



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

塔里木河流域农业水土资源时空匹配关系研究

王悦, 蒋志辉, 褚家琦, 张海康, 刘旭梅, 林园娜

引用本文:

王悦, 蒋志辉, 褚家琦, 张海康, 刘旭梅, 林园娜. 塔里木河流域农业水土资源时空匹配关系研究[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(2): 360–370.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2023.0240>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

输变电工程对土壤环境的影响及其防控

黄志元, 刘宝华, 崔星怡, 许杨贵, 汤泽平, 黎华寿

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 561–569 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0245>

长江经济带农业碳补偿修正测算及分析

曹俊文, 陶强强

农业资源与环境学报. 2021, 38(4): 693–698 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0738>

基于人地关系的干旱区耕地流转空间分异特征与驱动机制的地理探测

王琪, 王永生, 杜国明, 刘兆军

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 241–248 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0204>

内蒙古玉米主产区农业热量资源变化及其对策探讨

张宝林, 高聚林, 王志刚, 池梦雪, 赵俊灵, 郭佳, 彭健

农业资源与环境学报. 2019, 36(6): 757–765 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0229>

京津冀潮白河区域2001—2017年耕地利用变化时空特征分析

苏锐清, 曹银贵, 王文旭, 邱敏, 宋蕾

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 574–582 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0266>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王悦, 蒋志辉, 褚家琦, 等. 塔里木河流域农业水土资源时空匹配关系研究[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(2): 360–370.

WANG Y, JIANG Z H, CHU J Q, et al. Study on the spatiotemporal matching relationship of agricultural water and land resources in the Tarim River basin[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2024, 41(2): 360–370.



开放科学 OSID

塔里木河流域农业水土资源时空匹配关系研究

王悦, 蒋志辉*, 褚家琦, 张海康, 刘旭梅, 林园娜

(塔里木大学经济与管理学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要:农业水土资源可持续利用是推进塔里木河流域生态文明建设、协调兵团向南发展战略部署以及促进各产业融合发展的重要基础。本研究基于2005—2020年塔里木河流域5个地区的农业水土资源匹配现状,运用基尼系数法、农业水土资源匹配系数以及农业水土资源当量系数,结合ArcGIS软件对塔里木河流域水土资源时空匹配状况进行分析。结果表明:从地理分布上来看,塔里木河流域耕地资源主要集中在喀什地区、阿克苏地区,耕地资源分布和水资源有密切关系。在研究时间跨度内,水土资源基尼系数在0.05~0.12之间,整体表现为波动变化,但是变化幅度不大,处于绝对均衡水平。农业水土资源匹配系数在研究期内呈现出先下降后升高再下降的特征,5个地区的农业水土资源匹配系数逐渐趋于一致,并稳定在1~2之间。结合当量系数分析,虽然塔里木河流域5个地区的农业水土资源均衡程度较好,但是5个地区仍处于极度缺水状态,且地区差异大。研究表明,塔里木河流域水土资源分布一致,整体处于缺水状态,随着节水力度的增大农用水占比呈下降趋势。

关键词:农业水土资源;基尼系数;当量系数;水土资源匹配系数;塔里木河流域

中图分类号:F327

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2024)02-0360-11

doi: 10.13254/j.jare.2023.0240

Study on the spatiotemporal matching relationship of agricultural water and land resources in the Tarim River basin

WANG Yue, JIANG Zhihui*, CHU Jiaqi, ZHANG Haikang, LIU Xumei, LIN Yuanna

(College of Economics and Management, Tarim University, Alar 843300, China)

Abstract: The sustainable utilization of agricultural water and land resources is an important foundation for promoting the construction of ecological civilization in the Tarim River basin, coordinating the strategic deployment of the Corps to the south, and promoting the integrated development of various industries. Based on the current situation of agricultural water and land resource matching in five regions of the Tarim River basin from 2005 to 2020, the Gini coefficient method, agricultural water and land resource matching coefficient, and agricultural water and land resource equivalent coefficient were used in combination with the ArcGIS software to analyze the spatiotemporal matching status of water and land resources in the Tarim River basin. The results indicate that: the distribution of agricultural water and land resources in the Tarim River basin is uneven in various regions, but the distribution of water and land resources is relatively uniform. In the time span of the study, the Gini coefficient was between 0.05 and 0.12, and the agricultural Gini coefficient fluctuated as a whole, but the change range was not large and was at the absolute average level. During the study period, the matching coefficient of agricultural water and land resources showed the characteristics of first decreasing, increasing, and then decreasing, and the matching coefficient of agricultural water and land resources in the five regions gradually tended to become consistent and stable between 1 and 2. According to the analysis of the equivalent coefficient, although the equilibrium degree of agricultural water and land resources in the five areas of the Tarim River basin has improved, the five areas are still in a state of extreme water shortage, and regional differences are large. Research has shown that the distribution of soil and water resources in the Tarim River basin is consistent, and overall in a state of water shortage. With

收稿日期: 2023-04-16 录用日期: 2023-07-18

作者简介: 王悦(1999—),女,山东德州人,硕士研究生,主要从事中亚合作与区域发展研究。E-mail: yuewang123@126.com

*通信作者: 蒋志辉 E-mail: 1437956753@qq.com

基金项目: 塔里木大学校长基金重大项目(TDSKZD202201);塔里木大学科研创新项目(TDGR1202269)

Project supported: Major Project of the President's Fund of Tarim University (TDSKZD202201); Research and Innovation Project of Tarim University (TDGR1202269)

the greater water-saving efforts; the proportion of agricultural water is decreasing.

Keywords: agricultural water and land resources; Gini coefficient; equivalent coefficient; matching coefficient of water and soil resources; Tarim River basin

水土资源是人类进行生产生活最基本的资源,在工业化和城镇化的快速推进下,人类和水土资源、生态环境之间的不平衡逐渐成为制约人类永续发展的因素。在西部大开发的过程中,城镇化的发展是有效利用资源、激发地区经济活力的关键,但其受到水土资源环境承载力的限制,从而影响农业可持续发展和生态环境保护的良性循环^[1]。农业水土资源可持续利用与经济发展之间的相互关系成为一个非常重要的议题^[2]。我国人均耕地资源短缺,水资源分布不均匀,明确农业水土资源时空匹配状态成为加强环境保护和促进经济高质量发展的重要因素^[3]。近年来,农业水土资源匹配关系相关研究引起了人们的普遍关注。徐娜^[4]给出的水土资源匹配的定义是两种资源的平衡利用状态,时间层面的研究有利于促进农业水资源利用效率的提高,空间层面匹配主要反映水土资源在空间上的分配利用比例关系。在量化方法上,吴宇哲等^[5]引入基尼系数来度量水土资源的整体均衡程度,为区域资源匹配研究提供了新思路。刘彦随等^[6]最先提出水土资源匹配系数,通过衡量单位面积的水资源量评价东北水土资源匹配程度,结果表明东北地区农业水土资源匹配欠佳且区内差异较大。谢桂云等^[7]运用农业水土资源匹配系数对新疆农业水土资源匹配状况进行分析,得出北疆地区的匹配系数较低、南疆地区的较高。学者们从时空匹配格局^[8-9]、特征^[10-11]、承载力^[12-13]、利用效率^[14-15]、经济增长^[16-17]等角度对水土资源开展了大量研究,研究范围有地区^[18-20]、流域^[10,14,21]、省份^[8-9,22]、山区^[23],研究方法包括DPSIR模型^[12]、匹配系数法^[10,22]、基尼系数法^[8,18]、泰尔指数^[18]、当量系数^[22]等。其中,匹配系数法和基尼系数法因能够更加直观地反映水土资源的匹配程度而得到广泛的应用。综合来看,大多数研究注重对农业水土资源匹配现状的分析和评价,对于农业水土资源时间和空间的演变趋势研究比较少,且对趋势变化原因和各地区农业水土资源匹配差异缺乏深入研究。

