

基于水资源可利用量的我国水土资源匹配状况分析

唱彤, 李云玲

(水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120)

摘要:【目的】评价我国可利用水资源与灌溉耕地资源的匹配状况。【方法】基于流域水资源可利用量和灌溉耕地分布状况, 利用单位灌溉耕地面积拥有的水资源可利用量、基尼系数和水土资源匹配相对系数等, 定量分析我国主要省区水土资源匹配总体状况、空间分布及变化趋势。【结果】①2009—2019年我国主要省区灌溉耕地面积略有减少, 但北方部分省区面积增加显著, 灌溉耕地分布有向东北和西北转移的趋势; ②我国主要省区水土资源匹配基尼系数在0.40~0.49之间, 总体状况为较不匹配, 2016年以后有向严重不匹配状况演变的趋势; ③水土资源空间分布差异显著, 2009—2019年处于不匹配和极不匹配状态的省区从10个增加至11个, 主要分布在华北和西北地区, 且正在向北扩展。【结论】应遵循“以水定地”原则, 通过合理发展后备耕地资源、节水、农业产业结构调整、科学调水等措施提高水土资源匹配状况。

关键词: 水资源可利用量; 灌溉耕地资源; 基尼系数; 水土资源匹配

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022621

OSID:



唱彤, 李云玲. 基于水资源可利用量的我国水土资源匹配状况分析[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(6): 74-80.

CHANG Tong, LI Yunling. Analysis on Spatial Matching Patterns of Available Water Resources and Irrigated Arable Land in China[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(6): 74-80.

0 引言

【研究意义】受资源环境本底限制和区域经济社会发展占用土地资源等情况影响, 水土资源不尽匹配的状况在我国一直存在, 粮食安全面临挑战。客观分析水土资源空间分布差异以及匹配状况, 有利于科学合理指导水土资源开发, 持续优化我国水土资源配置与利用效率。【研究进展】吴宇哲等^[1]最早将基尼系数(Gini Coefficient)引入水土资源匹配研究中, 通过基尼系数表达我国水资源与耕地资源的匹配程度, 并与世界其他地区水土资源匹配状况进行对比分析; 姜秋香等^[2]、韩雁等^[3]、彭立等^[4]通过基尼系数揭示区域水资源与人口、耕地和经济社会发展等要素的空间匹配特征; 南纪琴等^[5]、文倩等^[6]通过单位耕地面积水资源量构建水土资源匹配模型并分析区域水土资源空间匹配格局, 孙侦等^[7]在分析水资源与潜在耕地资源空间匹配基础上通过基尼系数对我国水土资源匹配本底状况进行评价; 魏寿煜等^[8]、孙才志等^[9]、左其亭等^[10]分别对区域水资源空间匹配、灰水足迹空间与结构均衡、水资源空间均衡理论应用和量化方法进行了分析讨论。高芸等^[11]采用基尼系数、广义农业水土资源匹配系数和变异系数等, 分析黄河流域水土

资源匹配状况。杨亚峰等^[12]基于可变集与偏联系数方法, 以基尼系数为主要评价指标对我国水资源空间均衡状况进行评价。已有研究成果通过区域水资源状况与耕地面积、人口经济等要素的基尼系数, 对水资源与其他要素的空间匹配程度进行了很好的描述。

【切入点】以往研究中, 常会忽略区域水资源^[13]中不能为人们所用的部分, 包括难以利用的洪水、维持河道内生态系统功能和保持一定地下水合理水位所需的水量等^[14], 从土地资源看, 一些研究成果并未考虑我国耕地资源中面积超过半数且一般无需灌溉的雨养旱作农业。因此, 本文从承载经济社会的水资源可利用量和灌溉耕地角度, 揭示我国水土资源匹配状况。【拟解决的关键问题】以水资源可利用量表征可供河道外经济社会利用水量, 以水田和水浇地表征灌溉耕地面积, 通过基尼系数揭示可利用水资源与灌溉耕地整体匹配状况及变化趋势, 以各省区可利用水资源与灌溉耕地资源匹配相对系数反映我国水土资源匹配时空分布格局与演变趋势, 为以水定地和水土资源空间均衡发展政策制定以及实行差异化管控提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

采用土地调查成果共享应用服务平台(https://tddc.mnr.gov.cn/to_Login?loginType=2)中2009、

收稿日期: 2022-11-04 修回日期: 2023-03-02 网络出版日期: 2023-05-05

基金项目: 中国工程院咨询研究项目(2020-ZD-20)

作者简介: 唱彤(1983-), 女, 高级工程师, 博士, 主要从事水利规划与河流生态方面研究。E-mail: comechang@126.com

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

2012、2016 年全国土地调查成果和第 3 次全国国土调查数据成果，得到 2009、2012、2016、2019 年各省区水田、水浇地和旱地面积。多年平均水资源可利用量和水资源量来自第 3 次全国水资源调查评价相关成果。耕地灌溉耗水量和耗水总量来自 2009、2012、2016、2019 年《中国水资源公报》。土地调查数据和水资源相关数据均不包括港澳台地区。

