

青海省湟水谷地经济发展与生态环境 耦合协调度的时空分异

郭婧^{1,2,7}, 周学斌³, 任君⁴, 王芳萍^{1,7}, 魏珍⁵, 师燕⁶, 周华坤¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所 青海省寒区恢复生态学重点实验室, 西宁 810008; 2. 青海省社会科学院 生态环境研究所, 西宁 810000; 3. 青海省水文水资源勘测局, 西宁 810001; 4. 青海大学 研究生院, 西宁 810016; 5. 青海省社会科学院 经济研究所, 西宁 810000; 6. 西宁市城乡规划设计研究院, 西宁 810006; 7. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:经济与生态环境的协调有序发展是可持续发展的重要基础,以青海湟水谷地 3 个典型区县为例,构建了经济发展—生态环境系统的评价指标体系,并运用耦合协调模型分析了 2008—2015 年两系统的耦合协调度及综合发展水平,最后从时空角度定量揭示出湟水谷地经济发展与生态环境两系统之间相互耦合协调程度及空间分布规律。研究结果表明:(1) 2008—2015 年湟水谷地经济发展—生态环境耦合协调度总体呈上升趋势,属于良好耦合的中度协调类型, $D \in [0.4294, 0.7438]$ 。(2) 空间分布上来看,3 个区县的耦合度出现了初级耦合、中级耦合和良好耦合 3 种状态;耦合协调度出现了轻度失调、濒临失调、勉强协调、初级协调和中级协调 5 种状态,耦合协调度的变化稍滞后于耦合度的变化。(3) 空间组合上,出现了初级耦合濒临失调衰退区、良好耦合轻度失调衰退区、中级耦合濒临失调衰退区、良好耦合勉强协调区、良好耦合初级协调区、良好耦合中度协调发展区 6 种空间组合类型。总体而言,经济发展对生态环境的胁迫作用和生态环境对经济发展的约束作用是制约整体协调发展水平的主要原因。研究结果为提高青海湟水谷地综合发展质量、协调区域经济发展与生态环境保护提供决策参考。

关键词:湟水谷地; 生态环境; 经济发展; 耦合协调度

中图分类号:F062.2; X171

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)06-0242-09

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2018.06.036

Spatiotemporal Difference of Coupling Coordinative Degree of Economic Development and Ecological Environment in Huangshui Valley, Qinghai Province

GUO Jing^{1,2,7}, ZHOU Xuebin³, REN Jun⁴, WANG Fangping^{1,7}, WEI Zhen⁵, SHI Yan⁶, ZHOU Huakun¹

(1. Key Laboratory of Restoration Ecology of Cold Area in Qinghai Province Northwest, Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; 2. Research Department of Ecological Environment, Qinghai Academy of Social Sciences, Xining 810000, China; 3. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Qinghai Province, Xining 810001, China; 4. Graduate School, Qinghai University, Xining 810016, China; 5. Research Department of Economy, Qinghai Academy of Social Sciences, Xining 810000, China; 6. Bureau of Programming and Construction, Xining 810006, China; 7. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The coordinated development of economy and ecology is the important foundation for sustainable development. Selecting 3 typical counties of Huangshui Valley of Qinghai Province, we constructed an index system of economy-ecology system. Then we used the coupling-coordination model to analyze economic development and ecological environment system coupling coordination and comprehensive development level from 2008 to 2015. Finally, we quantitatively revealed the coupling coordination degree of economic development and ecological environment, and analyzed the relation coupled spatial distribution and evolution from the space-time point. The results showed that: (1) economic development and ecological environmental system coupling and coordination degree raised in the Huangshui Valley during 2008—2015, while the coordination degree was between 0.4294 and 0.7438, generally presenting a moderate coordination of good

收稿日期:2018-01-10

修回日期:2018-02-11

资助项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0501901); 国家社会科学基金青年项目(16CJY012); 青海省创新平台建设专项(2017-ZJ-Y20); 青海省自然科学基金面上项目(2016-ZJ-910); 青海省科协国家级科技思想库决策咨询调研课题(2017KX06)

第一作者:郭婧(1989—),女,青海西宁人,助理研究员,博士研究生,主要从事生态经济、环境生态学研究。E-mail:352097314@qq.com

通信作者:周华坤(1974—),男,青海乐都人,研究员,博士生导师,主要从事草地生态学、恢复生态学研究。E-mail:hkzhou@nwipb.cas.cn

coupling; (2) with respect to spatial variation, there were three states of coupling degrees in 3 counties of the Huangshui Valley in three different years, which were a primary coupling, intermediate coupling and good coupling; the coupling coordinative degree appeared 5 states: mild disorder, teething disorder, forced coordination, primary coordination and moderate coordination, the change of coupling coordination degree lagged behind the coupling degree; (3) with respect to spatial combination, there were 6 kinds of spatial combination types in three typical years in 3 counties of Huangshui Valley, which were primary-teething disorder, good-mild disorder, medium-teething disorder, good-forced coordination, good-primary coordination and good-medium coordination. In short, the contradiction between the development of ecology and economy is the main constraints for the overall level of coordinated development in Huangshui Valley. The results can provide the decision reference for improving the quality of comprehensive development in Huangshui Valley, coordinating the development of regional economy and the protection of ecological environment.

