

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.01.006.

李晓英, 禹熙, 王方, 等. 西北干旱荒漠地区退耕还林还草工程综合效益评价[J]. 水土保持研究, 2023, 30(1): 216-223.

LI Xiaoying, YU Xi, WANG Fang, et al. Comprehensive Benefit Evaluation on the Project of Converting Farmland to Forestland and Grassland in Arid Desert Area of Northwest China[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(1): 216-223.

西北干旱荒漠地区退耕还林还草工程综合效益评价

李晓英, 禹熙, 王方, 梁添

(河海大学 水利水电学院, 南京 210098)

摘要:为对西北干旱荒漠地区新一轮退耕还林还草工程的实施提供科学指导,以吐鲁番市为研究区域,建立包含表征该区域特点的15个指标的综合效益评价指标体系,基于云模型与变异系数法组合确定指标权重,运用比重法无量纲化指标数据,采用加成综合法进行退耕工程综合效益评价分析,并通过灰色系统预测模型GM(1,1)对2021—2025年生态效益、经济效益、社会效益和政策响应指数进行了预测。结果表明:(1)在2004—2019年,综合效益指数逐年提高,新一轮退耕提升幅度是前一轮的两倍。(2)森林覆盖率提高、水土流失治理面积扩大、农民人均纯收入增加和人均林业产值增加,是生态效益和经济效益提高的主要因素。(3)退耕工程的实施促使产业结构和就业结构呈良性发展趋势。退耕所涉农户再退耕意愿的提升巩固了退耕成果,使其具有长效性。(4)2021—2025年的生态效益、经济效益、社会效益和政策响应指数预测值均呈上升趋势,且经济效益指数>政策响应指数>生态效益指数>社会效益指数。依据预测结果,西北干旱荒漠地区在新一轮退耕工程的实施中应以生态建设为重点,加强生态补偿和乡村振兴战略的有效衔接,促进农业转移人口市民化,实现生态、经济、社会和政策响应间的协调发展。

关键词:退耕还林还草工程; 综合效益; 权重确定; 比重法; 预测模型; 西北干旱荒漠地区

中图分类号:F326.2; S721

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2023)01-0216-08

Comprehensive Benefit Evaluation on the Project of Converting Farmland to Forestland and Grassland in Arid Desert Area of Northwest China

LI Xiaoying, YU Xi, WANG Fang, LIANG Tian

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To provide scientific guidance of a new round of the implementation of returning farmland to forestland and grassland in arid desert area of northwest China, Turpan City was selected as study area, a comprehensive benefit evaluation index system was established based on 15 indicators which represented the characteristics of the region. The index weights were determined based on combination of cloud model and the variation coefficient method, the method of proportion method was used to make index data dimensionless, the additive synthesis method was used to evaluate and analyze the comprehensive benefit of farmland conversion project, and the ecological benefit, economic benefit, social benefit and policy response index were predicted by grey system prediction model GM (1,1) from 2021 to 2025. The results showed that:(1) from 2004 to 2019, the comprehensive benefit index increased year by year, and the new round of farmland conversion increased two times as much as the previous round; (2) the increase of forest coverage rate, the expansion of soil erosion control area, the increase of rural per capita net income and the increase of the total output value of forestry industry were the main factors contributing to the improvement of ecological and economic benefits;(3) the implementation of the project promoted the positive development trend of industrial structure and employment structure; the improvement of the farmers' willingness to return to farmland

收稿日期:2021-10-20

修回日期:2021-11-08

资助项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0400909;2018YFC0407902)

第一作者:李晓英(1978—),女,江苏徐州人,副教授,博士,主要从事水资源系统规划。E-mail:lix3@hhu.edu.cn

<http://stbcj.paperonce.org>

consolidated the achievements and made them have a long-term effect;(4) from 2021 to 2025, the predicted values of ecological benefit, economic benefit, social benefit and policy response index showed an upward trend with the order of economic benefit index > policy response index > ecological benefit index > social benefit index. According to the prediction results, ecological construction should be the key point in the implementation of the new round of farmland conversion projects in the arid desert areas of northwest China, the effective connection between ecological compensation and rural revitalization strategies should be strengthened, the citizenization of the migrant agricultural population should be promoted, in order to realize the coordinated development among ecological, economic, social and policy responses.

Keywords: the project of converting farmland to forest and grassland; comprehensive benefit; weight determination; proportion method; prediction model; arid desert area of northwest China

西北地区干旱少雨、植被覆盖率较低,导致水土流失和土地荒漠化较为严重,生态环境持续退化,退耕还林还草工程是推进西部大开发的重大举措,也是全国生态文明建设的一项宏伟工程^[1]。自 1999 年退耕还林政策实施以来,不少学者对其进行了深入的研究分析,如姚盼盼等^[2]以河北承德退耕还林工程为例,采用林业行业标准和专家赋值法,进行综合效益评价,结果表明承德市退耕还林工程综合效益评价结果等级为较好,其中社会效益最大。高磊等^[3]以重庆市退耕还林工程为例进行了生态和经济效益两方面的分析,结果表明退耕还林的实施对生态环境、经济具有促进作用。徐玉霞^[4]采用影子工程法、影子价格法等对陕西宝鸡退耕还林工程的生态效益进行评价分析,结果表明退耕还林工程对该区的水资源保护和改善空气质量具有重要促进作用。李益敏等^[5]基于 RSEI 模型与主成分分析法,对退耕还林背景下的泸水市生态环境质量遥感动态变化研究,结果表明退耕还林对当地生态环境产生积极影响。王泽宇等^[6]利用 RUSLE 模型计算分析了陕北榆林退耕还林前后土壤侵蚀状况与生态服务价值动态变化,结果表明实施退耕还林政策在一定程度上改善水土保持情况。汪滨等^[7]基于 RS 与 GIS 技术,对黄土高原典型流域退耕还林土地利用变化进行分析,结果表明该流域实施退耕还林工程以来,土地利用结构发生了巨大变化。鲁绍伟等^[8]基于北京市退耕还林区实地调查及监测数据,采用分布式测算法对涵养水源等六项生态效益指标的物质量与价值量进行定量评估。谢晨等^[9]基于退耕农户所获得的退耕还林补助、人均纯收入等指标数据,从收入贫困和多维贫困两个方面评估退耕还林的动态减贫效应,结果表明退耕还林补助和退耕地收入显著地降低了退耕农户的贫困发生率。退耕还林工程政策的实施给生态、经济和社会带来了一定的效益影响,部分学者考虑到退耕还林工程与农户经济成本两者之间的问题加入了政策响应评价,以

