

四川省能源和粮食生产用水竞争及与经济关系研究

康银红¹ 贺 帅¹ 王嘉驰¹ 倪铁峰¹ 王君勤²

(1. 四川农业大学水利水电学院, 雅安 625014; 2. 四川省水利科学研究院, 成都 610072)

摘要: 水-能源-粮食系统存在相互依存、相互制约的复杂关系, 量化该系统的相互关系, 对于合理配置和协调利用水、能源和粮食资源, 促进区域社会经济的可持续发展具有重要意义。本文运用能源和粮食生产水足迹模型、竞争指数模型、脱钩理论及锡尔指数等方法, 核算分析了四川省 2009—2019 年能源和粮食生产水足迹及其时空变化特征, 以及能源和粮食生产对水的竞争关系, 探究了水足迹和地区生产总值的内在联系。研究结果表明: 能源和粮食生产水足迹均呈上升趋势。能源生产蓝水足迹年均值为 $5.45 \times 10^9 \text{ m}^3$, 占能源生产水足迹的 93.76%; 粮食生产蓝水足迹年均值为 $1.06 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 占粮食生产水足迹的 26.02%, 绿水足迹的贡献率超过蓝水足迹和灰水足迹之和, 占比 53.06%。四川省能源和粮食生产对水的竞争指数呈上升趋势, 增幅为 42.69%。由于川西北生态示范区和攀西经济区等地区兼顾粮食和水电生产, 其竞争指数明显高于其他地区。四川省水足迹和地区生产总值的脱钩关系为弱脱钩, 处于相对协调发展状态, 说明经济发展对用水量的控制状态相对较好; 水足迹强度总差异呈扩张趋势, 说明四川省用水效率不均衡性逐渐扩大, 但研究后期有所下降, 发展逐渐趋同。该研究可为四川省水资源调配、能源开发和粮食生产提供建议, 也可为该地区优化经济发展方式以及用水效率的协同发展提供参考。

关键词: 水足迹; 竞争指数; 脱钩分析; 锡尔指数; 四川省

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2024)03-0300-11

OSID:



Water Competition and Economic Relationship between Energy and Food Production in Sichuan Province

KANG YinHong¹ HE Shuai¹ WANG Jiachi¹ NI Tiefeng¹ WANG Junqin²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China

2. Sichuan Water Resources Scientific Research Institute, Chengdu 610072, China)

Abstract: There is a complex relationship of interdependence and mutual constraint in the water-energy-food system, and quantifying the interrelationships of the water-energy-food system is of great significance for the rational allocation and coordinated utilization of water, energy and food resources, as well as for promoting sustainable socio-economic development in the region. The models of energy and food production water footprint, competition index, decoupling theory and Theil index were applied to calculate and analyze the spatiotemporal variation characteristics of the water footprint of energy and food production in Sichuan Province from 2009 to 2019. It also explored the competition relationship between energy and food production for water and investigated the inherent connection between water footprint and gross domestic product (GDP). The research findings were as follows: both the water footprint of food production and the water footprint of energy production showed an increasing trend. The annual average blue water footprint of energy production was $5.45 \times 10^9 \text{ m}^3$, accounting for 93.76% of the water footprint of energy production. The annual average blue water footprint of food production was $1.06 \times 10^{10} \text{ m}^3$, accounting for 26.02% of the water footprint of food production, and the contribution of the green water footprint exceeded the sum of blue water footprint and grey water footprint, accounting for 53.06%. The competition index of water for energy and food production in Sichuan Province was on the rise, with an increase of 42.69%. Due to the consideration of both food and hydropower production in areas such as the Ecological Demonstration Zone in Northwest Sichuan and the Panxi Economic Zone,

收稿日期: 2023-07-12 修回日期: 2023-11-13

基金项目: 联合国教科文组织项目(4500469020)和四川省水利厅部门协作科研项目(SKY-2020-SJZX-16)

作者简介: 康银红(1979—), 女, 副教授, 博士, 主要从事农业水土资源与环境研究, E-mail: kangyinHong@sicau.edu.cn

their competition index was significantly higher than that in other areas. The decoupling relationship between the water footprint and GDP of Sichuan Province was weakly decoupling and in a state of relatively coordinated development, indicating that economic development had a relatively good state of control over water consumption. The total difference in water footprint intensity showed an expanding trend, indicating that the unevenness of water use efficiency in Sichuan Province was gradually expanding, but it declined in the later period of the study, with a gradual convergence of development. The research result can provide suggestions for water resource allocation, energy development and food production in Sichuan Province, as well as for optimizing the economic development approach and the coordinated development of water use efficiency.

Key words: water footprint; competition index; decoupling analysis; Theil index; Sichuan Province

0 引言

水、能源和粮食是人类生存和社会发展的基础性战略资源,是人类实现社会-经济-环境永续发展的根本保障^[1]。随着人口快速增长和社会经济快速发展,3种资源的供给压力越来越大,到2030年全球对水、能源和粮食的需求将分别上升约40%、50%和35%^[2],如何应对资源短缺并满足需求增长已经成为全球性问题。水、能源和粮食三者间相互依存、相互竞争,关系错综复杂,任何一个子系统的变化都会对其他子系统产生不同程度的影响,甚至会对整个系统产生冲击,忽视三者间的相互联系可能会导致不可预见的后果^[3]。目前,水、能源和粮食的系统风险问题日益突出,3种资源的安全受到不同程度的威胁,科学分析三者间的相互关系对于促进三者的协调发展、提升资源利用效率、增强系统弹性等意义增大,有助于实现区域可持续发展目标^[4]。

2011年的波恩会议首次将水-能源-粮食的关系总结为一种“纽带关系”,被称为水-能源-粮食关系的里程碑事件^[5]。2013年联合国亚太经济社会理事会发布的《亚太地区水-粮食-能源纽带关系报告》中,提出“纽带关系”在时间和空间上具有紧密联系的特征^[1]。2018年世界水论坛认为水、能源和粮食的可持续管理是彼此相连的,并将生态系统纳入到“纽带关系”中。目前,国内外学者从安全^[6-8]、风险^[9-11]、优化^[12-14]、压力^[15-17]以及耦合协调关系^[18-20]等方面进行了大量研究。此外,也有众多学者将外部因素纳入到水-能源-粮食系统,YANG等^[21]模拟了气候变化对巴基斯坦印度河流域农业水-能源-粮食关系的影响;MELO等^[22]将森林生态系统纳入到水-能源-粮食系统,强调森林景观恢复是改善水、能源和粮食安全的一项有前景的战略;SARAY等^[2]构建了一个考虑碳排放的农业水-能源-粮食优化模型;顾茉莉等^[23]对长江经济带水-能源-粮食-土地耦合协调机理进行了研究。

然而,关于能源和粮食生产用水竞争及与经济关系的研究较少。能源和粮食生产的用水竞争是水-能源-粮食关系的重要组成部分,如果不能进行有效地描述和解决,可能会导致农业和能源部门间的冲突,并威胁到区域能源和粮食安全^[24]。用水竞争指数可以为水、能源和粮食的优化配置提供参考。竞争指数过小,可能会导致产量不足,不能满足自给率;竞争指数过大,可能会产生能源和粮食过剩甚至是外流现象,内嵌的虚拟水流动会加剧水资源压力,倒逼资源优化配置。水资源与经济发展的关系非常密切,它们之间的不匹配会严重制约经济增长,也会对能源和粮食安全产生不利影响。分析水资源与经济的内在关系,可以对优化经济发展方式及减弱其对用水量的控制以及用水效率的协同发展等提供建议。因此,开展能源和粮食生产的用水竞争以及水资源与经济关系的研究十分必要。

本文以四川省为例,采用水足迹模型和竞争指数模型,分析能源和粮食生产的用水竞争,并运用脱钩理论及锡尔指数,探讨能源和粮食生产水足迹和地区生产总值的内在联系,以期为该省的水资源调配、能源开发与粮食生产及经济高质量发展提供建议。

