [D]. Yangling Northwest A & F University, 2006 [李轶冰. 江河源区生态环境演变与时空格局 [D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2006]
- [13] Feng Song, TangMaocang, WangDongnei. New evidences on that Qinghai-Xizang Plateau is the source region of climatic variation in China[J]. *Science Bulletin*, 1998, 43(6): 633~636 [冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 青藏高原: 我气候变化启动区的新证据 [J]. 科学通报, 1998, 43(6): 633~636]
- [14] Yang Jianping, Ding Yongjian, Shen Yongping, et al. Climatic features of eco-environment change in the source regions of the Yangtze and Yellow rivers in Recent 40 years[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(1): 7~16 [杨建平, 丁永建, 沈永平, 等. 近 40a 来江河源区生态环境变化的气候特征分析 [J]. 冰川冻土, 2004, 26(1): 7~16]
- [15] Wang Genxu, Li Qi, Cheng Guodong, et al. Climate change and its impact regions of the Yangtze and on the eco-environment in the source Yellow Rivers in recent 40 years[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2001, 23(4): 346~352 [王根绪, 李琪, 程国栋, 等. 40a 来江河源区的气候变化特征及其生态环境效应 [J]. 冰川冻土, 2001, 23(4): 346~352]
- [16] Yang Jianping, Ding Yongjian, Chen Rensheng. Assessment of eco-environmental vulnerability in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(6): 1012~1017 [杨建平, 丁永建, 陈仁升. 长江黄河源区生态环境脆弱性评价初探 [J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 1012~1017]
- [17] Yu Cuisong. A survey on progress of environmental vulnerability research [J]. *Water Resources and Power*, 2007, 25(4): 23~27 [于翠松. 环境脆弱性研究进展综述 [J]. 水电能源科学, 2007, 25(4): 23~27]
- [18] IPCC. Climate change: the IPCC scientific assessment[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990: 89~91
- [19] IPCC. The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 20~100
- [20] IPCC. Climate change: impacts, adaptation & vulnerability [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 3~26
- [21] Working Group II. Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability [EB/OL]. [2007-04-23]. <http://www.ipcc.ch/SPM13ap07.pdf>
- [22] Agricultural and Development Economics Division. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Measuring Vulnerability to Food Insecurity[R]. ESA Working Paper No. 06-12, October 2006. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/ah630e/ah630e00.pdf>
- [23] Downing T. E. Climate Change and Vulnerable Places: Global Food Security and Country Studies in Zimbabwe, Kenya, Senegal and Chile [R]. Oxford: University of Oxford, Environmental Change Unit, 1992
- [24] Smith B., Wandel J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability [J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 282~292
- [25] Liu Yanhua, Li Xubin. Fragible Ecological Environment and Sustainable Development [M]. Beijing: Commercial Press, 2001 [刘燕华, 李秀彬. 脆弱生态环境和持续发展 [M]. 商务印书馆, 2001]
- [26] Leng Shuying, Liu Yanhua. A conceptual framework of sustainable development indicators of fragile environment of China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 1999, 9(2): 40~45 [冷疏影, 刘燕华. 中国脆弱生态区可持续发展指标体系框架设计 [J]. 中国人口、资源与环境, 1999, 9(2): 40~45]
- [27] Wang Huirang, Fan Zili. Fragility of ecological environment in Tarim River Basin [J]. *Rural Eco-Environment*, 2000, 16(1): 17~20 [王让会, 樊自立. 塔里木河流域生态环境脆弱性评价 [J]. 农村生态环境, 2000, 16(1): 17~20]
- [28] Li Kerang, Cao Minghui, Yu Li, et al. Assessment of vulnerability of natural ecosystems in China under the climate change [J]. *Geographical Research*, 2005, 24(5): 653~663 [李克让, 曹明奎, 於俐, 等. 中国自然生态系统对气候变化的脆弱性评估 [J]. 地理研究, 2005, 24(5): 653~663]
- [29] Fu Bo. Research on estimating ecological fragility of Zhalong Wetlands [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2006 [付博. 3S 技术支持下的扎龙湿地生态脆弱性评价研究 [D]. 长春: 东北师范大学, 2006]
- [30] Chen Huanzhen. Eco-environmental vulnerability evaluation on Dawen River drainage area of Shandong Province based on GIS and countermeasures [J]. *Sci/Tech Information Development & Economy*, 2005, 15(5): 208~210 [陈焕珍. GIS 支持下的山东大汶河流域生态脆弱性评价及对策 [J]. 科技情报开发与经济, 2005, 15(5): 208~210]
- [31] Wang Mingquan, Zhang Jishi, Cheng Zhongshan. The water resource fragility estimate of Heihe River basin and sustainable development research [J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2007, 13(2): 114~116 [王明泉, 张济世, 程中山. 黑河流域水资源脆弱性评价及其可持续发展研究 [J]. 水利科技与经济, 2007, 13(2): 114~116]
- [32] Wang Xin, Zhou Jianzhong, Ding Jing, et al. Set-Pair analysis of comprehensive evaluation of ecological fragility in the upper Reaches of M in River [J]. [万星, 周建中, 丁晶, 等. 岷江上游生态