更加突出生态经济的可持续性,如马楠等^[10]基于层次分析法和加乘综合法,从生态效益、社会经济效益和政策响应 3 个方面定量分析陕北和关中退耕还林综合效益。

退耕还林还草政策在我国已开展二十余年,但对于西北干旱荒漠地区退耕还林还草工程综合效益评价研究较少,同时采用层次分析法计算综合效益评价指标的权重过于主观,且在各指标缺少严格的定量评价标准情况下采用专家赋值,评价主观性强,易对评价结果造成较大偏差。鉴于此,建立适合西北干旱荒漠地区退耕还林还草工程的综合效益评价指标体系,基于云模型与变异系数法确定指标权重,运用比重法将评价体系中的各项指标数据无量纲化,采用加乘综合法进行综合效益分析,并通过灰色系统预测该区 2021—2025 年退耕工程综合效益,旨在为西北干旱荒漠地区下一步的退耕还林还草工程实施提供科学指导。

1 研究区概况

吐鲁番地处新疆维吾尔自治区中部偏东,位于东经 87°16′—91°55′,北纬 41°12′—43°40′,土地总面积 69 713 km²,其中耕地面积 581 km²,林地 956 km²。全市热量丰富、极度干燥、高温多风、降雨稀少、蒸发性强、无霜期长、多年平均降雨量为 16.6 mm。吐鲁番地区退耕还林还草工程始于 2002 年,第一轮工程于 2013 年完成,截至 2013 年底,全市共完成退耕还林还草工程建设 14.507 万 hm²。吐鲁番地区第二轮退耕还林还草工程于 2015 年启动,至 2019 年全市森林覆盖率为 3.31%。

2 研究方法

2.1 评价指标体系的建立

遵循指标应具有可获得性、代表性、系统性与层次性相统一、动态性与静态性相统一等原则,综合有关文献的分析成果^[11-14],选择西北干旱荒漠地区退耕

还林还草工程综合效益作为目标层,生态效益、经济效益、社会效益和政策响应 4 个方面作为准则层,选择与之密切相关的 15 个指标作为指标层。由于土地面积有限,经过一定时间,退耕工程达到饱和,退耕的林草进入稳定生长期,各指标值将达到上限。构建的指标体系和各指标上下限取值见表 1。

表 1 西北干旱荒漠地区退耕还林还草工程综合效益评价指标体系分层结构

目标层	准则层	指标层	指标解释	指标上下限
西北干旱地区退耕还林还草工程综合效益 A	生态效益 B ₁	森林覆盖率 C ₁ (%)	森林面积/区域土地总面积,正向指标	(2.67,100)
		城区空气质量高于Ⅱ级的天数占比 C ₂ (%)	城区空气质量高于Ⅱ级的天数/365	(49.5,100]
		水土流失治理面积 C ₃ (10 ³ hm ²)	正向指标	[0.76,58.1)
		大风沙尘天数 C ₄ (d)	防风固沙,负向指标	[0,365]
		年降水量 C ₅ (mm)	气候指标,正向指标	[7.7,28.4]
	经济效益 B ₂	人均林业产值 C ₆ (元/人)	间接经济效益,正向指标	[26,325]
		人均地区生产总值 C ₇ (元/人)	地区生产总值/人口数,正向指标	[16887,188857]
		农民人均纯收入 C ₈ (元/人)	间接经济效益,正向指标	[3407,33195]
		粮食单产 C ₉ (kg/hm ²)	可耕作地区要挖掘潜力,正向指标	[4122,8170]
	社会效益 B ₃	第二、三产业增加值占地区生产总值比重 C ₁₀ (%)	反映产业结构,正向指标	(0,100)
		第二、三产业从业人员占乡村从业人员比重 C ₁₁ (%)	反映就业结构,正向指标	(0,100]
		城镇人口占总人口比重 C ₁₂ (%)	反映人口素质,正向指标	(0,100)
	政策响应 B ₄	补偿标准满意度 C ₁₃ (%)	正向指标	[35,100]
		退耕还林还草政策满意度 C ₁₄ (%)	正向指标	[35,100]
		农民再退耕意愿 C ₁₅ (%)	正向指标	[35,100]

注:(1) 百分制指标上限取 100,下限取吐鲁番 2004—2019 年各指标最低值,社会效益类指标下限取 0;(2) 其余效益指标,上限取新疆各州市各指标最高值,下限取吐鲁番 2004—2019 年各指标最低值。

2.2 指标权重的确定

退耕还林还草工程综合效益的评价作为一个多目标决策问题,指标权重的确定对评价结果具有重要的影响,可以反映各指标对综合效益的作用大小以及各指标之间的相互作用。由专家通过经验进行主观判断得到的权重,属于定性主观赋权,如层次分析法、模糊分析等;客观赋权是基于历史数据反映指标之间的关系,主要有变异系数法等^[15]。