1 研究区概况

四川省位于中国西南地区,水资源总量较为丰富,多年平均水资源总量为 $2.62 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ^[25],其中甘孜藏族自治州、阿坝藏族羌族自治州、凉山彝族自治州3州拥有全省60%的水资源量,区域分布差异显著,降水量主要集中在夏季(50%~60%)和秋季(20%~25%),季节分配不均^[26];2019年一次能源生产量为 $2.01 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤^[27],作为最大的水电开发和西电东送基地,水能资源理论蕴藏量占全国的21.2%,仅次于西藏自治区^[28];四川省也是一个农业大省,2019年粮食种植面积 $6.28 \times 10^6 \text{ hm}^2$,居全国第7位,产量 $3.5 \times 10^7 \text{ t}$,居全国第9位^[29]。按照四川省“一千多支,五区协同”的区域发展新格局,全省划分为五大经济区,四川省行政区域及经济

分区见图 1(资阳市缺失能源数据)。

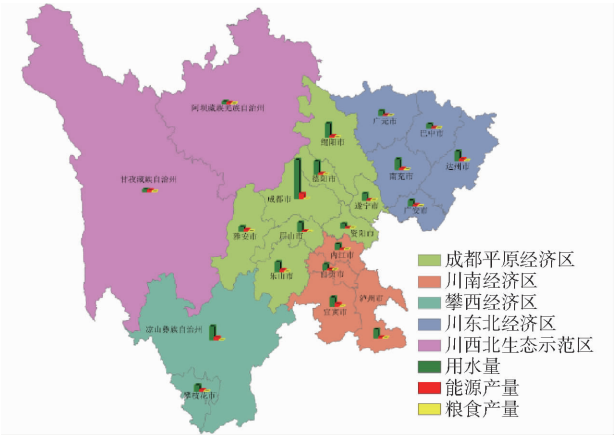


图 1 四川省行政区域及经济分区图

Fig. 1 Administrative region and economic zoning map of Sichuan Province

2 研究方法和数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 能源生产水足迹模型

能源生产水足迹模型是在 ISO 标准水足迹方法上^[30]构建的,采用生命周期法对能源的水足迹进行核算,涵盖能源开采、加工及废弃物处理等过程。能源水足迹包括生产过程中的直接水足迹及各种投入所带来的间接水足迹,分为蓝水足迹和灰水足迹,蓝水足迹是指在生产过程中对地表径流与地下水的消耗,灰水足迹是指稀释被污染的水至排放标准的耗水量^[31]。本文所指的能源包括化石能源(煤、石油和天然气)和电力能源(火力发电和水力发电),计算式为^[31]

$$E_p = E_d + E_{ind} = E_{d,b} + E_{d,g} + E_{ind,b} + E_{ind,g} = \sum_{m=1}^z (E_{m(d,b)} + E_{m(d,g)}) + \sum_{n=1}^z (E_{n(ind,b)} + E_{n(ind,g)}) \quad (1)$$

式中 E_p ——能源单位产量水足迹, m^3/GJ
 E_d ——能源生产过程的直接单位产量水足迹, m^3/GJ
 E_{ind} ——能源生产过程的间接单位产量水足迹, m^3/GJ
 $E_{d,b}$ ——能源生产过程的直接单位产量蓝水足迹, m^3/GJ
 $E_{d,g}$ ——能源生产过程的直接单位产量灰水足迹, m^3/GJ
 $E_{ind,b}$ ——能源投入的间接单位产量蓝水足迹, m^3/GJ
 $E_{ind,g}$ ——能源投入的间接单位产量灰水足迹, m^3/GJ

$E_{m(d,b)}$ ——第 m 个生产过程的直接单位产量蓝水足迹, m^3/GJ
 $E_{m(d,g)}$ ——第 m 个生产过程的直接单位产量灰水足迹, m^3/GJ
 $E_{n(ind,b)}$ ——第 n 类能源投入的间接单位产量蓝水足迹, m^3/GJ
 $E_{n(ind,g)}$ ——第 n 类能源投入的间接单位产量灰水足迹, m^3/GJ
 m ——生产过程序号
 n ——能源类别序号

能源生产水足迹计算式为^[31]

$$E = \sum_{n=1}^z E_{p,n} P_n \quad (2)$$

式中 E ——能源生产水足迹, m^3
 $E_{p,n}$ ——第 n 类能源的单位产量水足迹, m^3/GJ
 P_n ——第 n 类能源产量, GJ

2.1.2 粮食生产水足迹模型

粮食(谷物、薯类和豆类)生产水足迹分为蓝水足迹、绿水足迹和灰水足迹。蓝水足迹指粮食生产过程中对地表水或地下水的消耗,绿水足迹指粮食生产过程中对有效降雨量的消耗,灰水足迹指粮食生产过程中稀释化肥、农药等所需的水资源。计算式为^[32-33]

$$F = F_{\text{blue}} + F_{\text{green}} + F_{\text{grey}} \quad (3)$$

$$\text{其中} \quad F_{\text{blue}} = I_{WF} S_{IF} = \frac{I_W S}{S_F + \alpha S_E} \frac{S_I S_F}{S} \quad (4)$$

$$F_{\text{green}} = \frac{10^5 P_e S_F}{\lambda} \quad (5)$$

$$P_e = \begin{cases} P(125 - 0.6P)/125 & (P \leq 250/3 \text{ mm}) \\ 125/3 + 0.1P & (P > 250/3 \text{ mm}) \end{cases} \quad (6)$$

$$F_{\text{grey}} = \frac{\delta R}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}} \quad (7)$$

式中 F ——粮食生产水足迹, m^3
 F_{blue} ——粮食生产蓝水足迹, m^3
 F_{green} ——粮食生产绿水足迹, m^3
 F_{grey} ——粮食生产灰水足迹, m^3
 I_{WF} ——粮食单位面积灌溉用水量, mm
 S_{IF} ——粮食灌溉面积, hm^2
 I_W ——平均单位面积灌溉用水量, mm
 S ——作物播种面积, hm^2
 S_F ——粮食作物播种面积, hm^2
 α ——经济作物与粮食作物的综合灌溉定额比
 S_E ——经济作物播种面积, hm^2
 S_I ——有效灌溉面积, hm^2
 P_e ——粮食作物生育期的旬有效降雨量, mm
 λ ——粮食复种指数

P ——粮食作物生育期内旬降水量,mm
 δ ——淋溶率,一般为 10%
 R ——氮肥使用量,kg
 $C_{\max}$ ——水体允许的最大污染物质量浓度,kg/m³
 C_{nat} ——自然本底质量浓度,kg/m³

2.1.3 能源和粮食生产对水的竞争指数模型
竞争指数计算式为^[34]

$$C_I = 2 \sqrt{I_E I_F} = 2 \sqrt{\frac{E_{\text{blue}}}{W_u} \frac{F_{\text{blue}}}{W_u}} \tag{8}$$

式中 C_I ——能源和粮食生产对水的竞争指数
 I_E ——能源蓝水足迹与区域用水量比值
 I_F ——粮食蓝水足迹与区域用水量比值
 E_{blue} ——能源蓝水足迹,m³
 W_u ——区域用水量,m³

根据文献[35],对竞争指数进行等级划分,见表 1。

表 1 竞争指数等级划分

Tab.1 Competition index classification

等级	弱竞争	中等竞争	强竞争	激烈竞争
C_I	[0,1)	[1,1.5)	[1.5,2)	≥ 2

2.1.4 脱钩理论模型

Tapio 脱钩理论模型^[36]利用弹性脱钩指数来衡量脱钩程度,常用于研究资源环境与经济间的脱钩关系。本文基于水足迹和地区生产总值建立脱钩模型,以衡量水足迹与地区生产总值的脱钩关系。计算式为

$$D_e = \frac{\Delta W_F}{\Delta GDP} = \frac{(W_{F,t+1} - W_{F,t})/W_{F,t}}{(GDP_{t+1} - GDP_t)/GDP_t} \tag{9}$$