1.2 基于水资源可利用量的水土资源匹配评价方法

1.2.1 单位面积灌溉耕地水资源可利用量计算

根据我国原国土资源部 2001 年印发的《全国土地分类（试行）》以及宋伟^[15]有关土地结构的研究，2007 年水田中不需要灌溉的望天田占耕地面积比例为 3.4%，且呈减少趋势。综合考虑现行国家标准《土地利用现状分类》（GB/T 21010—2017）中耕地分类、望天田比例以及数据可获取性，认为灌溉耕地由水田和水浇地组成。

水资源可利用量是从资源开发利用和生态环境保护角度出发描述流域可能被控制消耗利用的最大水资源量^[16]，具有耗水属性。采用地表水资源可利用量与平原区浅层地下水资源可开采量相加再扣除二者之间重复量的方法计算，重复量主要来自平原区浅层地下水资源量评价中的地表水体补给量。其中，地表水资源可利用量为多年平均地表水资源量扣除河道内生态环境需水量后的水量；平原区浅层地下水资源可开采量是在保护生态环境和地下水资源可持续利用的前提下，通过经济合理、技术可行的措施，在

近期下垫面条件下可从含水层中获取的最大水资源量，通过水均衡法和可开采系数法计算得到。水资源可利用量具有动态性和随机性，随水资源量变化而变化，为反映多年平均水平，采用第 3 次全国水资源调查评价中水资源二级区 1956—2016 年系列多年平均水资源可利用量成果，通过面积加权折算到省区，省区不同年份灌溉耕地消耗水量比例由各省区耕地灌溉耗水量与耗水总量相除得到，各省区单位面积灌溉耕地拥有水资源可利用量计算式为：

$$R_{ij} = \alpha_{ij} \cdot W_{ij} / S_{ij} \quad (i=1, 2, \cdots, n), \quad (1)$$

式中： R_{ij} 为第 i 个省区第 j 年单位灌溉耕地面积拥有水资源可利用量（ m^3/hm^2 ）； W_{ij} 为第 i 个省区第 j 年水资源可利用量（ 万 m^3 ）； S_{ij} 为第 i 个省区第 j 年灌溉耕地面积（ 万 hm^2 ）； α_{ij} 为第 i 个省区第 j 年灌溉耕地消耗水量比例； n 为省区数量， $n=31$ 。

1.2.2 区域水土资源匹配基尼系数计算

基尼系数（ G ）最初是用于衡量经济失衡、收入分配或财富人口分布状况等的指标，通过将人口按收入水平由低到高排序，求得人口累计比例和收入累计比例后构建洛伦兹曲线 $L(X)$ 。洛伦兹曲线与绝对平均线之间的面积为基尼系数，取值在 0~1 之间，曲线弧度越小且越趋向于绝对平均线，基尼系数越小，表明收入分配越趋向平等；曲线弧度越大，基尼系数越大，收入分配差距越大。基尼系数表征均匀状况等级^[5,9-10]如表 1 所示。

表 1 基尼系数与匹配状况评价等级

Table 1 Gini Coefficient and matching status level

基尼系数	[0, 0.2)	[0.2, 0.3)	[0.3, 0.4)	[0.4, 0.5)	[0.5, 1)
收入分配状况	绝对平均	比较平均	相对合理	差距较大	差距悬殊
水土资源匹配状况	绝对匹配	比较匹配	相对匹配	较不匹配	严重不匹配

将各省区灌溉耕地水资源可利用量进行从小到大排序，以排序累积比例作为横坐标，以对应灌溉耕地面积累积比例作为纵坐标，由洛伦兹曲线拟合后，计算得到基于灌溉耕地水资源可利用量的基尼系数，计算式为：

$$G = 1 - 2 \int_0^1 L(X) dx, \quad (2)$$

1.2.3 水土资源匹配相对系数

水土资源匹配相对系数可描述区域水资源可利用量与灌溉耕地协调匹配状况，反映不同省区匹配关系的空间差异，计算式为：

$$\bar{R}_{ij} = w_{ij} / s_{ij}, \quad (3)$$

式中： $\bar{R}_{ij}$ 为第 i 个省区第 j 年水土资源匹配相对系数； w_{ij} 为第 i 个省区第 j 年灌溉耕地拥有水资源可利用量占全国比例（%）； s_{ij} 为第 i 个省区第 j 年灌溉耕地面积占全国比例（%）。

2 结果与分析

2.1 我国主要省区耕地数量和结构变化情况

2009、2019 年各省区耕地结构见图 1。由图 1 可知，2019 年我国主要省区耕地面积 12 786.2 万 hm^2 ，主要分布在东北平原、黄淮海平原、四川盆地以及云南、新疆等地，东南沿海和青藏高原耕地较少。与 2009 年相比，全国耕地面积减少了 752.2 万 hm^2 ，东北三省、内蒙古和新疆耕地面积呈增加态势，增加面积超过 600.0 万 hm^2 ，其余省区呈减少趋势，其中浙江、山东、河南以及除西藏外的西南各省区面积减少均超过 65 万 hm^2 。