主观赋权更能反映决策者的主观意图,但人为因素在赋权中起到了主导作用,随意性较强,赋权结果易受决策者知识、经验、认知水平等方面影响。客观赋权基于统计学原理,可避免人为因素引起的偏差,减少人的主观随意性,但有时赋权结果会与各指标的实际重要程度产生矛盾。为了得到较理想的综合权重,既能充分利用专家的专业知识、经验,又具有较强的数理基础,本文采用云模型与变异系数法组合得到综合权重。

2.2.1 云模型 云模型可以客观的描述自然科学研究领域各指标特征和数据分布情况^[16],更好的模拟样本,综合表达多位专家的权重评价。本文选取正态云模型,具体步骤如下:

- (1) 收集一定数量专家各自的初始权重评价;
- (2) 通过逆向云发生器求解期望 Ex,熵 En,超熵 He,计算公式为:

$$Ex=\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

(1)

$$S^2=\frac{\sum_{i=1}^n (x_i-Ex)^2}{n-1}$$

(2)

$$En=\sqrt{\frac{\pi}{2}\frac{\sum_{i=1}^n |x_i-Ex|^2}{n}}$$

(3)

$$He=\sqrt{S^2-En^2}$$

(4)

式中: x_i 为样本值; n 为样本数; S^2 为样本方差。

(3) 根据上一步所求的 Ex,En,He,通过正向云发生器补充云滴,按最大隶属度原则确定权重 W_j ,取云滴数 $N=2000$ 。

求正态随机数 En' :

$$En'=\text{randn}(1)\times He+En$$

(5)

求正态随机数 Ex' :

$$Ex'=\text{randn}(1)\times En'+Ex$$

(6)

确定隶属度 μ :

$$\mu=e^{\frac{-(Ex'-Ex)^2}{2En'^2}}$$

(7)

准则层指标权重占比及相应层级指标在各自准则层中的权重占比结果见图 1—2 所示。

2.2.2 变异系数法 在评价指标体系中,取值差异越大的指标,越能反映该指标在被评价年份之间的差距,应获得更高的权重。计算步骤如下^[17]:

$$V_i=\frac{\sigma_i}{x_i} \quad (i=1,2,\cdots,n)$$

(8)

$$W_i=\frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (i=1,2,\cdots,n)$$

(9)

式中: V_i 为第 i 项指标的变异系数; σ_i 为第 i 项指标的标准差; \bar{x}_i 为第 i 项指标的平均数; W_i 为第 i 项指标的权重。

2.2.3 综合权重 对以上两种不同方法所得权重进行线性加权平均,计算综合权重 W_c ,公式如下:

$$W_c = \frac{W_i + W_j}{2}$$

(10)

各评价指标综合权重见表 2。

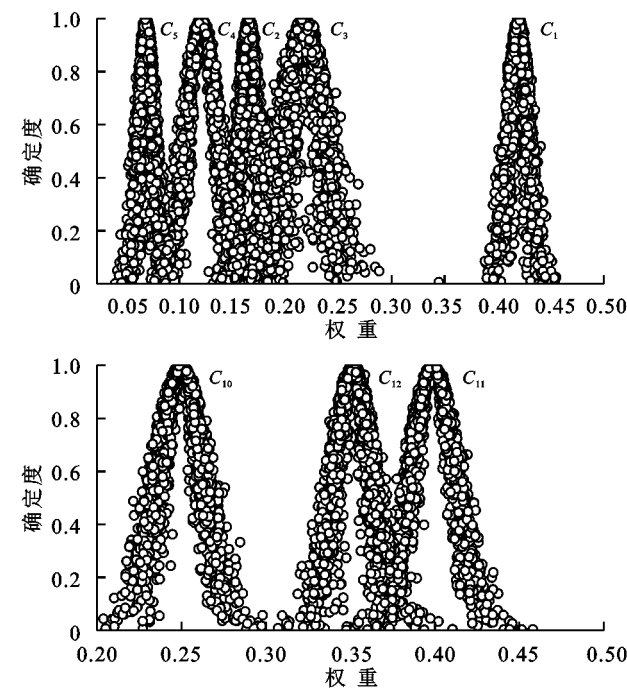


图 2 目标层各指标体系权重
表 2 各评价指标综合权重

准则层	云模型	变异系数法	综合权重	指标层	云模型	变异系数法	综合权重
B_1	0.515	0.353	0.434	$C_1(+)$	0.420	0.044	0.232
				$C_2(+)$	0.168	0.116	0.142
				$C_3(+)$	0.219	0.337	0.278
				$C_4(-)$	0.122	0.252	0.187
				$C_5(+)$	0.071	0.251	0.161
B_2	0.257	0.337	0.297	$C_6(+)$	0.299	0.443	0.371
				$C_7(+)$	0.118	0.150	0.134
				$C_8(+)$	0.352	0.303	0.327
				$C_9(+)$	0.231	0.104	0.168
				$C_{10}(+)$	0.250	0.192	0.221
B_3	0.094	0.095	0.095	$C_{11}(+)$	0.398	0.297	0.347
				$C_{12}(+)$	0.352	0.511	0.432
				$C_{13}(+)$	0.201	0.322	0.262
B_4	0.134	0.215	0.174	$C_{14}(+)$	0.348	0.346	0.347
				$C_{15}(+)$	0.451	0.332	0.391