式中 D_e ——脱钩指数
 W_F ——水足迹(能源和粮食水足迹之和),m³
 GDP ——地区生产总值,元
 ΔW_F ——水足迹变化率
 ΔGDP ——地区生产总值变化率
 t ——计算起始年
 $t+1$ ——计算末端年

根据文献[37-38],脱钩类型见表 2。

表 2 水足迹与地区生产总值脱钩关系类型

Tab.2 Type of decoupling relationship between water footprint and GDP

脱钩类型	ΔW_F	ΔGDP	D_e	意义
强脱钩	<0	>0	<0	协调发展型
弱脱钩	>0	>0	[0,0.8)	相对协调型
增长连接	>0	>0	[0.8,1.2)	增长连接型
扩张负脱钩	>0	>0	≥ 1.2	粗放发展型

2.1.5 锡尔指数模型

锡尔指数是 THEIL 等利用信息理论中的熵概念在测度收入不平等时提出的。锡尔指数通过将研究区整体划分为多个区域,不仅能够度量整体差异水平,还可区分区域间和区域内差异,进而分析差异产生的原因,从而解释差距的来源及演变趋势^[39]。锡尔指数越大,差异性越大。本文采用该指数量化四川省水足迹强度(水足迹和地区生产总值比值)的差异程度,计算式为^[39-40]

$$T_h = T_{BR} + T_{WR} = \sum_{i=1}^x v_i \ln \frac{v_i}{d_i} + \sum_{i=1}^x v_i \left(\sum_{j=1}^y v_{ij} \ln \frac{v_{ij}}{d_{ij}} \right) \tag{10}$$

式中 T_h ——总锡尔指数
 T_{BR} ——区域间差异指数
 T_{WR} ——区域内差异指数
 x ——区域数
 y ——区域内市(州)数
 v_i —— i 区域水足迹占全省水足迹的份额
 v_{ij} —— i 区域内 j 市(州)水足迹占全省水足迹的份额
 d_i —— i 区域地区生产总值占全省地区生产总值的份额
 d_{ij} —— i 区域内 j 市(州)地区生产总值占全省地区生产总值的份额

2.2 数据来源

所需数据包括四川省(除资阳市)2009—2019 年粮食作物和经济作物的播种面积、有效灌溉面积、耕地面积、能源生产量、降雨量、粮食作物生育期及氮肥使用量。数据主要来源于 2010—2020 年《四川省统计年鉴》及各市(州)统计年鉴、《四川省水资源公报》及各市(州)水资源公报、《中国能源统计年鉴》、国家气象科学数据共享服务平台(<http://data.cma.cn/>)、《中国主要农作物生育期图集》^[41]及《全国农产品成本收益资料汇编》。

3 结果与分析

3.1 能源生产水足迹时空分布特征

2009—2019 年四川省能源生产水足迹见图 2。从图 2 可以看出,四川省能源生产水足迹逐年增加,增幅为 136.45%,这与社会经济不断发展,能源产量不断增加等密不可分;蓝水足迹从 2.74×10^9 m³ 增加到 7.21×10^9 m³,年均值为 5.45×10^9 m³,占能源生产水足迹的 93.76%,这是因为四川省不断推进国家清洁能源示范省、优质清洁能源基地建设,清洁能源(特别是水力发电)生产能力显著增强,水力发电量从 2009 年的 1.07×10^{11} kW·h 到 2019 年的

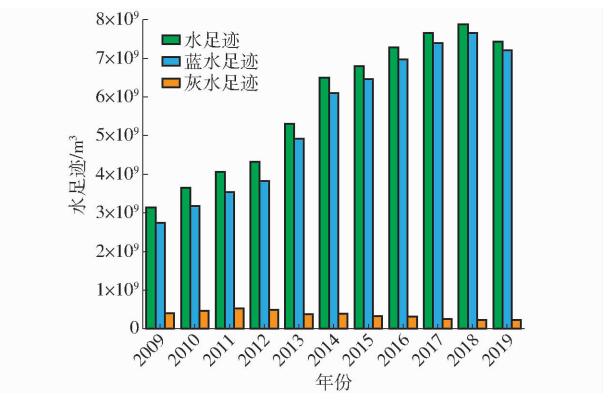


图 2 2009—2019 年四川省能源生产水足迹
Fig. 2 Water footprint of energy production in Sichuan Province from 2009 to 2019

3.32 × 10¹¹ kW·h,增幅为 210.28%,清洁替代、电能替代加快推进;灰水足迹在波动中呈下降趋势,从 3.99 × 10⁸ m³ 降到 2.22 × 10⁸ m³,降幅为 44.36%,主要是四川省原煤产量不断降低,持续推进深化煤炭清洁利用,而且“十三五”期间关停落后煤电机组 17 台、煤矿 339 处,不断推进火电结构优化和煤炭清洁化生产利用,统筹推进化石能源压减^[42]。

选取 2009、2012、2015、2019 年分析四川省各市(州)的能源生产水足迹时空分布特征,结果见图 3。由图 3 可以看出,自贡市、泸州市、内江市、南充市、眉山市及广安市能源生产水足迹呈下降趋势,降幅最大的为泸州市,为 43.55%,其中化石能源水足迹的贡献最大;其余市(州)呈上升趋势,增幅最大的为凉山彝族自治州,为 960.75%,其中水力发电水

足迹的贡献最大。能源生产水足迹空间差异较大,这与各市(州)的能源资源禀赋、能源开发条件和技术不尽相同相关,高值主要分布凉山彝族自治州、甘孜藏族自治州、雅安市、乐山市及宜宾市,主要是这些地区水能资源丰富,且水力发电单位水足迹高于化石能源和火力发电^[31],因此这些地区水力发电水足迹明显高于其他地区。随着时间的推移,各市(州)的化石能源和火力发电水足迹比重越来越小,这与四川省促进能源结构转型升级,统筹推进化石能源压减和火电结构优化,加快建设国家清洁能源示范省和全国优质清洁能源基地的能源发展规划相一致。

3.2 粮食生产水足迹时空分布特征

2009—2019 年四川省粮食生产水足迹见图 4。由图 4 可知,四川省粮食生产蓝水足迹从 1.02 × 10¹⁰ m³ 增加到 1.05 × 10¹⁰ m³,增幅为 2.94%,总体来说趋于稳定,其中年均蓝水足迹为 1.06 × 10¹⁰ m³,占年均农业用水量的 75.92%,说明农业用水的大部分用于粮食灌溉,因此需要提高粮食灌溉效率。粮食生产绿水足迹从 1.48 × 10¹⁰ m³ 增加到 3.03 × 10¹⁰ m³,其变化趋势可以分为 3 个阶段,2009—2014 年呈波动上升趋势,从 1.48 × 10¹⁰ m³ 增加到 1.67 × 10¹⁰ m³,增幅为 12.84%,降水量增加是主要因素;2014—2015 年呈急剧上升趋势,从 1.67 × 10¹⁰ m³ 增加到 2.73 × 10¹⁰ m³,增幅为 63.47%,这是因为粮食播种面积趋于稳定的情况下,耕地面积急剧增