从耕地结构看，2019 年水田、水浇地、旱地面积占比分别为 24.6%、25.1%、50.3%，2009—2019 年全国主要省区水田面积比例基本维持不变，水浇地

面积比例增加了 4.4%，旱地面积比例减少了 4.6%，局部地区变化较大。水田面积增加的省区大多分布在北方地区，其中黑龙江水田面积增长近 1 倍，占全国水田面积比例超过 15%，南方大部分省区呈微降趋势；水浇地主要分布在河北、内蒙古、山东、河南

和新疆，占全国面积的近 80%，2009—2019 年面积增加约 460 万 hm^2 ，主要集中在内蒙古和新疆；旱地面积除吉林、辽宁和新疆出现微增外，其余省区均呈减少趋势，黑龙江、江苏、四川旱地面积减少均超过 85 万 hm^2 。

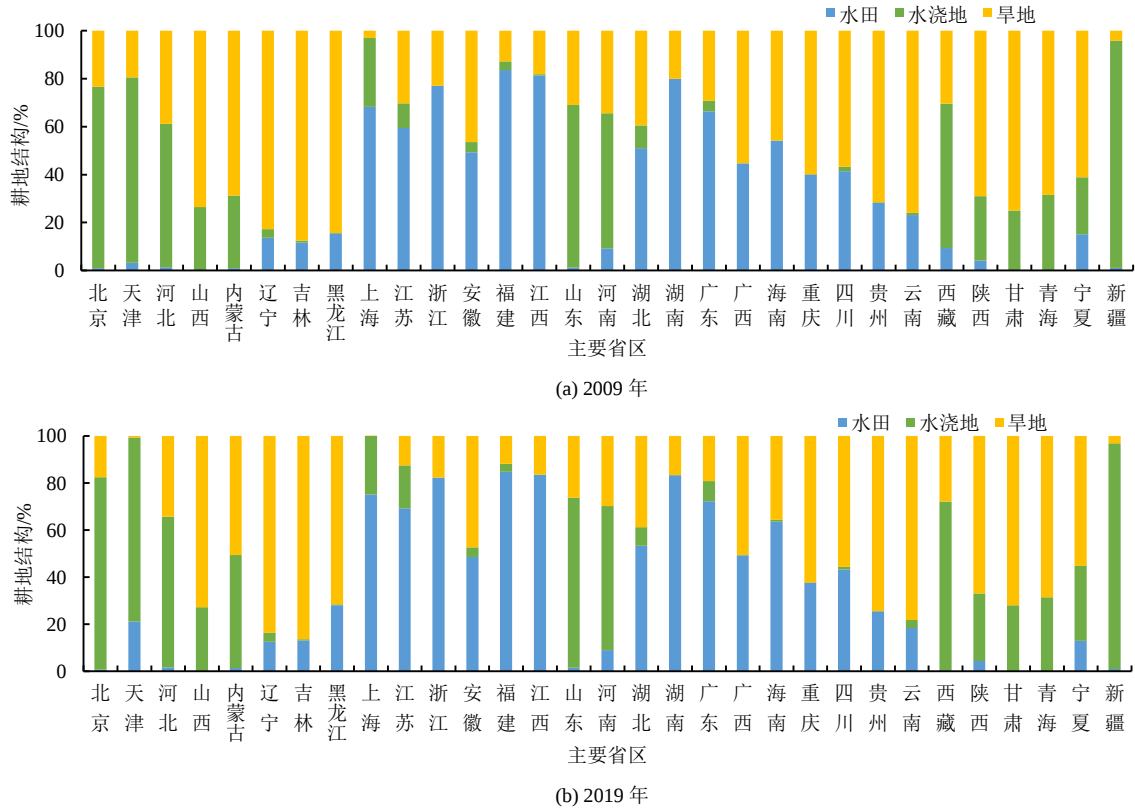


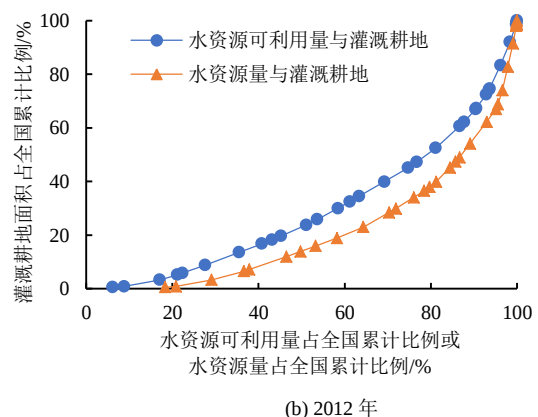
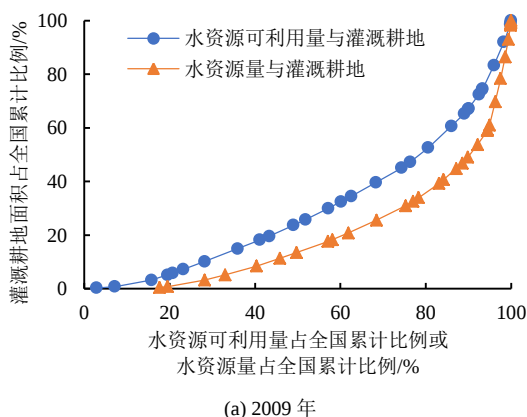
图 1 2009 年和 2019 年我国主要省区耕地结构

