DOI: 10.20103/j.stxb.202404100787
黄柔,吴秀芹,石婕妤,李旭,倪朦朦,刘亚楠.西南高山峡谷区水土保持技术与生态产业协调发展定量研究——以云南省永胜县为例.生态学报,2024,44(21):9924-9934.
Huang R, Wu X Q, Shi J Y, Li X, Ni M M, Liu Y N.Quantitative research on the coordinated development between soil and water conservation technology and ecological industry in Southwest Alpine Canyan Region: an empirical study in Yongsheng County, Yunnan Province.Acta Ecologica Sinica,2024,44(21):9924-9934.

西南高山峡谷区水土保持技术与生态产业协调发展定量研究
——以云南省永胜县为例

黄 柔,吴秀芹*,石婕妤,李 旭,倪朦朦,刘亚楠
北京林业大学水土保持学院,北京 100083

摘要:探究水土保持技术与生态产业之间的耦合协调关系对水土流失严重的西南高山峡谷地区实现生态文明建设与社会经济协同发展具有重要参考价值。以典型贫困山区永胜县为例,通过构建耦合协调评价指标体系并运用发展指数模型、耦合协调度模型和障碍度模型,对县域 2009—2022 年间水土保持技术与生态产业的耦合协调发展过程及其障碍因子进行研究,为当地水土保持技术与生态产业协调发展提供理论参考和科学依据。结果表明:(1)2009—2022 年水土保持技术发展水平呈动态上升趋势,生态产业发展水平则是呈现先下降后上升的态势,二者经过“低水平同步发展型-水土保持技术领先发展型-高水平同步发展型”,当前水土保持技术与生态产业已经迈入同步向好的发展状态;(2)2009—2022 年,水土保持技术与生态产业一直处于高度耦合状态,耦合协调度从中级耦合阶段进入高级耦合阶段且快速增长,二者当前属于高级协调-同步型发展阶段;(3)2009—2022 年,影响水土保持技术与生态产业耦合协调发展的障碍因子为森林覆盖率、农村居民人均可支配收入和产业结构高级化指数,主要的障碍要素为技术效益、技术相宜度、产业效率和产业效益。永胜县水土保持技术与生态产业已进入耦合协调发展阶段,当前应以提升技术相宜度和产业融合为主要目标,开展技术研发和示范,提升技术成熟度,提高政策法规的适宜度,促进产业链延伸和产业融合发展,推动水土保持技术与生态产业进一步有机结合。

关键词:水土保持技术与生态产业;评价指标体系;协调发展;定量研究;西南高山峡谷

Quantitative research on the coordinated development between soil and water conservation technology and ecological industry in Southwest Alpine Canyan Region: an empirical study in Yongsheng County, Yunnan Province

HUANG Rou, WU Xiuqin*, SHI Jieyu, LI Xu, NI Mengmeng, LIU Yanan
School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, *China*

Abstract: Investigating the coupling and coordination relationship between soil and water conservation technology and ecological industry holds significant reference value for realizing the coordinated development of ecological civilization construction and social economy in the Southwest Alpine Canyan Region with serious soil erosion. Taking Yongsheng County, a typical poverty-stricken mountainous area, as an empirical study, this paper explored the coupling coordination development process of soil and water conservation technology and ecological industry and their obstacle factors in the county from 2009 to 2022 by constructing the coupling coordination evaluation index system and using the development index

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFF1302905);北京林业大学“5·5 工程”科研创新团队项目 (BLRC2023B09)
收稿日期:2024-04-10; **网络出版日期**:2024-08-16
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wuxq@ bjfu.edu.cn,

model, coupling coordination degree model and obstacle degree model, so as to provide theoretical reference and scientific basis for the coordinated development of local soil and water conservation technology and ecological industry. The results indicate that: (1) From 2009 to 2022, the development level of soil and water conservation technology shows a dynamic upward trend, while the development level of ecological industry displays a trend of decreasing first and then increasing. The soil and water conservation technology and ecological industry have gone through from a "low-level synchronous development type" to a "soil and water conservation technology leading development type" and finally to a "high-level synchronous development type," with the current state showing a synchronous improvement in both areas. (2) During 2009 to 2022, the soil and water conservation technology and ecological industry have been in a highly coupled state. The coupling coordination degree has entered the advanced coupling stage from the intermediate coupling stage and has grown rapidly. The soil and water conservation technology and ecological industry are currently in the advanced coordination-synchronous development stage; (3) From 2009 to 2022, the obstacle factors affecting the coupling and coordinated development of soil and water conservation technology and ecological industry are forest coverage, per capita disposable income of rural residents and industrial structure upgrading index. The main obstacle factors are technical benefit, technical suitability, industrial efficiency and industrial benefit. The soil and water conservation technology and ecological industry in Yongsheng County have entered the stage of coupling and coordinated development. At present, the main goal should be to improve the suitability of technology and industrial integration, carry out technology research and development and demonstration, improve the maturity of technology, improve the suitability of policies and regulations, promote the extension of industrial chain and the development of industrial integration, and promote the further organic combination of soil and water conservation technology and ecological industry.

Key Words: Soil and water conservation technology and ecological industry; evaluation index system; coordinated development; quantitative research; Southwest Alpine Canyan Region

水土保持技术是指以水土保持学原理和生态经济学理论为基础,以实现水土保持为目的,同时优化水土资源配置、协调发展生态资源与产业以及社会经济可持续发展而采取的各种方法[1—2]。我国是世界上水土流失最严重的国家之一,自上世纪八十年代以来,我国广泛实施的水土保持技术在水土流失防治、生态文明建设取等方面取得重要成就[3],"十四五"期间,为推动乡村振兴,促进生态环境与经济发展高质量协同推进,习总书记强调,要将生态治理同发展特色产业有机结合起来,走出一条生态和经济协调发展之路[4]。因此,探究水土保持技术与生态产业之间的耦合协调关系对水土流失严重的西南高山峡谷地区实现生态文明建设与社会经济协同发展具有重要意义。