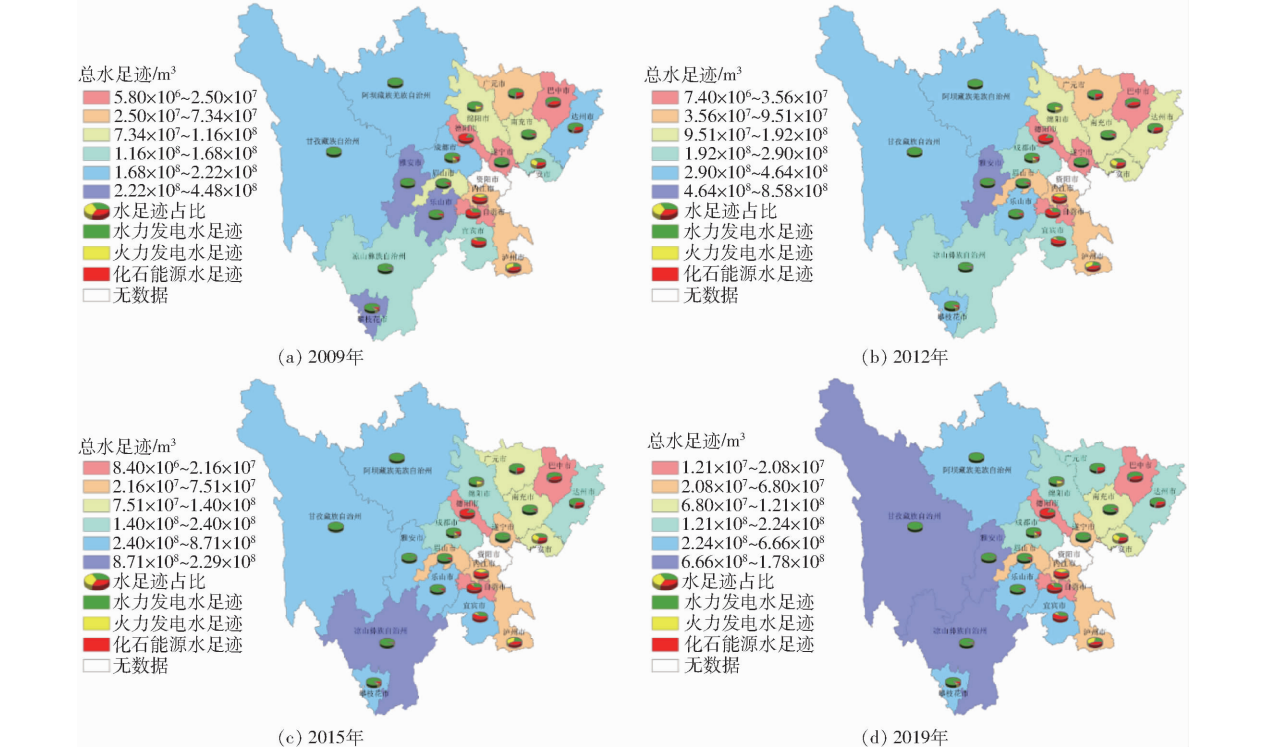


图 3 各市(州)能源生产水足迹
Fig. 3 Water footprint of energy production in each region

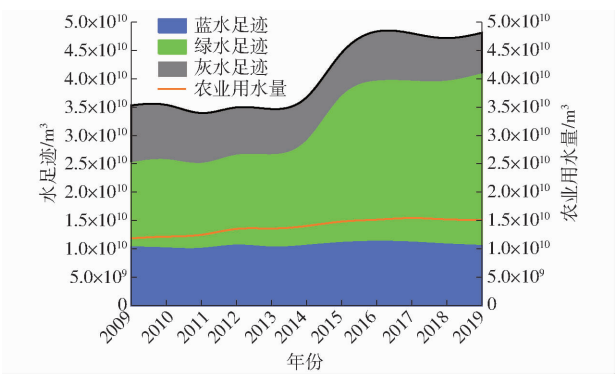


图4 2009—2019年四川省粮食生产水足迹

Fig.4 Water footprint of food production in Sichuan Province from 2009 to 2019

加^[43]致使粮食作物复种指数减小;2015—2019年也呈波动上升趋势,从 $2.73 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 增加到 $3.03 \times 10^{10} \text{ m}^3$,增幅为10.99%,主要是降水量的增加及粮食播种面积趋于稳定的情况下豆类等耗水量多的作物播种面积增加。粮食生产灰水足迹从 $1.02 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 下降到 $7.31 \times 10^9 \text{ m}^3$,降幅为28.33%,这是因为四川省深入实施“一控两减三基本”政策,化肥减量增效成效明显,化肥使用量连续5年实现负增长,而且随着化肥减量增效示范区的建设、有机肥替代部分化肥的推进及科学、精准施肥的培训加大,化肥使用量会进一步削减,灰水足迹会进一步下降。粮食生产水足迹中蓝水足迹占比26.02%,绿水足迹占比高达53.06%,进一步说明了四川省降水资源较为丰富。总体来看,粮食生产水足迹增幅为36.28%,不仅与粮食作物复种指数减小及种植结构变化有关,而且据《四川省“十四五”推进农业农村现代化规划》^[44]显示,2011年以来,四川省累计建成高标准农田 $3 \times 10^6 \text{ hm}^2$,水利设施持续完善,农机总动力达到 $4.75 \times 10^7 \text{ kW}$,粮食安全保障能力稳步提升,是粮食生产水足迹提升的又一个重要原因。

2009—2019年五大经济区及各市(州)粮食生产蓝水足迹见图5。如图5所示,成都平原经济区的粮食生产蓝水足迹从 $6.04 \times 10^9 \text{ m}^3$ 减少到 $5.16 \times 10^9 \text{ m}^3$,降幅为14.57%;其中成都市最大,年均值为 $1.84 \times 10^9 \text{ m}^3$;雅安市最小,年均值为 $2.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。川南经济区粮食生产蓝水足迹从 $1.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ 增加到 $1.67 \times 10^9 \text{ m}^3$,增幅为39.17%;其中泸州市最大,年均值为 $4.97 \times 10^8 \text{ m}^3$;自贡市最小,年均值为 $2.68 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。攀西经济区粮食生产蓝水足迹从 $1.15 \times 10^9 \text{ m}^3$ 增加到 $1.57 \times 10^9 \text{ m}^3$,增幅为36.52%;其中凉山彝族自治州最大,年均值为 $1.21 \times 10^9 \text{ m}^3$;攀枝花市最小,年均值为 $2.73 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。川东北经济区粮食生产蓝水足迹从 $1.67 \times 10^9 \text{ m}^3$ 增加到 $1.92 \times 10^9 \text{ m}^3$,增幅为14.97%;其中南充市最

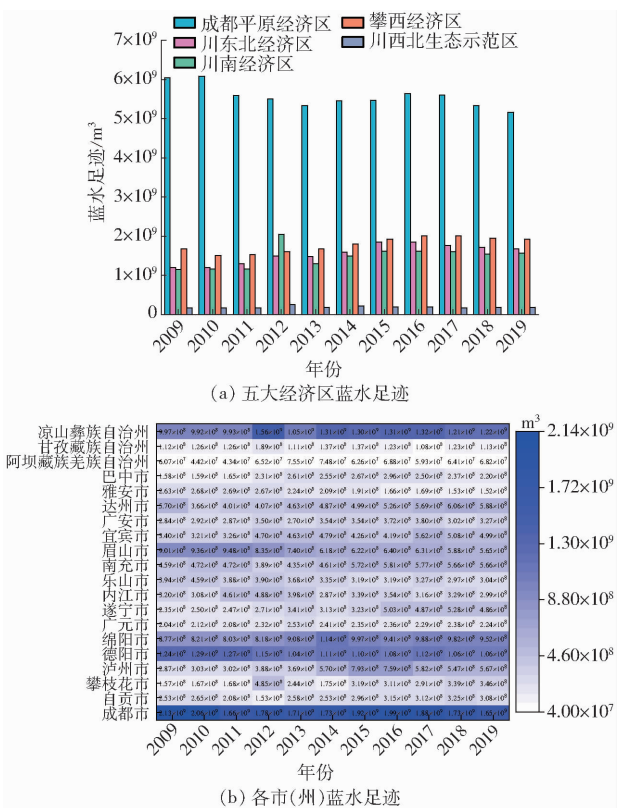


图5 五大经济区及各市(州)粮食生产蓝水足迹

Fig.5 Blue water footprint of food production in five economic zones and each region