Keywords: Huangshui Valley; ecological environment; economic development; coupling coordination degree

随着国家在经济发展方面政策、投入等日益加强,极大地促进了青海省湟水谷地社会经济的发展,然而工业化加速,城市人口集聚、资源能源消耗等对当地生态环境产生极大的胁迫作用。作为青海省重要的农业生产基地和重点经济发展区,探讨经济发展与生态环境之间的耦合协调关系,实现二者向良性、可持续的耦合协调方向转变是当前湟水谷地要着力解决的首要问题。实际上,经济发展与生态环境是相互作用,相互影响,构成彼此耦合交互体,其最高形态是二者相互协调、相互融合共同构成一个高效的复合生态系统^[1-2]。因此,探讨经济发展与生态环境之间的关系已成为学术界研究的热点,也是可持续发展战略的必然要求^[3]。

近年来,耦合协调度模型因具有量化分析的优点引起了专家学者的广泛关注。国外对于经济发展与生态环境关系的研究始于19世纪末期,而真正以实证研究形式来分析对经济发展与生态环境之间协调关系始于20世纪90年代^[4]。如美国经济学家Norgaard^[5]提出了协调发展理论,认为通过反馈循环,在社会和生态系统之间可以实现共同发展。目前国外关于经济发展与生态环境的关系探讨还包括投入产出模型^[6]、CGE模型^[7]及生态经济学的基本视角^[8]展开。

国内一些学者研究焦点集中在不同区域经济发展与生态环境的耦合度、耦合协调度以及和空间分布及演变上。张荣天等^[9]运用耦合协调模型分析泛长江三角洲地区两系统的耦合协调度及其演变。易平等^[10]定量评价了地质公园社会经济与生态环境效益的耦合协调度。王琦等^[11]对洞庭湖区生态—经济—社会复合系统的耦合度、协调度和综合发展值进行了分析。初雪等^[12]采用耦合度、发展度、耦合协调系数和灰色关联度分析了欠发达地区经济、社会和生态系统的协调发展关系。赵旭阳等^[2]定量揭示出影响山区经济发展与生态环境系统耦合的主要因素,并从时空角度分析了区域耦合度

的空间分布及演变规律。丁浩等^[13]通过耦合协调模型的构建,对山东省区域经济与生态环境的耦合协调关系进行时空双维研究,并运用灰色关联模型进一步探索区域经济发生变化的深层原因。

尽管国内外学者进行了大量基础性工作研究,但对经济发展与生态环境的耦合协调度的时空分异研究仍处于较薄弱阶段。尤其是针对青海湟水谷地经济发展与生态环境耦合协调度尚未开展研究,相对的耦合协调度的时空分异研究也极其缺乏。鉴于此,本文利用物理学中容量耦合协调模型,充分考虑各种因素,选择湟水谷地3个典型区县2008—2015年的经济发展和生态环境统计数据,构建经济发展及生态环境评价指标体系,运用熵值法确定评价指标权重,从时空角度定量揭示湟水谷地经济发展与生态环境两系统之间相互耦合协调程度及空间分布规律。研究结果对于推进经济发展、指导生态环境建设,提高环境保护意识,促进二者协调发展提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 研究区界定

湟水谷地位于青藏高原的东北部,是青海省重要的农业生产基地和重点经济发展区。地理位置为 $100^{\circ}54'—103^{\circ}04'E$, $35^{\circ}30'—36^{\circ}52'N$,由于受地形限制,湟水河向东区域作为发展的主要方向。因此,本文选取国内外典型区域海东市内的乐都区、民和回族土族自治县(简称“民和县”)、互助土族自治县(简称“互助县”)3个区县,研究区土地面积 $8\,364.72\text{ km}^2$,人口111.74万人。

1.2 社会经济发展

湟水谷地开发历史悠久,是黄河流域人类活动最早的地区之一。随着全面建成小康社会目标日渐临近,研究区将通过转变发展方式,走绿色发展、循环发

展与低碳发展的道路,大力发展高效生态农业,提高生产能力与人民生活水平,使整个湟水谷地的社会经济发展处于良好态势。据统计数据显示,研究区共有 49 个乡镇,占湟水谷地乡镇总数的 47.6%,人口密度为 133.58 人/km²,约是青海省平均人口密度的 16 倍。2008—2015 年研究区总人口数从 10.65 万人增加到 11.17 万人,GDP 从 75.97 万元增加到 245.71 万元,农业总产值为 651 523.41 万元,占青海省的 20.4%。

1.3 生态环境发展

湟水谷地位于青藏高原与黄土高原的交错地带,海拔为 1 650~4 635 m,地质构造属于祁连褶皱系,为中生代山间断陷谷地。受地形、海拔以及水、热条件的影响,形成了 3 种不同的生态区,按当地习惯称为:川水区、浅山区、脑山区。研究区气候属高原大陆性半干旱气候,太阳辐射强、光照充足,年日照时数在 2 500 h 以上;境内年平均气温低,在 4.3~9.7℃ 之间;降水量少,境内绝大部分地区年降水量在 400 mm 以下。此外,研究区内矿产资源丰富,植被景观多样,呈现出草甸草原、荒漠草原、干草原、高山草甸、森林等多种自然景观类型。

2 研究方法

2.1 熵值法确定权重

1948 年,Shannon^[14] 首次引进信息熵来描述了信号源信号的不确定性,熵值法确定权重系数在信息论中,熵值反映了信息的无序化程度,可以用来度量信息量的大小^[15],某项指标携带的信息越多,表示该指标对决策的作用越大^[16]。熵值法的计算步骤主要包括:构建判断矩阵、指标特征值的无量纲处理、确定评价指标的熵 3 部分^[17]。

表 1 湟水谷地经济发展—生态环境耦合度类型划分

耦合等级	极不耦合	不耦合	勉强耦合	初级耦合	中级耦合	良好耦合
耦合度	0.00~0.39	0.40~0.49	0.50~0.59	0.60~0.69	0.70~0.79	0.80~1.00

2.2.3 耦合协调度模型 如前所述,单纯靠耦合度无法反映出湟水谷地经济发展与生态环境协调发展水平的高低,同时也很难反映出二者的整体“功效”与协同“效应”^[10]。因此,本文用耦合协调度模型分析经济发展与生态环境两大子系统耦合协调发展贡献程度。耦合协调度越高,表明其总体协调发展水平越高,也表明两者的耦合关系越和谐,计算公式如下:

$$D = \sqrt{C \cdot T} \quad (4)$$

$$T = \alpha F(x) + \beta G(y) \quad (5)$$

式中: D 为经济发展—生态环境耦合协调度; T 为经济发展—生态环境综合评价指数; α 和 β 为待定系数,考虑到湟水谷地经济发展与生态环境同等重要,

2.2 经济发展与生态环境协调发展评价模型

2.2.1 综合评价模型 根据前人相关研究结果^[18],结合实地情况,得到湟水谷地经济发展子系统、生态环境子系统综合评价指数:

(1) 假设 x_1, x_2, \dots, x_m 是描述经济发展子系统的 m 个指标,则:

$$F(x) = \sum_{i=1}^m \omega_i x_i \quad (1)$$

式中: $F(x)$ 为经济发展子系统综合评价指数; m 为经济发展子系统综合评价指标个数; ω_i 为经济发展子系统第 i 个评价指标的权重; x_i 为经济发展子系统第 i 个指标的标准化值。

(2) 假设 y_1, y_2, \dots, y_n 是描述生态环境子系统的 n 个指标,则:

$$G(y) = \sum_{j=1}^n \omega_j y_j \quad (2)$$

式中: $G(y)$ 为生态环境子系统综合评价指数; n 为生态环境子系统综合评价指标个数; ω_j 为生态环境子系统第 j 个评价指标的权重; y_j 为生态环境子系统第 j 个指标的标准化值。

2.2.2 耦合度模型 借鉴物理学中的容量耦合定义及系数模型^[9],根据经济发展子系统、生态环境子系统综合评价指数可得到经济发展—生态环境耦合度评价模型为:

$$C = \left\{ \frac{F(x)G(y)}{[F(x)+G(y)]^2} \right\}^k \quad (k \geq 2) \quad (3)$$

式中: C 为经济发展—生态环境耦合度, $C \in (0, 1)$, C 值越大表明湟水谷地经济发展与生态环境之间越耦合,反之则越不耦合,处于失调或无序状态; $k=2$,耦合度 C 等级值域范围^[10]见表 1。

因而 $\alpha = \beta = 0.5$ 。

为了更准确地表征湟水谷地经济发展—生态环境两大子系统的耦合协调发展关系和阶段,在借鉴已有成果^[10,18]的基础上,根据耦合协调发展度 D 以及经济发展子系统 $F(x)$ 和生态环境子系统 $G(y)$ 的大小,将其耦合协调发展水平划分为协调发展、过度发展和失调衰退 3 个大类、10 个协调等级和 30 个基本类型(表 2)。

3 结果与分析

3.1 数据来源

分析数据资料均来源于《海东统计年鉴(2008—2015)》、《乐都区统计年鉴(2008—2015)》、《青海省互

互助族自治县国民经济统计资料(2008—2015)》、《青海省民和土族自治县国民经济和社会发展统计资料(2008—2015)》,研究尺度为湟水谷地 1 区(乐都区)2

县(互助县、民和县),空间数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),扫描之后在 ArcGIS 10.2 软件中进行配准矢量化。

表 2 湟水谷地经济发展—生态环境耦合协调发展类型及评价标准

类型	耦合协调发展度	协调等级	$F(x)$ 和 $G(y)$ 的对比	基本类型
协调发展	0.900~1.000	优质协调发展类	$F(x) > G(y)$ $F(x) = G(y)$ $F(x) < G(y)$	优质协调发展类生态环境滞后型 优质协调发展类经济发展与生态环境同步型 优质协调发展类经济发展滞后型
	0.800~0.899	良好协调发展类	同上	略
	0.700~0.799	中度协调发展类	同上	略
	0.600~0.699	初级协调发展类	同上	略
	0.500~0.599	勉强协调发展类	同上	略
过度发展	0.400~0.499	濒临失调衰退类	$F(x) > G(y)$ $F(x) = G(y)$ $F(x) < G(y)$	濒临失调衰退类经济损益型 濒临失调衰退类经济生态共损型 濒临失调衰退类生态损益型
	0.300~0.399	轻度失调衰退类	同上	略
	0.200~0.299	中度失调衰退类	同上	略
失调衰退	0.100~0.199	严重失调衰退类	同上	略
	0.000~0.099	极度失调衰退类	同上	略

3.2 评价指标选取及权重确定

经济发展和生态环境两子系统极其复杂,涉及到地区的社会经济活动以及资源环境等多方面因素。本文结合研究区域的实际情况,基于相关研究文献^[9,12,19],考虑到真实性、整体对应、比例适当、数据可获得性及其可比较性的原则。选择国内外实证研究中使用频率较高的指标,从经济发展和生态环境两大层面构建了湟水谷地耦合协调度评价指标体系,经济发展层面包括经济发展规模、经济发展结构、经济发展水平及经济发展效率 4 个子系统,14 项指标;生态环境层面包括生态环境水平、生态环境污染及生态环境治理 3 个子系统,12 项指标(表 3)。

根据上述确定的指标,选取湟水谷地(乐都区、互助县、民和县)2008—2015 年度各指标数据作为经济发展和生态环境耦合协调度评价指标。对选取的正向指标(23 项)、逆向指标(3 项)进行无量纲处理,解决各指标不同量纲无法进行综合汇总的问题,处理后的数据利用熵值赋权法,可得各指标的权重 W_i (表 3)。

3.3 定量评价

在对评价指标数据无量纲化和权重计算的基础上,利用公式(1)—(2)测算湟水谷地 2008—2015 年经济发展综合评价指数 $F(x)$,生态环境综合评价指数 $G(y)$;将计算得出的 $F(x)$ 和 $G(y)$ 值代入公式(3)得出经济发展—生态环境耦合度 C ,同时利用公式(5)计算得出经济发展—生态环境综合评价指数 T ,利用公式(4)得出耦合协调发展度 D ,计算结果见表 4。

根据协调发展类型及评价标准(表 2),对 2008—

2015 年湟水谷地经济发展—生态环境耦合协调发展水平进行了协调发展类别划分(表 5)。

3.4 综合发展水平分析

图 1 表明 2008—2015 年湟水谷地经济发展水平总体呈线性上升趋势($y = 0.0972x + 0.0153, R^2 = 0.9762$)。2008 年、2009 年湟水谷地生态环境子系统的综合评价价值分别为 0.303 7,0.370 6,相当于经济发展子系统综合评价价值(0.155 6,0.185 4)的 2 倍,可见当时的生态环境质量较好,人类的生产生活所带来的环境压力较小。

