

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.06.009.

何孟琦, 汪承平, 王建雄, 等. 基于夜光遥感对云南省能耗水平与城市生态-发展系统耦合研究[J]. 水土保持研究, 2023, 30(6): 357-365.

He Mengqi, Wang Chengping, Wang Jianxiong, et al. Research on the Coupling Relationship Between Energy Consumption Level and Urban Eco-environment System in Yunnan Province Based on NPP[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(6): 357-365.

基于夜光遥感对云南省能耗水平与 城市生态-发展系统耦合研究

何孟琦^{1,2}, 汪承平^{1,2}, 王建雄^{1,2}, 韦彦玲¹

(1. 云南农业大学 水利学院, 昆明 650210; 2. 云南省高校农业遥感与精准农业工程研究中心, 昆明 650210)

摘要: [目的] 了解云南省能耗水平与城市生态-发展系统间的协调程度, 以便有效地为云南省优化城市发展以及合理资源分配提供一定的研究基础与科学参考。[方法] 基于研究区 2013—2019 年夜间灯光 NPP/VIIRS 数据与社会经济统计数据, 建立灯光数据与能源消耗量间的相关性, 并运用耦合协调度模型分析了 2013—2019 年云南省各州市能耗水平和城市生态-发展系统耦合协调时空特征。[结果] (1) 随着 2013—2019 年发展, 云南省整体能耗水平与城市生态-发展耦合协调发展状况总体呈缓慢上升趋势, 2013—2015 年增长了 44.51%, 2015—2019 年增长了 4.8%, 增幅有所放缓; (2) 以昆明为中心的东部城市更早进入协调发展阶段, 其余大部分州市耦合协调指数为 0.2~0.5, 耦合协调水平较低; (3) 滇中城市群的耦合协调程度最高, 滇西北和滇东北城市长期处于失调阶段, 云南省整体上发展仍不平衡, 耦合协调发展仍有很大空间; (4) 各地区能耗水平与发展综合评价指数变化对耦合协调度影响较大, 存在地区响应的差异, 能耗水平与城市生态及发展系统间是相互作用与制约的。[结论] 云南省能耗水平与地区发展密切相关, 未来应加强城市协调发展的观测研究。

关键词: NPP/VIIRS; 能耗水平; 城市生态-发展系统; 耦合协调模型

中图分类号: F290; X24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)06-0357-09

Research on the Coupling Relationship Between Energy Consumption Level and Urban Eco-environment System in Yunnan Province Based on NPP

He Mengqi^{1,2}, Wang Chengping^{1,2}, Wang Jianxiong^{1,2}, Wei Yanling¹

(1. College of Water Conservancy, Yunnan Agricultural University, Kunming 650210, China; 2. Yunnan Universities Agricultural Remote Sensing and Precision Agriculture Engineering Research Center, Kunming 650210, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to understand the level of energy consumption and urban ecology-development system coordination in Yunnan Province, so as to effectively provide a certain research basis and scientific reference for optimizing urban development and reasonable resource allocation in Yunnan Province. [Methods] Based on 2013—2019 light NPP/VIIRS data of night and socio-economic statistics in the study area, the correlation between light data and energy consumption was established, and the coupling coordination degree model was used to analyze the spatiotemporal characteristics of energy consumption levels and urban ecological development system coupling coordination in Yunnan Province in 2013—2019. [Results] (1) With the development in 2013—2019, the overall energy consumption level of Yunnan Province and the coordinated development of urban ecology development coupling showed a slow upward trend, with an increase of 44.51% in 2013—2015, 4.8% in 2015—2019, and the growth slowed decline. (2) The eastern cities with Kunming as the center entered the stage of coordinated development earlier, and the

收稿日期: 2022-09-14

修回日期: 2022-10-09

资助项目: 国家自然科学基金(41867040); 云南省教育厅科学研究基金(2022Y285)

第一作者: 何孟琦(1997—), 女, 四川宜宾人, 硕士研究生, 研究方向为资源与环境遥感。E-mail: he_mengqi@163.com

通信作者: 王建雄(1975—), 男, 云南玉溪人, 博士, 教授, 主要从事资源与环境遥感研究。E-mail: jianxiongw@126.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

coupling coordination index of most other states and cities was between 0.2~0.5, with a low level of coupling coordination. (3) The degree of coupling and coordination of urban agglomeration in central Yunnan is the highest. The cities in northwest and northeast Yunnan had been in an imbalance stage for a long time. The overall development of Yunnan Province was still unbalanced, and there was still a lot of space for coupling and coordinated development. (4) The change of energy consumption level and comprehensive evaluation index of development in each region had a great impact on the coupling coordination degree. There were differences in regional response. The energy consumption level interacted and restricted with the urban ecology and development system. [Conclusion] The energy consumption level of Yunnan Province is closely related to regional development, so the observation and research of urban coordinated development should be strengthened in the future.