大,年均值为 $5.05 \times 10^8 \text{ m}^3$;巴中市最小,年均值为 $2.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。川西北生态示范区粮食生产蓝水足迹从 $1.73 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 $1.81 \times 10^8 \text{ m}^3$,增幅为4.62%;其中甘孜藏族自治州最大,年均值为 $1.28 \times 10^8 \text{ m}^3$;阿坝藏族羌族自治州最小,年均值为 $6.24 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。整体来看,蓝水足迹高值区主要集中在成都平原经济区和攀西经济区,如成都市、德阳市和凉山彝族自治州等,这些市(州)坐落在成都平原和安宁河流域内,耕地资源丰富、水光热条件优越、水利灌溉设施完善、农业机械化程度高,农业生产极具活力;低值区主要分布在川西北生态示范区,主要由于山脉众多、耕地资源短缺。

2009—2019年五大经济区及各市(州)粮食生产绿水足迹见图6。如图6所示,成都平原经济区粮食生产绿水足迹从 $5.36 \times 10^9 \text{ m}^3$ 增加到 $1.03 \times 10^{10} \text{ m}^3$,其中成都市最大,年均值为 $1.84 \times 10^9 \text{ m}^3$;雅安市最小,年均值为 $3.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。川南经济区粮食生产绿水足迹从 $2.99 \times 10^9 \text{ m}^3$ 增加到 $6.87 \times 10^9 \text{ m}^3$,其中宜宾市最大,年均值为 $1.67 \times 10^9 \text{ m}^3$;自贡市最小,年均值为 $7.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。攀西经济区粮食生产绿水足迹从 $1.56 \times 10^9 \text{ m}^3$ 增加到 $2.64 \times 10^9 \text{ m}^3$,其中凉山彝族自治州最大,年均值为 $2.03 \times 10^9 \text{ m}^3$;攀枝花市最小,年均值为 $2.05 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。川东北经济区粮食生产绿水足迹从 $4.61 \times 10^9 \text{ m}^3$ 增

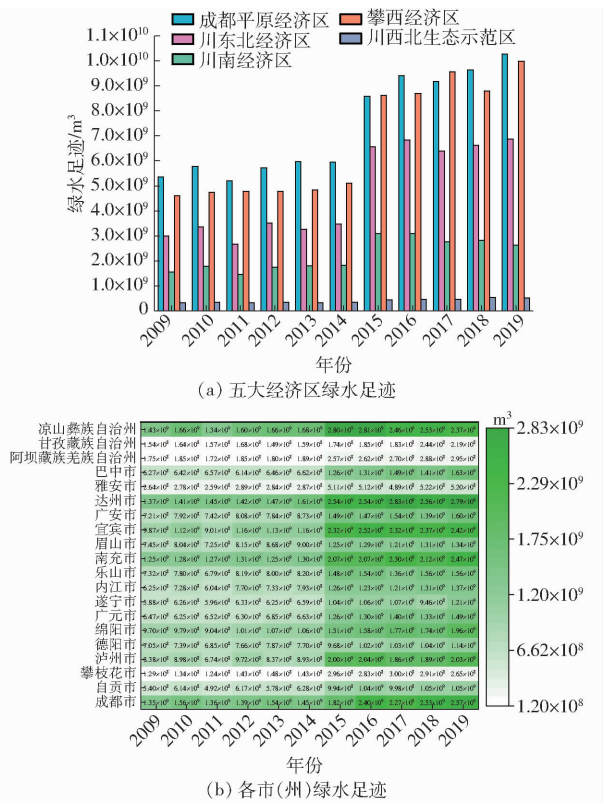


图6 五大经济区及各市(州)粮食生产绿水足迹

Fig. 6 Green water footprint of food production in five economic zones and each region

加到 $9.98 \times 10^9 \text{ m}^3$, 其中达州市最大, 年均值为 $2 \times 10^9 \text{ m}^3$; 广元市最小, 年均值为 $9.71 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。川西北生态示范区粮食生产绿水足迹从 $3.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 $5.14 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中阿坝藏族自治州最大, 年均值为 $2.24 \times 10^8 \text{ m}^3$; 甘孜藏族自治州最小, 年均值为 $1.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。整体来看, 绿水足迹高值区主要集中在成都市、南充市、宜宾市、达州市和凉山彝族自治州等, 这些地区耕地资源、降水资源丰富。

2009—2019年五大经济区及各市(州)粮食生产灰水足迹见图7。如图7所示, 成都平原经济区粮食生产灰水足迹从 $3.4 \times 10^9 \text{ m}^3$ 减少到 $2.26 \times 10^9 \text{ m}^3$, 降幅为33.53%; 其中绵阳市最大, 年均值为 $5.82 \times 10^8 \text{ m}^3$; 雅安市最小, 年均值为 $1.41 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。川南经济区粮食生产灰水足迹从 $2.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ 减少到 $1.55 \times 10^9 \text{ m}^3$, 降幅为29.55%; 其中宜宾市最大, 年均值为 $5.58 \times 10^8 \text{ m}^3$; 自贡市最小, 年均值为 $2.92 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。攀西经济区粮食生产灰水足迹从 $1.04 \times 10^9 \text{ m}^3$ 减少到 $7.46 \times 10^8 \text{ m}^3$, 降幅为28.27%; 其中凉山彝族自治州最大, 年均值为 $7.71 \times 10^8 \text{ m}^3$; 攀枝花市最小, 年均值为 $5.27 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。川东北经济区粮食生产灰水足迹从 $3.42 \times 10^9 \text{ m}^3$ 减少到 $2.64 \times 10^9 \text{ m}^3$, 降幅为22.81%; 其中南充市最大, 年均值为 $8.38 \times 10^8 \text{ m}^3$; 广元市最小, 年均值为 $4.01 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

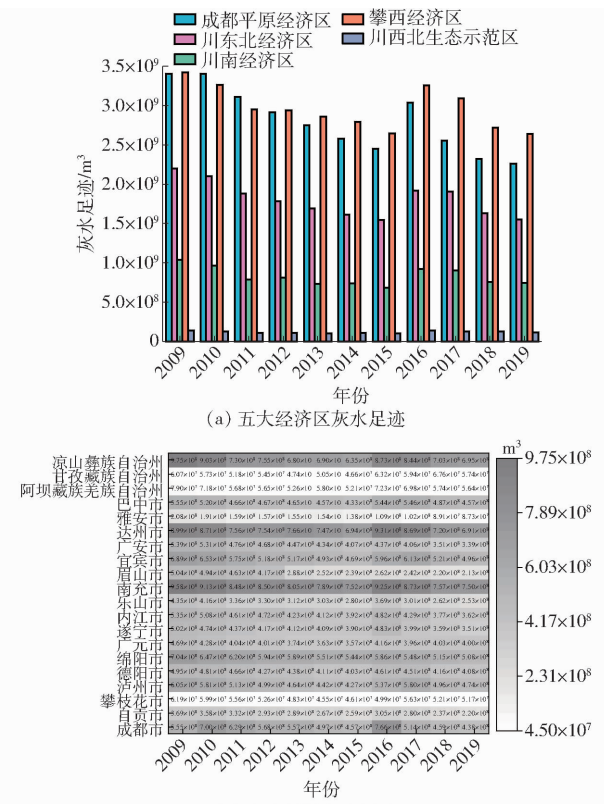


图7 五大经济区及各市(州)粮食生产灰水足迹

Fig. 7 Grey water footprint of food production in five economic zones and each region

川西北生态示范区粮食生产灰水足迹从 $1.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减少到 $1.14 \times 10^8 \text{ m}^3$, 降幅为18.57%; 其中阿坝藏族自治州最大, 年均值为 $6.21 \times 10^7 \text{ m}^3$; 甘孜藏族自治州最小, 年均值为 $5.6 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。灰水足迹不仅与粮食播种面积有关, 还与种植结构密不可分, 据《全国农产品成本收益资料汇编》显示, 薯类和玉米的单位面积氮肥使用量高于其他粮食作物, 高值区主要集中在南充市、达州市和凉山彝族自治州。