在 2010 年发展过程中,生态环境子系统的综合评价价值较之前两年有所下降(0.284 3)。随后 3 年间,生态环境子系统综合评价价值呈上升趋势,在 2013 年综合评价价值达到最高(0.631 0),2014—2015 年评价价值则再次下降又缓慢回升。相比之下,经济发展子系统的综合评价价值在 2010—2015 年呈快速上升的趋势,并在 2015 年达到了 0.841 2,远超过生态环境子系统的综合评价价值(0.468 6)。

通过评价指标体系中各经济指标历年的数值得出,湟水谷地的人均 GDP 总量在过去的 8 年间从 7 255 元增加至 22 668.7 元,工业 GDP 由 187 202.6 万元直线上升至 806 820.1 万元,呈 4 倍增长;人均规模以上工业增加值也从 2008 年的 1 100 元/人增加至 5 920 元/人;公共财政收入由 6 642.7 万元增加至 35 002.7 万元;人均固定资产投资在近 8 年间,增加至 12 倍左右;粮食产量由 106 435 t 增加至 320 418 t;农民人均纯收入和城镇居民人均可支配收入均呈直线增加。说明经济的发展,

尤其是城市化、工业化以及人类的生产生活对生态环境的保护意识不断提高、保护措施不断增强,仍对湟水谷地生态环境带来压力。

表 3 经济发展和生态环境系统的耦合协调评价指标体系及权重

目标层	准则层	指标层	权重 W_i	均值	标准差
经济发展	经济发展规模	人均 GDP(元)	0.0526	14773.29	5992.48
		人均社会消费品零售总额(元)	0.0773	3394.39	1118.33
		人均固定资产投资(元)	0.0908	15807.37	12461.53
		人均规模以上工业增加值(千元/人)	0.0609	3.85	2.18
		工业生产总产值(万元)	0.0653	4389764.00	2560995.00
	经济结构	第一产业生产总值占比(%)	0.0863	19.44	2.98
		第二产业生产总值占比(%)	0.0604	42.07	7.82
		第三产业生产总值占比(%)	0.0763	38.49	5.26
	经济发展水平	农民人均纯收入(元)	0.0547	5461.19	1724.13
		人均财政收入(元)	0.0783	509.69	289.45
		城镇居民人均可支配收入(元)	0.0647	16087.17	4397.25
	经济发展效率	粮食产量(t)	0.0689	144646.00	72334.76
		农机总动力(kW)	0.0824	350030.40	36722.40
		财政收入占 GDP 比重(%)	0.0775	3.36	0.63
	生态环境	生态环境水平	森林面积(hm ²)	0.0892	107462.60
当年造林面积(hm ²)			0.1967	9195.80	17075.09
年平均气温(°C)			0.0697	7.50	0.45
年降水量(mm)			0.0777	377.89	43.76
生态环境污染		人均农作物播种面积(hm ²)	0.0875	2.34	0.21
		年末人均耕地拥有量(hm ²)	0.1087	2.53	0.29
		化肥(折纯)使用量(t)*	0.0775	7455.71	540.67
		农药使用量(kg)*	0.0347	213698.90	93418.34
		工业二氧化硫排放量(t)*	0.0479	4244.89	465.13
		节能环保财政支出(万元)	0.0517	11841.38	5933.85
生态环境治理	环境污染治理投资占 GDP 比(%)	0.1068	0.49	0.20	
	城市生活污水处理率(%)	0.0519	62.74	11.45	

注: * 表示逆向指标,其他表示正向指标。

表 4 2008—2015 年湟水谷地经济发展与生态环境耦合协调发展度

地区	项目	耦合协调发展度							
		2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
乐都区	$F(x)$	0.1427	0.1680	0.2606	0.4075	0.5112	0.6549	0.7044	0.8302
	$G(y)$	0.3578	0.2049	0.3337	0.2847	0.3045	0.5341	0.3720	0.4917
	C	0.6647	0.9805	0.9700	0.9381	0.8756	0.9795	0.8184	0.8731
	D	0.4079	0.4276	0.5369	0.5698	0.5976	0.7631	0.6637	0.7597
	T	0.2503	0.1865	0.2972	0.3461	0.4078	0.5945	0.5382	0.6609
互助县	$F(x)$	0.1665	0.1936	0.2766	0.3787	0.4848	0.6132	0.7221	0.8524
	$G(y)$	0.1523	0.3720	0.2397	0.3639	0.4482	0.6522	0.3883	0.4743
	C	0.9640	0.9152	0.9923	0.9998	0.9985	0.9930	0.8649	0.8613
	D	0.4003	0.4976	0.5213	0.6202	0.6854	0.7943	0.6933	0.7521
	T	0.1662	0.2705	0.2739	0.3847	0.4705	0.6354	0.5558	0.6567
民和县	$F(x)$	0.1465	0.1809	0.3248	0.3212	0.4258	0.6092	0.6727	0.8181
	$G(y)$	0.3244	0.3840	0.3380	0.3484	0.3366	0.5478	0.5642	0.5435
	C	0.7674	0.7770	1.0000	0.9983	0.9834	1.0000	0.9891	0.9079
	D	0.4434	0.4878	0.5939	0.5816	0.6249	0.7633	0.7714	0.7696
	T	0.2562	0.3062	0.3527	0.3388	0.3970	0.5826	0.6016	0.6523
湟水谷地	$F(x)$	0.1556	0.1854	0.3388	0.3581	0.4622	0.6008	0.6812	0.8412
	$G(y)$	0.3037	0.3706	0.2843	0.3257	0.3559	0.6310	0.4618	0.4686
	C	0.8028	0.7906	0.9847	0.9955	0.9665	0.9988	0.9277	0.8447
	D	0.4294	0.4688	0.5539	0.5834	0.6287	0.7843	0.7281	0.7438
	T	0.2297	0.2780	0.3116	0.3419	0.4090	0.6159	0.5715	0.6549