Keywords: NPP/ⅧRS; energy consumption level; urban eco-development system; coupled coordination model

城市作为国家能源消费主体,正常运转需要大量的能源资源支持,因此能源消耗从某些方面展现着城市的发展状况,同时,由此带来的环境污染问题会涉及到整个地区生态,也将制约着地区的可持续发展^[1]。能源、发展和环境间矛盾日益突出,探究相互之间的协调发展程度至关重要^[2-5],目前研究集中于能源、生态、发展之间的相关关系,如秦艳^[6]通过能源足迹分析广西的生态环境和产业发展,彭智敏等^[7]分析了长江经济带的能源消耗、生态环境污染和产业升级之间的关系,Liu等^[8]研究了长江经济带区域能源、经济和生态系统之间的相互作用。也有学者采用不对称和非线性方法研究能源和经济发展的对生态环境的作用^[9]。有部分学者开始综合研究能源、发展和环境系统,并引入了耦合协调模型探究系统间相互作用与协调发展状况的程度,如唐晓灵等^[10]探究了关中平原城市群系统的社会、经济、能源和自然之间的耦合协调关系,王林钰等^[11]基于多系统分析了江苏省能源、社会发展和生态之间的耦合关系。

以往研究中能源消费量数据主要还是由国家与地方统计部门统计,在研究尺度上有较大局限性^[12]。而夜光遥感数据常用于各类社会经济数据方面的遥感反演^[13],该数据也被证明在国家或地区尺度上监测能耗的可行性^[14]。而且以往研究大多将夜光数据与经济指标、城市化等因素联系,但少有从能源消耗这一角度开展与城市生态和发展关系的定量研究。云南省能源消费结构以煤为主,且能源利用率较低,同时也承担着维护生态安全的重要责任。本研究将建立夜光数据与能源消耗间的相关性,以夜间灯光值表征能源消耗量开展与云南省城市生态、发展的耦合关系研究,为城市在快速发展的同时保持生态平衡提供理论依据。

1 研究区概况与数据来源

云南省位于我国西南边陲,与东南亚国家接壤,地

处北纬 21°8′—29°15′,东经 97°31′—106°11′。全省植被覆盖度高,近年来环保措施持续加强,生态环境良好,处于稳定状态。同时云南省煤炭储量大,在工业发展上的能源消耗以煤炭资源占比最重。作为长江经济带重要组成部分,2019年,云南省生产总值 23 223.75 亿元,比 2018 年增长 8.1%,人均 GDP4.93 万元。

研究采用的夜间灯光数据是来自于美国国家海洋和大气管理局的国家地球物理数据中心网站(<http://www.ngdc.noaa.gov/>)的 NPP/ⅧRS 月产品数据,数据时间为 2013—2019 年。研究采用的其他数据包括行政区划数据、社会经济统计数据,其中行政区划数据来自于地理国情监测成果;包括能源消费在内等指标的原始数据主要来源于中国经济社会大数据研究平台(<https://data.cnki.net/>)的 2013—2019 年的云南省统计年鉴、各州市统计年鉴、中国城市统计年鉴,以及相关政府网站的环境状况公报、国民经济和社会发展统计公报。

2 研究方法

2.1 预处理

2.1.1 夜光数据处理 NPP/ⅧRS 夜光数据相对于 DMSP/OLS 夜光数据,空间分辨率和辐射分辨率有了极大提升,在轨辐射校正克服了像元溢出与过饱和现象,提高了数据质量。

为提取城市居住地的人为灯光数据,要剔除掉 NPP/ⅧRS 夜光数据中不产生能耗的孤立极亮像元以及背景噪声数据。首先,分州市选择中心城区内的最高值作为最大灯光阈值,超过阈值如能产生能耗的厂房直接赋值为该城区最大灯光阈值。然后从 Google Earth 影像中分州市行政区选择湖泊、水库等面积较大水域,在其中选择合适采样点,记录下灯光像元值,并计算平均像元值作为最小灯光阈值,将各区域内小于最小灯光阈值的像元赋值为 0,来消除背景噪声值,同时将负值像元全部赋值为 0^[15]。此外,

将所有矢量数据与栅格数据统一坐标系,再利用云南省州市界范围对夜光数据进行裁剪,并将栅格图像重采样为 500 m 网格。研究选取的灯光指数主要是夜间灯光总辐射值,公式如下^[16]:

$$SOL = \sum_{i=DN_{min}}^{DN_{max}} (DN_i \times n_i) \quad (1)$$

式中: SOL 为夜间灯光总辐射值; DN_{max} 和 DN_{min} 分别为灯光数据最大值和最小值; DN_i 和 n_i 分别为行政单元内第 i 级灰度像元值和像元数。

2.1.2 能耗统计数据处理 由于部分州市没有直接的能源消费数据,可以通过计算得到:

$$E_p = GDP \times SCE / 10000 \quad (2)$$

式中: E_p 为地区能源消费总量(万 t 标煤); GDP 为地区生产总值(万元); SCE 为单位 GDP 能耗(t 标煤/万元)。此外,大部分州市缺少研究时间范围内 2018—2019 年的能源消费相关数据,故本研究利用所能获取到的 2013—2017 年时间序列能源消费数据,采用 GM(1, 1) 灰色模型等递推补得到 2018—2019 年云南省各州市能源消耗预测值,且模型构建后验差比 C 值小于 0.35^[17]。

2.2 指标体系构建

2.2.1 指标选取 城市各系统间结构、层次复杂多变,指标选取将影响到该区域生态状态和发展特征的度量

与评价。本研究在借鉴相关文献的基础上^[18],结合云南省实际情况,将云南省的生态系统从环境污染、资源与保护两方面进行综合评价,发展系统从社会水平、经济水平两方面进行综合评价。在选取指标时要充分考虑各层次指标和系统间的相互作用,最终选取了 19 个能够反映城市生态和发展的指标见表 1。此处研究数据主要来源于 2013—2019 年的云南省及各州市统计年鉴,以及相关政府网站公布的统计数据。