3.3 能源和粮食生产对水的竞争指数时空分布特征

各市(州)、五大经济区及四川省竞争指数见图8。如图8a所示, 2009—2019年四川省能源和粮食生产对水的竞争处于弱竞争状态, 说明其处于可持续协调发展状态, 但数值在波动中上升, 增幅为42.69%, 这与四川省社会经济不断发展、城镇化进程加快及人口增长密不可分。随着能源新技术新业态的逐渐完善及“藏粮于地、藏粮于技”战略的深入实施, 能源保障能力和粮食综合生产能力会稳步增强, 能源和粮食产量会不断提升, 势必会导致能源和粮食生产水足迹的提升, 加剧两者对水资源的竞争。政府应加强引导作用, 统筹规划系统发展布局, 不断提高用水效率, 避免不良竞争的出现。

如图8a所示, 2009—2019年成都平原经济区、川南经济区和川东北经济区能源和粮食生产对水的

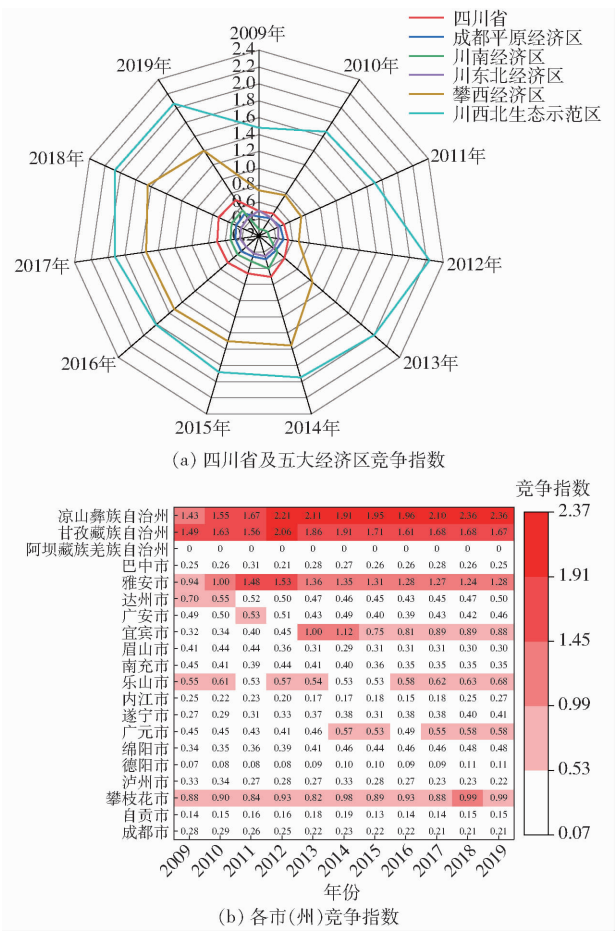


图 8 四川省、五大经济区及各市(州)竞争指数

Fig. 8 Competition index of Sichuan Province, five economic zones and each region

竞争处于弱竞争状态,说明其处于良性竞争状态。攀西经济区由开始的弱竞争到最后的适度竞争,竞争指数增幅为 89.41%;川西北生态示范区由最初的中等竞争到最后的激烈竞争,竞争指数增幅为 39.42%,主要是攀西经济区拥有“天府第二粮仓”,川西北生态示范区打造现代高原特色农牧业基地,攀西经济区和川西北生态示范区打造国家重要的清洁能源基地,水力发电量逐年攀升,这两个经济区兼顾粮食和水电生产,加剧了能源-粮食对水资源的竞争。

如图 8b 所示,除凉山彝族自治州、甘孜藏族自治州、阿坝藏族羌族自治州和雅安市外,其他市能源和粮食生产对水的竞争基本都处于弱竞争状态,主要是这 4 个市(州)水能资源丰富,贡献了全省 60% 左右的水力发电量,能源生产水足迹居高不下,导致竞争指数偏大。

3.4 基于脱钩理论模型的协调关系

由于四川省粮食生产水足迹在 2014 年前后变化幅度较大,而且其变化量大于能源生产水足迹,故以 2014 年为拐点,将研究期分为两个阶段,即 2009—2014 年为第 1 阶段,2015—2019 年为第 2 阶

段,脱钩指数见表 3 和图 9。

表 3 四川省及五大经济区水足迹与地区生产总值脱钩指数

Tab.3 Decoupling index of water footprint and GDP in Sichuan Province and five economic zones

研究期	四川省	成都平原经济区	川南经济区	川东北经济区	攀西经济区	川西北生态示范区
第 1 阶段	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩
第 2 阶段	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩

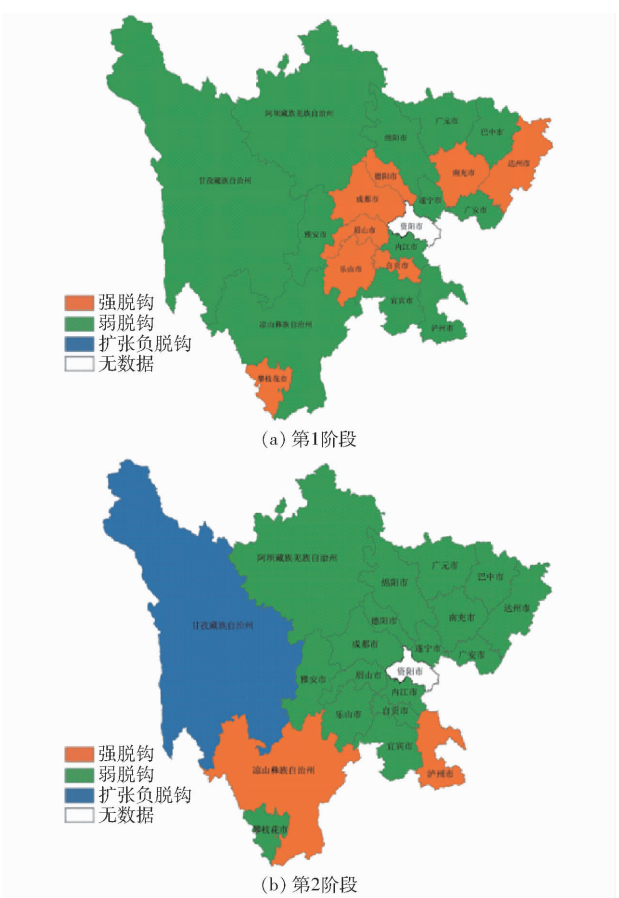


图 9 各市(州)水足迹与地区生产总值脱钩指数

Fig. 9 Decoupling index of water footprint and GDP in each region

由表 3 可知,第 1 阶段,成都平原经济区为强脱钩,水足迹减少的同时地区生产总值增加,处于协调发展状态,说明该区经济发展对用水量的控制状态较好;其余经济区都为弱脱钩,水足迹增速不及地区生产总值增速,处于相对协调发展状态。第 2 阶段,攀西经济区为强脱钩,水足迹减少的同时地区生产总值增加,这也是水-能源-粮食系统与经济最优发展状态;其余经济区都为弱脱钩,处于相对协调发展状态。四川省两个阶段都为弱脱钩,水足迹与地区生产总值处于相对协调状态,但与强脱钩目标仍有一定距离。

如图 9a 所示,成都市、自贡市、攀枝花市、德阳市、乐山市、南充市、眉山市和达州市为强脱钩,水足

迹减少的同时地区生产总值增加,处于协调发展状态;其余市(州)为弱脱钩,水足迹与地区生产总值处于相对协调发展状态。

如图 9b 所示,泸州市和凉山彝族自治州为强脱钩,水足迹与地区生产总值处于协调发展状态;甘孜藏族自治州为扩张负脱钩,水足迹增速大于地区生产总值增速,处于粗放发展状态,发展形势不太理想,此时应该优化产业结构,在满足资源使用量的同时调整能源或粮食产量,或优化经济发展方式,减弱经济发展对用水量的控制;其余市(州)为弱脱钩,水足迹增速不及地区生产总值增速,处于相对协调发展状态。