塔里木河流域位于新疆南部,是重要的经济带和巩固脱贫攻坚成果的核心区域。国家历来高度重视塔里木河流域的社会稳定和经济发展,兵团向南发展的战略部署既是当务之急,更是战略之举^[23]。塔里木河流域干燥少雨、昼夜温差大,水资源分布不均衡且

土地类型分布复杂,水土资源优化利用难度大^[24]。随着高标准农田建设的发展,塔里木河流域水土资源的供需矛盾日益凸显,这对塔里木河流域水土资源规划提出了新的问题:如何合理分配流域水资源?如何规划流域新增土地的开发?如何协调水土资源的供需矛盾?探讨农业水土资源匹配关系有利于完善塔里木河流域的水土资源空间规划和提高水土资源利用效率。不少学者对塔里木河流域的地下水利用^[25-26]、水土承载力^[21,27-28]、水资源配置^[29-30]展开分析,但当前针对塔里木河流域农业水土资源匹配关系方面的研究较少。本研究基于2005—2020年的相关数据,结合基尼系数法、农业水土资源匹配系数以及当量系数,运用ArcGIS软件对塔里木河流域水土资源时空匹配的主要关系展开分析,进而结合已有的调查结果提出面向塔里木河流域水土资源时空匹配关系的建议,为推动塔里木河流域高质量发展、资源环境保护提供理论支撑和决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

狭义上的塔里木河流域包括南疆阿克苏地区、喀什地区、和田地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州和巴音郭楞蒙古自治州5个地区,广义上还涵盖伊犁哈萨克自治州、哈密市、吐鲁番市部分行政区面积和部分境外面积。本研究中塔里木河流域取其狭义上的含义,流域分布如图1所示。流域总面积为102万km²,包含高原、平原、盆地、沙漠等多种地形地貌,沙漠占流域面积35%以上,地理环境复杂。塔里木河流域属暖温带大陆性干旱气候,降水量小、蒸发量大,年平均降水量约为50mm,蒸发的水资源量是降水量的60~70倍,光照时间足、温差大,夏季平均气温为20~30℃,冬季平均气温为-20~-10℃。

塔里木河流域具有“四源一干”的河流体系,“四源”分别是发源于天山的阿克苏河、发源于喀喇昆仑山的叶尔羌河、发源于昆仑山和喀喇昆仑山的和田河以及开都河。其中,叶尔羌河、和田河等支流需要穿越塔克拉玛干大沙漠后才能汇入干流,流域呈现出地多水少的特点。2020年流域总耕地面积约为203.2万hm²,水浇地面积约为200.3万hm²。流域2020年

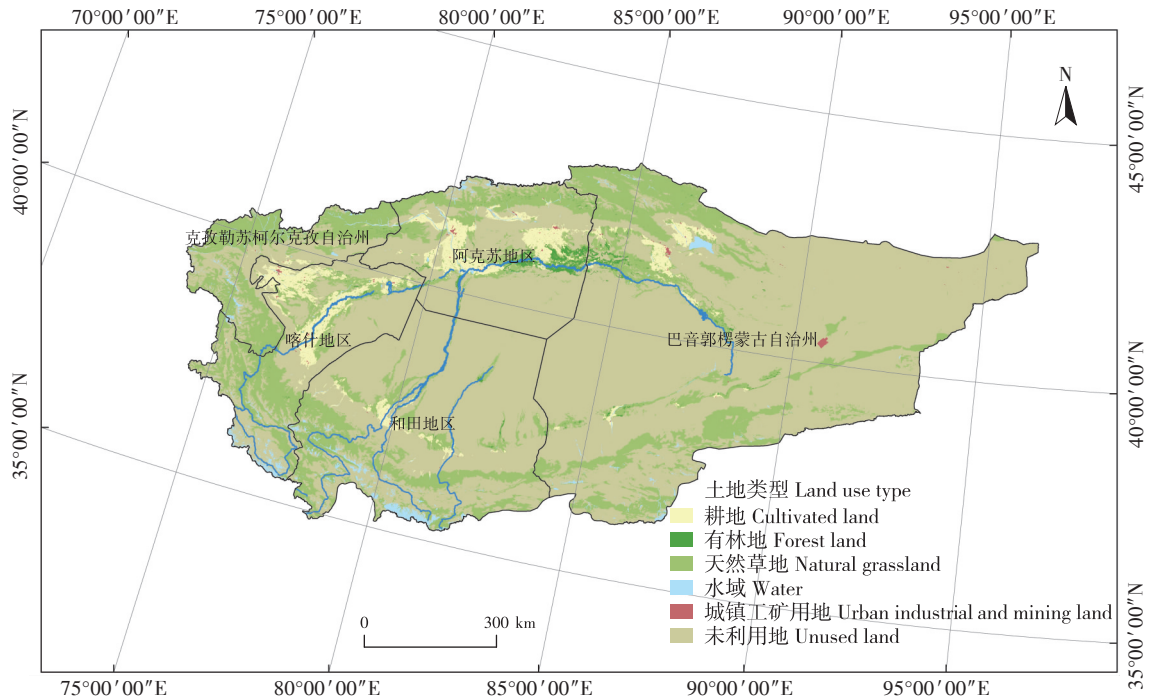


图1 塔里木河流域示意图

Figure 1 Schematic diagram of the Tarim River basin

的水资源总量约为430.77亿 m^3 ,地表水资源量约为410.23亿 m^3 ,地下水资源量约为282.34亿 m^3 ,地表水与地下水资源重复量约为261.8亿 m^3 。人均水资源量约为26 643 m^3 ,高于全国人均水资源量(2 239.8 m^3),但是每公顷土地所占有的水资源量仅为422.32 m^3 ,不足全国水平的13%,属于严重缺水地区。极端的自然条件导致水土资源匹配问题突出,严重影响了流域农业的高质量发展。

1.2 数据来源

本研究数据主要包括2005—2020年的塔里木河流域5个地区的土地利用面积、耕地面积、用水总量、农业用水量相关数据,全部来自相关年份的《新疆统计年鉴》;2020年全国及各省农业用水总量和耕地面积来源于《中国统计年鉴》,对于缺失数据运用SPSS的临近点的平均值方法进行补充。塔里木河流域行政边界地图数据来源于国家青藏高原科学数据中心(<http://data.tpdc.ac.cn>)。

1.3 研究方法

本研究采用的主要方法为基尼系数法、农业水土资源匹配系数法、当量系数法,三者都是目前国内学者常用的反映农业水土资源关系的重要方法。首先通过土地垦殖率和平均水资源量反映塔里木河流域农业水土资源现状,然后运用基尼系数方法分析

2005—2020年整个流域的农业水土资源的均衡程度,进而结合农业水土资源匹配系数分析各个地区的水资源对耕地资源的满足程度,最后结合当量系数对塔里木河流域的农业水土资源短缺情况进行评价。