表 5 2008—2015 年湟水谷地经济发展—生态环境耦合协调发展类型

年份	乐都区		互助县		民和县		湟水谷地	
	$F(x)$ 和 $G(y)$ 对比	耦合协调发展类型						
2008	$F(x)<G(y)$	濒临失调衰退类生态损益型	$F(x)>G(y)$	轻度失调衰退类经济损益型	$F(x)<G(y)$	濒临失调衰退类生态损益型	$F(x)<G(y)$	濒临失调衰退类生态损益型
2009	$F(x)<G(y)$	濒临失调衰退类生态损益型	$F(x)<G(y)$	濒临失调衰退类生态损益型	$F(x)<G(y)$	濒临失调衰退类生态损益型	$F(x)<G(y)$	濒临失调衰退类生态损益型
2010	$F(x)<G(y)$	勉强协调发展类经济发展滞后型	$F(x)>G(y)$	勉强协调发展类生态环境滞后型	$F(x)<G(y)$	勉强协调发展类经济发展滞后型	$F(x)>G(y)$	勉强协调发展类生态环境滞后型
2011	$F(x)>G(y)$	勉强协调发展类生态环境滞后型	$F(x)>G(y)$	初级协调发展类生态环境滞后型	$F(x)<G(y)$	勉强协调发展类经济发展滞后型	$F(x)>G(y)$	勉强协调发展类生态环境滞后型
2012	$F(x)>G(y)$	勉强协调发展类生态环境滞后型	$F(x)>G(y)$	初级协调发展类生态环境滞后型	$F(x)>G(y)$	初级协调发展类生态环境滞后型	$F(x)>G(y)$	初级协调发展类生态环境滞后型
2013	$F(x)>G(y)$	中度协调发展类生态环境滞后型	$F(x)<G(y)$	中度协调发展类经济滞后型	$F(x)>G(y)$	中度协调发展类生态环境滞后型	$F(x)>G(y)$	中度协调发展类生态环境滞后型
2014	$F(x)>G(y)$	初级协调发展类生态环境滞后型	$F(x)>G(y)$	初级协调发展类生态环境滞后型	$F(x)>G(y)$	中度协调发展类生态环境滞后型	$F(x)>G(y)$	中度协调发展类生态环境滞后型
2015	$F(x)>G(y)$	中度协调发展类生态环境滞后型	$F(x)>G(y)$	中度协调发展类生态环境滞后型	$F(x)>G(y)$	中度协调发展类生态环境滞后型	$F(x)>G(y)$	中度协调发展类生态环境滞后型

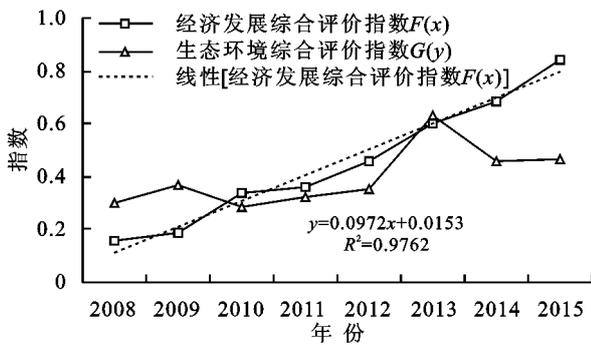


图 1 2008—2015 年青海湟水谷地经济发展—生态环境综合评价指数时序变化

生态环境对经济发展的反馈作用主要表现在森林面积、当年造林面积、农药化肥使用量、节能环保财政支出、城市生活污水处理率、工业二氧化硫排放量等指标。在过去的 8 年间湟水谷地森林面积呈明显单峰型波动，由 2008 年的最低值(12 073 hm²)波动上升至 2013 年的最高值(282 725.33 hm²)后下降至 2015 年的 177 619 hm²；8 年间，化肥使用(折纯)量由 6 628.67 t 直线上升至 8 219.53 t；而农药使用量呈明显单峰型波动，由 2008 年的最低值(160 748.67 kg)上升至 2012 年的峰值(441 291.33 kg)后直线下降至 180 898 kg；人均农作物播种面积(0.14~0.16 hm²)和年末人均耕地拥有量(0.14~0.20 hm²)均缓慢增加。由于环境保护力度不断提高，当年造林面积呈明显上升趋势，由 1 595 hm² 上升至 2015 年的 4 206 hm²；节能环保财政支出由 5 347 万元上升至 23 288 万元，增加了 4 倍以上；城市生活污水处理率也呈上升趋势。由于经济发展所带来的生态环境压力急速上升，在过去 8 年间，工业二氧化硫排放量由 3 588.51 t 波动增加至的 4 547.57 t。综合反映出近几年在“绿色发展”的理念下，生态环境建设取得了一定成效的基础上对经济发展的支撑作用。

3.5 耦合协调度分析

为了更直观地反映湟水谷地经济发展—生态环境耦合协调度的演化趋势以及两子系统的发展轨迹，

将 2008—2015 年湟水谷地整体和 3 个区县的耦合协调度 D 测算结果绘制成折线图(图 2)，对其经济发展—生态环境协调发展状况进行综合分析。

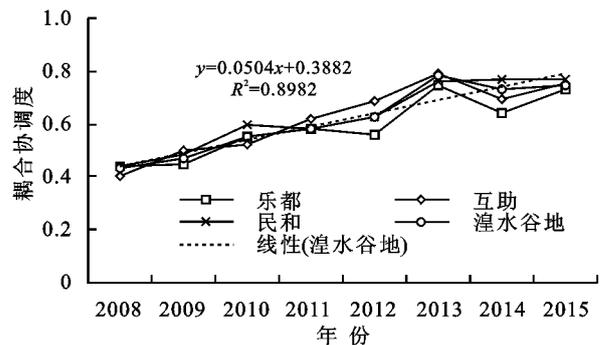


图 2 2008—2015 年湟水谷地三区县经济发展—生态环境耦合协调度时序变化

从图 2 中可以看出，2008—2015 年湟水谷地的经济发展—生态环境耦合协调度 D 从 0.429 4 增加到 0.743 8，协调类型从濒临失调衰退类转化为中度协调发展类，两个子系统的耦合协调度 D 总体呈现波动式上升趋势($y=0.0504x+0.3882, R^2=0.8982$)。具体来看，2008 年乐都区、互助县和民和县的经济—生态环境耦合协调度分别为 0.407 9、0.400 3、0.444 3，耦合协调发展度均为濒临失调衰退类，其中民和的协调水平最高，乐都次之，互助最低，且至 2015 年 3 个区县的协调等级均转化为中度协调发展类。