Fig.1 Structure of cultivated land in the main province in 2009 and 2019 in China

2.2 我国主要省区水土资源匹配总体状况及变化分析

图 2 为我国主要省区水资源可利用量与灌溉耕地资源洛伦兹曲线。表 2 为基于水资源可利用量和水资源量的基尼系数。由表 2 可知，2009—2019 年我国主要省区水土资源总体为较不匹配状况；其中 2009 年基尼系数为 0.404，处于较不匹配状态的初始阶段，2009—2016 年基尼系数缓慢增加至 0.423，到 2019 年基尼系数迅速增加至 0.486，有向严重不匹配的发展趋势。2009 年我国 80% 的水资源可利用量服务了约 53% 的灌溉耕地资源，到 2019 年 80% 的水资源可

利用量服务的灌溉耕地资源降低至约 45%。基于水资源量的基尼系数总体上处于严重不匹配状态，2009—2016 年匹配状况在 0.607 上下波动，到 2019 年基尼系数增加至 0.656。基于水资源可利用量的水土资源匹配状况整体优于基于水资源量的匹配状况，这是人们在耕地资源开发利用过程中对区域水资源条件和行业用水差异主动适应的结果；从年际变化看，局部区域灌溉农业发展过快，导致匹配状况呈下降趋势，如黑龙江省水田面积大幅增加，内蒙古和新疆水浇地面积增加。



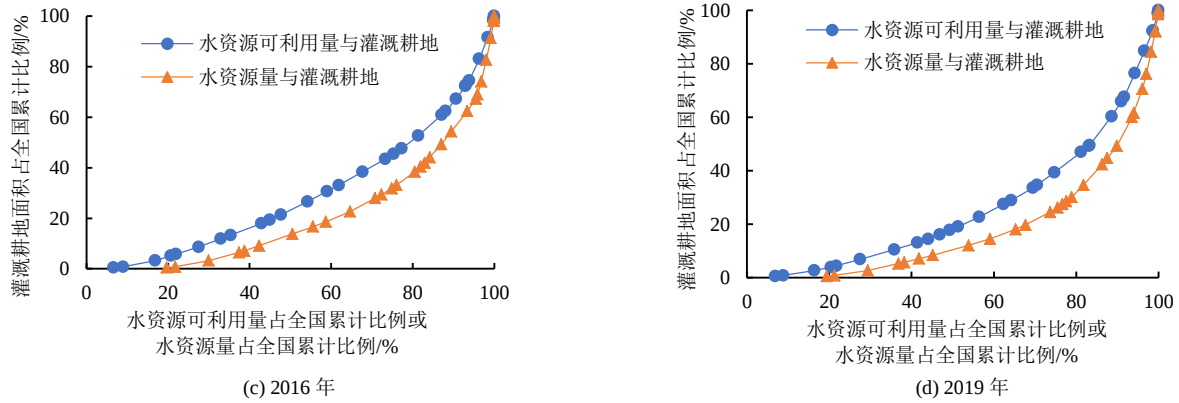


图2 水资源可利用量与灌溉耕地资源洛伦兹曲线

Fig.2 Lorenz curve of available water resources and irrigated cultivated land resources

表2 基于水资源可利用量和水资源量的基尼系数

Table 2 Gini Coefficient based on available water resources and water resources

年份	2009 年	2012 年	2016 年	2019 年
基于水资源可利用量的基尼系数	0.404	0.421	0.423	0.486
基于水资源量的基尼系数	0.619	0.591	0.612	0.656

2.3 我国主要省区水土资源匹配空间格局

2019 年各省区单位耕地灌溉面积拥有水资源可利用量如表 3，总体呈南方优于北方、沿海较内陆丰富的局面。西南地区 and 沿海地区单位灌溉耕地拥有水资源可利用量最为丰富，最大值在青海、西藏，与耕地规模受自然条件限制和当地水资源丰沛紧密相关；水资源可利用量由西南和沿海地区向内陆不均匀过度，华北地区单位灌溉耕地平均拥有水资源可利用量总体较低，仅 $2\,027.3\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ；东北三省灌溉耕地平均水资源可利用量 $10\,260.0\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，但黑龙江明显偏