1.3.1 土地垦殖率与平均水资源量

研究区域水资源分布不均衡且受季节和地理位置影响大,为了准确揭示研究区域农业水土资源的现状,本研究用土地垦殖率反映研究区耕地资源的分布现状^[31]。平均水资源量是指单位耕地面积的水资源量,用平均水资源量反映塔里木河流域水资源的分布情况^[2]。

土地垦殖率计算公式为:

$$C_k = \frac{L}{C} \times 100 \quad (1)$$

式中: C_k 为土地垦殖率,%; L 为耕地面积, 10^4 hm^2 ; C 为土地总面积, 10^4 hm^2 。

平均水资源量计算公式为:

$$\bar{W}_i = \left(\frac{\sum_{j=1}^n V_{ij}}{C_i} \right) / n \quad (2)$$

式中: $\bar{W}_i$ 为*i*地区的平均水资源量, $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; V_{ij} 为*i*地区第*j*年水资源总量, 10^4 m^3 ; C_i 为*i*地区土地总面积, 10^4 hm^2 ; n 为序列数,本研究取值为16。

1.3.2 基尼系数法

基尼系数主要用来衡量国家和地区的居民收入差距程度,由于水资源与耕地资源在空间分布上存在与“人口-收入”类似的不均衡性,不少学者将基尼系数运用在农业水土资源匹配度衡量上^[32]。因此,本研究通过绘制洛伦兹曲线图来计算基尼系数,对农业水土资源均衡水平进行测度,进而分析塔里木河流域水土资源的均衡程度^[33]。基尼系数 G 越接近1,说明两种资源越不均衡,反之,则说明两种资源在分配上越均衡,具体见表1^[34]。其计算公式为:

$$G = \frac{S_A}{S_A + S_B} \quad (3)$$

式中: G 为基尼系数; S_A 表示洛伦兹曲线与绝对平等线所包围的区域面积值; S_B 表示洛伦兹曲线与横坐标所包围的区域面积值。

表1 基尼系数评价表

Table 1 Gini coefficient evaluation table

<0.20	0.21~0.30	0.31~0.40	0.41~0.50	>0.51
绝对均衡	比较均衡	相对均衡	相差较大	相差悬殊

1.3.3 农业水土资源匹配系数

农业水土资源匹配系数^[6]可以反映农业水资源与耕地的匹配关系,本研究用来表达塔里木河流域不同地区的农业水资源对耕地资源的满足程度。匹配系数越大,说明某一时期的农业水资源满足耕地资源的程度越高,农业用水占总供水的比例越大,反之,则说明农业用水满足程度低。通过计算其多年平均值来反映整个研究期内塔里木河流域农业水资源满足耕地资源水平的高低。其计算公式为:

$$R_{ij} = \frac{\alpha_{ij} \times W_{ij}}{L_{ij}} \quad (4)$$

$$\bar{R}_i = \frac{\sum_{j=1}^n R_{ij}}{n} \quad (5)$$

式中: R_{ij} 为 i 地区第 j 年农业水土资源匹配系数, $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; W_{ij} 为 i 地区第 j 年水资源可利用量, 10^8 m^3 ; α_{ij} 为 i 地区第 j 年农业用水比例,%; L_{ij} 为 i 地区第 j 年耕地面积, 10^4 hm^2 ; $\bar{R}_i$ 为 i 地区农业水土资源匹配系数平均值, $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; n 为序列数,本研究取16。

参考相关研究成果并结合 R_i 值的集聚与离散的差异特征,运用ArcMap中的自然间断点分级法(Jenks)将农业水土资源匹配系数划分4个等级^[35]:A满足程度较优($2.31 < R_i \leq 2.80$);B满足程度良好($1.83 < R_i \leq 2.31$);C满足程度一般($1.29 < R_i \leq 1.83$);D满足程度较

差($0 < R_i \leq 1.29$)。

1.3.4 当量系数

评价农业水土资源是否短缺需了解自然条件对农业水土资源开发利用的支持程度。因此,农业水土资源短缺评价包含自然条件下水土资源的分布情况与开发利用状况两方面要素^[36]。当量系数是评价和估计某类资源开发程度的重要方法,旨在评价资源的短缺程度。农业水土资源当量系数通过结合总研究区和耕地单位面积水资源量来计算,可直观地显示农业水土资源的短缺程度以及土地、水资源的利用状况。因此运用农业水土资源当量系数来比较塔里木河流域单位面积水资源量和耕地单位面积水资源量,进而分析塔里木河流域农业水资源的短缺情况。当量系数的计算公式^[22]为:

$$EF_i = \frac{R_{fi}}{R_{li}} \quad (6)$$

$$R_{fi} = \frac{W_{fi}}{L_{fi}} \quad (7)$$

$$R_{li} = \frac{W_{li}}{L_{li}} \quad (8)$$

式中: EF_i 表示塔里木河流域某地州的农业水土资源当量系数; R_{fi} 表示塔里木河流域某地州单位耕地面积的农业用水量, $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; R_{li} 表示塔里木河流域某地州单位土地面积的水资源量, $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; W_{fi} 为塔里木河流域某地州农业用水量, m^3 ; L_{fi} 为该地州耕地面积, hm^2 ; W_{li} 为塔里木河流域某地州用水总量, m^3 ; L_{li} 为该地州土地总面积, hm^2 。

当量系数的参考值为1,体现水土资源的匹配状况。当量系数大于1时,农业用水超过水资源自然匹配程度,数字越大水资源短缺情况越严重;小于1时表明水资源较为充沛,耕地资源较为短缺,可以加大农业用水比例,数字越小越应加大耕地资源的开发。若二者未处于平衡点,要根据研究区的自然资源、经济发展水平、生态环境状况来调节水和耕地资源的数量。

2 结果与分析

2.1 塔里木河流域农业水土资源空间分布特征

了解分析塔里木河流域的水土资源的空间分布有利于对流域水土资源整体状况进行把控。图2为塔里木河流域5个地区2005—2020年间土地垦殖率与平均水资源量。流域内各地区耕地资源较为集中,主要分布在阿克苏地区和喀什地区,其中阿克苏地区土地垦殖率在4%以上,喀什地区土地垦殖率为3%~4%,与全国土地垦殖率(>10%)相比仍处于较低水

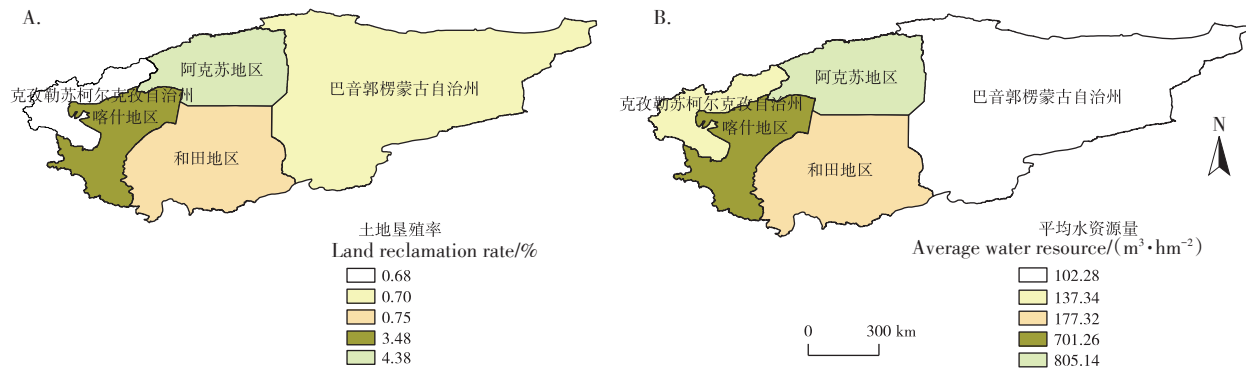


图2 塔里木河流域农业水土资源空间分布格局

Figure 2 Spatial distribution pattern of agricultural soil and water resources in the Tarim River basin