国内外关于水土保持技术的研究集中于效益评价[5—7]与适宜性分析[8—9],有较少的研究对技术的自身属性和应用过程进行探究[10],对生态产业的报道则围绕理论研究[11]、研发示范[12]和效率分析[13]等方面展开。对二者的耦合关系暂处于定性分析阶段[14—15],也有部分学者采用随机前沿函数、耦合协调度模型、分位数回归模型等方法对水土保持技术对粮食安全的影响[16]、水土流失治理效益与农业发展水平的耦合关系[17]、水土保持建设投资与农业产出的相关关系[18]等角度展开量化评测。这些研究为水土保持技术与生态产业的有机耦合做出了探索,但尚未能整体定量分析二者间耦合关系的变化规律及其障碍因子,这是如何将水土保持技术与生态产业有机结合、如何全面推进新时代水土流失重点治理与提质增效中一个亟待解决的问题。

依据水利部确定的全国水土保持区划,西南高山峡谷区包扩西藏、四川、云南三省的 88 个县(区),区内水土流失危害严重且经济发展缓慢,是《生态保护和修复支撑体系重大工程建设规划(2021—2035 年)》中典型脆弱生态修复与保护的重点示范区。为推动西南高山峡谷地区生态文明建设与社会经济协同发展,本文以区内的国家重点扶贫开发工作重点县永胜县为例,构建评价指标体系并采用耦合协调度模型和障碍度模型,对 2009—2022 年间两者的耦合关系进行定量评价,并探究其障碍因子,为当地水土保持技术与生态产业协调

发展提供理论参考和科学依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

永胜县为西南高山峡谷区内的典型贫困山地县域(图1),幅员面积4950 km^2,地处世界自然遗产“三江并流”区金沙江中段,位于大香格里拉旅游经济圈中。地势东北高、西南低,海拔介于1064—3949 m之间,年均降雨量936.4 mm,多年平均气温为13.5 ℃,气候以北亚热带山地季风气候为主,在不同的海拔区域有高寒、冷凉、低热、金沙江亚热带等多种气候类型,立体气候特征突出,县内有九大高原湖泊之一的程海湖。2022年,全县水土流失面积达1486.79 km^2,占比高达29.16%,森林覆盖率为62.94%,农村居民人均可支配收入17657元。

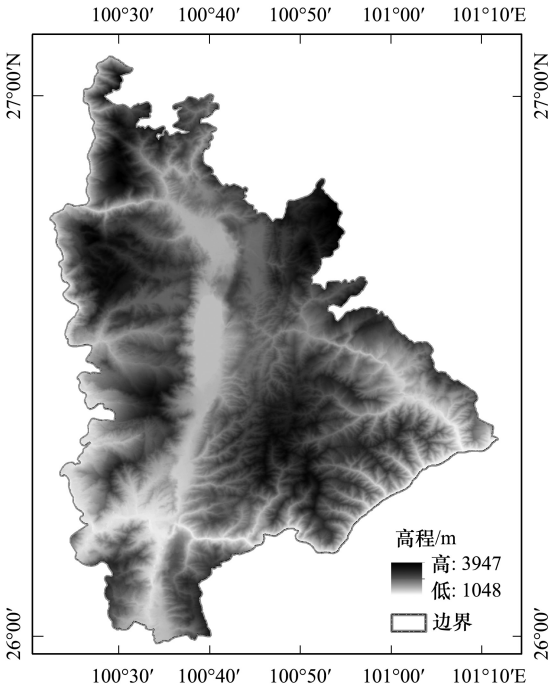


图1 研究区概况

Fig.1 Overview of the study area

县内生态产业主要包括休闲农业、高原特色生态园区、高原生态水果业及生态旅游业;水土保持技术体系主要包含等高沟垄种植+间作/轮作+经果林(<5°)、石坎/土坎梯田+间作/轮作+水平沟/鱼鳞坑/土树盘+经果林(5°—15°)、土坎梯田+鱼鳞坑+经济林+生态林(15°—25°)、生态林+封育(>25°),配套有小型蓄排工程、谷坊、拦砂坝、小型水库与蓄水池等技术。

1.2 数据来源

本文研究数据主要来源于2010—2023年间的《永胜县统计年鉴》、《永胜县政府工作报告》、《永胜县“十三五”水土保持规划》、《永胜县水土保持公报》、《丽江市统计年鉴》、《云南省水土保持公报》等;实地调查包括永胜县典型地区和流域的水土保持技术与生态产业类型与分布等调研。

2 研究方法与指标体系

2.1 研究方法

2.1.1 发展指数模型

为消除不同指标数据由于性质、量纲、量级等产生的差异,采用极差标准化法进行数据标准化处理[19],然后采用熵权法来确定指标的权重[20]。

(1)水土保持技术发展指数与生态产业发展指数

各指标数据进行标准化处理并赋权后,通过加权计算得到水土保持技术发展指数、生态业发展指数及各要素层的发展指数,再对准则层发展水平进行评测,发展指数计算公式为:

$$\mathrm{SWCT} = \sum_{i=1}^{n} (\mathrm{SWCT}_i \times w_i) \quad (i = 1,2,3\cdots\cdots n) \tag{1}$$

$$EI = \sum_{i=1}^{n} (EI_i \times w_i) \quad (i = 1,2,3\cdots\cdots n) \tag{2}$$

式中,SWCT为水土保持技术发展指数;SWCT_i表示水土保持技术第i个指标数据的标准化值;EI指生态产业发展指数;EI_i是生态产业第i个指标数据的标准化值;w_i为第i个指标的权重。

(2)同步发展指数模型

本文借助同步发展指数模型揭示不同时间节点下水土保持技术与生态产业发展水平的领先性、同步性和滞后性[21]。计算公式为:

$$SDI = SWCT - EI \tag{3}$$

式中,SDI 为同步发展指数,当|SDI|≤0.1 时,认为水土保持技术与生态产业同步发展;当 SDI>0.1 时,表示水土保持技术发展领先;当 SDI<-0.1 时,表明水土保持技术发展滞后。

