



DOI: 10.5846/stxb201812022621

魏轩,周立华,韩张雄,王娅,陈勇,杨国靖.生态脆弱区生态工程效益评价的比较研究.生态学报,2020,40(1):377-383.

生态脆弱区生态工程效益评价的比较研究

魏 轩^{1,3},周立华^{2,3,*},韩张雄⁴,王 娅¹,陈 勇¹,杨国靖¹

1 中国科学院西北生态环境资源研究院,兰州 730000

2 中国科学院科技战略咨询研究院,北京 100190

3 中国科学院大学,北京 100049

4 国土资源部西安矿产资源监督检测中心,西安 710054

摘要:改革开放 40 年以来,我国经济快速发展,人民生活水平不断提高,但生态环境持续遭到破坏,已成为阻碍经济社会可持续发展的主要瓶颈。为了解决出现的生态环境问题,我国实施了一系列生态工程。国内外学者关注中国生态工程实施的效果,对工程效益进行了各自的评价研究。通过文献整理法和比较研究法,从评价指标、评价对象、评价理论方法 3 个方面对评价中国生态工程效益的国内外研究进行了比较分析。结果表明:1)国内研究存在“过量化”和不评价效益可持续性的不足;2)国外研究有指标贴近实际、评价效益可持续性、借鉴多学科的优点;3)国内外研究的差异来源于其思维方式和关注重点的不同,即国内偏重理论评价,而国外关注实际效益;4)国内研究可以从以下方向来改进:定性定量相结合、评价效益可持续性、借鉴其他学科。以期有助于美丽中国的建设。

关键词:生态文明;比较研究;退耕还林;可持续;跨学科

改革开放 40 年以来,我国经济高速发展,人民生活水平也得到极大提高,但同时资源约束趋紧,生态系统退化,生态环境问题日益突出,已经成为经济社会可持续发展的重要瓶颈,得到我国政府的高度重视。党的十八大报告首次把生态文明建设纳入中国特色社会主义事业“五位一体”的总布局,党的十九大报告中再次强调要建设美丽中国,实施重要生态系统保护和修复重大工程。

生态脆弱区是生态保护的重要领域,其系统抗干扰能力弱,对气候变化敏感,往往是两种不同类型生态系统的交界过渡区域,如北方农牧交错生态脆弱区、西南岩溶山地石漠化生态脆弱区等。近几十年来,针对生态脆弱区,我国陆续实施了一系列生态工程,如“三北”防护林工程、退耕还林还草工程,以及各项水土保持工程和污染治理工程等,这些工程对实施区域自然环境的改善和人民生活水平的提高起到了至关重要的作用^[1]。

中国生态工程的实施也引起了很多其他国家的关注,为了科学衡量这些工程的实际效果,国内外学者都开展了工程的效益评价研究。国内的效益评价研究是 20 世纪 80 年代开始的。在内容上,从定性评价^[2]发展到定量评价^[3],从仅重视一两项目效益^[4]转变到兼顾生态、经济和社会综合效益^[5],现在已基本形成了自己的评价方式和评价特色^[6];在数量上,在中国知网上同时以“生态工程”和“效益评价”为主题进行搜索,其文献数量的变化可以明显分为两个阶段——2000 年以前,年均文献基本在 10 篇以下,2000 年以后,随着退耕还林工程等一系列生态工程的陆续实施,年均文献数量已增长至超过 200 篇。国外学者对中国生态工程效益的评价研究,从 20 世纪八九十年代就开始出现,但大都有中国学者参与甚至是主导^[7-8],不算是国外学者的独立研

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0500909);国家自然科学基金项目(41671187, 41601587)

收稿日期:2018-12-02; **网络出版日期:**2019-10-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lhzhou@casid.cn

究;近十几年,国外学者独立对中国生态工程效益进行评价的研究开始增多^[9],这些研究针对的是中国的生态工程及其效益,同时体现出国外学者的学术思维特点,因此对国内同类研究有重要的借鉴意义^[10]。