平。巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、和田地区耕地资源比较欠缺,土地垦殖率都不足1%,这与塔里木河流域气候干旱、自然环境恶劣,土地面积大且多被沙漠和戈壁占据有很大的关系。蒲春玲^[37]的研究表明不合理的土地开发和乱砍滥伐会破坏森林资源,加剧环境恶化。

受气候和地区环境影响,塔里木河流域的水资源紧张,目前流域各地区水资源都呈现超载状态,水资源的短缺是限制塔里木河流域农业发展的重要因素^[27]。巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、和田地区年平均水资源量不足 $200 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,这三个地区水资源总量少且土地面积大,严重影响了平均水资源量。喀什地区年平均水资源量在 $700 \sim 800 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,阿克苏地区年平均水资源量在 $800 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,虽然与全国年平均水资源量 ($>2000 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 相比还有很大的差距,但是喀什和阿克苏地区的平均水资源量远远超过流域其他三个地区的平均水资源量。这可能是由于喀什地区靠近昆仑山,其水源主要依靠昆仑山的雪水融化,与水源

地距离近,生产生活用水充足;阿克苏地区的水源主要来自阿克苏河,其水源的源头地势高于和田河,流域面积更加广泛,且流域内土壤肥沃、植被茂盛,可减少水资源的流失,因此有利于水资源的积累。

2.2 塔里木河流域农业水土资源匹配基尼系数

基尼系数能够反映塔里木河流域农业水土资源匹配的总体情况,图3为2005—2020年塔里木河流域农业水资源量与耕地资源的基尼系数(G),对比分析各年基尼系数,塔里木河流域农业水土资源均衡状态良好,基尼系数在0.05~0.12之间。最小与最大基尼系数相差0.07,平均值为0.08,流域的水土资源状况处于绝对均衡水平。经计算全国2020年的基尼系数约为0.41,对比全国数据,塔里木河流域虽然呈现出水资源时空差异大、土地资源空间分布差异明显的特点,但是各个地区的耕地资源根据水资源的地理分布而进行开发,因而塔里木河流域的水土资源相较于全国其他地区更加均衡。由图3可知,2007—2008年基尼系数急剧增加,此时期新疆各个地区进行土地整理复垦、开发补充耕地,同时减少建设占用耕地的面积,

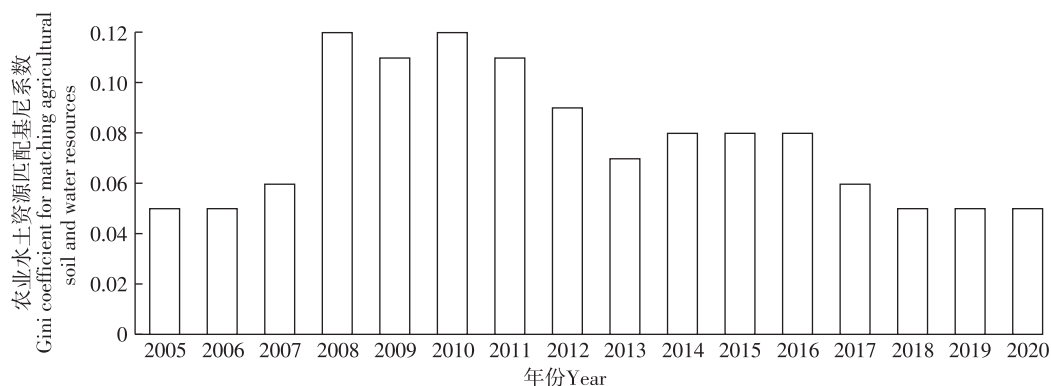


图3 塔里木河流域农业水土资源基尼系数变化趋势

Figure 3 Gini coefficient changes of agricultural soil and water resources in the Tarim River basin

开拓了大量的耕地资源,水土资源匹配不均衡程度急剧加大;2008—2020年基尼系数呈现下降趋势,耕地资源增加速度放缓,同时节水技术不断普及,水土资源均衡程度逐渐向转好方向发展。农业水土资源匹配基尼系数整体上呈现波动变化,但是变化幅度不大,处于绝对平均水平。然而塔里木河流域水土资源的均衡是建立在农业用水大量挤占第二、三产业和生态用水的基础上,为了流域的协调发展,未来要适当控制耕地的扩张^[38]。

2.3 塔里木河流域农业水土资源时空匹配特征

2.3.1 塔里木河流域农业水土资源匹配系数变化规律

农业水土资源匹配系数主要体现塔里木河流域水资源对耕地资源的满足程度。由图4可知,2005—2020年塔里木河流域农业水土资源匹配系数先下降后升高再下降,总体呈现下降趋势。流域变化趋势主要分为三个阶段:①2005—2009年,农业水土资源匹配系数总体呈现下降趋势,该阶段塔里木河流域处于耕地开发时期,耕地面积迅速增加,水资源承载压力增大,且2004年《新疆维吾尔自治区水资源费征收管理

办法》进一步修订和规范,农业用水收费更加规范,节约力度增强,农业水土资源匹配系数减小;②2009—2013年农业水土资源匹配系数总体呈现上升趋势,该阶段塔里木河流域降水量逐年增多,农业用水量随之增加,农业水土资源匹配系数增大;③2013—2020年,农业水土资源匹配系数呈现下降趋势,原因是2014年降水量减少,属于降水偏枯年份,农业用水量减少,农业水土资源匹配系数减小,2015年自治区发布了《新疆水资源2016年起将实施“最严格”管理》的通知,农业水土资源匹配系数进一步呈现下降趋势。

结合图5分析,由于水资源时空分布不均匀,塔里木河流域各个地区不同年份的农业水土资源匹配系数差异明显。从农业水土资源匹配系数的各年平均值来看,塔里木河流域只有巴音郭楞蒙古自治州的农业水土资源匹配系数均值(1.43)小于流域的平均值(1.85),处于匹配状态一般的范围;阿克苏地区匹配系数平均值为1.86,与流域平均值最为接近,喀什地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州以及和田地区的匹配系数均值分别为1.96、1.94、2.20,高于流域的平均值,

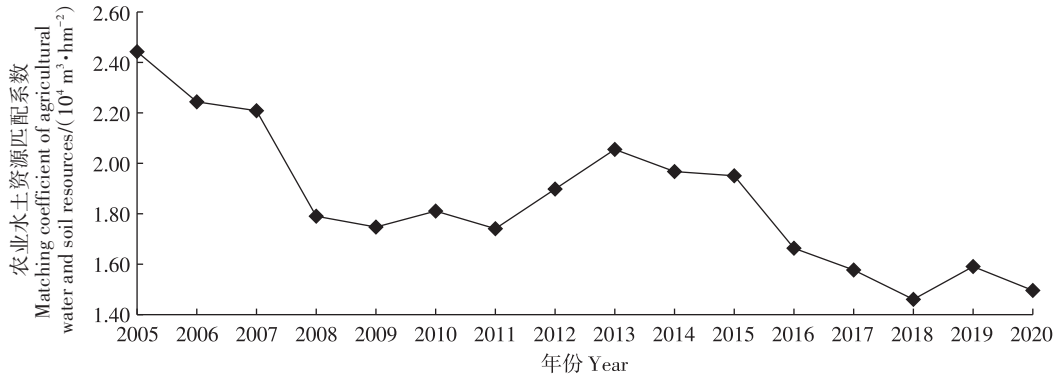


图4 塔里木河流域农业水土资源匹配系数时间变化特征

Figure 4 Time variation characteristics of agricultural water and soil resource matching coefficient in the Tarim River basin