- 脆弱性综合评价的集对分析 [J]. 中国农村水利水电, 2006, 12, 33~35, 39]
- [33] Tang Xidong, Zhao Hongjie. Study on the vulnerability assessment, restoration and regeneration of the ecology in the Hexi Corridor [J]. *Arid Zone Research*, 2002, 19(4): 7~12 [陶希东, 赵鸿婕. 河西走廊生态脆弱性评价及其恢复与重建 [J]. 干旱区研究, 2002, 19(4): 7~12]
- [34] Yao Jian. Study on eco-environmental fragility and assessment [D]. Chengdu: Sichuan University, 2004 [姚建. 岷江上游生态环境脆弱性分析及评价 [D]. 成都: 四川大学, 2004]
- [35] Ye Muya. Assessing on the ecological environment vulnerability of Poyang Lake typical wetland [D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2006 [叶慕亚. 鄱阳湖典型湿地生态环境脆弱性评价 [D]. 南昌: 江西师范大学, 2006]
- [36] Tao Heping, Gao Pan, Zhong Xianghao. A study of regional ecological environment vulnerability—a case of “one river-two tributaries”, Tibet [J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(6): 761~76 [陶和平, 高攀, 钟祥浩. 区域生态环境脆弱性评价——以西藏—江两河为例 [J]. 山地学报, 2006, 24(6): 761~768]
- [37] Wang Huaqi. Study on eco-environmental water demand and assessment of eco-environmental vulnerability in Minqin oasis of the lower reach of Shiyang River [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2006 [王化齐. 石羊河下游民勤绿洲生态环境需水量及生态环境脆弱性评价 [D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2006]
- [38] Birkmann J. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications [J]. *Environmental Hazards*, 2007, 7: 20~31
- [39] Polsky C., Neff R., Yamal B. Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram [J]. *Global Environmental Change*, 17 (2007) 472~485
- [40] Zhao Wenwu, Fu Bojie, Chen Liding. Some fundamental issues in scaling [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(6): 905~911 [赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 尺度演绎研究中的几点基本问题. 地球科学进展, 2002, 17(6): 905~911]

## Scientific Issues of Ecosystem Vulnerability Research in the Source Regions of Yangtze and Yellow Rivers

FANG Yiping<sup>1</sup>, QIN Dafe<sup>2</sup>, DING Yongjian<sup>2</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards & Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract** The source regions of Yangtze and Yellow Rivers as the part of Qinghai-Tibetan Plateau, it is the region of sensitivity and vulnerability of climate change. And vulnerability of ecosystem has become a key issue both in assessing the impact of climate change and in setting up the adaptation strategies on climate change. Global environmental change and sustainability science increasingly recognize the need to address the consequences of changes taking place in the structure and function of the special ecosystem such as the source region of Yangtze and Yellow Rivers. Therefore, analysis on scientific issues of ecosystem vulnerability should improve significantly our understanding of the structure and function of ecosystem and the human impression both based on climate change, especially in cryospheric change. This paper elucidates five scientific issues of ecosystem vulnerability assessment: the extension of vulnerability concept; non-linear reaction on ecosystem of climate system; spatial-temporal scale transformation of vulnerability assessment; ecosystem threshold of vulnerability assessment; and linking among different interfaces in vulnerability assessment.

**Key words** the source regions of Yangtze and Yellow Rivers; cryospheric change; vulnerability of ecosystem; scientific issue