为了中国生态工程未来的实施和改善,国内的效益评价研究也需要随着时间的推移而不断发展进步。然而,只是总结自身的过去和现状还远远不够,在当今科研全球化的背景下,更应当打破本国界限,吸收国外相关研究的精华,寻找最适合我国效益评价研究的改进和发展方向。因此,本文从对中国生态工程的效益评价出发,对比总结国内外相关研究的现状和趋势,最后通过阐明国内外研究的优缺点以及本质差异,指出国内生态工程效益评价研究的改进方向,以期服务于美丽中国的建设。

1 中国生态工程简介

在理论上,中国的“生态工程”概念首先是由马世骏教授在 1979 年提出并倡导的,在 1984 年他还归纳了生态工程的“整体、协调、再生、循环”原理,并明确其研究对象为社会-经济-自然复合生态系统^[11]。

在实践上,中国的生态工程从 20 世纪 70 年代开始实施,现已扩展到农业、林业、环保等多个领域,分布区域也非常广泛,几乎全国各省都有生态工程的实验区、示范区^[12]。现简要介绍几个有代表性的生态工程(表 1)。

表 1 中国典型的生态工程
Table 1 Typical ecological engineering programs in China

工程名称 Engineering name	“三北”防护林工程 Three North Shelterbelt	退耕还林还草工程 Grain for Green	京津风沙源治理工程 Beijing-Tianjin Wind and Sand Source Control
开始时间 Starting time	1979 年	1999 年	2002 年
实施范围 Scope of implementation	中国“三北”(西北、华北和东北)风沙危害、水土流失严重的地区	25 个省区的易产生水土流失的坡耕地和易产生土地沙化的耕地	京津及周边的风沙源地区
主要内容 Main content	在保护好现有森林草原植被基础上,营造防风固沙林、水土保持林等防护林	分步骤、有计划地停止耕种,因地制宜进行造林种草,恢复林草植被	以林草植被建设为主,采取沙化土地综合治理、脆弱生态修复等综合治理措施 ^[13]
工程成果 Achievements	截至 2016 年底,累计完成造林 2918.53 万 hm ² ,工程区森林覆盖率由 5.05% 提高至 13.02%	截止 2016 年底,已累计完成退耕还林任务 0.298 亿 hm ² ,工程区森林覆盖率平均提高 3 个百分点以上	到 2016 年底,北京市累计完成造林 49.5 万 hm ² ,沙尘天气从 2000 年的年均 13 次减少到年均 2—3 次

2 中国生态工程效益中外评价的比较研究

2.1 中外评价指标比较研究

2.1.1 中国的效益评价指标

21 世纪 80 年代,我国最早出现了生态工程效益的纯定性评价研究^[14],之后陆续引入新的定性或定量评价指标,最近十余年,“定量化”成为评价指标选择的主要准则,效益评价研究已经发展为全面定量性评价^[15]。这种研究首先建立评价指标体系,再利用各项指标的实际值求算效益进而得到评价结果。显然,其科学性首要取决于评价指标的选取。虽然目前为止还没有一个通用的评价指标体系,但在指标选取方面已经有了一些公认的规则:一方面,生态工程的效益可分为生态、经济和社会三类,在每一类中都有若干对大多数生态工程都适用的指标,如生态效益中的植被覆盖率、经济效益中的人均 GDP、社会效益中的恩格尔系数等;另一方面,在上述 3 个效益类别之下,特殊的生态工程会有一些专门指标,如在风沙治理工程中,生态效益有归一化植被指数(NDVI)指标^[16],在水土保持工程中,生态效益有土壤养分流失量^[17]指标等。

2.1.2 国外的效益评价指标

国外的研究通常也分上述三类效益^[18]来进行生态工程的评价。但在具体的评价指标方面,他们还探讨一些中国学者较少关注的指标(表 2)。这些指标都与实际的工程实施和农户执行息息相关,使得效益的评价