2.3 数据无量纲化处理

评价体系中的各指标量级差异较大,避免无法比较,对各指标数值作无量纲处理。鉴于西北干旱荒漠

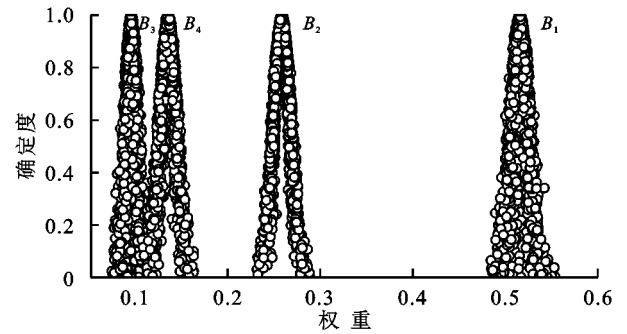
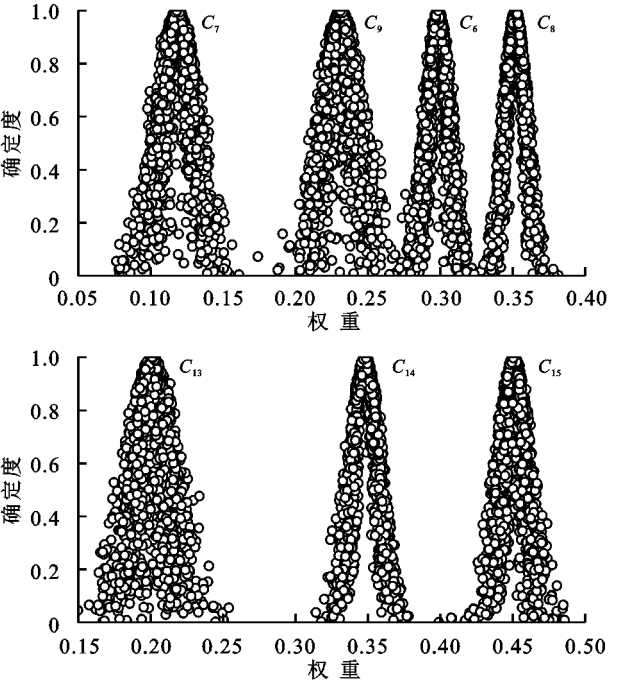


图 1 准则层各指标权重



地区退耕还林还草工程综合效益评价中的各指标缺少严格的定量评价标准,且西北干旱荒漠地区退耕还林还草工程综合效益评价主要为纵向比较,因此选用

线性标准化法中应用较广泛的比重法^[18],以保证评价结果具有可比性和稳定性,标准化计算公式如下:

$$C'_i=C_{it}/C_{i0} \text{ (此时 } C_i \text{ 为正向指标)}$$

(11)

$$C'_i=C_{i0}/C_{it} \text{ (此时 } C_i \text{ 为负向指标)}$$

(12)

式中: C'_i 为无量纲化后的指标指数; C_{i0} 为基准年的指标数值; C_{it} 为测定年的指标数值。

根据式(11)、式(12)计算各指标指数。其中, C_4 为负向指标,代入式(12)计算。

2.4 效益指数计算

将各指标指数代入各自的准则层计算准则层指数,以此类推,最终得出西北干旱荒漠地区退耕还林还草工程综合效益指数,计算公式如下:

$$B_k=\sum_{i=1}^n W_{ci} C'_i$$

(13)

$$BI=\sum_{k=1}^4 W_{ck} B_k$$

(14)

式中: n 为各准则层对应的指标个数; $k=1\sim 4$, B_k 分别为准则层中的生态效益、经济效益、社会效益和政策响应指数; W_{ci} 为各指标相对于准则层的单排序综合权重; BI 为综合效益指数; W_{ck} 为准则层各效益综合权重。

2.5 灰色系统 GM(1,1)预测模型构建

考虑生态效益、经济效益、社会效益、政策响应指数的不确定性,采用灰色系统预测模型对 2021—2025 年综合效益进行时序预测,利用综合效益评价体系计算未来 5 a 的综合效益。步骤如下^[19-20]:

(1) 累加时间序列。设原始数据为

$$X^{(0)}=[x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\cdots,x^{(0)}(n)]$$

对 X 进行一次累加,获得

$$X^{(1)}=[x^{(1)}(1),x^{(1)}(2),\cdots,x^{(1)}(n)]$$

(15)

其中, $x^{(1)}(k)=\sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) \quad (k=1,2,\cdots,n)$

(2) 求 $X^{(1)}$ 的均值生成数列

$$Z^{(1)}=[z^{(1)}(2),z^{(1)}(3),\cdots,z^{(1)}(n)]$$

(16)

其中:

$$z^{(1)}(k)=\frac{1}{2}[x^{(1)}(k)+x^{(1)}(k-1)] \quad (k=2,3,\cdots,n)$$

(3) 灰微分方程

$$\begin{cases} x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)=u \\ \frac{dx^{(1)}(t)}{dt}+ax^{(1)}(t)=u \end{cases} \quad (k=2,3,\cdots,n) \quad (17)$$

式中: a 称为发展系数, u 称为内控制灰数,可通过最小二乘法拟合得到。

$$\hat{a}=\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}=(B^T B)^{-1} B^T Y$$

(18)

$$Y=[x^{(0)}(2),x^{(0)}(3),\cdots,x^{(0)}(n)]^T$$

(19)

$$B=\begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$

(20)

(4) 构建 $X^{(1)}$ 所对应的时间响应函数模型

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=\left[x^{(1)}(1)-\frac{u}{a}\right]e^{-ak}+\frac{u}{a}$$

(21)

对其累减运算可得原始数列预测值公式:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1)=\hat{x}^{(1)}(k+1)-\hat{x}^{(1)}(k)$$

$$(k=1,2,\cdots,n-1)$$

(22)

(5) 模型精度检验(后验差检验)

原始序列 $X^{(0)}$ 方差 S_1^2 :

$$S_1^2=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k)-\bar{x}]^2$$

(23)