由图 1—2 可以看出，2008—2015 年湟水谷地经济发展—生态环境综合发展水平的剪刀差呈现明显的阶段性演化特征(可以划分为 3 个阶段：2008—2010 年、2011—2013 年、2014—2015 年)。第一阶段，经济发展和生态环境先平稳上升，经济发展综合评价指数小于生态环境综合评价指数 [$F(x)<G(y)$]，2009—2010 年，经济发展直线上升，生态环境则下降，经济—生态环境综合发展水平的剪刀差由大变小，且经济发展综合评价指数大于综合评价指数 [$F(x)>G(y)$]，因而耦合协调度 D 从濒临失调衰退类生态损益型向勉强协调发展类生态环境滞后型转变(表 5)。第二阶段，由

于经济发展以及生态环境均稳步增长 $[F(x) > G(y)]$, 经济发展—生态环境综合发展水平的剪刀差由小逐渐变大, 耦合协调度 D 由勉强协调发展类生态环境滞后型退化为中度协调发展类生态环境滞后型(表 5)。第三阶段, 经济发展—生态环境综合发展水平的剪刀差由小变大, 经济发展综合评价指数大于生态环境综合评价指数 $[F(x) > G(y)]$, 经济发展呈直线上升, 生态环境呈先下降后缓慢上升趋势, 耦合协调度 D 保持在中度协调发展类生态环境滞后型(表 5)。2008—2015 年这 8 年间, 湟水谷地整体经济发展—生态环境耦合协调度大致经历了濒临失调衰退类、勉强协调发展类、初级协调发展类、中度协调发展类 4 个发展阶段和 8 个发展类型, 每个发展阶段和类型的耦合协调度都由经济发展与生态环境两个子系统的发展规律和演化趋势及两者之间综合发展水平的剪刀差决定。

综上所述, 8 年间, 经济—生态子系统的耦合度 $C >$ 耦合协调发展度 $D >$ 综合评价指数 T (表 4), 反映了湟水谷地的经济发展、生态环境的协同发展水平

良好, 而综合发展水平相对较差的局面, 生态环境需要同社会经济全方位提升。

3.6 耦合度的空间分异

选取湟水谷地 3 个区县的 3 个典型年份(2008 年、2011 年和 2015 年)耦合度 C , 利用 ArcGIS 10.2 绘制出耦合度的空间分异图(图 3)。得出: 3 个典型年份内的耦合度出现了 3 种类型, 即初级耦合、中级耦合和良好耦合。2008 年乐都区、互助县、民和县的耦合度类型分别为初级耦合、良好耦合和中级耦合, 说明 2008 年乐都区在当时良好的生态环境质量基础上未能转化成经济发展积极优势。而民和县 2011 年、2015 年 3 个区县的耦合度均转化为良好耦合类型, 表明该县域总体上经济发展和生态环境系统耦合度一直保持在较高状态。总体上, 湟水谷地 3 个区县从 2008—2015 年, 耦合度出现从初级耦合转化为良好耦合类型。可以看出 2011 年之前经济发展—生态环境的耦合度格局明显优化, 至 2015 年, 该区域一直保持在良好耦合类型, 反映出经济的快速发展对生态环境的影响日益加大。

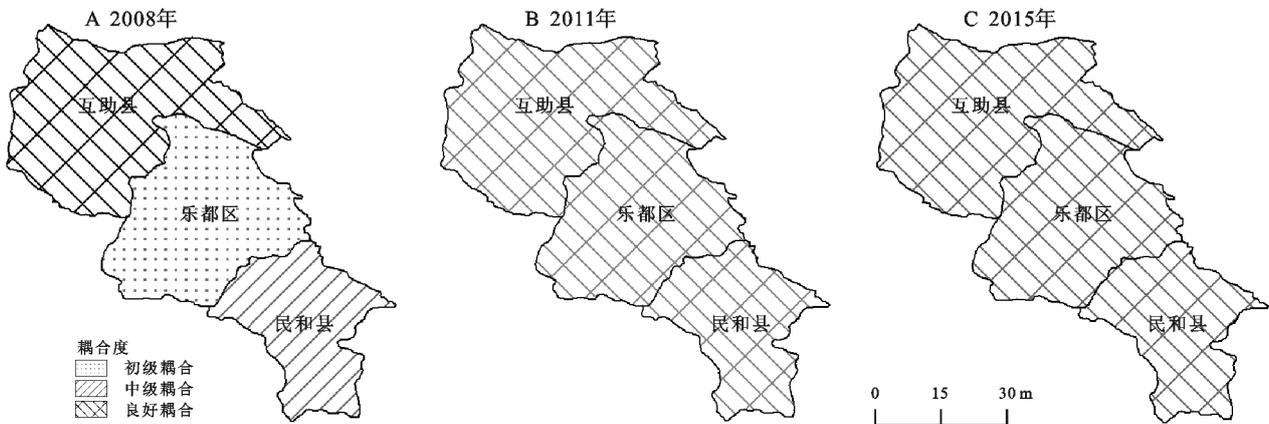


图 3 湟水谷地经济发展和生态环境耦合度空间分异

3.7 耦合协调度的空间分异

选取湟水谷地 3 个区县 3 个典型年份(2008 年、2011 年和 2015 年)的耦合协调度 D , 利用 ArcGIS 10.2 绘制出耦合协调度的空间分异图(图 4)。可以看出: 3 个区县耦合协调度出现了轻度失调、濒临失调、勉强协调、初级协调和中度协调 5 种状态。2008 年互助县属于轻度失调, 乐都区和民和县属于濒临失调; 2011 年互助县属于初级协调, 乐都区和民和县属于勉强协调; 2015 年 3 个区县均转化为中度协调。总体上, 湟水谷地从 2008—2015 年, 耦合协调度 D 出现从轻度失调转化为中度协调等级。可以看出 3 个不同时段和 3 个不同区县的耦合协调度逐年增强, 表明其经济发展—生态环境的总体协调发展水平呈