少，仅为吉林、辽宁的 $1/2$ ；位于西北地区的新疆和内蒙古灌溉耕地水资源可利用量分别为 $3\,942.0\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和 $2\,287.5\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，优于华北地区平均水平；全国灌溉耕地水资源可利用量最小值出现在宁夏，仅 $561.0\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。部分省区单位灌溉耕地拥有水资源可利用量较小可能由几方面原因导致，一是区域节水水平较高，耗水量较小；二是以挤占生态用水为代价发展灌溉面积；三是存在外区域调水。我国 13 个粮食主产省灌溉耕地平均水资源可利用量 $7\,520.9\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。从 2009—2019 年变化趋势看，大多南方省区单位灌溉耕地面积拥有水资源可利用量呈增加趋势，北方省区普遍较少，减少比例超过 40% 的省区有内蒙古、黑龙江、北京等，内蒙古单位灌溉耕地面积拥有水资源可利用量减少比例最高，达 57%。粮食主产省单位灌溉耕地拥有水资源可利用量略有减少，减少比例为 5%。

表3 我国主要省区单位灌溉耕地面积拥有水资源可利用量

Table 3 Available water resources for irrigated farm land per unit in main province

主要省区	水资源可利用量/($\text{m}^3\text{ hm}^{-2}$)				主要省区	水资源可利用量/($\text{m}^3\text{ hm}^{-2}$)			
	2009 年	2012 年	2016 年	2019 年		2009 年	2012 年	2016 年	2019 年
北京	3 357.0	2 517.0	1 671.0	1 846.5	湖北	6 549.0	7 098.0	6 577.5	7 204.5
天津	1 771.5	1 638.0	1 264.5	1 110.0	湖南	9 166.5	8 997.0	9 090.0	9 852.0
河北	1 935.0	1 852.5	1 687.5	1 551.0	广东	14 161.4	14 864.9	15 925.4	19 048.4
山西	3 496.5	3 295.5	3 541.5	3 265.5	广西	13 190.9	13 759.4	14 017.4	17 255.9
内蒙古	5 302.5	4 678.5	4 408.5	2 287.5	海南	15 358.4	15 550.4	16 442.9	20 720.9
辽宁	13 043.9	12 517.4	12 076.4	11 980.4	重庆	4 440.0	5 530.5	5 308.5	7 215.0
吉林	14 302.4	13 304.9	13 741.4	12 092.9	四川	13 414.4	13 834.4	13 286.9	17 999.9
黑龙江	11 417.9	11 887.4	10 294.4	6 706.5	贵州	11 105.9	10 223.9	11 083.4	14 875.4
上海	3 825.0	3 907.5	3 649.5	4 195.5	云南	28 726.4	27 988.4	26 117.9	32 398.3
江苏	3 799.5	3 693.0	3 667.5	3 333.0	西藏	70 967.6	101 614.0	108 794.5	108 328.0
浙江	9 832.5	9 264.0	9 709.5	13 196.9	陕西	9 796.5	9 222.0	8 493.0	9 835.5
安徽	9 232.5	8 928.0	9 037.5	9 109.5	甘肃	7 494.0	7 549.5	7 485.0	6 694.5
福建	16 111.4	18 022.4	16 973.9	24 977.9	青海	77 722.1	71 660.6	61 766.7	54 565.2
江西	10 577.9	9 663.0	9 762.0	11 261.9	宁夏	688.5	672.0	628.5	561.0
山东	2 170.5	2 115.0	2 040.0	2 145.0	新疆	5 611.5	5 704.5	5 719.5	3 942.0
河南	2 500.5	2 410.5	2 355.0	2 245.5					

根据水土资源空间匹配相对系数聚集与离散的异分特征，基于水资源禀赋条件和灌溉耕地分布差异，以自然间断点分级法 (Jenks Natural breaks) 为基础，综合考虑专家咨询意见、相对系数的物理含义以及不同区域实际情况，对分级断点进行微调，将空间匹配

相对系数划分为 5 个等级，I 为水资源相对丰沛 ($\bar{R}>1.2$)，II 为匹配较好 ($0.8<\bar{R}\leq 1.2$)，III 为较不匹配 ($0.6<\bar{R}\leq 0.8$)，IV 为不匹配 ($0.4<\bar{R}\leq 0.6$)，V 为极不匹配 ($0<\bar{R}\leq 0.4$)。2009、2012、2016、2019 年各省区水土资源匹配状况见表 4。

表 4 主要省区水土资源匹配状况

Table 4 Matching status of water and arable land resources of the main province

主要省区	水土资源匹配状况				主要省区	水土资源匹配状况			
	2009 年	2012 年	2016 年	2019 年		2009 年	2012 年	2016 年	2019 年
北京	4	5	5	5	湖北	3	2	3	2
天津	5	5	5	5	湖南	2	2	2	1
河北	5	5	5	5	广东	1	1	1	1
山西	4	5	4	4	广西	1	1	1	1
内蒙古	3	4	4	5	海南	1	1	1	1
辽宁	1	1	1	1	重庆	4	3	3	2
吉林	1	1	1	1	四川	1	1	1	1
黑龙江	1	1	1	2	贵州	1	1	1	1
上海	4	4	4	4	云南	1	1	1	1
江苏	4	4	4	4	西藏	1	1	1	1
浙江	2	2	2	1	陕西	2	2	2	1
安徽	2	2	2	2	甘肃	2	2	2	2
福建	1	1	1	1	青海	1	1	1	1
江西	1	2	2	1	宁夏	5	5	5	5
山东	5	5	5	5	新疆	3	3	3	4
河南	5	5	5	5					