为消除原始数据量纲不同,增强指标可比性,选择极差法对原始数据进行标准化处理。

2.2.2 权重计算 采用 SPSS 软件对处理后的指标进行因子分析,并选取累计贡献率大于 85% 的前 n 个主成分指标,已涵盖了原变量的主要信息,且前 n 个主成分是关于 19 个变量的线性组合^[19]。以主成分的方差贡献率为权重,采用加权算术平均进行综合:

$$f = \frac{\sum_{i=1}^n [(L_i / \sqrt{\lambda_i^2}) \cdot C_i]}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (3)$$

式中: f 为指标综合得分模型系数; L_i 为指标所对应第 i 主成分的载荷系数,即分析项和主成分间的相关程度; C_i 为第 i 主成分方差贡献率; λ_i 为第 i 主成分的特征根。

归一化得到最终指标权重见表 1。

表 1 生态-发展系统协调发展评价指标体系系统

Table 1 Evaluation index system of eco-development system

状态层面	评价指标	权重	属性
环境污染	SO ₂ 年平均浓度(mg/m ³)	0.090	-
	工业固体废物产生量(万 t)	0.125	-
	工业废气排放量(亿 m ³)	0.129	-
	工业废水排放量(亿 t)	0.078	-
生态系统	人均水资源量(m ³ /人)	0.128	+
	耕地灌溉面积(万 hm ²)	0.107	+
	建成区绿化覆盖率(%)	0.107	+
	工业固体废物综合利用率(%)	0.118	+
资源与保护	天然湿地面积(m ² /人)	0.119	+
	人口自然增长率(‰)	0.080	-
	医院床位数(万张)	0.107	+
	从业人员(万人)	0.116	+
社会水平	全年货运量(万 t)	0.089	+
	城市人口密度(人/km ²)	0.120	-
	人均 GDP(元/人)	0.118	+
	工业总产值(亿元)	0.105	+
发展系统	农村居民人均可支配收入(元)	0.096	+
	第三产业占比(%)	0.083	+
	固定资产投资增长率(%)	0.088	+
	农村固定资产投资增长率(%)	0.088	+

2.3 耦合协调度模型和计算方法

耦合度主要体现系统内部要素在发展过程中相

互影响程度;而协调度主要度量系统发展过程中内部要素平衡状态及协同一致程度^[20]。城市生态-发展

系统的综合功效是子系统内部所有指标对该系统贡献的综合,可通过线性加权集成方法来得到生态与发展两大系统综合评价指数,反映该系统在整体评价体系中的相对水平:

$$f(x) = \sum_{i=0}^n x_i a_i \quad (4)$$

$$g(y) = \sum_{i=0}^n y_i b_i \quad (5)$$

式中: x_i, y_i 为各系统第 i 个评价指标; a_i, b_i 分别为系统各指标的权重; $f(x), g(y)$ 分别为城市生态和发展系统的综合评价指数。

本研究将能源消耗水平作为一个子系统,并通过灯光总辐射值来表征该指标。借鉴物理学中的系统耦合概念及模型来反映要素间关联程度^[21],即:

$$C = \left[\frac{U_1 \times U_2 \times U_3}{(U_1 + U_2 + U_3)^3} \right]^{1/3} \quad (6)$$

式中: C 为系统间的耦合度; U_n 为各系统的评价指数。耦合度大小由各子系统 U_n 的大小决定,研究涉及 3 个子系统构成的耦合度模型。

为了更好地评判能源消耗水平和城市生态环境的协调发展程度,引入耦合协调度模型来综合反映耦合协调水平:

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 + \delta U_3 \quad (7)$$

$$D = (C \times T)^{1/2} \quad (8)$$

式中: C, D 分别为耦合度和耦合协调度; T 为能源消耗水平和城市生态-发展系统间的综合协调指数。 α, β, δ 为待定系数,参考相关文献^[22],能源消耗是该地区发展最为关键的因素,生态环境是生存与发展的前提,同时,云南省经济水平还有待提高,所以 α, β, δ 赋值为 0.35, 0.4, 0.3。

为更好地理解能耗水平和城市生态-发展间协调发展状况,参考已有研究^[23],系统耦合协调度等级具体分类见表 2。

表 2 耦合协调度等级划分

Table 2 Classification of coupling coordination degree

协调阶段	耦合协调度	阶段细分	协调类型
失调衰退区间	0~0.4	0~0.1	极度失调衰退类型
		0.1~0.2	严重失调衰退类型
		0.2~0.3	中度失调衰退类型
		0.3~0.4	轻度失调衰退类型
过渡调和区间	0.4~0.6	0.4~0.5	濒临失调衰退类型
		0.5~0.6	勉强耦合协调类型
协调发展区间	0.6~1.0	0.6~0.7	初级耦合协调类型
		0.7~0.8	中级耦合协调类型
		0.8~1.0	高度耦合协调类型

3 结果与分析

3.1 灯光数据与统计数据相关性验证

在耦合协调模型中,能耗水平作为一个子系统,为了优化能源消耗数据的获取,通过计算两者线性相关系数来对两者做相关性分析,验证云南省区域夜间灯光总辐射值与能源消费实际值之间的拟合程度,从而利用夜间灯光数据的总辐射值来表征能源消耗水平,结果见图 1。从图 1 可看出,2013—2016 年夜间灯光总强度与能源消费实际值最大拟合度 R^2 为 0.933 9,最小拟合度 R^2 为 0.800 5,总体拟合精度较高。从图 2 可以看出,两者拟合趋势基本一致。结果表明,可用夜间灯光数据的总辐射值来表征能源消耗水平。