其中 $\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^n x^{(0)}(k)$

残差序列方差 S_2^2 :

$$S_2^2=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^n [e^{(0)}(k)-\bar{e}]^2$$

(24)

其中 $\bar{e}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^n e^{(0)}(k),e^{(0)}(k)=X^{(0)}(k)-\hat{x}^{(0)}(k)$

后验差比为

$$C=\frac{S_2}{S_1}$$

(25)

小误差概率为

$$P=\{|e^{(0)}(k)-\bar{e}^{(0)}|<0.6745S_1\}$$

(26)

式中: C 值越小, P 值越大,模型可靠度越高,模型精度等级见表 3。

(6) 纳什系数

$$E=1-\frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t-Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t-\bar{Q}_0^t)^2}$$

(27)

式中: E 为纳什系数; Q_0^t 为 t 时刻的观测值; \bar{Q}_0^t 为其平均值; Q_m^t 为 t 的拟合值。当 E 接近 1 时表示模拟质量好,模型可信度高。

表 3 模型精度等级		
精度评价等级	C	P
1 级(好)	$C\leq 0.35$	$P\geq 0.95$
2 级(合格)	$0.35<C\leq 0.50$	$0.80\leq P<0.95$
3 级(勉强)	$0.50<C\leq 0.65$	$0.70\leq P<0.80$
4 级(不合格)	$C>0.65$	$P<0.70$

2.6 数据来源

本研究中森林覆盖率、城区空气质量高于Ⅱ级的天数占比、水土流失治理面积、人均林业产值、人均地区生产总值、农民人均纯收入等 12 个指标数据从《新疆统计年鉴》(2005—2020 年)、《吐鲁番统计年鉴》

(2005—2020 年)、吐鲁番历年国民经济和社会发
展统计公报(2005—2020 年)中整理获取,补偿标准满
意度、退耕还林还草政策满意度、农民再退耕意愿等
3 个指标数据来自于对退耕所涉及农户发放调查问
卷并回收分析转变为分值后所得。吐鲁番于 2002 年
开始实施退耕还林还草政策,考虑到退耕还林还草初
期效益不明显以及各项指标数据统计问题,以 2004
年为基准年,以 2005—2019 年为测定年。

3 结果与分析

根据公式(11—12)对各指标数据归一化,利用权
重计算结果及公式(13—14),得出各效益指数,结果
见表 4,并选取两轮退耕还林还草工程中的 2013 年
和 2019 年两个典型年各指标指数作对比,见表 5。

3.1 生态效益

自退耕还林还草以来,吐鲁番地区森林面积大幅
增加,森林覆盖率由 2.67%提升到 3.31%。

由表 4 可知,在 2004—2019 年期间、吐鲁番退耕
还林还草工程的生态效益呈波动式上升趋势、在
2012—2019 年上升趋势较快,一方面因为退耕规模
的持续扩大,造林面积增多(图 3),一方面因为前一
轮退耕工程的林草进入稳定生长期,地面植被缓解降
雨对土壤的冲击,抵挡风力,退耕还林还草工程开始
在水土保持、防风固沙等方面发挥作用、2004—2019
年累计水土流失治理面积约 2.65 万 hm^2 。

表 5 表明生态效益的提升主要依靠水土流失治
理面积指数的提升,次要原因是森林覆盖率、年降水
量指数等的小幅度提升及大风沙尘天数的减少,但随
着工业的快速发展,致使城区空气质量高于Ⅱ级的天
数占比指数在总体上略有下降。进一步分析可知,城
区空气质量高于Ⅱ级的天数占比指数在 2004—2008
年有所提升,但 2008 年后却呈回落趋势,这也是吐鲁
番退耕还林还草生态效益指数在 2008—2012 年略有
波动的原因。

3.2 经济效益

退耕还林还草后,短时间内耕地面积减少,粮食
产量降低,之后逐渐恢复并高于退耕之前的粮食产量
水平。吐鲁番地区 2004 年粮食单产为 4 122 $\text{kg}/$
 hm^2 ,2019 年提高至 7 000 kg/hm^2 ,退耕还林还草造
成耕地面积减少,但由于耕作技术提高,节水灌溉技
术改进,随着粮食单产量的提高,对粮食产量影响不
大。退耕还林还草工程实施以来,农户收入及来源不
断变化,截至 2019 年,农民人均纯收入 14 798 元,相
比于 2004 年的 3 047 元,年增长率为 25.7%。

表 4 吐鲁番地区 2004—2019 年退耕还林还草工程
综合效益评价效益指数

年份	综合效益 指数	生态效益 指数	经济效益 指数	社会效益 指数	政策响应 指数
2004	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2005	1.036	1.045	1.016	0.988	1.066
2006	1.255	1.445	1.128	1.017	1.123
2007	1.532	1.775	1.533	1.018	1.195
2008	1.527	1.659	1.627	0.995	1.309
2009	1.599	1.675	1.804	0.981	1.386
2010	1.622	1.616	1.907	0.990	1.488
2011	1.658	1.710	1.868	0.993	1.523
2012	1.732	1.744	1.956	0.997	1.714
2013	1.779	1.624	2.203	0.997	1.857
2014	1.807	1.440	2.482	0.996	2.000
2015	2.010	1.652	2.648	1.123	2.286
2016	2.344	1.788	3.422	1.142	2.533
2017	2.395	1.805	3.540	1.154	2.571
2018	2.491	1.875	3.754	1.165	2.583
2019	2.684	1.952	4.250	1.175	2.646