注 1 为水资源相对丰沛, 2 为匹配较好, 3 为较不匹配, 4 为不匹配, 5 为极不匹配。

2009 年全国水土资源处于不匹配和极不匹配状态的省区有 10 个, 为华北各省区、江苏、上海、重庆和宁夏。经过用水结构和灌溉耕地的发展演变, 2019 年处于不匹配和极不匹配状态的省区增加为 11 个, 有明显向北迁移扩展的趋势, 且除江苏和上海外其余省区均处于北方地区。华北六省区、宁夏、江苏和上海持续处于不匹配和极不匹配状态; 内蒙古和新疆从 2009 年的较不匹配状态演变成 2019 年的不匹配和极不匹配状态; 黑龙江从水资源相对丰沛下降为匹配较好。2009 年有约 35% 的灌溉耕地分布在水土资源不匹配和极不匹配省区, 到 2019 年这一面积比例超过 50%。

3 政策措施

在已有研究^[1]中, 与基于水资源量与耕地面积的基尼系数 0.556 和基于本底水资源量与潜在可开垦耕地面积的基尼系数^[8]0.712 相比, 本文基于水资源量与灌溉耕地面积的基尼系数介于二者之间。由于本文水资源量指按照农田灌溉用水比例计算的水资源量, 耕地口径也存在差异, 匹配结果劣于水资源与耕地资源的匹配结果, 但优于我国水土资源匹配本底状况。

2009—2019 年, 我国旱地面积减少 995.4 万 hm^2 , 占耕地面积比例从 55% 下降至约 50%。在生态保护和粮食安全背景下, 科学发展雨养旱作农业是改善水土资源匹配状态的重要途径, 也是发展适水农业的重要组成部分。应紧密围绕各地实际情况, 选用农作物抗旱品种, 推行节水型高效耕作栽培模式, 配合轮作复种、间作套种、合理密植等措施, 逐步形成适合旱作区特点的新型节水种植模式。

针对当前水土资源匹配状况为水资源相对丰沛和匹配较好的区域, 在充分考虑未来行业间用水结构变化的前提下, 分析水资源利用效率和节水水平, 在加

强节水和积极调整农业产业规模、结构前提下, 将现有灌溉耕地空间分布与国土空间规划中的生态保护红线和城市开发边界进行空间叠图计算, 考虑地形地貌、降水与积温、土壤质量等自然地理条件, 开展后备耕地资源调查评价, 通过估算灌溉耕地水资源可利用量综合判断灌溉耕地发展潜力, 按照“以水定地”的原则科学确定发展规模, 将水土资源匹配保持在原有状态。

在水土资源较不匹配、不匹配和极不匹配区域, 分析水资源短缺特征与属性, 根据水土资源开发利用和匹配特征, 一方面提高现有灌溉耕地节水水平, 通过生物节水、农艺节水和工程节水^[17]措施, 推进农业节水增效; 另一方面根据现有水资源条件, 持续调整种植结构和农业生产布局, 发展以水定农业规模、以水定种植结构、以水定作物产量的适水农业, 遏制并退减灌溉发展规模, 实现与区域可利用水资源和产业发展相适应相协调, 提高水土资源匹配度。

改善水土资源匹配状况还需要统筹考虑由于粮食调入调出带来的虚拟水在区域间的流动, 加强重点农产品发展区特别是粮食主产区水安全保障, 按照“确有必要、生态安全、可以持续”的原则, 通过完善引调水工程、水源工程和区域供水工程等水利基础设施建设, 加快区域间水资源均衡高效配置, 加强水资源用途管控, 提高区域水资源承载能力和水土资源匹配状况。“以水四定”是落实水资源刚性约束制度、加强水资源节约集约利用的重要原则。通过计算单位灌溉耕地面积拥有水资源可利用量, 在评价水土资源空间均衡状况及时空演变的同时, 从水资源对农业发展承载角度揭示了水土资源的匹配程度, 单位灌溉耕地面积拥有水资源可利用量可为“以水定地”和农业产业调整提供数据支撑, 为制定农业发展宏观战略、改善水土资源空间匹配状况以及实行分区域差异化管控提供科学参考。

4 结 论

1) 2009—2019 年我国主要省区耕地面积总体减少约 6%, 各省区间差异较大, 东北三省、内蒙古和新疆耕地面积合计增加约 15%, 其余省区呈不同程度减少。从耕地结构看, 水田面积占比基本维持不变, 约 4% 的耕地面积由旱地转变为水浇地。灌溉耕地面积增加约 240 万 hm^2 , 东北和西北地区部分省区增加显著, 其中内蒙古和黑龙江灌溉耕地面积增加近 1 倍, 新疆增加近 40%。