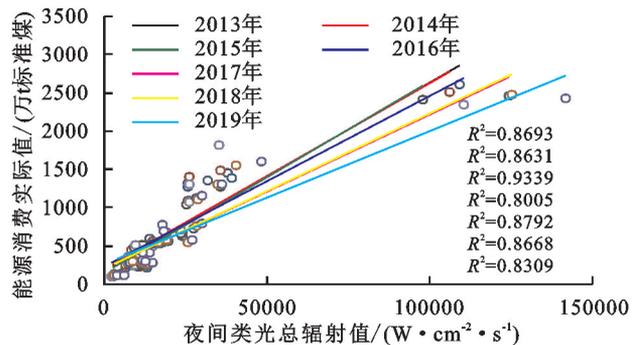


图 1 夜间灯光总辐射值与能源消费实际值相关性验证
Fig. 1 Correlation verification between total radiation value of night light and actual energy consumption value

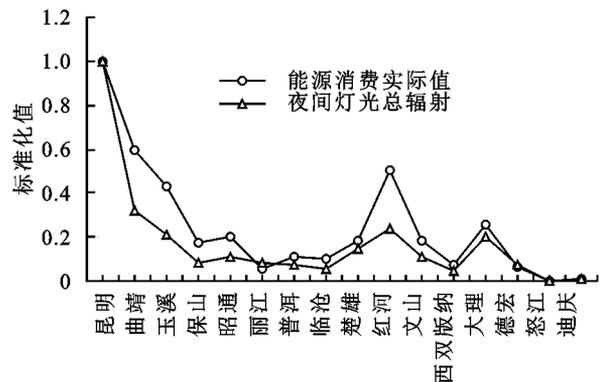


图 2 各州市夜间灯光总辐射与能源消费实际值对比
Fig. 2 Comparison of total radiation value of night light and actual energy consumption in each city

3.2 耦合协调度时空分异特征

以云南省 16 个州市为研究样本,运用耦合协调度量模型,得到 2013—2019 年各州市耦合协调度直方图(图 3)。从图 3 看出,整体上云南省各州市能源消耗水平和城市生态-发展系统耦合协调度指数在 2013—2019 年整体处于上升趋势,近一半州市在 2014 年后变化明显,增长幅度较大,在 2015—2019 年期间趋于平稳。

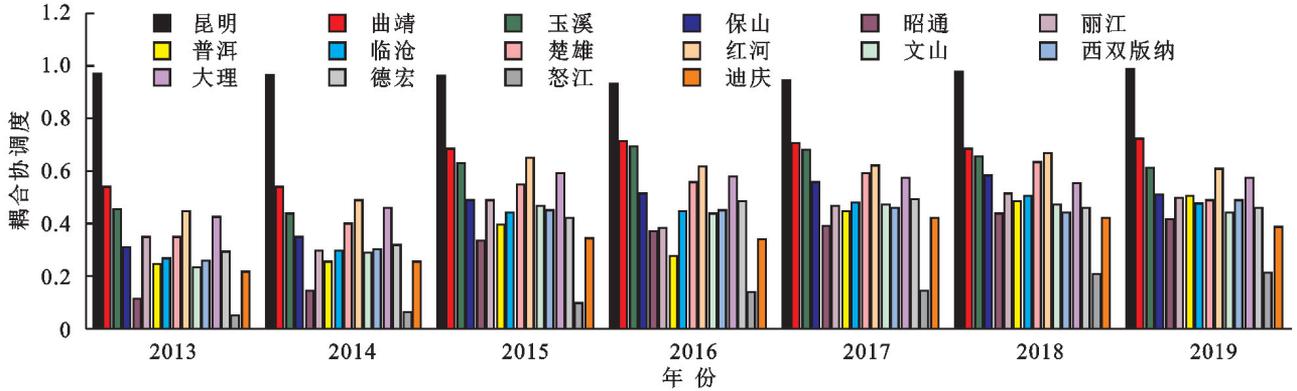


图 3 云南省 16 个州市耦合协调度

Fig. 3 Coupling coordination degree of 16 cities in Yunnan Province

从内部差异看,这些耦合协调度高的区域都集中在经济社会发展水平较高的地区。耦合协调度指数的前 4 个州市分别为昆明、曲靖、红河、玉溪,耦合协调度都处于 0.4~0.7,最大值地区为昆明,耦合协调度指数基本保持在 0.9 以上,昆明是省内能源需求集中地区,同时环境质量综合水平高,能源消耗水平与城市生态和发展之间存在较强的相互作用,耦合协调水平较为稳定。其次曲靖、红河、玉溪等州市整体处于协调发展阶段,未来发展态势良好,曲靖作为云南省第二大城市,早期是依赖煤炭消耗为主的工业体系,随着“十三五”期间产业结构调整,从勉强耦合协调水平达到中级耦合协调水平,玉溪和红河都得益于滇中城市的辐射效应发展较为迅速,因此耦合协调水平处于优势地位,但因其玉溪经济主要与低能耗的烟草制业有关,所以能耗水平相对较低,红河在后期利用能源丰富优势大力发展水电能源,使得能耗水平与城市生态-发展协调程度得到提高,从前期的濒临失调进入初级耦合阶段。耦合协调度较低州市为昭通、怒江、迪庆,值在 0.2~0.4,处于失调衰退阶段,迪庆、怒江主要依靠第一、三产业拉动经济,发展落后于其他州市,进而能源利用与环境治理能力较低,尤其怒江作为深度贫困区,进而耦合协调程度长期处于较低水平,仅从严重失调转为中轻度耦合失调,昭通则相对省会区位上呈边缘化,生态环境较为脆弱,产业也较为单一,后期重点发展高原特色农业及优化绿色能源,由失调衰退进入勉强耦合前期。普洱市、临沧市、保山市、西双版纳等地区尚处于工业化初期,因此能耗与生态、经济间还没有形成较为强烈的相互作用。