表 5 两轮退耕还林还草工程典型年效益对比

评价指标	2004 年	2013 年	2019 年
A	1	1.779	2.684
B ₁	1	1.624	1.952
B ₂	1	2.203	4.250
B ₃	1	0.997	1.175
B ₄	1	1.857	2.646
C ₁	1	1.217	1.240
C ₂	1	0.990	1.174
C ₃	1	2.434	2.895
C ₄	1	1.818	2.000
C ₅	1	1.143	1.981
C ₆	1	2.270	5.549
C ₇	1	2.456	3.611
C ₈	1	2.500	4.343
C ₉	1	1.268	1.692
C ₁₀	1	0.956	0.969
C ₁₁	1	0.964	1.117
C ₁₂	1	1.044	1.326
C ₁₃	1	1.857	2.657
C ₁₄	1	1.857	2.657
C ₁₅	1	1.857	2.629

由表 4 可知,在 2004—2019 年期间,吐鲁番退耕
还林还草工程经济效益总体呈上升趋势。表 5 表明
农民人均纯收入、人均林业产值、人均地区生产总值
的增加促进了经济效益的提升。在 2013—2019 年期
间,人均林业产值指数大幅提升,远远高于农民人均

纯收入、人均地区生产总值的指标指数,评价指数相比于2013年高出两倍。自退耕还林以来,林果种植面积逐年增加(图4),这也是吐鲁番地区在实行退耕还林还草政策时,科学利用气候优势发展林果业带动经济效益提升的体现。

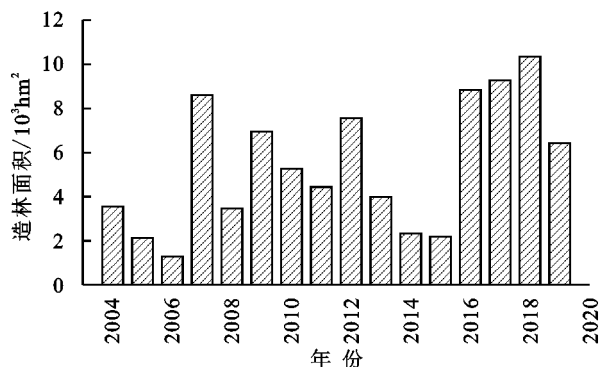


图3 2004—2019年吐鲁番造林面积

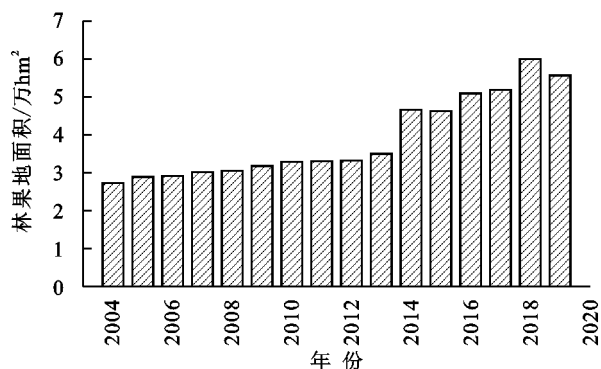


图4 2004—2019年吐鲁番林果地面积

3.3 社会效益

由表4可知,近几年来,吐鲁番退耕还林还草工程的社会效益指数虽有所反复,就总体而言略有提升。由表5可知,在2008—2013年期间社会效益指数出现总体略微下降,原因是在这期间第二、三产业增加值占地区生产总值比重以及第二、三产业从业人员占乡村从业人员比重减少。相比于2004年,2019年社会效益明显提高,政府投入大量资金和出台相关政策,响应“西部大开发”战略,激发农民参与的积极性,促进农村劳动力向城镇和工业、服务业转移,将发展重心逐步转移到第二、三产业,提高其社会发展水平。

3.4 政策响应

政策响应指数在2004—2019年期间呈上升趋势。在前一轮退耕中补助政策为每年每公顷退耕地补助3750元,在新一轮退耕中每年每亩补助为12000元。由表5可以看出在2013年之后政策响应指数的上升趋势较2013年之前的上升趋势大,退耕还林还草政策实施初期,由于农民还未享受到生态经济的成果,所以对退耕政策有消极情绪,导致初期政策响应三方面的满意度分值较低。由表5可知,补偿标准满意

度、退耕还林还草政策满意度和农民再退耕意愿的指标指数都逐步上升,说明政府对退耕的补助资金投入和对退耕所涉及的农户补偿更合理,退耕还林还草政策不断完善。

3.5 综合效益

通过对表4的各指数进行分析后发现,吐鲁番退耕还林还草工程的综合效益总体呈现稳步上升的趋势,其上升动力主要源于生态效益和经济效益的提升,其次是政策响应,社会效益次之。2013年的综合效益指数高出基准年0.779,2019年高出基准年1.684,提升幅度是第一轮退耕还林还草的两倍。从权重来看,生态效益占比远高于经济效益,说明退耕还林还草实施的初衷是修复生态环境。从效益指数来看,生态效益与经济效益都有大幅度提升,这说明退耕还林还草工程促进了林果业的发展,使得人均林业产值增加,农业结构得以调整,在保证生态效益的前提下带来了良好的经济效益。政策响应则更好的衡量了退耕还林还草工程的实施具有可持续性。