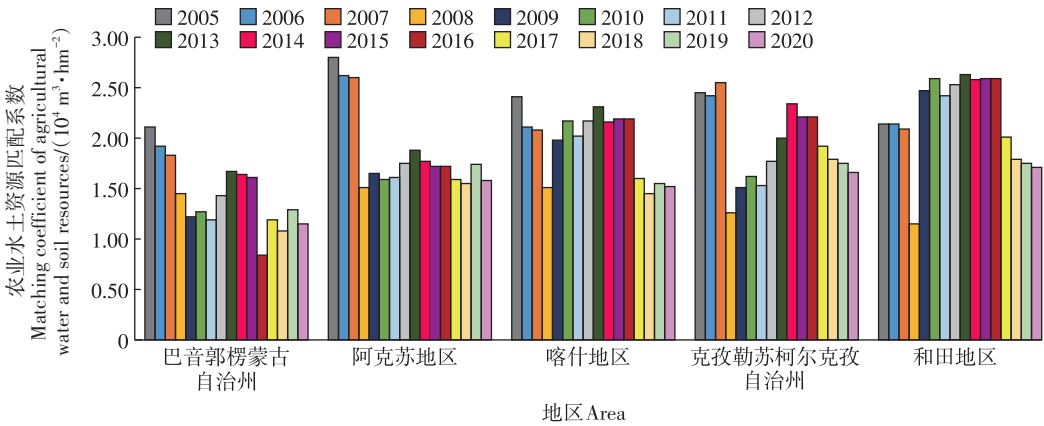


图5 塔里木河流域各地区农业水土资源匹配系数

Figure 5 Matching coefficient of agricultural soil and water resources in various regions of the Tarim River basin

处于匹配程度良好的范围内。这些地区相对于巴音郭楞蒙古自治州水资源更为充足,农业水资源对耕地资源的满足程度较好,农业水土资源匹配系数较高,水足迹是影响耕地规模的主要因素^[39]。在经济发展优先的情形下,塔里木河流域各地区的耕地处于超载状态,流域水资源优先供给耕地灌溉,制约了二、三产业的发展,因此各地区应合理退耕和提高农业用水效率^[40]。

2.3.2 塔里木河流域农业水土资源匹配时空演变格局

塔里木河流域气候干旱,水资源总量不稳定,同时研究期内耕地的开垦量不断增加,农业水土资源匹配系数年际变化明显。本研究选取 2005、2010、2015、2020 年的匹配系数进行比较,分析塔里木河流域 5 个地区农业水土资源匹配系数时空演变格局(图 6)。巴音郭楞蒙古自治州各年农业水土资源匹配系数在 5 个地区中均处于最低状态,总体呈现下降的趋势,自 2005 年开始下降,2010 年至 2015 年有所回升,2015 年后依旧呈现下降趋势。这可能是由于巴音郭楞蒙古自治州位于塔里木河流域中下游,气候干旱、蒸发量大且地表水受到污染,农业水资源量紧张,再加上耕地面积的持续扩大,农业水资源对耕地的满足程度较低。但随着水源质量的提升及水土流失现象的改善,巴音郭楞蒙古自治州与其他地区农业水土资源匹配系数的差距逐渐缩小。和田地区各年农业水

土资源匹配系数呈现先上升后稳定再下降的态势,自上升后农业水土资源匹配系数一直高于其他地区。和田地区水资源相对丰富,少数民族人口聚居,随着人口的增加,土地资源利用方向由一开始的种植业向用水少、收益高的林果业转型。阿克苏地区、喀什地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州的农业水土资源匹配系数相差不大,主要在 1.5~2.5 之间,呈现交替变化趋势。结合已有研究,南疆塔里木河流域 5 个地区的农业水土资源匹配系数较高,北疆的农业水土资源匹配系数较低^[7]。随着耕地资源的增加速度放缓和农业经济向环境友好方向转型,塔里木河流域 5 个地区的农业水土资源匹配系数差距逐渐减小并稳定在 1~2 之间。

2.4 塔里木河流域农业水土资源短缺情况

当量系数是常用的反映地区水土资源短缺情况的方法,本研究通过计算 5 个地区 2005—2020 年的当量系数,来反映塔里木河流域农业水土资源短缺情况,结果如图 7 所示。由图 7 可知,2005—2020 年各地区都处于极度缺水状态,表明各地区农业用水量严重超过水资源实际自然匹配度。其中当量系数最大值为 244.47,出现在 2005 年的巴音郭楞蒙古自治州,表明 2005 年巴音郭楞蒙古自治州水资源量与耕地资源严重不匹配,处于严重缺水状态;当量系数最小值

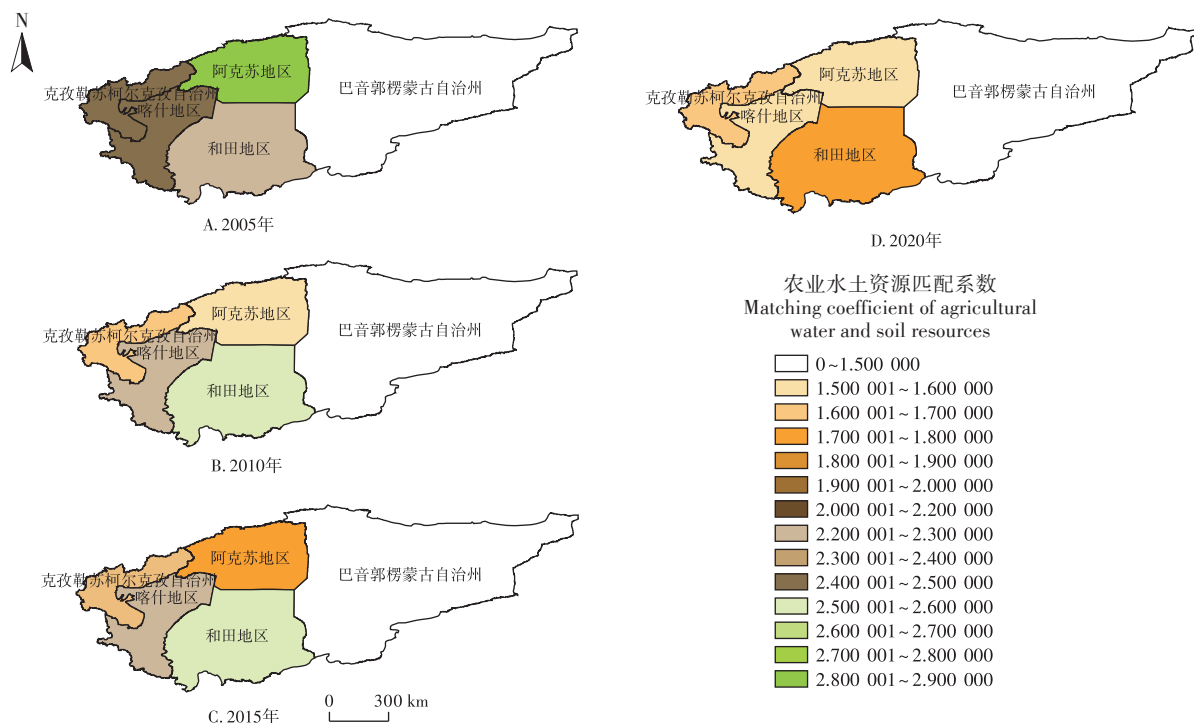


图6 塔里木河流域农业水土资源匹配时空演变格局

Figure 6 Temporal and spatial evolution pattern of agricultural soil and water resources matching in the Tarim River basin