从变化幅度来看,昭通市变化最大,其次为楚雄、保山、普洱,这几个州市均为经济欠发达地区,随着城市化建设加快,产业转变过程中对能源利用的差异,同时要兼顾绿色发展理念使得系统间的耦合矛

盾较多,耦合协调指数变化大,因地制宜的特色产业才能促进地区的协调发展。此外,昆明耦合协调度指数变化最小,系统间发展最为稳定,进一步加强低能耗高新技术产业发展将更有利于整个区域的可持续发展。

从耦合协调度均值时间变化(图 4)可看出,云南省各州市的耦合协调度均值从 2013 年的 0.346 到 2015 年的 0.500,增长了 44.51%,2015 年后增长幅度放缓,从 2015—2019 年的 0.524 增长了 4.8%,表明整体上云南省各州市能源消耗水平和城市生态-发展系统耦合协调度指数在 2013—2019 年处于上升趋势,但 2015 年之前,由于云南省经济仍以重工业为主,能源消费结构以煤炭占主体,对环境压力大,云南省各州市能源消耗水平和城市生态-发展系统耦合协调度处于较低水平,在进入“十三五”期间,省内加大推进经济发展模式的转型,优化了能源和产业结构、提高能源利用率,因而进入了过渡调和阶段,未来耦合发展仍有较大空间。

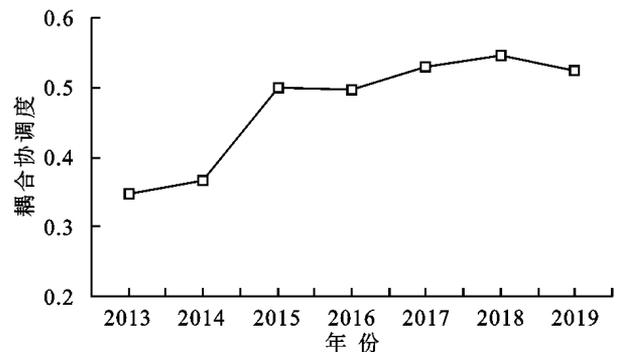


图 4 2013—2019 年云南省各州市耦合协调度均值变化

Fig. 4 The mean change of coupling coordination degree among cities in Yunnan Province from 2013 to 2019

根据耦合协调度等级划分标准,利用 ArcGIS 软件绘制出耦合协调度时空演变图(图 5),从图 5 可看出,云南省各州市耦合协调度存在空间上的分布差

异,且具有明显的聚集趋势,从空间上来看,耦合协调度指数呈现中心辐射的形式,即以昆明为中心向周边城市扩散,耦合协调水平较高的区域主要集中于滇中的昆明、曲靖、红河、玉溪等州市,滇中城市群作为云南省发展资源与人口最为集中的区域,经济发展迅速,同时也更加注重能源结构的优化和效率的提高,以及生态环境的治理,使得耦合协调度水平向优质耦合状态发展。位于滇西北的怒江、迪庆、丽江以及滇东北的昭通,地势高峻,尽管生态资源丰富但环境稳定性差,能源结构单一,城市发展较为滞后,因而耦合协调水平较低。位于滇西南和滇东南的文山、西双版纳、普洱等州市,与东南亚国家接壤的地理优势为城市协调发展提供潜力。同是旅游大城市的大理相较于丽江,在地理位置更具优势,同时产业能源结构更丰富,进而耦合协调度水平更高。2013—2014年大部分州市都处于失调衰退区间,2015—2019年中、重度失调衰退类型的城市由8个下降至2个,而处于耦合协调阶段的的城市由2个增加到了8个,但仅有昆明一直处于着高度协调阶段,这表明云南省大部分城市还处在初级耦合协调阶段,整体协调度较低。随着时间推移,云南省整体耦合协调水平都有提升,这种空间格局的形成可能是由于云南省在经济发展同时优化了能源产业结构,积极环境治理,因而耦合协调水平上升,2015年后耦合协调度趋于稳定,主要因云南省经济仍以重工业为主,能源消费结构以煤炭占主体,对环境压力大,云南省各州市能耗与生态、经济间存在相互制约。

3.3 耦合协调度与子系统评价指数分析

结合图6,可看出综合评价指数呈现与耦合协调度趋势较为一致的走向,同时能耗水平、发展评价指数呈现相对应的一种趋势,表明耦合协调度对各地区能耗水平与发展变化要更敏感。因能源消耗及发展模式的差异性,不同地区反映也不同,能耗水平较高的地区集中于工业发达的昆明、曲靖、红河等州市,同时发展综合评价指数也较高;怒江、昭通的生态评价指数较低,生态失衡会抵消经济建设既得利益。昆明的能耗水平高于发展评价指数及生态评价指数,主要是因为地区发展对能源的需求较大,存在一定依赖性,加大信息、金融服务等产业将有助于进一步降低能耗;怒江、迪庆等地区并不依赖于重工业因而能耗水平不高,同时需要以加大发展为主,玉溪则是因作为支柱产业的烟草制造业能耗相对较低,这些州市发展评价指数高于生态评价指数和能耗水平;而其他大部