2.1.2　耦合协调度模型

根据王淑佳等学者[22—23]的研究结果,本文采用的耦合度及耦合协调度计算公式如下:

$$C = \frac{2\sqrt{SWCT \times EI}}{SWCT + EI} \tag{4}$$

$$T = \alpha \times SWCT + \beta \times EI \tag{5}$$

$$STEI = \sqrt{C \times T} \tag{6}$$

式中,C 为两个系统的耦合度,取值范围为[0—1];T 为水土保持技术与生态产业发展水平的综合协调指数;α 和 β 表示水土保持技术系统与生态产业系统的重要程度,由于两者对区域内社会生态经济发展的重要性相同,因此 $\alpha = \beta = 0.5$;STEI 表示水土保持技术与生态产业耦合协调指数,取值范围为[0—1]。根据前人研究[24—25],本文将耦合度和耦合协调度划分为不同等级,划分标准见表 1。

表 1　水土保持技术与生态产业耦合协调发展类型划分表

Table 1　Classification of soil and water conservation technology and ecological industry coupling coordination development types

耦合度 Coupling degree	耦合类型 Coupling types	耦合协调度 Coupling coordination degree	耦合协调类型 Coupling coordination types	同步发展指数 Synchronous development index	耦合协调发展类型 Coupling coordination development types
0.8≤C≤1.0	高度耦合	0.7≤STEI<1.0	高级协调	SWCT-*EI*>0.1	高耦合高协调-水土保持技术领先型
				|SWCT-*EI*|≤0.1	高耦合高协调-同步发展型
				SWCT-*EI*>-0.1	高耦合高协调-生态产业发展领先型
0.5≤C<0.8	中度耦合	0.6≤STEI<0.7	中级协调	SWCT-*EI*>0.1	中耦合中协调-水土保持技术领先型
				|SWCT-*EI*|≤0.1	中耦合中协调-同步发展型
				SWCT-*EI*>-0.1	中耦合中协调-生态产业发展领先型
0.3≤C<0.5	较低耦合	0.5≤STEI<0.6	初级协调	SWCT-*EI*>0.1	较低耦合低协调-水土保持技术领先型
				|SWCT-*EI*|≤0.1	较低耦合低协调-同步发展型
				SWCT-*EI*>-0.1	较低耦合低协调生态产业发展领先型
0≤C<0.3	低度耦合	0≤STEI<0.5	濒临失调	SWCT-*EI*>0.1	低耦合失调-水土保持技术领先型
				|SWCT-*EI*|≤0.1	低耦合失调-同步发展型
				SWCT-*EI*>-0.1	低耦合失调-生态产业发展领先型

C:耦合度 Coupling degree; STEI:耦合协调度 Coupling coordination degree; SWCT:水土保持技术发展指数 Soil and water conservation technology development index; *EI*: 生态产业发展指数 Ecological industry development index

2.1.3　障碍度模型

为直接揭示影响两者耦合协调的主要内部因子,文章采用障碍度模型[26]对耦合过程产生障碍的影响因子进行分析,有利于采取相应的措施促进耦合协调。计算公式为:

$$O_i = (1 - r_{ij}) \times (W_i \times w_i) \times 100\% / \sum_{i=1}^{19} (1 - r_{ij}) \times (W_i \times w_i) \tag{7}$$

式中,O_i 为第 i 项指标的障碍度指数;W_i 指第 i 个系统的权重;w_i 指第 i 个指标的权重。

2.2　评价指标体系构建

水土保持技术的评价指标选取和赋权主要参考 Luo H[27]、甄霖[28]等学者的研究成果,结合专家对技术成熟度、技术应用难度、技术相宜性与技术效益四个准则层及下属的 9 个二级指标进行不同时段的评分[29—31]。

生态产业评价指标选取则采用频次分析法从大量文献中遴选。结合研究区内的社会经济情况与专家意见增加典型性指标,使用方差膨胀因子法减少各指标间的多重共线性,最终得到包括产业结构、产业效率、产业融合和产业效益四个准则层及包含的 10 个二级指标(表 2)。

表 2 水土保持技术与生态产业耦合协调评价指标体系及指标权重

Table 2 Soil and water conservation technology and ecological industry coupling coordination evaluation index system and index weights

准则层 Criteria layer	要素层 Features layer	指标层(权重) Indicators layer (weight)	指标定义方法 Indicators definition methodology	指标性质 Properties of indicators
水土保持技术 Soil and water conservation technology	技术成熟度	技术完整性(0.1198)	技术要素组成不完整,不能有效发挥作用(0.2 分);技术要素组成较为完整,能有效发挥作用(0.4 分);技术要素组成较为完整,能够发挥作用(0.6 分);技术要素组成完整,配置较为合理,能够长期稳定发挥作用(0.8 分);技术要素组成完整,配置合理,能够有效发挥作用(1 分)	正
		技术稳定性(0.1288)	技术不能长期发挥作用(0.2 分);技术能稳定发挥作用(0.4 分);技术长期稳定发挥作用一般(0.6 分);技术比较稳定的长期发挥作用(0.8 分);技术稳定的长期发挥作用(1 分)	正
	技术应用难度	技术水平需求层次(0.0801)	技术应用过程中对劳动力文化程度与能力的要求为大学(0.2 分);技术应用过程中对劳动力文化程度与能力的要求为高中(0.4 分);技术应用过程中对劳动力文化程度与能力的要求为初中(0.6 分);技术应用过程中对劳动力文化程度与能力的要求为小学(0.8 分);技术应用过程中对劳动力文化程度与能力的要求为文盲即可(1 分)	正
		技术应用成本(0.0967)	技术研发与购置以及应用过程中的费用农户有条件接受(0.2 分);技术研发与购置以及应用过程中的费用农户可考虑(0.4 分);技术研发与购置以及应用过程中的费用农户不完全接受(0.6 分);技术研发与购置以及应用过程中的费用农户能接受(0.8 分);技术研发与购置以及应用过程中的费用对于农户不是问题(1 分)	正
	技术相宜度	目标相宜度(0.1145)	仅少量达到技术设定的自然、经济、社会目标(0.2 分);少数达到满足技术设定的自然、经济、社会目标(0.4 分);部分达到满足技术设定的自然、经济、社会目标(0.6 分);基本达到满足技术设定的自然、经济、社会目标(0.8 分);完全达到满足技术设定的自然、经济、社会目标(1 分)	正
		立地适宜度(0.1471)	技术应用需要的立地条件及少量合适(0.2 分);技术应用需要的立地条件与实施区域立地条不完全合适(0.4 分);技术应用需要的立地条件与实施区域立地条件适合(0.6 分);技术应用需要的立地条件与实施区域立地条件比较合适(0.8 分);技术应用需要的立地条件与实施区域立地条件完全合适(1 分)	正
		政策法律适宜度(0.0683)	技术应用需要的政策、法律条件与实施区域政策法律少数配套(0.2 分);技术应用需要的政策、法律条件与实施区域政策法律部分配套(0.4 分);技术应用需要的政策、法律条件与实施区域政策法律大部分配套(0.6 分);技术应用需要的政策、法律条件与实施区域政策法律基本配套(0.8 分);技术应用需要的政策、法律条件与实施区域政策法律完全配套(1 分)	正
	技术效益	森林覆盖率(0.1872)	林地面积/土地总面积/%	正
		水土流失面积(0.067)	km^2	负
生态产业 Ecological industry	产业结构	产业结构高级化指数(0.1710)	第三产业产值/第二产业总值/%	正