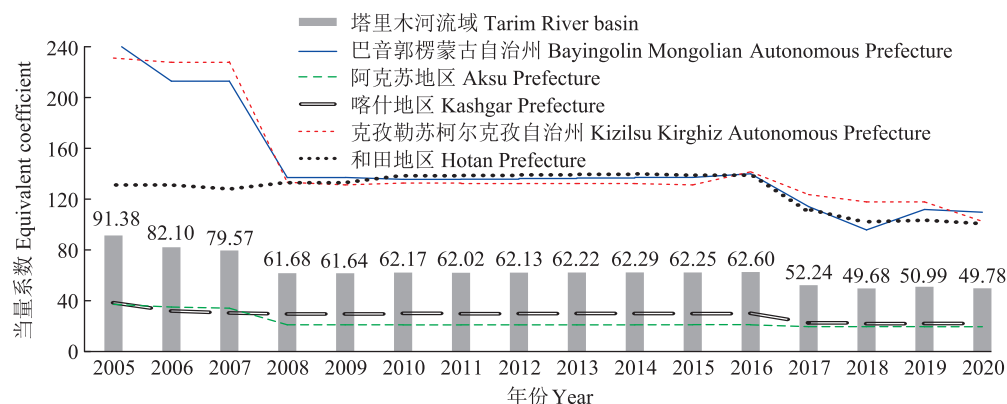


图7 塔里木河流域各地州农业水土资源当量系数

Figure 7 Agricultural water and soil resource equivalent coefficient of various prefectures in the Tarim River basin

出现在2020年的阿克苏地区,其值为19.38,说明相对于其他年份、其他地区,阿克苏地区2020年农业水资源相对充足,但仍处于缺水状态。2005—2020年5个地区的当量系数都呈现下降趋势,说明农业生产用水与水资源自然匹配程度提高,但当量系数下降趋势有所不同,其中下降最为明显的是克孜勒苏柯尔克孜自治州,其降幅为55.65%,降幅最小的是和田地区,仅为23.13%。

对比5个地区可以了解到,巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、和田地区的当量系数远远高于阿克苏地区和喀什地区,表明这3个地区农业水资源远不如阿克苏地区和喀什地区充足,呈现地区差异大的特点。巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、和田地区的当量系数随时间变化稳定在90~150之间,阿克苏地区和喀什地区的当量系数随时间变化稳定在30以下。由图7可知:2005—2008年塔里木河流域当量系数下降趋势最为明显,降幅为32.50%,5个地区中除了和田地区当量系数增加了1.34%之外,其他4个地区都呈现下降趋势,克孜勒苏柯尔克孜自治州和巴音郭楞蒙古自治州下降最为明显;2008—2016年塔里木河流域当量系数变化不大,仅增加了1.49%,各个地区变化均不明显,除阿克苏地区当量系数下降0.21%之外,其他各个地区都略微上升;2016—2020年塔里木河流域当量系数仍呈下降状态,降幅为20.48%,且5个地区均呈现下降趋势,阿克苏地区降幅最小,为7.75%。

3 讨论

塔里木河流域是大陆性干旱气候,干燥少雨、昼夜温差大,土地类型复杂且水资源分布不均匀,因此

研究水土资源的匹配关系对于塔里木河流域农业发展具有重要的意义。流域内水资源相对丰富的阿克苏地区年平均水资源量在 $800 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,与全国年平均水资源量($>2000 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)有很大差距,塔里木河流域整体处于缺水状态。根据已有研究^[41],国家已经多次向塔里木河生态输水,但是由于人类活动的影响依旧无法改变塔里木河流域缺水的现状。虽然塔里木河流域水资源与耕地资源分布较为一致,但是各地区水资源对耕地的满足程度不同且各地缺水程度存在差别,水足迹是影响农业的重要因素^[39]。与国内其他地区相比,塔里木河流域的水土资源基尼系数在0.05~0.12之间,远远低于山东^[22]、黑龙江^[2]等省份,水土资源处于绝对均衡水平,其原因为塔里木河流域土地面积大、水资源缺乏,各地区根据水源的分布来开发耕地资源,从而流域内各地区的水土资源均衡程度高;各地区农业水土资源匹配系数普遍在1.4以上,明显高于山东等^[22]地区,表明塔里木河流域农业水资源对耕地资源的满足程度高,原因为塔里木河流域各地区工业和第三产业较不发达,水资源主要用于农业,同时农业水资源蒸发量大,农业水资源需要的供应量大。根据研究结果预测,随着塔里木河流域节水技术的不断普及和农业产业的优化调整,各地区的水资源与耕地资源时空分配会更加均衡,且农业水资源对耕地资源的满足程度会趋于相似,这对各地区水资源的合理调配提出了更高的要求,同时各地区面临着地下水过度开采、储水量减少的问题。因此为加强流域内农业水土资源的匹配程度,应合理调配水资源,优化各地区农业产业结构,加强巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、和田地区这些缺水地区的水资源的调度,优化配置水资源,实现水资源空

间的合理调配。

4 结论

本研究基于2005—2020年塔里木河流域5个地区的农业水土资源数据,运用基尼系数、农业水土资源匹配系数以及农业水土资源当量系数,结合ArcGIS软件评价塔里木河流域水资源与耕地资源时空分配的均衡状况和匹配程度,得到以下结论:

(1)从地理分布上来看,塔里木河流域耕地资源分布与水资源有密切关系。喀什地区、阿克苏地区年平均水资源量在 $700\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上,水资源较塔里木河流域其他地区充足,耕地资源丰富,土地垦殖率3%以上;巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、和田地区三个地区年平均水资源量不足 $200\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,水资源相对匮乏,耕地资源也缺乏,土地垦殖率都不足1%,各地区农业水土资源分布较为统一。

(2)2005—2020年,塔里木河流域水土资源基尼系数在0.05~0.12之间,对比全国2020年的基尼系数(0.41)可以看出流域内的水土资源均衡程度高,基尼系数整体呈现波动变化,但是变化幅度不大,处于绝对均衡水平。

(3)2005—2020年,农业水土资源匹配系数呈现出先下降再升高再下降的特征,总体呈现下降趋势。5个地区的农业水土资源匹配系数逐渐趋于一致,农业水资源对土地资源的满足程度介于一般至良好水平。

(4)当量系数分析结果表明,虽然塔里木河流域5个地区的农业水土资源均衡程度较好,但与流域自然水资源量相比,5个地区农业用水均处于极度缺乏状态,且地区差异大,巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、和田地区农业用水的缺乏程度高于阿克苏地区和喀什地区。