分地区的生态评价指数相对高于发展评价指数,耦合协调度会受到一定限制。

4 讨论与结论

4.1 讨论

通过对能耗水平与城市生态和发展协调耦合度的研究,可以得出云南省能耗水平和经济建设、生态环境间相互作用的总体发展趋势。云南省能源消耗主要集中于滇中城市群以及第二产业发达城市,而这些地方也是经济资源集中区域,经济发展必定会带来环境的压力,同时云南省发展主要依赖于高能耗行业,因此能耗水平与地区发展密切相关。在2013—2014年大多州市还处于不同程度的失调阶段,随着云南省经济结构逐渐转型,环境保护和治理力度的加大,2015—2019年缓慢进入了过渡协调阶段,东部转型成功的城市更早进入了耦合协调阶段。

(1) 耦合协调程度较高的州市,随着经济活动增多,能源消耗也将随之增加,应依托于优势,注重生态环境的保护与修复,降低高污染,高能耗的行业比重,进一步加强高新技术产业发展,优化产业资源配置将更有利于整个区域的可持续发展。

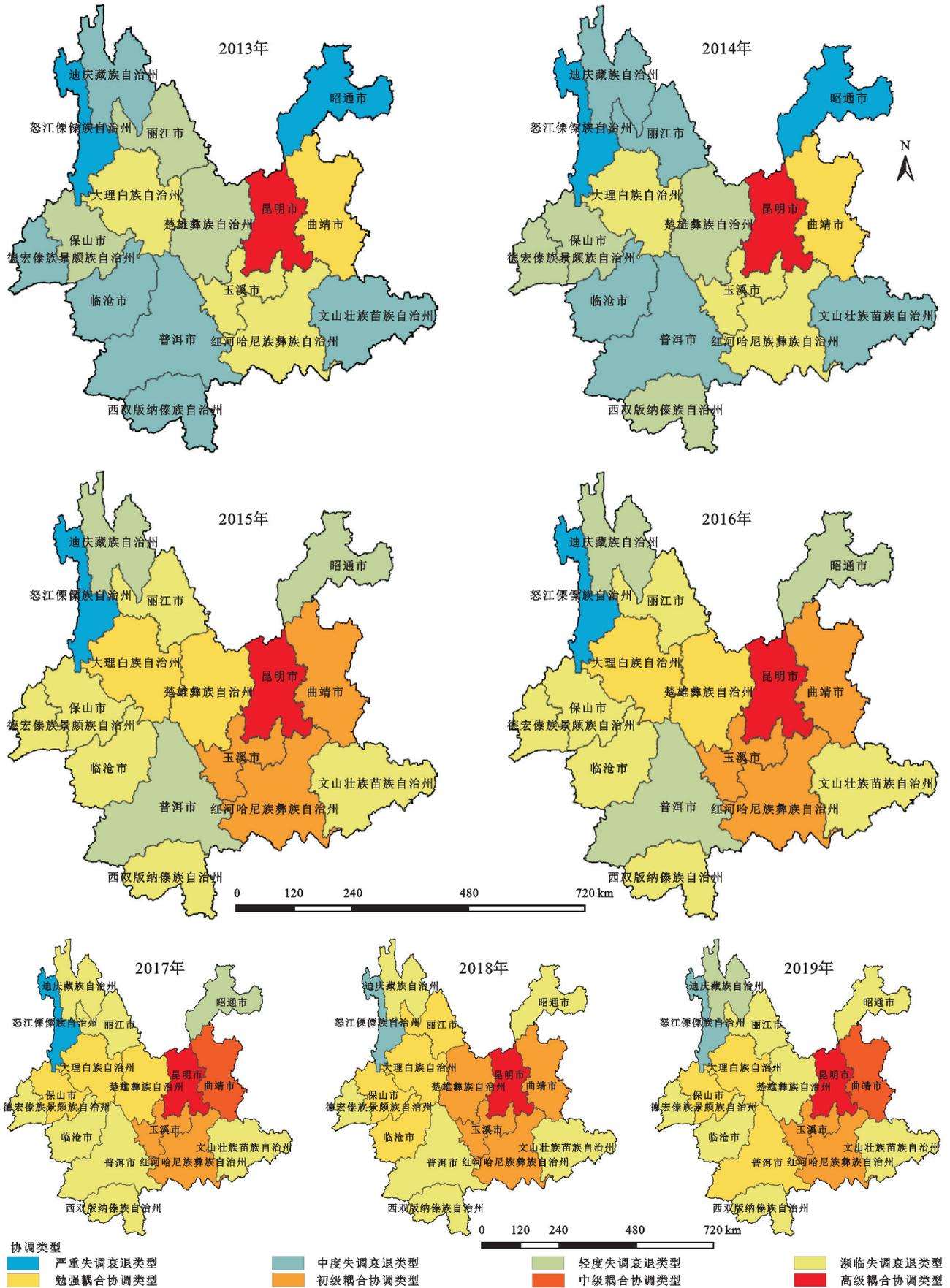
(2) 耦合协调程度较低的州市,大多地理位置处于劣势,经济开发程度低,同时能耗水平不高,能源利用率低,生态资源丰富但也较为脆弱,在保护和利用生态资源前提下,应推动文旅产业发展,加快与其他产业建设与融合。

(3) 大部分州市发展都以工业为主,短期内改变产业结构并不利于地区经济发展,应注重绿色高效能源的使用,在促进经济同时进一步探索产业转型的合理性,同时打造地方特色产业,避免依靠单一产业限制发展。

研究中将综合了经济和社会水平的发展系统代替常用以分析的经济系统,与生态和能耗间的相互作用会有所不同。对于不能产生灯光信息的相关产业地区拟合度会偏低以及采煤,炼钢等发达区域会偏高这一影响没有深入研究,未来可以加入多源数据来弥补单一夜光数据的不足。