3.5 四川省水足迹强度区域差异时空分布特征

四川省水足迹强度的区域差异见图 10。由图 10a 可知,四川省水足迹强度总差异经历了先增大(2009—2017 年)、后缩小(2017—2019 年)的过程。根据环境库兹涅茨曲线原理,四川省水足迹强度总差异在未来可能会呈收敛状态并向平衡状态发

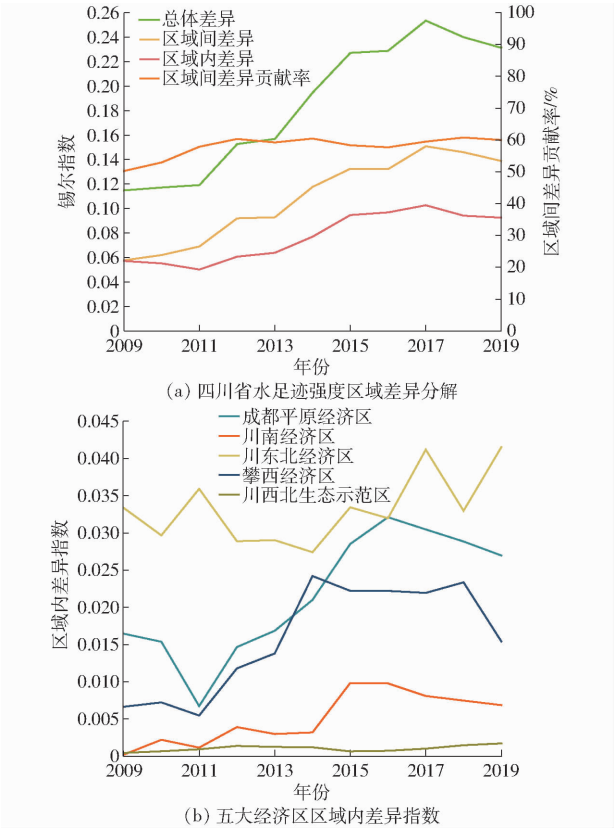


图 10 四川省水足迹强度的区域差异
Fig. 10 Regional differences in water footprint intensity in Sichuan Province

展。研究期内四川省水足迹强度不均衡程度呈扩大趋势,所以应优化能源和粮食生产配置及经济发展方式,协调能源和粮食生产水足迹和地区生产总值间的关系,以期提高四川省用水效率的均衡程度。

由图 10a 可知,五大经济区区域间差异对整体差异的贡献率(50.24%~60.8%)大于区域内差异,说明五大经济区不均衡程度主要受区域间差异影响。2009—2019 年区域间差异趋势扩大,这与五大经济区的定位不同有关,研究后期数值的下降,说明区域间差异不断缩小,在未来很有可能会实现“五区”水足迹强度的协同发展。区域内差异指数呈波动变化趋势,也在研究后期呈下降趋势。

由图 10b 可知,川东北经济区区域内差异指数年均值最大,为 0.37,说明该区域内水足迹强度差异最大,作为东向北向出川和川渝陕甘结合部的重要区域,该区域各市的能源和粮食产业发展、资源禀赋及经济基础等不尽相同,表现出不同的用水效率,导致水足迹强度差异较大;川西北生态示范区区域内差异指数年均值最小,为 0.01,说明该区域内水足迹强度均衡度最优,作为全国重要的清洁能源基地,该区域水能资源丰富,但经济基础较为薄弱,水足迹强度表现为高度的一致性,故而差异较小。

4 结论

(1)研究时段内,能源和粮食生产水足迹均呈上升趋势。四川省水能资源丰富,水力发电水足迹比重较高且不断增加,所以整体上能源蓝水足迹不断上升、灰水足迹不断下降;粮食生产绿水足迹大于蓝水足迹,说明降水对粮食生产的贡献大于灌溉水,灰水足迹的不断下降与四川省发展生态、绿色农业规划相一致。

(2)四川省能源和粮食生产对水的竞争指数呈上升趋势,兼顾粮食和水电生产的地区竞争指数明显高于其他地区,未来需要提高粮食生产灌溉水效率以及水电生产用水效率。

(3)四川省水足迹和地区生产总值的脱钩状态为弱脱钩,说明四川省经济发展对用水量的控制状态相对较好,但经济发展与水足迹仍存在正向关联,与实现强脱钩目标依然存在较大距离。水足迹强度总差异呈扩张趋势,而且区域间差异大于区域内差异。

参 考 文 献

[1] 林志慧,刘宪锋,陈瑛,等. 水-粮食-能源纽带关系研究进展与展望[J]. 地理学报, 2021, 76(7): 1591-1604.
LIN Zhihui, LIU Xianfeng, CHEN Ying, et al. Water - food - energy nexus: progress, challenges and prospect[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(7): 1591-1604. (in Chinese)
[2] SARAY M H, BAUBEKOVA A, GOHARI A, et al. Optimization of water - energy - food nexus considering CO₂ emissions from

- cropland: a case study in Northwest Iran[J]. *Applied Energy*, 2022, 307: 118236.
- [3] ZHANG C, CHEN X, LI Y, et al. Water – energy – food nexus: concepts, questions and methodologies[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 195: 625 – 639.
- [4] 赵麦焕, 蒋桂芹, 苏琼. 西北地区能源基地水-能源-粮食协同安全及技术保障技术[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2021.
- [5] LI M, FU Q, SINGH V P, et al. An optimal modelling approach for managing agricultural water – energy – food nexus under uncertainty[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 651: 1416 – 1434.
- [6] RASUL G. Food, water, and energy security in South Asia: a nexus perspective from the Hindu Kush Himalayan region[J]. *Environmental Science & Policy*, 2014, 39: 35 – 48.
- [7] 王玉宝, 蒲傲婷, 闫星, 等. 新疆水-能源-粮食系统安全综合评价[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(6): 264 – 272.
WANG Yubao, PU Aoting, YAN Xing, et al. Comprehensive evaluation of water – energy – food nexus safety in Xinjiang[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(6): 264 – 272. (in Chinese)
- [8] CANSINO-LOEZA B, MUNGUIA-LOPEZ A D, PONCE-ORTEGA J M. A water – energy – food security nexus framework based on optimal resource allocation[J]. *Environmental Science & Policy*, 2022, 133: 1 – 16.
- [9] DJEHDIAN L A, CHINI C M, MARSTON L, et al. Exposure of urban food – energy – water (FEW) systems to water scarcity[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2019, 50:101621.
- [10] 张盼. 粤港澳区域水能粮系统多维风险耦合机制与协同管控[D]. 广州: 广东工业大学, 2022.
ZHANG Pan. Multi-dimensional risk coupling mechanism and synergic management of water, energy, and food in Guangdong, Hong Kong, and Macao region[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2022. (in Chinese)
- [11] LE T H, PHAM L, DO H X. Price risk transmissions in the water – energy – food nexus: impacts of climate risks and portfolio implications[J]. *Energy Economics*, 2023, 124: 106787.
- [12] CHEN J, DING T, LI M, et al. Multi-objective optimization of a regional water – energy – food system considering environmental constraints: a case study of Inner Mongolia, China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(18): 6834.
- [13] 仇蕾, 钟雨纯, 崔韵文. 基于水-能-粮关联关系的粮食主产区农业种植结构优化研究——以吉林省为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(10): 51 – 62.
QIU Lei, ZHONG Yuchun, CUI Yunwen. Optimization of agricultural planting structure in main grain producing areas based on the perspectives of water – energy – food nexus[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(10): 51 – 62. (in Chinese)
- [14] ZHOU Y, ZHANG X R, CHEN Y S, et al. An optimisation-evaluation framework for the sustainable management of the water – energy – food nexus for an irrigation district under uncertainty[J]. *Agronomy*, 2023, 13(7): 1714.
- [15] 孙才志, 靳春玉, 郝帅. 黄河流域水资源-能源-粮食纽带关系研究[J]. *人民黄河*, 2020, 42(9): 101 – 106.
SUN Caizhi, JIN Chunyu, HAO Shuai. Study on water – energy – food nexus relationship of the Yellow River basin[J]. *Yellow River*, 2020, 42(9): 101 – 106. (in Chinese)
- [16] LU S B, ZHANG X L, PENG H R, et al. The energy – food – water nexus: water footprint of Henan – Hubei – Hunan in China[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 135: 110417.
- [17] 鲁仕宝, 尚毅梓, 王浩. 基于修正水资源压力指数的华东地区水-能-粮协同安全评估[J]. *干旱区资源与环境*, 2022, 36(2): 68 – 77.
LU Shibao, SHANG Yizi, WANG Hao. Assessment on water – energy – grain collaborative security in East China based on modified water resource pressure index[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2022, 36(2): 68 – 77. (in Chinese)
- [18] 李成宇, 张士强. 中国省际水-能源-粮食耦合协调度及影响因素研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(1): 120 – 128.
LI Chengyu, ZHANG Shiqiang. Chinese provincial water – energy – food coupling coordination degree and influencing factors research[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(1): 120 – 128. (in Chinese)
- [19] 徐辉, 王亿文, 张宗艳, 等. 黄河流域水-能源-粮食耦合机理及协调发展时空演变[J]. *资源科学*, 2021, 43(12): 2526 – 2537.
XU Hui, WANG Yiwen, ZHANG Zongyan, et al. Coupling mechanism of water – energy – food and spatiotemporal evolution of coordinated development in the Yellow River Basin[J]. *Resources Science*, 2021, 43(12): 2526 – 2537. (in Chinese)
- [20] QI Y Y, FARNOOSH A, LIN L, et al. Coupling coordination analysis of China's provincial water – energy – food nexus[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(16): 23303 – 23313.
- [21] YANG Y, RINGLER C, BROWN C, et al. Modeling the agricultural water – energy – food nexus in the Indus River basin, Pakistan[J]. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2016, 142(12): 04016062.
- [22] MELO F P L, PARRY L, BRANCALION P H S, et al. Adding forests to the water – energy – food nexus[J]. *Nature Sustainability*, 2021, 4(2): 85 – 92.
- [23] 顾茉莉, 叶长盛, 楼婷婷, 等. 长江经济带水-能源-粮食-土地耦合协调发展研究[J]. *人民长江*, 2023, 54(6): 11 – 18, 40.
GU Moli, YE Changsheng, LOU Tingting, et al. Coupling mechanism of coordinated development of land use and water –