更贴近现实;尤其值得注意的是,这些指标的选择并不拘泥于所谓的“量化”,只要能够衡量生态工程的效益,定性指标也在考虑之内。

2.2 中外评价对象比较研究

2.2.1 中国的效益评价对象

国内的生态工程效益评价,对象主要是生态、经济和社会三类效益本身,而对这三类效益的重视程度也有时间上的演变:在初期,生态效益被认为是生态工程实施的最重要甚至唯一的目标^[28-29],因为中国的生态工程就产生于生态环境问题的背景下;但现阶段我国不只有环境污染,还存在人口激增、资源破坏等问题,相应的生态工程除了需要保护环境,还要以有限的资源生产出丰富的产品,来供应日益增多的人口。因此,所评价的生态工程效益就分为生态、经济和社会三类,三类效益之间互相影响,而正确处理它们之间错综复杂的关系,也是国内研究目前面临的主要问题之一^[30]。

表 2 国外评价中国生态工程效益的部分指标

Table 2 Some indices in foreign benefits evaluation research on China's ecological engineering programs			
效益类别 Benefits	评价指标 Indices	指标说明 Descriptions of index	文献支持 Foreign references
生态效益 Ecological benefits	生态系统服务指标	生态系统服务整体的改善	Sjoegersten 等 ^[19] 指出退耕还林工程实施后,被访农户认为当地总的生态系统服务提高,如生物多样性增加
	护坡指标	固土护坡成效	Stokes 等 ^[20] 指出造林生态工程因不重视造林的因地制宜,导致滑坡的风险加大
	治污指标	减少水体土壤污染	Zhang 等 ^[21] 指出湿地生态工程能减少水中的总悬浮固体、化学需氧量和总磷,效率达到 94.96%、78.52% 和 79.68%
经济效益 Economic benefits	农产品产出指标	农业产量提高	Lescourret 等 ^[22] 提到黑龙江省拜泉县实施的农业生态工程在 7 年间将粮食产量提高了 5.5%,对比县高了 1.7%
	林产品产出指标	林业产出增加	Robbins 等 ^[23] 指出造林工程使中国的原木产量从 2000 年的 4400 万 m ³ 增加到 2009 年的 7100 万 m ³
	扶贫指标	区域农户收入增加	Groom 等 ^[24] 得出退耕还林工程能有效减轻实施地区的贫困程度,尤其是对于年收入低于 2000 元人民币的农户
社会效益 Social benefits	农户迁移指标	从土地上解放出来的劳动力的安置	Grosjean 等 ^[25] 提到退耕还林工程的配套措施,如就业中心的设置,影响到退耕农户的迁移安置
	农户参与意愿指标	农户心理角度的成效	Mullan 等 ^[26] 描述了造林工程的实施,使原先从事耕种和采伐的劳动力向外迁移 Demurger 等 ^[27] 认为农户参与退耕还林工程的主要驱动力之一就是该工程本身的特性,如对退耕地的限制条件

2.2.2 国外的效益评价对象

除了同样重视上述三类效益为研究对象,国外研究还关注另一个对象:工程效益实现的可持续性。生态工程效益需要持续实现在一个很长的时间段上,因此评价效益的可持续性与评价效益本身紧密相关。具体来说,生态工程有两方面的效益目标:一是达到环境改善;二是给农户带来福利。因此,评价效益可持续性可从这两方面入手,现以同是造林工程的退耕还林还草工程和天然林资源保护工程为例,引用国外文献进行说明。

1) 评价环境改善可持续性。①树种选择。Trac 等^[31]指出,四川盐源县在造林时选择了不恰当的树种,造成生物多样性降低,使造林工程陷入严重困境。②实施地选择。Trac 等^[32]指出,九寨沟被不恰当地划入到造林区后,原本的草地和农地都被转换成了林地,降低了生境和物种多样性。③其他方面。Hoek 等^[33]指出,云南迪庆藏族自治州因旅游业兴起而使木材需求和相应的非法采伐增加,与退耕还林工程的总目标相悖。2) 评价农户福利可持续性。①生态补贴。Bullock 等^[34]指出四川天全县退耕农户对补贴依赖性很大,因此实施工程要重视补贴制度。②工程管理。Trac 等^[32]指出四川盐源县退耕工程存在着工程制定、人员协作和实施监测等方面的管理问题,影响工程的长期正常运行。③其他方面。Demurger 等^[27]指出,农户在工程实施前的