4.2 结论

当前云南经济增长仍依赖于能源消费结构以煤为主的高能耗产业,因此利用NPP/VIIRS夜间灯光数据能很好地表征该地区的能源消耗并反映发展状况。运用耦合协调度模型来得到2013—2019年云南省16个州市能耗和城市生态与发展的耦合协调水平指数,并分析其时空特征,研究结果得出:



注:基于标准地图服务系统下载的标准地图GS(2019)1822号的标准地图制作,底图未做修改,下图同。

图 5 云南省 2013—2019 年耦合协调度指数空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of coupling coordination degree index in Yunnan Province from 2013 to 2019

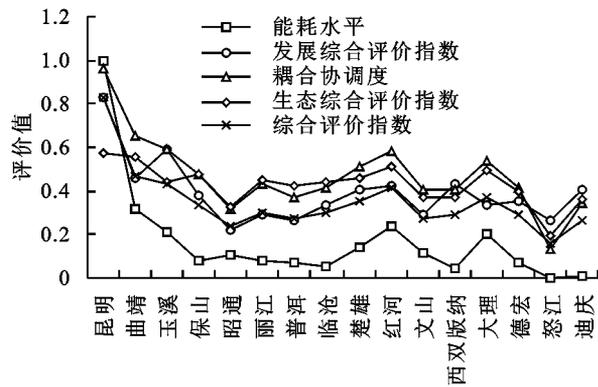


图6 云南省各州市耦合度和评价指数均值对比

Fig. 6 Comparison of coupling degree and mean value of evaluation index among cities in Yunnan province

(1) 随着2013—2019年发展,云南省整体能耗水平与城市生态—发展耦合协调发展状况总体向着更高程度方向发展,2013—2015年耦合协调度增长最大为44.51%,各州市之间耦合程度差异较大;

(2) 2013—2019年,昆明耦合协调指数在0.9以上,处于高度协调阶段,曲靖由初级耦合阶段后期进入中级耦合阶段前期,红河,玉溪从濒临失调进入初级耦合阶段。迪庆和怒江由重度失调进入轻中度失调阶段,其他州市耦合协调指数均分布在0.3~0.5,从早期的失调阶段进入了初级耦合协调阶段。

(3) 滇中城市群的耦合协调程度高于云南省其他地区,滇西北和滇东北城市长期处于失调阶段,云南省整体上发展仍不平衡,耦合协调发展还有很大空间。

(4) 各地区能耗水平与发展综合评价指数变化对耦合协调度影响较大,同时不同地区存在相应的差异,能耗水平与城市生态环境及经济发展的协调是相互作用与制约的。

参考文献:

- [1] 高楠楠,曾辉,李芬.基于夜间遥感和POI的荆门市能耗空间定量分析[J].地球信息科学学报,2021,23(5):891-902.
Gao N N, Zeng H, Li F. Spatial quantitative analysis of urban energy consumption based on night-time remote sensing data and POI[J]. Journal of Geo-Information Science, 2021,23(5):891-902.
- [2] 曹成龙,殷艺桐,林刚,等.区域能源-经济-环境系统耦合协调演化特征:以宁波市为例[J].科技导报,2020,38(11):70-77.
Cao C L, Yin Y T, Lin G. The coupling coordination characteristics of regional energy-economy-environment system: A case study of Ningbo City [J]. Science and Technology Review, 2020,38(11):70-77.
- [3] 张静,鲁春霞,谢高地,等.北京城市能源消费的生态与环境压力研究[J].资源科学,2015,37(6):1133-1140.

- Zhang J, Lu C X, Xie G D, et al. Energy consumption and the pressure of ecological environment research in Beijing[J]. Resources Science, 2015,37(6):1133-1140.
- [4] 逯进,常虹,赵少平,等.山东省能源、经济与环境耦合关系的演化特征[J].经济地理,2016,36(9):42-48.
Lu J, Chang H, Zhao S P, et al. The evolution of coupling relationship among energy, economy and environment in Shandong Province[J]. Economic Geography, 2016,36(9):42-48.
- [5] 黄和平,王丽影.基于能源代谢分析的南昌市能源消费碳排放综合生态效率研究[J].生态学报,2017,37(12):4191-4197.
Huang H P, Wang L Y. EMA-based analysis on the eco-efficiency of carbon emission of energy consumption: A case study of Nanchang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017,37(12):4191-4197.
- [6] 秦艳.广西区域产业发展、经济增长与生态环境关系研究:基于能源足迹的分析[J].广西社会科学,2015(2):15-20.
Qin Y. The relationship between regional industrial development, economic growth and ecological environment research in Guangxi: Based on the analysis of energy footprint[J]. Social Sciences in Guangxi, 2015(2):15-20.
- [7] 彭智敏,吴晗晗.长江经济带能源消费、生态环境污染与产业转型升级[J].长江流域资源与环境,2022,31(8):1694-1704.
Pen Z M, Wu H H. Energy consumption, eco-environmental pollution and industrial restructuring and upgrading in Yangtze River Economic Belt[J]. Resource and Environment in the Yangtze Basin, 2022,31(8):1694-1704.
- [8] Liu J, Tian Y, Huang K, et al. Spatial-temporal differentiation of the coupling coordinated development of regional energy-economy-ecology system: A case study of the Yangtze River Economic Belt[J]. Ecological Indicators, 2021,124:107394.
- [9] Baz K, Xu D Y, Ali H, et al. Asymmetric impact of energy consumption and economic growth on ecological footprint: Using asymmetric and nonlinear approach[J]. Science of the Total Environment, 2020,718:137364.
- [10] 唐晓灵,冯艳蓉,杜莉.产业结构调整与能源生态效率的演变特征及耦合关系:以关中平原城市群为例[J].技术经济,2021,40(4):58-64.
Tang X L, Fen Y R, Du L. The evolution characteristics and coupling relationship between industrial structure adjustment and energy eco-efficiency: Taking Guanzhong Plain Urban Agglomeration as an example[J]. Journal of Technology Economics, 2021,40(4):58-64.
- [11] 王林钰,陈浩,陈思源,等.城市层面能源-经济-环境-社会耦合协调发展的动态演化与实证分析:以江苏省为