续表

准则层 Criteria layer	要素层 Features layer	指标层（权重） Indicators layer (weight)	指标定义方法 Indicators definition methodology	指标性质 Properties of indicators
		产业结构调整指数（0.0399）	1-(农业总产值/农林牧渔总产值)/%	正
	产业效率	生态水果产率（0.0971）	水果产量/果园面积/(t/hm^2)	正
		产出投资比（0.0394）	社会生产总值/社会固定投资/%	正
		经济农业生产率(0.1134)	农业总产量/农作物播种总面积/(t/hm^2)	正
	产业效益	GDP 增长率（0.0796）	(本期 GDP-上期 GDP)/上期 GDP/%	正
		农村居民人均可支配收入（0.1217）	可支配收入=工资性收入+经营净收入+财产净收入+转移净收入/元	正
		化肥使用强度（0.1371）	化肥使用量/耕地面积/(t/hm^2)	负
	产业融合	农副产品加工值占比（0.0760）	农副产品加工业产值/农林牧渔业总产值/%	正
		农林牧渔服务业产值占比（0.1248）	农林牧渔服务业总产值/农林牧渔业总产值/%	正

3　研究结果

3.1　水土保持技术与生态产业发展动态

3.1.1　水土保持技术发展动态

在 2009—2022 年期间,如图 2 可知,永胜县水土保持技术及其系统内部各要素层发展指数逐步增高。其中,技术成熟度有所提高,县内水土保持措施涵盖工程措施、生物措施和耕作措施,技术组成完整且较稳定;随

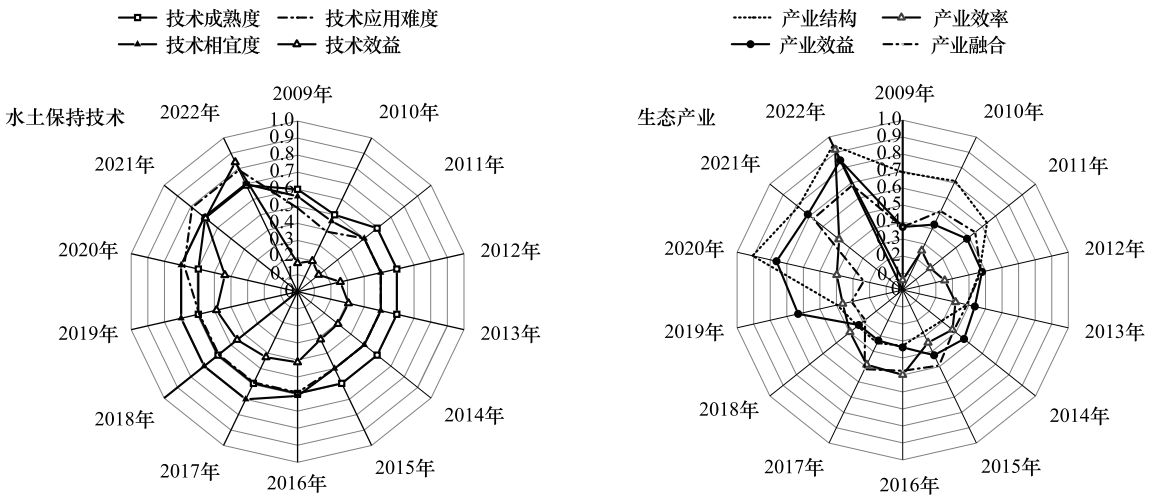


图 2　水土保持技术、生态产业要素层发展指数

Fig.2　Soil and water conservation technology and ecological industry features layer development index

着社会经济与政策的发展,技术应用难度减小、技术相宜度升高;技术效益也稳步上升,森林覆盖率增长12.34%,水土流失面积减少 45.05 km^2。至 2022 年,水土保持技术各要素层发展指数均达到 0.8 及以上,表明永胜县内水土保持技术正处于良好发展的状态。

3.1.2 生态产业发展动态

至 2022 年末,永胜县有效调整产业结构,产业结构高级化指数上升至 110.4%,产业结构调整指数上升至55.44%;产业效率稳步提升,生态水果产率提高了 7.62%、产出投资比达到 111.32%、经济农业生产率提升了59.31%;产业效益显著,GDP 增长率稳定在 6%以上、农村居民人均可支配收入是原来的 8 倍,化肥使用强度降低了一半。产业融合有一定提升,农林牧渔服务业产值占比提升 1.5 倍。由图 2 可知,在 2009—2019 年间各要素层发展发展水平较低,但 2019 年之后,所有要素的发展指数开始大幅上升并处于良好的发展水平。表明永胜县在生态产业的发展过程中逐步取得显著的社会经济成效,发展水平有效提高并快速上升。