自愿度和工程实施后的满意度,是影响工程可持续性的关键因素。

2.3 中外评价理论方法比较研究

2.3.1 中国的效益评价理论方法

生态工程及其效益评价主要涉及到生态学、地理学和数理统计学,国内研究从这些学科的理论基础出发,探索出一系列效益评价的技术方法(表3),表现出两个特点:一是评价过程分为3个步骤——构建评价指标体系、确定指标权重、计算评价结果,各种具体的方法分属于这3个步骤;二是国内学者为了避免主观经验的不足,在研究中尽可能只选用“定量化”、“计量化”的方法。

表3 部分效益评价方法比较
Table 3 Comparison among some evaluation methods

步骤 Procedures	方法 Methods	方法优点 Advantages	方法缺点 Disadvantages
构建指标体系 Construction of the index system	德尔菲法	充分收集多位专家意见,取各家之长	专家间缺少沟通,存在一定片面性
	头脑风暴法/BS法 ^[35]	排除折中方案,得到创造性方案	时间成本、经济成本高
	文献研究法	不受时间空间限制开展,结果可靠性强	文献本身不完善,文献获取困难
	数理统计法(如主成分分析法) ^[36]	操作简单,理论基础可靠	没有考虑不同指标相对于评估目标的不同内涵
确定指标权重 Determination of indices' weight	专家打分法	直观,选择余地较大	经验性、主观性较强
	层次分析法 ^[37]	系统、实用、简洁,所需定量信息较少	只能从原有方案中优选,仍存在一定主观性
	熵值法	可信度和精确度较高	缺乏指标间横向比较,各指标的权数随样本的变化而变化
	变异系数法	用于评价指标对于评价目标而言较模糊时	不够重视指标的具体意义,存在一定误差
综合计算评价 Comprehensive calculation and evaluation	灰色综合评价	数据不用进行归一化处理,无需大量样本	不能解决评价指标间相关造成的评价信息重复问题
	模糊综合评价	解决了判断的模糊性和不确定性问题	计算复杂,对指标权重的确定主观性较强
	TOPSIS法	对数据分布及样本量、指标多少无严格控制,应用范围广	权重值通常是主观值,具有一定的随意性
	BP神经网络	运算速度快、自学习能力强、容错能力强	精度不高,需要大量的熟练样本

BS:头脑风暴 Brain Storming; TOPSIS:逼近理想解排序法 Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution; BP:反向传播 Back Propagation

2.3.2 国外的效益评价理论方法

国外学者评价中国生态工程的效益,也广泛借鉴上述的学科理论及方法^[38],此外,他们还从其他学科理论的角度评价生态工程的效益,并引进相应的方法。

1)经济学。Ma^[39]对“三北”防护林工程的研究应用了经济学中的成本效益分析法;Uchida等^[40]同样应用了该方法,探讨了退耕还林工程的收益及可持续性。2)政治学。Andersson等^[41]指出,中国政府实施防止土地退化的生态工程主要就是出于政治原因,如土地退化与华北地区沙尘暴的关系,因此在效益评价中需要考虑政治的方面;Yeh^[42]批评了伴随着西部大开发而实施的一系列生态工程,指出它们在政治层面使一些本就边缘化的农户更加边缘化,降低了工程的社会效益。3)其他学科。国外研究还借鉴林学^[43]、管理学^[44]、基因学^[45]等学科的理论和方法,通过不同角度和层面的辅助对中国生态工程效益进行评价。

3 结论和讨论

3.1 国内外效益评价研究的优缺点

通过前文的分析可以看到,国内生态工程效益评价研究经过近 40 年的发展,能够综合评价生态、经济和社会三方面的效益,而且评价结果覆盖多种时间尺度^[46],尤其是在研究技术方法的定量化方面,已经形成了自己的评价体系和特色,评价的过程和结果越来越科学化,对生态工程实施的前后都有重要的指导意义。但目前还是出现了一些趋势和问题需要改善:

1)“过量化”:许多国内效益评价研究体现出过分重视“定量化”的趋势,甚至为了定量化而定量化,意图将所有的工程效益以定量的具体数字来表达,忽视了定性评价的重要作用,反而降低了结果的科学性;2)不评价效益可持续性:国内的研究主要评价效益本身,而不重视评价效益实现的可持续性,使得效益评价研究在科学性上显得不够全面。

同时,通过分析总结出国外对中国生态工程效益评价研究的一些长处,值得国内研究借鉴:

1)指标贴近实际:国外相关研究善于关注一些更贴近实际的指标,在理论上将“效益”的内涵拓展,也有利于将评价结果与实际应用相结合;2)评价效益可持续性:国外的研究评价生态工程效益的可持续性,将效益的实现在时间上进行延展,提升了评价结果的科学参考价值;3)借鉴多学科:国外的效益评价不局限于传统学科范畴,善于借鉴其他学科的理论和方法,体现出多学科、跨学科研究的发展优势。

3.2 国内外效益评价研究的本质差异

在得到国内外效益评价研究优缺点的基础上,从更深层次上探讨它们之间本质的差异,以下举例进行说明:

1)研究思维方式的差异。国内的生态工程效益评价研究,更偏重理论,以演绎的方法为主。评价的整个流程按照选择指标构建评价体系、确定指标权重、计算得到效益结果的顺序进行。如程文仕等^[47]对庆阳市土地整治工程进行效益评价,首先采用投影寻踪法构建评价指标体系,即从社会、经济、生态 3 个方面共选取了 12 个评价指标,然后借助投影寻踪分类模型得到最佳投影方向(权重),最后评价出了综合效益。这种评价方式是理论在前,实际在后,结构严谨,但可能降低灵活性。国外的生态工程效益评价研究,更偏重实际,以归纳的方法为主。从实际问题出发,首先明确需要评价的工程效益,再根据各个效益的特点,选取最适合的理论和方法进行评价。如 Trac 等^[32]重点探讨了迪庆藏族自治州的造林工程生态效益,运用遥感手段,通过对比短期、中期时间尺度上该区森林覆盖率增减的变化,并结合采伐业、旅游业的情况,最终判断出生态工程的实施效果。这种评价方式是实际在前,理论在后,结构显得松散,但灵活性较好。

正因为这种差异,所以国内的效益评价更加模式化,评价指标体系和计算步骤显得固定而缺乏弹性;而国外的研究却常能引进多学科的理论和方法来辅助评价,所得结果与实际结合更紧密、应用性更强。

2)研究关注重点的差异。国内的生态工程效益评价研究,更重视“评价”。在整个评价过程中,从专注于评价体系的构建开始,力求通过指标的优选、指标实际值的精确、以及数学运算的复杂度,按部就班地达到科学的评价结果。如郑国权等^[48]评价广东省小流域综合治理效益,在整个评价过程中,使用了文献频数法、层次分析法、模糊数学综合评判法等方法,很好地量化了效益值。这样评价的精确度很高,但可能限制了研究的视野。国外的生态工程效益评价研究,更重视“效益”。尤其是在评价指标的选择上,评价前不做任何限定,即使不能构成模式化体系或进行定量化运算,只要对当地自然环境和社会经济产生作用,都会对此指标评价出相应的效益。如 Uchida 等^[40]只是通过对问卷的回答进行简单的统计就完成了对退耕还林工程的成本-效益分析,而且文中有一节专门探讨工程的可持续性,也抛开了复杂的数学运算,而主要采用假设、策略等进行逻辑推导,这样评价的精确性从表面看有所牺牲,但却能在关注实际问题方面有较大的视野。

正因为这种差异,国内的效益评价研究才愈发陷入“过量化”的泥潭,关注点容易局限在效益值大小的计算上;而国外的研究不拘泥于所谓的定性或定量,能够关注一些具体的、贴近实际的指标和效益,还能延展

出去探讨效益实现的可持续性问题。

3.3 国内效益评价研究的改进方向

借鉴国外经验取长补短,国内研究可以在以下几个方面做出改进:

1) 定性定量相结合。事实上,从生态工程效益评价的研究开始至今,定性的评价都没有中断,它在观察、分析、描述与归纳方面有独特长处,更关注“质”而非“量”,具有现代的人本思想和发展性评价的理念。科学的效益评价应当是定性和定量有机结合的效益评价;在指标选择方面,扩大范围,选择一些贴近实际的定性指标;在评价方法方面,根据问题的实际需要,选用最适合的方法,并不是运算越复杂越好。

2) 评价效益可持续性。生态工程目前产生效益的条件并不能保证其在以后持续产生效益;而且随着民众生活水平的提高,对效益的期望也会越来越高,目前所产生的效益也不一定能满足将来的需要。因此,科学全面地评价生态工程的效益,有必要对效益实现的可持续性进行探讨。另外还有各个效益之间的耦合性、协调性问题,可以将对这些问题的分析与原本的效益评价相结合,使评价结果更加科学完善。

3) 借鉴其他学科。科学研究的未来趋势是多学科、跨学科交叉交融发展^[49],生态工程效益评价的研究也不例外。国内学者应当开展多学科、跨学科背景下的探讨,有目标地学习和借鉴其他学科的理论和方法,开发出效益评价研究的新角度、新思路,增加评价结果的应用性。如生态工程的制定涉及政治经济学,农户对生态工程的反馈涉及社会学、心理学,现代评价方法涉及计算机科学、信息科学等。

本文通过比较研究,剖析了国内外评价中国生态工程效益的研究,在阐述了国内研究优缺点和国外研究长处的基础上,分析了产生国内外研究差异的本质原因,并指出了国内研究的改进方向。只有配合现实需要,取长补短不断改进,国内研究才能做出科学的生态工程效益评价,有利于今后中国生态工程实施与改善和美利中国建设。

参考文献 (References):

- [1] Zhang Y, Peng C H, Li W Z, Tian L X, Zhu Q A, Chen H, Fang X Q, Zhang G L, Liu G B, Mu X M, Li Z B, Li S Q, Yang Y Z, Wang J, Xiao X M. Multiple afforestation programs accelerate the greenness in the 'Three North' region of China from 1982 to 2013. *Ecological Indicators*, 2016, 61: 404-412.
- [2] 涂安国, 杨洁, 李英, 莫明浩, 廖轶群. 赣江流域水土保持生态建设减水减沙效益评价. *水土保持通报*, 2013, 33(5): 148-151.
- [3] Li X S, Wang H Y, Zhou S F, Sun B, Gao Z H. Did ecological engineering projects have a significant effect on large-scale vegetation restoration in Beijing-Tianjin sand source region, China? A remote sensing approach. *Chinese Geographical Science*, 2016, 26(2): 216-228.
- [4] 张继权. 吉林省防护林生态工程的生态经济效益分析. *干旱区资源与环境*, 1994, 8(4): 68-75.
- [5] 徐国劲, 谢永生, 骆汉, 孟敏. 重大生态工程规划设计的理论探讨. *自然资源学报*, 2018, 33(7): 1139-1151.
- [6] 杨伶, 王金龙, 王旭. 效益立方体: 一种林业生态工程效益评估模型的建立与验证——基于京冀合作造林工程的案例分析. *农业技术经济*, 2016, (5): 92-101.
- [7] Mitsch W J, Yan J S, Cronk J K. Ecological engineering — contrasting experiences in China with the West. *Ecological Engineering*, 1993, 2(3): 177-191.
- [8] Long H L, Heilig G K, Wang J, Li X B, Luo M, Wu X Q, Zhang M. Land use and soil erosion in the upper reaches of the Yangtze River: some socio-economic considerations on China's Grain-for-Green Programme. *Land Degradation & Development*, 2006, 17(6): 589-603.
- [9] Van Den Hoek J, Ozdogan M, Burnicki A, Zhu A X. Evaluating forest policy implementation effectiveness with a cross-scale remote sensing analysis in a priority conservation area of Southwest China. *Applied Geography*, 2014, 47: 177-189.
- [10] Li Q R, Amjath-Babu T S, Zander P. Role of capitals and capabilities in ensuring economic resilience of land conservation efforts: a case study of the grain for green project in China's Loess Hills. *Ecological Indicators*, 2016, 71: 636-644.
- [11] 马世骏. 生态工程——生态系统原理的应用. *北京农业科学*, 1984, (1): 1-2.
- [12] Xi W M, Wang F G, Shi P L, Dai E F, Anoruo A O, Bi H X, Rahmlow A, He B H, Li W H. Challenges to sustainable development in China: a review of six large-scale Forest Restoration and Land Conservation Programs. *Journal of Sustainable Forestry*, 2014, 33(5): 435-453.
- [13] 贾晓红, 吴波, 余新晓, 蒋德明, 白永飞, 哈斯, 李晓松, 庞营军. 京津冀风沙源区沙化土地治理关键技术研究示范. *生态学报*, 2016, 36(22): 7040-7044.
- [14] 马玉槐. 在西吉县黄土高原水土流失综合治理成果鉴定会上的讲话. *宁夏农林科技*, 1986, (6): 9-10.
- [15] 刘旭升, 李献文, 孙涛. 内蒙古磴口县林业生态建设工程综合效益评价. *生态学报*, 2017, 37(18): 6196-6204.
- [16] Wang F T, An P L, Huang C, Zhang Z, Hao J M. Is afforestation-induced land use change the main contributor to vegetation dynamics in the semiarid region of North China? *Ecological Indicators*, 2018, 88: 282-291.
- [17] Xu X Z, Li M J, Liu B, Kuang S F, Xu S G. Quantifying the effects of conservation practices on soil, water, and nutrients in the Loess Mesa