3.6 效益指数预测

基于灰色预测模型,预测吐鲁番地区2021—2025年的生态效益、经济效益、社会效益和政策响应指数,并对模型作检验,提高其预测结果的可信度。

据表6可知,建立的效益指数预测模型精度等级好,后验差比C均小于0.35,小误差概率P均为1, Nash系数均接近1,模型构建合理。

经预测,生态效益、经济效益、社会效益和政策响应指数在2021—2025年整体都呈稳定上升趋势。其中,经济效益指数整体增幅高于生态效益、社会效益和政策响应指数,表明退耕在一定程度上减缓农户对耕地的依赖性,林果业、电商的发展为当地农户提供大量就业岗位,林业产值增加,农民人均收入上涨,经济效益指数持续增加。生态效益指数较经济效益指数增长缓慢,生态环境脆弱地区其生态修复周期长,但指数呈正向增长,表明随着新一轮退耕规模较前一轮有所增加,水土保持、防风固沙作用更加凸显。政策响应指数小幅上升,表明退耕政策随退耕实施进程逐步完善,对所涉农户的补偿更合理,农户的生态保护意识有所提升。社会效益指数小幅上升,表明在经济持续发展的驱动下,就业结构、产业结构等方面呈良性发展趋势,但受人口结构的影响,城镇化步伐放缓,社会效益指数增长缓慢。

4 建议

基于综合效益评价指标体系和灰色系统预测模型GM(1,1),对吐鲁番退耕工程过去15a与未来5a

的综合效益进行分析探讨。结果表明,吐鲁番退耕取得了一定的生态效益、经济效益和社会效益,且对比各效益上限值,生态效益有很大的提升空间。吐鲁番

地区生态环境脆弱,干旱少雨,其生态建设需考虑长远利益^[21]。如今正是巩固退耕成果以及实施更为合理的退耕政策阶段,提出如下建议:

表 6 指数预测与模型精度检验参数

指数类型	年份					上限值	<i>a</i>	<i>u</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	Nash 系数	精度 等级
	2021	2022	2023	2024	2025							
生态效益	2.0625	2.1263	2.1922	2.2600	2.3300	30.6712	-0.0305	1.6937	0.1349	1	0.9818	好
经济效益	4.8199	5.1876	5.5833	6.0092	6.4676	9.0159	-0.0735	3.0235	0.1494	1	0.9777	好
社会效益	1.1981	1.2095	1.2210	1.2326	1.2444	2.3823	-0.0095	1.1265	0.0272	1	0.9993	好
政策响应	2.7090	2.7461	2.7837	2.8219	2.8571	2.8571	-0.0136	2.4824	0.0755	1	0.9943	好
综合效益	2.9044	3.0487	3.2024	3.3659	3.5402	—	—	—	—	—	—	—

(1) 提高生态林和灌木林的种植比例,并加强对经济林的管理。在退耕还林还草政策实施过程中,严守耕地红线,在保障人均农田的前提下,加大退耕还林还草工程力度,借鉴类似地区的种植经验,选择适宜的林草种类,推广覆膜技术,促进林业建设快速发展,提高土地资源利用率。

(2) 加大对艾丁湖流域的生态保护和治理力度。改善地下水超采、地面沉降过大等问题,增加湖水面积,提升植被覆盖度,增加生物多样,逐步恢复湿地功能。

(3) 加强生态补偿和乡村振兴战略的有效衔接,加快推进该区域城镇化步伐,促进农业转移人口市民化^[22]。因地制宜将不适合耕地的地块用作特色林果产业发展,防风固沙,使农民增收,促进区域的生态与经济可持续发展。结合当地林果产业与旅游业,发展电子商务与生态旅游的双融产业,创造新兴岗位,促进农村劳动力就业转移,推动当地经济发展,巩固脱贫攻坚成果。

(4) 建立健全退耕还林还草补偿政策。在退耕成果巩固与新一轮发展阶段,将所涉农户的损失尽可能降到最低,如分区测算各地补偿标准、纳入利益相关者意愿的补偿标准制定和竞标机制实践,调动农户积极性。

5 结 论

(1) 退耕还林还草工程对西北干旱荒漠地区生态环境的改善,产业结构的调整和农村经济发展的转型都具有深远的促进作用,退耕补助政策的改善提升了所涉农户退耕意愿,保证了退耕的可持续发展。

(2) 预测 2021—2025 年退耕工程 4 个效益指数均呈稳定上升趋势,经济效益指数增加最快,政策响应指数其次,生态效益指数较政策响应指数缓慢,社会效益指数发展最慢。未来随着退耕工程达到饱和,各效益将趋于稳定值。

本研究基于退耕还林还草综合效益评价体系对

吐鲁番地区退耕工程做综合效益初步分析,在统计数据时未能全面考虑其他因素对各指标数据的影响。在今后进行退耕工程综合效益分析时,应尽可能排除其他因素所带来的影响,使研究数据更加客观,退耕还林还草综合效益分析更为合理准确。

参考文献:

[1] 苏冰倩,王茵茵,上官周平.西北地区新一轮退耕还林还草规模分析[J].水土保持研究,2017,24(4):59-65.

[2] 姚盼盼,温亚利.河北省承德市退耕还林工程综合效益评价研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(4):47-53.

[3] 高磊,杨现坤,胡海珠,等.重庆市退耕还林工程实施的生态和经济效益分析[J].水土保持研究,2019,26(6):353-358.

[4] 徐玉霞.宝鸡市退耕还林生态效益评价[J].水土保持通报,2017,37(6):248-255.

[5] 李益敏,王东驰,袁静,等.退耕还林背景下泸水市生态环境质量遥感动态变化[J].水土保持研究,2021,28(4):266-274.

[6] 王泽宇,陈旭阳,马彩诗,等.陕北榆林市退耕还林前后土壤侵蚀及生态服务价值变化[J].西北林学院学报,2021,36(3):59-67.

[7] 汪滨,张志强,黄土高原典型流域退耕还林土地利用变化及其合理性评价[J].农业工程学报,2017,33(7):235-245,316.

[8] 鲁绍伟,李少宁,刘逸菲,等.北京市退耕还林生态效益评估[J].生态学报,2021,41(15):1-12.

[9] 谢晨,张坤,王佳男,等.退耕还林动态减贫:收入贫困和多维贫困的共同分析[J].中国农村经济,2021,4(5):18-37.