2) 当前我国主要省区水土资源匹配总体状况为较不匹配, 且向严重不匹配的状况发展。主要省区间水土资源空间分布差异显著, 西南和沿海地区单位灌溉耕地拥有水资源可利用量最为丰富, 由西南和沿海地区向内陆呈不均匀过度, 最大值分布在青海、西藏, 华北平原、内蒙古和新疆等地处于较低水平, 为 $2\,000\sim4\,000\text{ m}^3/\text{hm}^2$, 最小值在宁夏。2009—2019 年, 北方省区单位灌溉耕地拥有水资源可利用量普遍减少, 以内蒙古、黑龙江最为显著。

3) 从水土资源匹配空间分布看, 2019 年处于不匹配和极不匹配状态的省区有 11 个, 较 2009 年增加 1 个且空间分布有向北迁移扩展的趋势; 华北地区、宁夏、江苏和上海持续处于不匹配和极不匹配状态, 内蒙古和新疆从之前的较不匹配状态演变成 2019 年的不匹配和极不匹配状态。当前有超过 50% 的灌溉耕地分布在水土资源不匹配和极不匹配的省区, 2009—2019 年处于水土资源不匹配和极不匹配省区的灌溉耕地面积比例增加约 15%。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献:

- [1] 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 Yuzhe, BAO Haijun. Regional Gini coefficient and its uses in analyzing to balance between water and soil[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2003, 17(5): 123-125.
- [2] 姜秋香, 付强, 王子龙, 等. 三江平原水土资源空间匹配格局[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 270-277.
JIANG Qiuxiang, FU Qiang, WANG Zilong, et al. Spatial matching patterns of land and water resources in Sanjiang plain[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(2): 270-277.
- [3] 韩雁, 贾绍凤, 鲁春霞, 等. 水资源与社会经济发展要素时空匹配特征: 以张家口为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(6): 1 392-1 401.
HAN Yan, JIA Shaofeng, LU Chunxia, et al. Spatiotemporal matching between water resources and social economy: A case study in Zhangjiakou[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(6): 1 392-1 401.
- [4] 彭立, 邓伟, 谭静, 等. 横断山区水土资源利用与经济增长的匹配关系[J]. 地理学报, 2020, 75(9): 1 996-2 008.
PENG Li, DENG Wei, TAN Jing, et al. Restriction of economic development in the Hengduan Mountains Area by land and water resources[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(9): 1 996-2 008.
- [5] 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(S1): 44-48.

- NAN Jiqin, WANG Jinglei, QIN Anzhen. Matching patterns of agricultural soil and water resources in Northwest arid area[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2016, 35(S1): 44-48.
- [6] 文倩, 孟天醒, 郑雨旱. 河南省农业水土资源时空分异与匹配格局[J]. 水土保持研究, 2017, 24(5): 233-239.
WEN Qian, MENG Tianxing, YUN Yuhan. Temporal and spatial variation and match pattern of agricultural land and water resources in Henan Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(5): 233-239.
- [7] 孙侦, 贾绍凤, 严家宝, 等. 中国水土资源本底匹配状况研究[J]. 自然资源学报, 2018, 33(12): 2 057-2 066.
SUN Zhen, JIA Shaofeng, YAN Jiabao, et al. Study on the matching pattern of water and potential arable land resources in China[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(12): 2 057-2 066.
- [8] 魏寿煜, 谢世友. 基于基尼系数和洛伦兹曲线的重庆市水资源空间匹配分析[J]. 中国农村水利水电, 2015(2): 56-59, 73.
WEI Shouyu, XIE Shiyu. A spatial matching analysis of Chongqing's water resources based on Gini coefficient and Lorenz curves[J]. China Rural Water and Hydropower, 2015(2): 56-59, 73.
- [9] 孙才志, 白天骄, 韩琴. 基于基尼系数的中国灰水足迹区域与结构均衡性分析[J]. 自然资源学报, 2016, 31(12): 2 047-2 059.
SUN Caizhi, BAI Tianjiao, HAN Qin. The regional and structural equilibrium analysis of grey water footprint in China based on Gini coefficient[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(12): 2 047-2 059.
- [10] 左其享, 韩春辉, 马军霞. 水资源空间均衡理论应用规则和量化方法[J]. 水利水运工程学报, 2019(6): 50-58.
ZUO Qiting, HAN Chunhui, MA Junxia. Application rules and quantification methods of water resources spatial equilibrium theory[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(6): 50-58.
- [11] 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 Yun, QI Xuebin, LI Ping, 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.
- [12] 杨亚锋, 巩书鑫, 王红瑞, 等. 水资源空间均衡评估模型构建及应用[J]. 水科学进展, 2021, 32(1): 33-44.
YANG Yafeng, GONG Shuxin, WANG Hongrui, et al. New model for water resources spatial equilibrium evaluation and its application[J]. Advances in Water Science, 2021, 32(1): 33-44.
- [13] 王浩, 王建华, 秦大庸, 等. 现代水资源评价及水资源学学科体系研究[J]. 地球科学进展, 2002, 17(1): 12-17.
WANG Hao, WANG Jianhua, QIN Dayong, et al. The study on water resources assessment and subject system of water resources study on modern times[J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(1): 12-17.
- [14] 王建华, 钟华平, 耿雷华, 等. 水资源可利用量计算[J]. 水科学进展, 2006, 17(4): 549-553.
WANG Jiansheng, ZHONG Huaping, GENG Leihua, et al. Available water resources in China[J]. Advances in Water Science, 2006, 17(4): 549-553.
- [15] 宋伟. 1998—2007 年中国耕地数量及其结构变化研究[J]. 经济地理, 2011, 31(10): 1 698-1 702.
SONG Wei. Research on quantity and structure change of cultivated land from 1998 to 2007 in China[J]. Economic Geography, 2011, 31(10): 1 698-1 702.
- [16] 水利部水利水电规划设计总院. 中国水资源及其开发利用调查评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [17] 康绍忠. 贯彻落实国家节水行动方案 推动农业节水发展与绿色高效节水[J]. 中国水利, 2019(13): 1-6.
KANG Shaozhong. National water conservation initiative for promoting water-adapted and green agriculture and highly-efficient water use[J]. China Water Resources, 2019(13): 1-6.
- [18] 裴源生, 李旭东, 杨明智. 21 世纪以来我国灌溉面积构成及农业种植结构变化趋势[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(4): 1-8.
PEI Yuansheng, LI Xudong, YANG Mingzhi. Changes in irrigated areas and the types of cropland in China since 2000[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(4): 1-8.