逐年上升的趋势, 两系统的耦合关系越来越和谐。通过数据分析和对比耦合度的空间变化, 发现耦合协调度的区县变化稍滞后于耦合度的变化, 得出耦合度 C 与协调度 D 不存在正相关关系($p > 0.05$), 体现了耦合度强但协调度不一定强的变化规律。预测在未来几年内, 湟水谷地耦合协调度的演化趋势相对稳定, 在中度协调发展状态下时间持续较长, 为保证系统向着良好、优质协调发展转化, 需要加快产业结构调整, 加大区域特色绿色农产品种植业、旅游业扶持力度, 加强对生态环境的保护。

3.8 空间组合

为了更直观地反映耦合度 C 和耦合协调度 D 的时空变化, 对上述 3 个年份的 C 和 D 进行组合分类,

利用 ArcGIS 10.2 绘制出耦合协调类型的空间组合分区图(图 5)。得出 3 个典型年份内出现了 6 种空间组合类型,即:初级耦合濒临失调衰退区($0.60 < C \leq 0.69, 0.400 \leq D \leq 0.499$)、良好耦合轻度失调衰退区($0.80 < C \leq 1.00, 0.300 \leq D \leq 0.399$)、中级耦合濒

临失调衰退区($0.70 < C \leq 0.79, 0.400 \leq D \leq 0.499$)、良好耦合勉强协调区($0.80 < C \leq 1.00, 0.500 \leq D \leq 0.599$)、良好耦合初级协调区($0.80 < C \leq 1.00, 0.600 \leq D \leq 0.699$)、良好耦合中度协调发展区($0.80 < C \leq 1.00, 0.700 \leq D \leq 0.799$)空间组合类型。

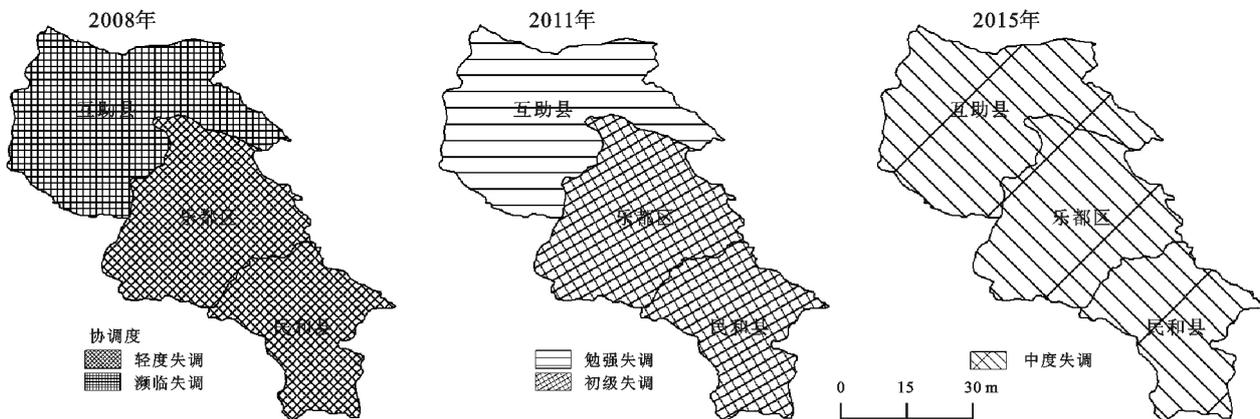


图 4 湟水谷地经济发展和生态环境耦合协调度空间分异

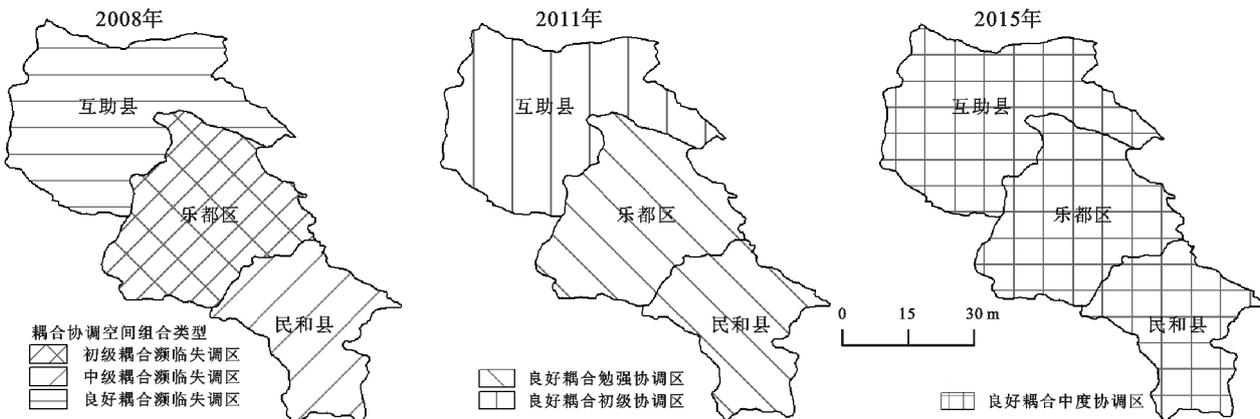


图 5 湟水谷地经济发展和生态环境耦合协调空间组合类型

2008 年乐都区、互助县、民和县的耦合协调类型的空间组合分别为初级耦合濒临失调衰退区、良好耦合中度协调发展区、中级耦合濒临失调衰退区;2011 年互助县的耦合协调类型的空间组合为良好耦合初级协调区、乐都区和民和县为良好耦合勉强协调区;2015 年 3 个区县的空间组合分别转化为良好耦合中度协调发展区。总体上,湟水谷地 8 年间,耦合协调类型的空间组合呈现出从中级耦合濒临失调衰退向良好耦合中度协调发展优化。各区县的耦合协调类型出现了由低级类型向高级类型转变的不同组合,反映出耦合度与耦合协调度之间并非保持一致的基本规律。经济发展对生态环境的影响是导致耦合协调类型发生变化的直接驱动力。