- Ravine Region of the Loess Plateau, China. *Environmental Management*, 2012, 49(5): 1092-1101.
- [18] Chen X D, Lupi F, Viña A, He G M, Liu J G. Using cost-effective targeting to enhance the efficiency of conservation investments in payments for ecosystem services. *Conservation Biology*, 2010, 24(6): 1469-1478.
- [19] Sjogersten S, Atkin C, Clarke M L, Mooney S J, Wu B, West H M. Responses to climate change and farming policies by rural communities in northern China: a report on field observation and farmers' perception in dryland north Shaanxi and Ningxia. *Land Use Policy*, 2013, 32: 125-133.
- [20] Stokes A, Sotir R, Chen W, Ghestem M. Soil bio- and eco-engineering in China: past experience and future priorities. *Ecological Engineering*, 2010, 36(3): 247-257.
- [21] Zhang D Q, Gersberg R M, Tan S K. Constructed wetlands in China. *Ecological Engineering*, 2009, 35(10): 1367-1378.
- [22] Lescourret F, Dutoit T, Rey F, Côte F, Hamelin M, Lichtfouse E. Agroecological engineering. *Agronomy for Sustainable Development*, 2015, 35(4): 1191-1198.
- [23] Robbins A S T, Harrell S. Paradoxes and challenges for China's forests in the reform era. *The China Quarterly*, 2014, 218: 381-403.
- [24] Groom B, Palmer C. REDD+ and rural livelihoods. *Biological Conservation*, 2012, 154: 42-52.
- [25] Grosjean P, Kontoleon A. How sustainable are sustainable development programs? The case of the sloping land conversion program in China. *World Development*, 2009, 37(1): 268-285.
- [26] Mullan K, Grosjean P, Kontoleon A. Land tenure arrangements and rural-urban migration in China. *World Development*, 2011, 39(1): 123-133.
- [27] Démurger S, Pelletier A. Volunteer and satisfied? Rural households' participation in a payments for environmental services programme in Inner Mongolia. *Ecological Economics*, 2015, 116: 25-33.
- [28] 朱震达, 刘恕, 赵兴梁. 从沙漠化角度看“三北”防护林体系的建设问题. *林业科技通讯*, 1980, (3): 14-16.
- [29] 王守春. 中国历史地理学的回顾与展望——建所 70 周年历史地理学研究成果与发展前景. *地理科学进展*, 2011, 30(4): 442-451.
- [30] Sun X F, Gao L, Ren H, Ye Y Q, Li A, Stafford-Smith M, Connor J D, Wu J G, Bryan B A. China's progress towards sustainable land development and ecological civilization. *Landscape Ecology*, 2018, 33(10): 1647-1653.
- [31] Trac C J, Harrell S, Hinckley T M, Henck A C. Reforestation programs in Southwest China: reported success, observed failure, and the reasons why. *Journal of Mountain Science*, 2007, 4(4): 275-292.
- [32] Trac C J, Schmidt A H, Harrell S, Hinckley T M. Environmental reviews and case studies: is the Returning Farmland to Forest Program a success? Three case studies from Sichuan. *Environmental Practice*, 2013, 15(3): 350-366.