3.1.3 水土保持技术与生态产业同步发展动态

2009 年,水土保持技术与生态产业均处于较低的发展水平,两者的发展基本同步(图 3、表 3)。2010—2021 年,水土保持技术发展指数始终高于生态产业,生态产业发展水平先逐年小幅下降,然后快速上升,这一时期内为水土保持技术领先型发展。至 2022 年,永胜县生态产业实现转型并充分发挥社会经济作用,生态产业的发展指数迅速上升,水土保持技术与生态产业发展指数大小相近,二者开始同步发展。

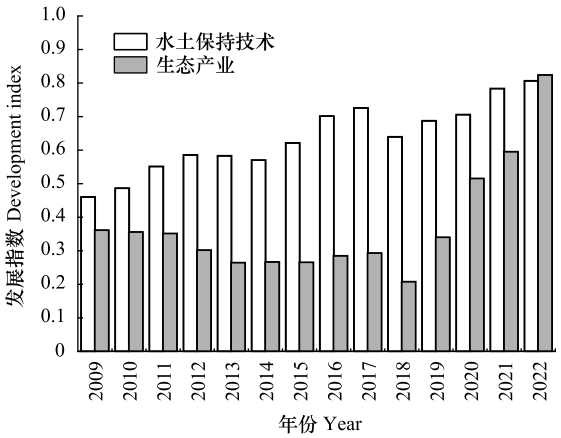


图 3 水土保持技术与生态产业发展指数

Fig.3 Soil and water conservation technology and ecological industry development index

3.2 水土保持技术与生态产业耦合协调发展动态

3.2.1 耦合度变化

2009—2022 年内,永胜县水土保持技术与生态产业的耦合度均大于 0.8 且波动幅度较小,结合图 4 与表 3,将二者耦合度演变过程分为两个阶段:

(1)2009—2018 年,水土保持技术与生态产业的耦合度从 0.9923 持续下降到 0.8398,虽仍属于高度耦合状态,但两者间的相互作用强度有所减弱,在此阶段永胜县水土保持技术与生态产业均处于低发展水平状态,呈低发展高耦合特征。

(2)2018—2022 年,两系统间的耦合度持续增长,从 0.8398 上升至 0.9998,生态产业发展水平快速增长且与水土保持技术之间的差距越来越小,二者均达到较高的发展水平,逐渐呈现出高发展高耦合的态势。

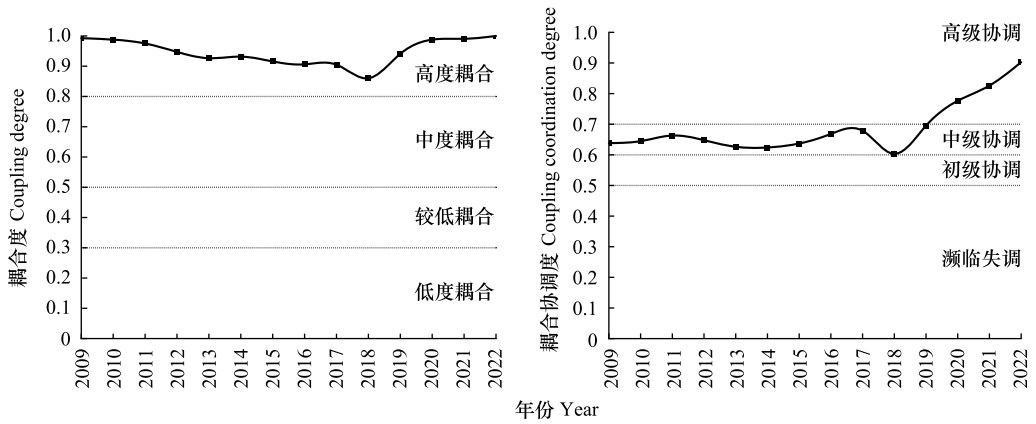


图 4 水土保持技术与生态产业耦合度和耦合协调度

Fig.4 Soil and water conservation technology and ecological industry coupling degree and coupling coordination degree

3.2.2　耦合协调变化

由图 4 和表 3 可知,2009—2022 年间,永胜县水土保持技术与生态产业的耦合协调度均大于 0.6,其耦合协调变化可分为两个阶段:

表 3　永胜县 2009—2022 年水土保持技术与生态产业耦合协调评价结果

Table 3　Soil and water conservation technology and ecological industry evaluation results of the coupling coordination in Yongsheng County from 2009 to 2022

年份 Year	生态产业发展指数 Ecological industry index	水土保持技术发展指数 Soil and water conservation technology index	耦合度 Coupling degree	耦合类型 Coupling type	耦合协调度 Coupling coordination degree	协调发展状态 Coordinated development status
2009	0.3608	0.4527	0.9923	高度耦合	0.6392	中级协调-同步型
2010	0.3554	0.4963	0.9862	高度耦合	0.6481	中级协调-水土保持技术领先型
2011	0.3509	0.5428	0.9767	高度耦合	0.6607	中级协调-水土保持技术领先型
2012	0.3013	0.5679	0.9518	高度耦合	0.6431	中级协调-水土保持技术领先型
2013	0.2640	0.5803	0.9272	高度耦合	0.6256	中级协调-水土保持技术领先型
2014	0.2660	0.5795	0.9287	高度耦合	0.6266	中级协调-水土保持技术领先型
2015	0.2651	0.5815	0.9275	高度耦合	0.6266	中级协调-水土保持技术领先型
2016	0.2844	0.6603	0.9174	高度耦合	0.6583	中级协调-水土保持技术领先型
2017	0.2926	0.6930	0.9137	高度耦合	0.6710	中级协调-水土保持技术领先型
2018	0.2073	0.6997	0.8398	高度耦合	0.6171	高级协调-水土保持技术领先型
2019	0.3398	0.7084	0.9361	高度耦合	0.7004	高级协调-水土保持技术领先型
2020	0.5149	0.7117	0.9871	高度耦合	0.7781	高级协调-水土保持技术领先型
2021	0.5948	0.8191	0.9873	高度耦合	0.8355	高级协调-水土保持技术领先型
2022	0.8236	0.8579	0.9998	高度耦合	0.9168	高级协调-同步型