- 例[J].北京理工大学学报:社会科学版,2022,24(1):51-64.
- Wang L Y, Chen H, Chen S Y, et al. Dynamic evolution and empirical analysis of coordinated and coupling development of energy-economy-environment-society at urban level: A case study of Jiangsu Province[J]. Journal of Beijing Institute of Technology: Social Sciences Edition, 2022, 24(1): 51-64.
- [12] 张慧琳.基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的中国能源消费碳排放时空变化特征及驱动力研究[D].兰州:兰州大学,2019.
- Zhang H L. Temporal and spatial variation characteristics and driving forces of carbon emission from energy consumption in China using DMSP/OLS nighttime light[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2019.
- [13] 余柏菡,王丛笑,宫文康,等.夜间灯光遥感与城市问题研究:数据、方法、应用和展望[J].遥感学报,2021,25(1):342-364.
- Yu B L, Wang C X, Gong W K, et al. Nighttime light remote sensing and urban studies: Data, methods, applications, and prospects [J]. National Remote Sensing Bulletin, 2021, 25(1): 342-364.
- [14] 李峰,张晓博,廖顺宝,等.DMSP-OLS 与 NPP-Ⅷ RS 夜间灯光数据测算统计指标能力评估:以京津冀地区县域 GDP、人口及能源消耗为例[J].测绘通报,2020(9):89-93.
- Li F, Zhang X B, Miu S B, et al. Capability assessment of DMSP-OLS and NPP-Ⅷ RS nighttime light data estimating statistical indicators: A case of county-level GDP, population and energy consumption in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020(9): 89-93.
- [15] Ma T, Zhou C, Pei T, et al. Responses of Suomi-NPP Ⅷ RS-derived nighttime lights to socioeconomic activity in China's cities[J]. Remote Sensing Letters, 2014, 5(2): 165-174.
- [16] 魏凯艳,孙九林,张仲伍,等.基于 NPP-Ⅷ RS 夜间灯光数据的山西省 GDP 空间化模拟[J].浙江大学学报:理学版,2021,48(6):735-740.
- Wei K L, Sun J L, Zhang Z W, et al. Simulation of Shanxi Province's GDP spatial distribution based on NPP-Ⅷ RS night light data[J]. Journal of Zhejiang University: Science Edition, 2021, 48(6): 735-740.
- [17] 何伟,王奇,喻文杰,等.基于 ARMA 和 GM(1,1)模型预测四川省新发现棘球蚴病患者检出率变化趋势[J].中国寄生虫学与寄生虫病杂志,2021,39(2):185-190.
- He W, Wang Q, Yu W J, et al. Trend prediction on the detection rate of newly discovered echinococcosis patients in Sichuan Province based on ARMA and GM (1,1) models[J]. Chinese Journal of Parasitology and Parasitic, 2021, 39(2): 185-190.
- [18] 孙久文,崔雅琪,张皓.黄河流域城市群生态保护与经济发展耦合的时空格局与机制分析[J].自然资源学报,2022,37(7):1673-1690.
- Sun J W, Cui Y Q, Zhang H. Spatio-temporal pattern and mechanism analysis of coupling between ecological protection and economic development of urban agglomerations in the Yellow River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(7): 1673-1690.
- [19] 颜惠琴,牛万红,韩惠丽.基于主成分分析构建指标权重的客观赋权法[J].济南大学学报:自然科学版,2017,31(6):519-523.
- Yan H Q, Niu W H, Han H L. Objective weight method based on principal component analysis to establish index weight [J]. Journal of University of Jinan: Science and Technology, 2017, 31(6): 519-523.
- [20] 王瑛,缪勤.省域经济与环境动态综合评价及耦合协调度[J].湖南大学学报:社会科学版,2021,35(4):63-68.
- Wang Y, Miu Q. The dynamic comprehensive evaluation and coupling coordination measurement of provincial economy and environment[J]. Journal of Hunan University: Social Sciences, 2021, 35(4): 63-68.
- [21] 赵建吉,刘岩,朱亚坤,等.黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素[J].资源科学,2020,42(1):159-171.
- Zhao J J, Liu Y, Zhu Y K, et al. Spatiotemporal differentiation and influencing factors of the coupling and coordinated development of new urbanization and ecological environment in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 159-171.
- [22] 王大本,冯石岗.基于 WSR 方法论和熵值-耦合协调度的水资源承载力综合评价:以河北省水资源承载力研究为例[J].节水灌溉,2018(3):49-54.
- Wang D B, Feng S G. Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity based on WSR methodology and entropy-coupled coordination degree: A case study of water resources carrying capacity in Hebei Province [J]. Water Saving Irrigation, 2018(3): 49-54.
- [23] 郑铁明,周鹏飞.中国西部城市经济发展与生态环境耦合协调:基于绿色发展视角的研究[J].科技管理研究,2022,42(13):209-215.
- Zheng T M, Zhou P F. Coupling and coordination of high-quality economic development and environment in western cities of China: From the perspective of green development[J]. Science and Technology Management Research, 2022, 42(13): 209-215.