- [33] Van Den Hoek J, Burnicki A C, Ozdogan M, Zhu A X. Using a pattern metric-based analysis to examine the success of forest policy implementation in Southwest China. *Landscape Ecology*, 2015, 30(6): 1111-1127.
- [34] Bullock A, King B. Evaluating China's slope land conversion program as sustainable management in Tianquan and Wuqi Counties. *Journal of Environmental Management*, 2011, 92(8): 1916-1922.
- [35] 谢肖昀, 李际平, 曹小玉, 袁晓红, 赵春燕. 福寿国有林场杉木生态公益林多功能评价. *中南林业科技大学学报*, 2015, 35(4): 14-18, 26-26.
- [36] 俞慎, 许敬华. 南方红壤区崩岗侵蚀治理综合效益评价. *福建农林大学学报: 自然科学版*, 2016, 45(4): 361-370.
- [37] 吴春生, 黄翀, 刘高焕, 刘庆生. 基于模糊层次分析法的黄河三角洲生态脆弱性评价. *生态学报*, 2018, 38(13): 4584-4595.
- [38] Viña A, McConnell W J, Yang H B, Xu Z C, Liu J G. Effects of conservation policy on China's forest recovery. *Science Advances*, 2016, 2(3): e1500965.
- [39] Ma Q. Appraisal of tree planting options to control desertification: experiences from the Three-North Shelterbelt Programme. *International Forestry Review*, 2004, 6(3-4): 327-334.
- [40] Uchida E, Xu J T, Rozelle S. Grain for green: cost-effectiveness and sustainability of China's conservation set-aside program. *Land Economics*, 2005, 81(2): 247-264.
- [41] Andersson E, Brogaard S, Olsson L. The political ecology of land degradation. *Annual Review of Environment and Resources*, 2011, 36: 295-319.
- [42] Yeh E T. Greening western China: a critical view. *Geoforum*, 2009, 40(5): 884-894.
- [43] Rodríguez L G, Pérez M R. Recent changes in Chinese forestry seen through the lens of forest transition theory. *International Forestry Review*, 2013, 15(4): 456-470.
- [44] Kolås Å. Degradation discourse and green governmentality in the Xilinguole grasslands of Inner Mongolia. *Development and Change*, 2014, 45(2): 308-328.
- [45] Vanloqueren G, Baret P V. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy*, 2009, 38(6): 971-983.
- [46] Xu Z H, Wei H J, Fan W G, Wang X C, Huang B L, Lu N C, Ren J H, Dong X B. Energy modeling simulation of changes in ecosystem services before and after the implementation of a Grain-for-Green program on the Loess Plateau—A case study of the Zhifanggou valley in Ansai County, Shaanxi Province, China. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 32-43.
- [47] 程文仕, 乔蕤强, 刘志, 黄鑫. 基于 RAGA-PPC 模型的土地整治综合效益评价——以甘肃省庆阳市 15 个土地整治项目为例. *水土保持通报*, 2016, 36(4): 257-261, 268-268.
- [48] 郑国权, 杨宪杰, 温美丽, 宫清华, 杨龙, 田甜. 广东省小流域综合治理效益的定量评价——以清远市瑶安小流域为例. *水土保持通报*, 2016, 36(4): 237-243.
- [49] Moran E F, Lopez M C. Future directions in human-environment research. *Environmental Research*, 2016, 144: 1-7.