(1)2009—2019 年,水土保持技术与生态产业的耦合协调度在 0.6—0.7 之间波动(图 4、表 3),处于中级协调状态,水土保持技术发展水平虽然稳定增长,但没能对生态产业的发展起到强有力的支撑作用,生态产业的发展降低也使水土保持技术增长缓慢,因此两者间发展失衡,耦合协调度处于中级协调阶段。

(2)2019—2022 年,水土保持技术与生态产业的耦合协调度从 0.7004 持续上升到 0.9168,步入高级协调阶段。水土保持技术与生态产业间逐步产生良性耦合作用,二者的发展为彼此耦合协调提供了基础条件,逐渐实现水土保持技术与生态产业的高水平耦合协调发展。

3.3　障碍因子

通过障碍度模型计算得出各指标的障碍值大小并求出各要素层的障碍值(图 5)。2009—2022 年间出现频次较高(6 次及以上)的障碍因子依次为森林覆盖率、农林牧渔服务业产值占比、产业结构高级化指数、经济农业生产率、化肥使用强度、技术稳定性和生态水果产率,主要的障碍要素层为技术效益、技术相宜度、产业效率和产业效益。至 2022 年,技术相宜度和产业融合(>0.2)成为当下阻碍永胜县水土保持技术与生态产业耦合协调发展的主要障碍要素层。

4　讨论与结论

4.1　讨论

文章创新性构建了西南高山峡谷典型县域水土保持技术与生态产业耦合协调发展评价指标体系并开展了定量测评,揭示了永胜县水土保持技术与生态产业耦合协调发展的变化规律及障碍因子,可为西南高山峡谷贫困山区的水土保持技术与生态产业耦合协调发展提供科学依据,对区域实现生态文明和社会经济协同发

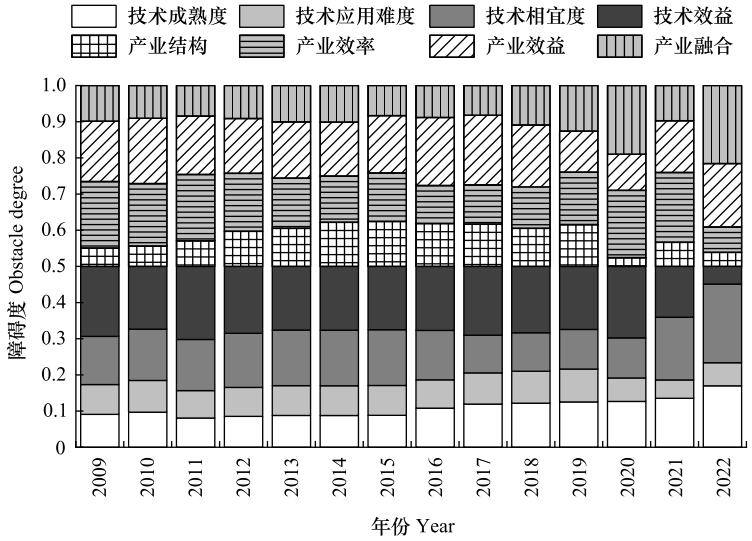


图 5 水土保持技术与生态产业耦合协调发展主要障碍要素

Fig. 5 The main obstacle features for the coupling coordination development of soil and water conservation technology and ecological industry

展具有重要参考意义。

在“两山”理论和生态文明建设思想的指引下[21,32]，2009—2018 年，永胜县不断加快梯田、小型水库、经济林、封育等水土保持技术的实施，水土保持技术发展水平不断上升，森林覆盖率提高到 56.2%，水土流失面积降低到 1557.39 km^2，但由于效益的滞后性，相较于其他要素，该阶段内的技术效益发展水平仍处于较低状态，且技术相宜度并不高。虽然 2014 年通过修订施行《云南省水土保持条例》，但在县内与水土保持技术相关的法律法规较少，目标相宜度和立地适宜度较低。永胜县水土保持技术的提升并改善生态质量为当地的生态产业发展提供了基础条件[33]，但生态产业并未得到有效发展，这一时期，第二产业产值从 6.8 亿元增长到 38.3 亿元，第三产业产值却仅增加 15.5 亿元，产业结构失衡，生态水果产率只达到 0.313t/hm^2，年均经济农业生产率仅为 0.014t/hm^2，产业效率较低，农村居民可支配收入年均增长量仅在 1000 元左右，产业效益也不高。因以上障碍要素的影响，二者耦合协调度仅处于中度耦合等级。而在 2018—2022 年间，技术效益与其他要素的发展水平持平，自 2018 年“生态产业化和产业生态化”（简称“两化”）理论的提出后，永胜县立足生态大力发展生态产业，减少膏桐、桉树和核桃为主的经济林发展，研发以软籽石榴和沃柑等为代表的生态水果产业。虽然桉树、核桃、膏桐等木本粮油经济林相较于干鲜果品更具有一定的水土保持效益[34]，但由于当地的油料加工业仍处于较低水平，所以不能充分发挥其经济效益[35]，而沃柑、软籽石榴等适宜在干热河谷区种植的鲜果更能为当地带来直接的经济价值。同时，生态旅游对乡村具有巨大的经济效益[36]，永胜县积极利用与发展生态环境并形成特有的生态旅游产业。该时期，永胜县快速建立起了高质量发展的道路，生态水果产率高达 0.76t/hm^2，第三产业产值最高且达到 43 亿元，农村居民可支配收入增长 7000 余元，逐渐达到水土保持技术与生态产业的高水平耦合协调发展，并逐步踏向将绿水青山转变为金山银山的高质量发展之路。