[10] 马楠,徐玉霞,郭炳强,等.陕北和关中退耕还林工程综合效益评价[J].中国农学通报,2018,34(20):70-74.

[11] 张晓,高海清,郭东敏,等.层次分析法在陕北退耕还林可持续发展影响因子评价中的应用[J].水土保持通报,2010,30(5):147-151.

[12] 肖庆业.退耕还林工程综合效益评价指标体系与评价方法研究[J].重庆理工大学学报:自然科学,2017,31(11):139-145.

- estimations [J]. *International Journal of Sediment Research*, 2018, 33(2):171-182.
- [20] Fan X, Shi C, Zhou Y, et al. Sediment rating curves in the Ningxia-Inner Mongolia reaches of the upper Yellow River and their implications [J]. *Quaternary International*, 2012, 282(19):152-162.
- [21] 张华,汪文浩,暴路敏.宁夏苦水河流域生态水量分析评价应注意问题浅析[J].*宁夏工程技术*, 2019, 18(4): 371-374.
- [22] 陈丹,司建宁.宁夏苦水河生态基流调查分析[J].*水利发展研究*, 2019, 19(8):65-68, 76.
- [23] Hamed K H, Rao A R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data [J]. *Journal of Hydrology*, 1998, 204(1/4):182-196.
- [24] Das S, Banerjee S. Investigation of changes in seasonal streamflow and sediment load in the Subarnarekha-Burhabalang basins using Mann-Kendall and Pettitt tests [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2021, 14(11):1-14.
- [25] Martin-Vide J. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain [J]. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 2004, 24(8):959-971.
- [26] Gao Guangyao, Ma Ying, Fu Bojie. Temporal Variations of Flow-sediment Relationships in a Highly Erodible Catchment of the Loess Plateau, China [J]. *Land Degradation and Development*, 2016, 27(3):758-772.
- [27] Müller G, Förstner U. General relationship between suspended sediment concentration and water discharge in the Alpenrhein and some other rivers [J]. *Nature*, 1968, 217(5125):244-245.
- [28] Asselman N E M. Fitting and interpretation of sediment rating curves [J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 234(3/4):228-248.
- [29] Bronsdon R K, Naden P S. Suspended sediment in the Rivers Tweed and Teviot [J]. *Science of the Total Environment*, 2000, 251:95-113.
- [30] Yang G, Chen Z, Yu F, et al. Sediment rating parameters and their implications: Yangtze River, China [J]. *Geomorphology*, 2007, 85(3/4):166-175.
- [31] 胡春宏,王延贵,张燕菁,等.中国江河水沙变化趋势与主要影响因素[J].*水科学进展*, 2010, 21(4):524-532.
- [32] 穆兴民,张秀勤,高鹏,等.双累积曲线方法理论及在水文气象领域应用中应注意的问题[J].*水文*, 2010, 30(4):47-51.
- [33] Zabaleta A, Martínez M, Uriarte J A, et al. Factors controlling suspended sediment yield during runoff events in small headwater catchments of the Basque Country [J]. *Catena*, 2007, 71(1):179-190.
- [34] Buendia C, Vericat D, Batalla R J, et al. Temporal dynamics of sediment transport and transient in-channel storage in a highly erodible catchment [J]. *Land Degradation & Development*, 2016, 27(4):1045-1063.
- [35] Lefrançois J, Grimaldi C, Gascuel - Odoux C, et al. Suspended sediment and discharge relationships to identify bank degradation as a main sediment source on small agricultural catchments [J]. *Hydrological Processes: An International Journal*, 2007, 21(21):2923-2933.
- [36] Zhao G, Yue X, Tian P, et al. Comparison of the suspended sediment dynamics in two Loess Plateau catchments, China [J]. *Land Degradation & Development*, 2017, 28(4):1398-1411.

~~~~~

(上接第 223 页)

- [13] 宋富强,杨改河,冯永忠.黄土高原不同生态类型区退耕还林(草)综合效益评价指标体系构建研究[J].*干旱地区农业研究*, 2007, 4(3):169-174.
- [14] 肖庆业,陈建成,张贞.退耕还林工程综合效益评价:以我国 10 个典型县为例[J].*江西社会科学*, 2014, 34(2): 220-224.
- [15] 马海娟,高广阔.确定指标权重的统计方法比较[J].*统计与咨询*, 2011(6):30-31.
- [16] 杨恒,刘永强.基于 PP-云模型的河道治理工程效益评价研究[J].*水利水电技术*, 2020, 51(5):118-125.
- [17] 陈红光,李晓宁,李晨洋.基于变异系数熵权法的水资源系统恢复力评价:以黑龙江省 2007—2016 年水资源情况为例[J].*生态经济*, 2021, 37(1):179-184.
- [18] 刘竞妍,张可,王桂华.综合评价中数据标准化方法比较研究[J].*数字技术与应用*, 2018, 36(6):84-85.
- [19] 党晶晶,孙斌.基于 DPSIR 概念模型的黄土丘陵区协调发展预测评估:以志丹县为例[J].*水土保持研究*, 2016, 23(4):143-148.
- [20] 粟婷,魏勇.二阶非齐次序列的直接离散模型及灰色预测应用[J].*系统工程理论与实践*, 2020, 40(9):2450-2465.
- [21] 胡生君,孙保平,王同顺.干热河谷区退耕还林生态效益价值评估:以云南巧家县为例[J].*干旱区资源与环境*, 2014, 28(7):79-83.
- [22] 张可云,王洋志.农业转移人口市民化方式及其对收入分化的影响:基于 CGSS 数据的观察[J].*中国农村经济*, 2021(8):43-62.