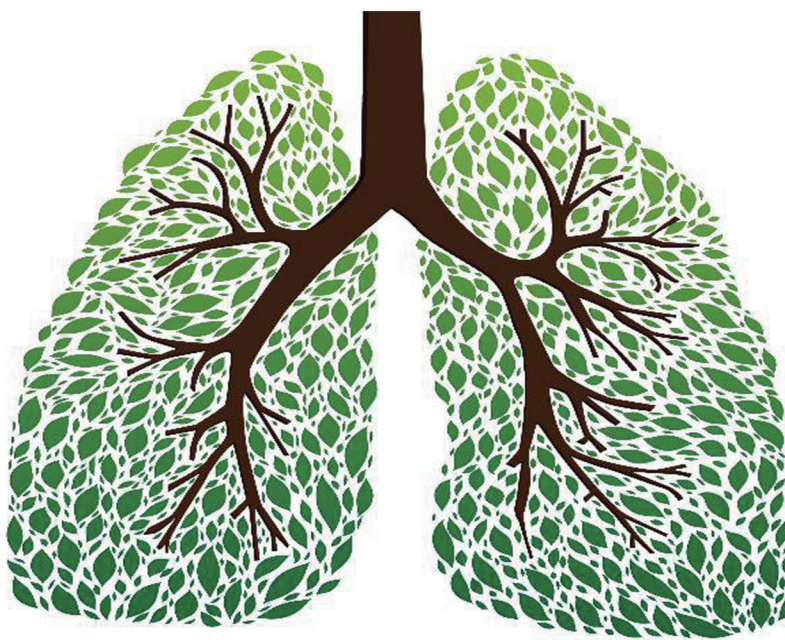
参考文献:

- [1] 及茹,张弦,李国胜.粮食主产区水土资源匹配、承载力及影响因素分析[J].人民长江,2021,52(8):105-112. JI R, ZHANG X, LI G S. Analysis on agricultural water and soil resources matching coefficient, carrying capacity and influencing factors in main grain production area [J]. *Yangtze River*, 2021, 52(8):105-112.
- [2] 侯淑涛,袁伟豪,陈建龙,等.黑龙江省农业水土资源匹配格局与区域调控[J].水土保持通报,2022,42(1):150-157. HOU S T, YUAN W H, CHEN J L, et al. Matching pattern and regional regulation of agricultural water and land resources in Heilongjiang Province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2022, 42(1):150-157.
- [3] 华坚,盛晓涵.沿黄九省水土资源对粮食生产的阻尼效应测度及时

- 空分异特征[J].中国人口·资源与环境,2021,31(8):148-156. HUA J, SHENG X H. Measurement and spatiotemporal analysis of water and soil resources damping effect on grain production in nine provinces along the Yellow River[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(8):148-156.
- [4] 徐娜.甘肃省内陆河流域农业水土资源匹配度及其优化调控[D].兰州:甘肃农业大学,2019:3-4. XU N. Matching degree of agricultural land and water resources and its optimal regulation and control in inland river basin of Gansu Province[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2019:3-4.
- [5] 吴宇哲,鲍海君.区域基尼系数及其在区域水土资源匹配分析中的应用[J].水土保持学报,2003,17(5):123-125. WU Y Z, BAO H J. Regional Gini coefficient and its uses in analyzing to balance between water and soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(5):123-125.
- [6] 刘彦随,甘红,张富刚.中国东北地区农业水土资源匹配格局[J].地理学报,2006,61(8):847-854. LIU Y S, GAN H, ZHANG F G. Analysis of the matching patterns of land and water resources in north-east China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(8):847-854.
- [7] 谢桂云,张飞云.新疆农业水土资源时空匹配研究[J].中国农村水利水电,2020,452(6):58-62. XIE G Y, ZHANG F Y. Research on time and space matching of agricultural water and soil resources in Xinjiang[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2020, 452(6):58-62.
- [8] 梁变变,石培基,王伟,等.甘肃省农业水土资源时空匹配格局[J].资源开发与市场,2016,32(12):1461-1465. LIANG B B, SHI P J, WANG W, et al. Spatial-temporal match pattern of agricultural water and land resources in Gansu Province[J]. *Resource Development & Market*, 2016, 32(12):1461-1465.
- [9] 王龙,崔文刚,刘绥华,等.贵州省农业水土资源时空匹配格局[J].水电能源科学,2021,39(6):33-36. WANG L, CUI W G, LIU S H, et al. Spatial temporal matching pattern of agricultural water and land resources in Guizhou Province[J]. *Water Resources and Power*, 2021, 39(6):33-36.
- [10] 高芸,齐学斌,李平,等.黄河流域农业水土资源时空匹配特征分析[J].灌溉排水学报,2021,40(6):113-118. GAO Y, QI X B, LI P, et al. Analysis on spatial-temporal matching characteristics of agricultural water and soil resources in the Yellow River basin[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2021, 40(6):113-118.
- [11] DIPAK R S, SHIRISH G. Assessing the impacts of land use and land cover change on water resources in the Upper Bhima River basin, India[J]. *Environmental Challenges*, 2021, 5:100251.
- [12] 白洁芳,李洋洋,周维博.榆林市农业水土资源匹配与承载力[J].排灌机械工程学,2017,35(7):609-615. BAI J F, LI Y Y, ZHOU W B. Matching and carrying capacity of agricultural water and soil resources in Yulin City[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2017, 35(7):609-615.
- [13] 李慧,周维博,庄妍,等.延安市农业水土资源匹配及承载力[J].农业工程学报,2016,32(5):156-162. LI H, ZHOU W B, ZHUANG Y, et al. Agricultural water and soil resources matching patterns and carrying capacity in Yan'an City[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(5):156-162.