结合研究结果与前人的研究[37—38]，当前永胜县的水土保持技术已达到了较高水平[39]。水土保持技术与生态产业协同发展是实现西南生态脆弱区生态社会经济发展的重要途径，二者通过内部要素间的相互作用，形成了一个复杂的社会生态经济耦合系统（图 6）：（1）水土保持技术通过保护生态、增加资源和提高资源利用效率对生态产业的起到支撑促进作用；（2）生态产业的发展变化通过是否有充足的经济基础、正确的技术研发目标和适宜的政策法规对水土保持技术的产生限制。于西南高山峡谷区而言，发展生态产业的前提条件应是建立起适宜当地的水土保持技术体系，加强支撑促进作用、减小动态限制，这对调节并缩小区域水土保持技术与生态产业之间的发展差异、最终构建兼容互惠的耦合协调关系与实现生态治理与社会经济协同发展起

到关键作用。文章通过量化分析二者水土保持技术与生态产业之间的耦合协调度并探究其原因障碍因子,对促进二者进一步有机结合有重要意义,但以下问题仍需继续探讨:(1)水土保持技术与生态产业间的耦合路径及作用强度大小尚不明晰;(2)该评价方法在省域及流域等更大尺度的评估效果有待进一步研究。

4.2　结论

文章通过构建水土保持技术与生态产业耦合协调评价指标体系,基于 2010—2023 年永胜县的统计数据与实地调查资料,采用耦合协调度模型探究二者耦合协调度演变特征,并运用障碍度模型对其障碍因子进行诊断分析,得到以下结论:

(1)2009—2022 年间,永胜县水土保持技术发展水平呈动态上升趋势,生态产业发展水平则是在 2009—2018 出现下降现象,随后产生快速上升态势,二者经过“低水平同步发展型-水土保持技术领先发展型-高水平同步发展型”,当前水土保持技术与生态产业的发展处于同步向好的状态。

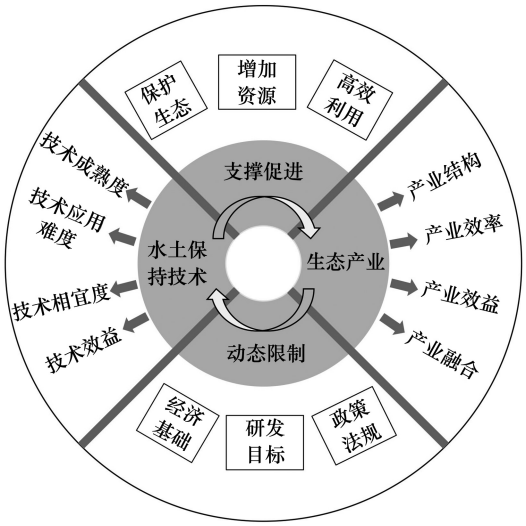


图 6　水土保持技术与生态产业耦合机制

Fig. 6　Coupling mechanism of soil and water conservation technology and ecological industry

(2)2009—2018 年,二者耦合度一直处于减小的趋势,但仍处于高度耦合状态,到 2018 年后耦合度逐步增加并且更趋近于 1; 2009—2018 年间,水土保持技术与生态产业的耦合协调度在中级耦合阶段,至 2018 年后进入高级耦合阶段且耦合协调度快速增长, 二者当前属于高级协调-同步型发展阶段。

(3)2009—2022 年,影响二者耦合协调发展的障碍因子为森林覆盖率、农村居民人均可支配收入和产业结构高级化指数,当前主要的障碍要素为技术相宜度和产业融合。

目前,永胜县水土保持技术发展的重要目标应为提升水土保持技术相宜度,健全县内生态水果产业配套的水土保持技术,同时开展技术研发和示范,提升技术成熟度,提高政策法规的适宜度,大力发展生态水果业、生态旅游业等产业,并通过农副产品加工业促进产业链延伸和产业融合发展,从而推动水土保持技术与生态产业进一步有机结合并全面实现生态社会经济高水平耦合协调发展。

参考文献(References):

[1] Qiao M, Wang J J, Li Y, Cheng S M, Li M S. Soil and water conservation technology in the Zhifanggou watershed. Journal of Resources and Ecology, 2017, 8(4): 433-440.

[2] 王松霈. 生态经济建设大辞典: 南昌:江西科学技术出版社, 2013.

[3] 王一峰, 屈丽琴, 李建明, 李力. 基于近 20 年《中国水土保持公报》的水土流失治理分析. 长江科学院院报, 2023, 40(7): 59-65.

[4] 蒲朝勇. 关于推动新阶段水土保持高质量发展的思考. 中国水土保持, 2022(2): 1-6.

[5] Sayantan S, Srinivasulu A, Bagnall Dianna K, Morgan Cristine L S. Assessing the watershed-scale effects of tillage management on surface runoff and sediment loss using a Curve Number-precipitation relationship based approach. Journal of Hydrology, 2023, 625(PB): 130130.

[6] 肖培青, 王玲玲, 杨吉山, 焦鹏, 王志慧. 大暴雨作用下黄土高原典型流域水土保持措施减沙效益研究. 水利学报, 2020, 51(9): 1149-1156.

[7] Di B F, Yang Z T, Liu L, Yang Y F, Li J R. The regionalized ecological, economic and social benefit of China′s sloping cropland erosion control during the 12th five-year plan (2011—2015). Journal of Environmental Management, 2020, 276: 111314.

[8] 李情, 聂小飞, 谢颂华, 胡启武, 莫明浩. 基于生态与生产功能权衡的赣南水土流失综合治理模式适宜性评价. 水土保持研究, 2022, 29(4): 54-61, 74, 2.

[9] Ahmed I A, Talukdar S, Naikoo M W, Shahfahad, Parvez A, Pal S, Ahmed S, Rahman A, Islam A R M T, Mosavi A H. A new framework to identify most suitable priority areas for soil-water conservation using coupling mechanism in Guwahati urban watershed, India, with future insight. Journal of Cleaner Production, 2023, 382: 135363.