energy – food systems in Yangtze River Economic Belt[J]. Yangtze River, 2023, 54(6): 11 – 18, 40. (in Chinese)

[24] QIN Y. Global competing water uses for food and energy[J]. Environmental Research Letters, 2021, 16(6): 064091.

[25] 四川省水利厅. 四川省水资源公报 2019[EB/OL]. (2020 – 09 – 11)[2023 – 06 – 13]. <http://slt.sc.gov.cn/scsslt/szyzwgk/2020/9/11/05882937bbb84913992b630a92ff7182/files/6d8eb33054054e5489a23009782d8de2.pdf>.

[26] 刘永红, 李茂松, 邓家林, 等. 四川季节性干旱研究与农业防控节水技术研究[M]. 北京: 科学出版社, 2011.

[27] 四川省统计局. 四川统计年鉴 2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.

[28] 四川人民政府办公厅. 四川年鉴 2017[M]. 成都: 四川年鉴社, 2017.

[29] 中华人民共和国农业农村部. 中国农业年鉴 2020[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.

[30] ISO. Environmental management-water footprint-principles, requirements and guidelines; ISO 14046[S]. Switzerland: ISO, 2014.

[31] 关伟, 赵湘宁, 许淑婷. 中国能源水足迹时空特征及其与水资源匹配关系[J]. 资源科学, 2019, 41(11): 2008 – 2019.

GUAN Wei, ZHAO Xiangning, XU Shuting. Spatiotemporal feature of the water footprint of energy and its relationship with water resources in China[J]. Resources Science, 2019, 41(11): 2008 – 2019. (in Chinese)

[32] 刘畅, 江恩慧, 刘淑雅, 等. 基于绿色生产和资源协同的农业水土资源利用效率研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(11): 369 – 378.

LIU Chang, JIANG Enhui, LIU Shuya, et al. Agricultural water and land resources utilization efficiency based on green production and resources synergy[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(11): 369 – 378. (in Chinese)

[33] HUA E, ENGEL B A, GUAN J J, et al. Synergy and competition of water in food – energy – water nexus: insights for sustainability[J]. Energy Conversion and Management, 2022, 266: 115848.

[34] 郝帅, 孙才志, 宋强敏. 中国能源-粮食生产对水资源竞争的关系——基于水足迹的视角[J]. 地理研究, 2021, 40(6): 1565 – 1581.

HAO Shuai, SUN Caizhi, SONG Qiangmin. Study on the competitive relationship between energy and food production for water resources in China: from a perspective of water footprint[J]. Geographical Research, 2021, 40(6): 1565 – 1581. (in Chinese)

[35] HUA E, WANG X Y, ENGEL B A, et al. The competitive relationship between food and energy production for water in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 247: 119103.

[36] TAPIO P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001[J]. Transport Policy, 2005, 12(2): 137 – 151.

[37] 高甜, 杨肖丽. 黄河流域粮食与能源水足迹压力与绿色发展脱钩关系研究[J]. 节水灌溉, 2021(10): 24 – 29, 35.

GAO Tian, YANG Xiaoli. A study on the decoupling relationship between grain and energy water footprint pressure and green development in the Yellow River basin[J]. Water Saving Irrigation, 2021(10): 24 – 29, 35. (in Chinese)

[38] 王玉宝, 吴楠, 张富尧, 等. 基于三维水足迹模型的农业用水可持续性评估[J]. 农业机械学报, 2023, 54(1): 287 – 295.

WANG Yubao, WU Nan, ZHANG Fuyao, et al. Assessment of agricultural water sustainability based on 3D water footprint model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(1): 287 – 295. (in Chinese)

[39] 李汝资, 黄晓玲, 刘耀彬. 2010—2020 年中国城镇化的时空分异及影响因素[J]. 地理学报, 2023, 78(4): 777 – 791.

LI Ruzi, HUANG Xiaoling, LIU Yaobin. Spatio-temporal differentiation and influencing factors of China’s urbanization from 2010 to 2020[J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(4): 777 – 791. (in Chinese)

[40] TIAN Q, ZHAO T, YUAN R. An overview of the inequality in China’s carbon intensity 1997—2016: a Theil index decomposition analysis[J]. Clean Technologies and Environmental Policy, 2021, 23(5): 1581 – 1601.

[41] 梅旭荣, 刘勤, 严荣昌. 中国主要农作物生育期图集[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2016.

[42] 四川省人民政府. 四川省“十四五”能源发展规划[EB/OL]. (2022 – 03 – 04)[2023 – 06 – 13]. <https://www.sc.gov.cn/10462/zfwjts/2022/3/4/f09dbec42f7349589d042145437004a6/files/c4c083fbbfb54b279d1a1baa247e7b78.PDF>.

[43] 王谢, 杨巧, 曾其国, 等. 1999—2018 年四川省耕地时空格局演化特征[J]. 中国农学通报, 2021, 37(26): 110 – 116.

WANG Xie, YANG Qiao, ZENG Qiguo, et al. Spatial-temporal pattern evolution of cultivated land in Sichuan Province from 1999 to 2018[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(26): 110 – 116. (in Chinese)

[44] 四川省人民政府. 四川省“十四五”推进农业农村现代化规划[EB/OL]. (2021 – 07 – 26)[2023 – 08 – 15]. <https://www.sc.gov.cn/10462/zfwjts/2021/7/26/4027648ea73543adadc03c0172d50948/files/84c2e53a8ff04288b0a7f26795123525.pdf>.