4 讨论与结论

4.1 讨论

湟水谷地的经济发展不仅关系着青海省全面建

成小康社会,还决定着地区可持续发展的实施。青海省生态地位极其重要,生态价值巨大,环境承载力低下,生态环境脆弱,一经破坏,极难修复。加之地处自然条件严酷的青藏高原,更加制约经济的发展,经济发展对资源的需求量给当地脆弱生态环境同样带来严峻的考验。因此,为使协调发展水平不断向优质协调发展类转变,实现经济发展与生态环境保护“双赢”,必须意识到良好的生态环境质量是经济快速发展的前提,同时把握好二者的协调关系也是区域发展必须重视并正确应对的关键科学问题。

综上所述,为实现湟水谷地经济发展与生态环境可持续发展的重大使命,必须采取具有针对性的有效措施使二者协调共进。为了更好守住绿水青山,应大力推广使用可循环利用的清洁能源,加强生态修复建设。在保护当地生态环境的基础上,充分利用各区县资源优势发展特色产业。加快旅游与文化、生态等的深度融合,推动当地特色产业,通过转变发展方式,走绿色发展、循环

发展与低碳发展的道路,最终实现经济增长与生态环境向良性的、可持续的耦合协调方向转变。

4.2 结论

(1) 青海湟水谷地经济发展—生态环境系统耦合协调度由较低水平持续增长,协调性越来越强,耦合协调度 $D \in [0.4294, 0.7438]$ 。从 2008—2009 年的濒临失调衰退、2010—2011 年的勉强协调发展、2012 年的初级协调发展、提高到 2013—2015 年的中度协调发展。两个子系统的耦合协调度总体呈现波动式上升趋势($y=0.0504x+0.3882, R^2=0.8982$)。耦合协调类型方面,2008—2009 年为生态损益型;2010—2015 年发展成生态环境滞后型,说明 2008—2009 年城市化、工业化以及人类的生产生活对生态环境造成了破坏,导致 2010—2015 年生态环境发展滞后。虽然协调发展水平不断提高,但离优质协调发展的差距仍然较大,有待进一步提升。近几年人类对生态环境的保护意识不断提高、保护措施不断增强,但经济发展和生态环境两系统之间的矛盾仍然是制约整体协调发展水平的主要因素。

(2) 空间分异上,3 个区县在 3 个典型年份的耦合度出现了从初级耦合转化为良好耦合类型,表明 8 年间湟水谷地经济发展—生态环境的耦合度格局明显优化;对比耦合度的空间变化,发现耦合协调度 D 出现从轻度失调转化为中度协调等级,变化稍滞后于耦合度的变化,反映出耦合度 C 与耦合协调度 D 之间并非保持一致的基本规律。空间组合上,呈现出从中级耦合濒临失调衰退向良好耦合中度协调发展优化。

参考文献:

- [1] 刘定慧,杨永春. 区域经济—旅游—生态环境耦合协调度研究:以安徽省为例[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(7):892-896.
- [2] 赵旭阳,刘征,赵海建. 山区经济发展与生态环境耦合机制研究:以河北省平山县为例[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3):176-181.
- [3] 王继军,郭满才. 农业生态经济系统耦合过程模型的建立及应用[J]. 生态学报, 2010, 30(9):2371-2378.
- [4] 刘耀彬,李仁东,宋学峰. 城市化与城市生态环境关系研究综述与评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(3):55-60.
- [5] Norgaard R R. Economic Indivators of Resource Scarity: A Critical Essay[M]. New York: Journal of Environment Economics and Management, 1990.
- [6] Allan G, Hanley N, Mcgregor P, et al. The impact of increased efficiency in the industrial use of energy: A computable general equilibrium analysis for the United Kingdom[J]. Energy Economics, 2007, 29(4):779-798.
- [7] Galinis A, Leeuwen M J V. A CGE model for Lithuania: The future of nuclear energy[J]. Journal of Policy Modeling, 2000, 22(6):691-718.
- [8] 张效莉,王成璋,王野. 经济与生态环境系统协调的超边际分析[J]. 科技进步与对策, 2007, 24(1):101-103.
- [9] 张荣天,焦华富. 泛长江三角洲地区经济发展与生态环境耦合协调关系分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(5):719-727.
- [10] 易平,方世明. 地质公园社会经济与生态环境效益耦合协调度研究:以嵩山世界地质公园为例[J]. 资源科学, 2014, 36(1):206-216.
- [11] 王琦,汤放华. 洞庭湖区生态—经济—社会系统耦合协调发展的时空分异[J]. 经济地理, 2015, 35(12):161-202.
- [12] 初雪,陈兴鹏,贾卓,等. 欠发达地区经济、社会和生态系统的协调发展研究:以甘肃省崇信县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(10):13-18.
- [13] 丁浩,郑皓. 山东省区域经济与生态环境的时空协调发展研究[J]. 中国石油大学学报:社会科学版, 2016, 32(4):11-17.
- [14] Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27(3):379-423.
- [15] 张少坤,付强,张少东,等. 基于 GIS 与熵权的 DRAS-CLP 模型在地下水脆弱性评价中的应用[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4):134-137.
- [16] 贾艳红,赵军,南忠仁,等. 基于熵权法的草原生态安全评价:以甘肃牧区为例[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8):1003-1008.
- [17] Mon D L, Cheng C H, Lin J C. Evaluating weapon system using fuzzy analytic hierarchy process based on entropy weight[J]. Fuzzy Sets & Systems, 1995, 62(2):127-134.
- [18] 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[J]. 热带地理, 1999, 19(2):171-177.
- [19] 帅婷婷,张海峰. 青海省经济:生态耦合协调发展分析[J]. 青海环境, 2017, 27(1):20-24.