- [14] 徐娜, 张军, 张仁陟. 基于 Malmquist DEA 的甘肃内陆河流域农业水土资源利用效率及匹配特征研究[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(2): 115–122. XU N, ZHANG J, ZHANG R Z. Study on utilization efficiency and matching features of agricultural soil and water resources in inland river basin of Gansu Province based on Malmquist DEA[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 22(2): 115–122.
- [15] 栾福超, 张郁, 刘岳琪. 水足迹视角下三江平原地区农业水土资源配置效率研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(4): 30–35. LUAN F C, ZHANG Y, LIU Y Q. Research on land and water resources matching efficiency based on water foot print in Sanjiang Plain[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(4): 30–35.
- [16] 樊慧丽, 付文阁. 水足迹视角下我国农业水土资源匹配及农业经济增长: 以长江经济带为例[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(10): 193–203. FAN H L, FU W G. Analysis of water and soil resources matching and agricultural economic growth in China from the perspective of water foot print: taking the Yangtze River economic belt as an example[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020, 41(10): 193–203.
- [17] 许长新, 林剑婷, 宋敏. 水土匹配、空间效应及区域农业经济增长: 基于中国 2003—2013 的经验分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(7): 153–158. XU C X, LIN J T, SONG M. Research on the spatial effects of water and soil matching degree on economic growth of regional agriculture based on empirical analysis during 2003—2013 in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(7): 153–158.
- [18] 贺仓国, 姚怀柱, 于广浒, 等. 江苏沿海地区农业水土资源匹配及其效益差异分析[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(2): 110–116. HE C G, YAO H Z, YU G H, et al. Balance between water resources and soil resource in coastal regions of Jiangsu Province and its economic analysis[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2023, 42(2): 110–116.
- [19] 南纪琴, 王景雷, 秦安振. 中国西北旱区农业水土资源空间匹配对比分析[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(增刊 1): 44–48. NAN J Q, WANG J L, QIN A Z. Matching patterns of agricultural soil and water resources in northwest arid area[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2016, 35(Suppl 1): 44–48.
- [20] 郑久瑜, 赵西宁, 操信春, 等. 河套灌区农业水土资源时空匹配格局研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(3): 132–136. ZHENG J Y, ZHAO X N, CAO X C, et al. Study on the spatiotemporal matching pattern of agricultural water and land resources in Hetao irrigation district[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2015, 22(3): 132–136.
- [21] 李文静, 许文强, 包安明, 等. 阿姆河流域耕地变化及水土匹配特征分析[J]. 水资源保护, 2021, 37(3): 80–86. LI W J, XU W Q, BAO A M, et al. Analysis of cultivated land change and water–land matching characteristics in Amu Darya River basin[J]. *Water Resources Protection*, 2021, 37(3): 80–86.
- [22] 李晓燕, 郝晋珉, 陈爱琪. 山东省农业水土资源时空匹配格局及评价研究[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(11): 1–11. LI X Y, HAO J M, CHEN A Q. Time–space matching pattern and evaluation of agricultural water and soil resources in Shandong Province[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 25(11): 1–11.
- [23] 尹立河, 张俊, 姜军, 等. 南疆地区水资源问题与对策建议[J]. 中国地质, 2023, 50(1): 1–12. YIN L H, ZHANG J, JIANG J, et al. Issues and countermeasures on water resources in the southern Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2023, 50(1): 1–12.
- [24] 祁泓锬, 焦菊英, 严晰芹, 等. 近 40 年塔里木河流域水沙演变及其空间分异特征[J]. 水土保持研究, 2022, 29(5): 117–123. QI H K, JIAO J Y, YAN X Q, et al. Runoff and sediment evolution and its spatial differentiation in the Tarim River basin in recent 40 years[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(5): 117–123.
- [25] 陈丹红, 曾献奎, 吴吉春, 等. 基于 GRACE 和 GLDAS 的塔里木河流域地下水储量演变规律研究[J]. 高校地质学报, 2022, 28(6): 894–901. CHEN D H, ZENG X K, WU J C, et al. Study on the evolution of groundwater storage variations in the Tarim River basin based on GRACE and GLDAS[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2022, 28(6): 894–901.
- [26] 张静, 雍会. 干旱区塔里木河流域地下水生态调节与监测预警研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(5): 77–83. ZHANG J, YONG H. Ecological regulation and monitoring warning of groundwater in the arid area Tarim River basin[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(5): 77–83.
- [27] 刘夏, 张曼, 徐建华, 等. 基于系统动力学模型的塔里木河流域水资源承载力研究[J]. 干旱区地理, 2021, 44(5): 1407–1416. LIU X, ZHANG M, XU J H, et al. Water resources carrying capacity of Tarim River basin based on system dynamics model[J]. *Arid Land Geography*, 2021, 44(5): 1407–1416.
- [28] 陈磊, 梁新平. 基于改进综合赋权法的塔里木河流域“三源一干”水资源承载力评价[J]. 节水灌溉, 2019(1): 72–75. CHEN L, LIANG X P. Evaluation on WRCC of three source streams and one mainstream in Tarim River basin based on improved comprehensive weighting method[J]. *Water Saving Irrigation*, 2019(1): 72–75.
- [29] 孙建光, 韩桂兰. 塔里木河流域绿洲生态水权的流域分配研究[J]. 节水灌溉, 2016(11): 101–103. SUN J G, HAN G L. Research on the river basin allocation of oases ecological water right in Tarim River basin[J]. *Water Saving Irrigation*, 2016(11): 101–103.
- [30] 孙建光, 韩桂兰. 塔里木河流域可转让农用水权分配制度变迁研究[J]. 中国农村水利水电, 2016(12): 190–194. SUN J G, HAN G L. Research on the changes in the allocation system of agricultural water right being transferred in Tarim River basin[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2016(12): 190–194.
- [31] 张继辉, 王克勤, 赵洋毅, 等. 滇中重要水源区土地垦殖对集水区地表水质特征的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(6): 1417–1425. ZHANG J H, WANG K Q, ZHAO Y Y, et al. Effect of important water source reclamation of central Yunnan on water quality characteristics of catchment surface[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(6): 1417–1425.
- [32] DAI C, QIN X S, CHEN Y, et al. Dealing with equality and benefit for water allocation in a lake watershed: a Gini-coefficient based stochastic optimization approach[J]. *Journal of Hydrology*, 2018, 561: 322–

- 334.
- [33] 姜宁, 付强. 基于基尼系数的黑龙江省水资源空间匹配分析[J]. 东北农业大学学报, 2010, 415(5): 56-60. JIANG N, FU Q. Spatial matching analysis of Heilongjiang Province's water resource based on Gini coefficient[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2010, 415(5): 56-60.
- [34] 王亚迪, 左其亭, 刘欢, 等. 河南省水土资源匹配特征及均衡性分析[J]. 人民黄河, 2018, 40(4): 55-59. WANG Y D, ZUO Q T, LIU H, et al. Equilibrium analysis of the matching characteristics of water and soil resources in Henan Province[J]. *Yellow River*, 2018, 40(4): 55-59.
- [35] 侯薇, 刘小学, 魏晓妹. 陕西关中地区农业水土资源时空匹配格局研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 134-138. HOU W, LIU X X, WEI X M. Study on spatial-temporal match pattern of agricultural water-land resources in Guanzhong area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 19(1): 134-138.
- [36] 耿庆玲. 西北旱区农业水土资源利用分区及其匹配特征研究[D]. 北京: 中国科学院, 2014: 87-88. GENG Q L. Research on zoning of agricultural water and land resources utilization and their matching characteristics in arid areas of northwest of China[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2014: 87-88.
- [37] 蒲春玲. 新疆土地资源优化配置与区域经济可持续发展研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2005: 40-41. PU C L. Research on optimized distribution of land resources in Xinjiang and sustained development of regioned economy[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2005: 40-41.
- [38] 魏光辉, 桂东伟, 赵新风. 不同水平年塔里木河流域“四源一干”可承载灌溉面积研究[J]. 干旱区地理, 2018, 41(2): 230-237. WEI G H, GUI D W, ZHAO X F. Irrigation area carrying capacity in Tarim River basin in different years[J]. *Arid Land Geography*, 2018, 41(2): 230-237.
- [39] 阿不都艾尼·阿不力孜, 任强, 王义成, 等. 塔里木河流域绿洲水土资源匹配特征及稳定性分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报(中英文), 2022, 20(1): 71-78. ABUDUAINI A, REN Q, WANG Y C, et al. Analysis on the matching characteristics and stability of oasis water and land resources in the Tarim River basin[J]. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 2022, 20(1): 71-78.
- [40] 邱琳麟. 水资源约束下的塔里木河流域耕地适宜规模研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2022: 49-51. QIU L L. Appropriate scale study of cultivated land in the Tarim River basin with water resource constraints[D]. Shanghai: East China Normal University, 2022: 49-51.
- [41] 艾克热木·阿布拉, 王月健, 凌红波, 等. 塔里木河流域水资源变化趋势及用水效率分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2019, 37(1): 112-120. AIKEREMU A, WANG Y J, LING H B, et al. Analysis of water resources change trend and water use efficiency in Tarim River basin[J]. *Journal of Shihezi University(Natural Science)*, 2019, 37(1): 112-120.



同呼吸 共命运

保护森林就是保护地球之肺

《农业资源与环境学报》公益宣传