[10] 乔梅, 王继军, 赵晓翠, 李玥, 韩晓佳. 基于评价指标为潜变量背景下的纸坊沟流域水土保持技术评估. 生态学报, 2019, 39(16): 5787-5797.
[11] 刘腾, 刘祖云. 生态乡村建设:“生态产业化”与“产业生态化”双向互构的逻辑——基于南京市竹镇的个案分析. 南京农业大学学报: 社会科学版, 2024, 24(2): 51-62.
[12] 李红梅, 张吉维. 科技赋能乡村生态产业:典型模式、现实挑战与路径选择. 科学管理研究, 2023, 41(6): 139-146.
[13] Li L, Fan Z H, Xiong K N, Shen H T, Guo Q Q, Dan W H, Li R. Current situation and prospects of the studies of ecological industries and ecological products in eco-fragile areas. Environmental Research, 2021, 201: 111613.
[14] 李凤鸣, 贾天会, 任丽华, 李娜. 生态产业型水土保持科技示范园设计——以兴城市头道沟水土保持科技示范园为例. 中国水土保持, 2020(7): 42-45.
[15] 王辅强. 生态产业型水土保持在辽西北地区水土流失治理中的应用. 水土保持应用技术, 2018(4): 45-47.
[16] Manda J, Tufa A, Alene A, Swai E, Muthoni F, Hoeschle-Zeledon I, Bekunda M. The income and food security impacts of soil and water conservation technologies in Tanzania. FRONT SUSTAIN FOOD S, 2023, 7.
[17] 张慧利, 蔡洁, 夏显力. 水土流失治理效益与生态农业发展的耦合协调性分析. 农业工程学报, 2018, 34(8): 162-169.
[18] Huang X H, Lu Q, Yang F. The effects of farmers′ adoption behavior of soil and water conservation measures on agricultural output. International Journal of Climate Change Strategies and Management, 2020, 12(5): 599-615.
[19] Feng Y J, Zhu A K, Liu P, Liu Z L. Coupling and coordinated relationship of water utilization, industrial development and ecological welfare in the Yellow River Basin, China. Journal of Cleaner Production, 2022, 379: 134824.
[20] 刘媛媛, 王绍强, 王小博, 江东, N H Ravindranath, Atiq Rahman, Nyo Mar Htwe, Tartirose Vijitpan. 基于 AHP 熵权法的孟印缅地区洪水灾害风险评估. 地理研究, 2020, 39(8): 1892-1906.
[21] 刘晓曼, 吕娜, 侯鹏, 黄艳, 高吉喜, 袁静芳. 生态文明建设与社会经济发展耦合协调关系的定量测度——以浙江省安吉县为例. 生态学报, 2023, 43(21): 8973-8984.
[22] 王淑佳, 孔伟, 任亮, 治丹丹, 戴彬婷. 国内耦合协调度模型的误区及修正. 自然资源学报, 2021, 36(3): 793-810.
[23] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系——以珠江三角洲城市群为例. 热带地理, 1999, 19(2): 76-82.
[24] 徐维祥, 李露, 周建平, 刘程军. 乡村振兴与新型城镇化耦合协调的动态演进及其驱动机制. 自然资源学报, 2020, 35(9): 2044-2062.
[25] 程慧, 徐琼, 郭尧琦. 我国旅游资源开发与生态环境耦合协调发展的时空演变. 经济地理, 2019, 39(7): 233-240.
[26] 杨秀敏, 耿静, 徐游, 庄海燕, 陈文述. 基于 TOPSIS 模型的海南岛土地综合承载力时空变化及障碍度诊断. 生态学报, 2022, 42(22): 9324-9334.
[27] Luo H, Hu X N, Xie Y S, Wang J J, Guo M C. Constructions of an evaluation framework for soil and water conservation techniques. CATENA, 2020, 186: 104378.
[28] 甄霖, 谢永生, C A O Sciences, Beijing, China, S O R A Environment, U O C A Sciences, Beijing, I O S A Conservation, N A Amp, F University, Yangling, C A O S Resources, China. 典型脆弱生态区生态技术评价方法及应用专题导读. 生态学报, 2019(16): 5747-5754.
[29] 李怡凤, 王继军, 连坡, 淮建军, 骆汉, 岳辉, 马理辉. “进则全胜”下的水土保持评价指标体系构建. 水土保持研究, 2021, 28(2): 390-393, 400.
[30] 胡小宁, 谢晓振, 郭满才, 王继军. 生态技术评价方法与模型研究——理论模型设计. 自然资源学报, 2018, 33(7): 1152-1164.
[31] 魏云洁, 甄霖, 胡云锋, 肖玉. 黄土高原典型区水土保持技术评估与需求分析——以安塞为例. 生态学报, 2019, 39(16): 5809-5819.
[32] 马亚亚, 刘国彬, 张超, 王杰. 陕北安塞县生态与经济系统耦合协调发展. 生态学报, 2019, 39(18): 6840-6849.
[33] 赵晓翠, 连坡, 王继军, 胡小宁, 李玥, 韩晓佳. 基于 VAR 模型的水土保持技术与农业产业、资源的互馈效应. 水土保持研究, 2021, 28(1): 188-194.
[34] 童晨晖, 王辉, 谭帅, 魏亚飞, 胡廷飞, 张先登, 刘立豪. 亚热带丘岗区经果林种植对红壤团聚体稳定性的影响. 应用生态学报, 2022, 33(4): 1012-1020.
[35] 彭方仁, 朱凯凯, 谭鹏鹏. 我国经济林研究主要进展及有待突破的关键技术. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2022, 46(6): 127-134.
[36] Li Y R, Zhang X C, Cao Z, Liu Z J, Lu Z, Liu Y S. Towards the progress of ecological restoration and economic development in China′s Loess Plateau and strategy for more sustainable development. The Science of the Total Environment, 2021, 756: 143676.
[37] Deng L, Shangguan Z P. High quality developmental approach for soil and water conservation and ecological protection on the Loess Plateau. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2021, 8(4): 501.
[38] Qiao J, Crang M, Hong L P, Li X F. Exploring the benefits of small catchments on rural spatial governance in Wuling Mountain area, China. Sustainability, 2021, 13(2): 760.
[39] 赵晓翠, 王继军, 乔梅, 韩晓佳, 李玥. 县南沟流域水土保持技术适宜性评估. 水土保持研究, 2020, 27(2): 350-356.