Analysis on Spatial Matching Patterns of Available Water Resources and Irrigated Arable Land in China

CHANG Tong, LI Yunling

(General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design,
Ministry of Water Resources of P. R. China, Beijing 100120, China)

Abstract: 【Background and Objective】 The balance between irrigated farmland and water resources for different regions influence agricultural development and food security. The aim of this paper is to evaluate the spatiotemporal balance between available water resources and irrigated farmland in China. 【Method】 The analysis was based on available water resources and spatial distribution of irrigated farmlands at basin scale. Their balance was calculated using available water resources per unit irrigated farmland and the Gini coefficient. We applied the model to analyze spatial variation in balance between available water resources and irrigated farmlands from 2009 to 2019. 【Result】 On average, the areas of irrigated farmlands decreased slightly from 2009 to 2019 in China, despite a dramatic increase in several provinces in the north of the country. The Gini coefficients of water resources and land resources varied from 0.40 to 0.49, suggesting an imbalance, especially from 2016 to 2019. Spatially, there are significant differences in the balance. The number of provinces with imbalance and severe imbalance increased from 10 in 2009 to 11 in 2019, and most of them are in the northwest and north of China. 【Conclusion】 The imbalance between available water resources and irrigated farmlands, especially in the northwest and north of China, means that future development of arable lands needs to be based on water resources principle. To improve the balance, future efforts should focus on developing reserve arable land resources, saving water, changing agricultural structure and developing water diversion projects. **Key words:** available water resources; irrigated arable land; Gini coefficient; matching of water and land resources

责任编辑: 白芳芳

(上接第 73 页)

Research and Application of A New Hydrographic Datasets: A Case Study in Dongting River Basin

HUANG Zequn^{1,2}, LIAO Chunhua^{1,2*}, CHEN Yugui^{1,2}, CHEN Weitian^{3,4},
ZHAO Enrong⁵, LUO Hongmei^{1,2}, XIE Ruiheng^{1,2}

(1. Hunan Meteorological Service Center, Changsha 410118, China; 2. Key Laboratory for Meteorological Prevention and Mitigation of Disasters in Hunan Province, Changsha 410118, China; 3. School of Atmospheric Science, Sun Yat-sen University, Zhuhai 519082, China; 4. Guangdong Province Key Laboratory for Climate Change and Natural Disaster Studies, Guangzhou 510275, China; 5. Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410118, China)

Abstract: 【Objective】 High-resolution hydrographic datasets have become increasingly accessible which will have a significant impact on hydrological modelling such as runoff and flood inundation. In this paper, we present a new hydrographic dataset. 【Method】 The new raster hydrographic map, including flow direction and accumulation, drainage areas and flow distance, was developed using GIS and python programs for the Dongting River Basin, based on the latest multi-error-removed improved-terrain digital elevation model (MERIT DEM). It shows a robust performance in visual inspection, basin area, flow distance and model evaluation. The quality of the dataset was comprehensively evaluated using methods such as river network visualization analysis, comparison of basin area and river length, and hydrological modeling. 【Result】 The new hydrographic databases developed from the latest MERIT DEM show great difference in flow direction, river network structure and river length from those derived from the traditional databases, HydroSHEDS. The results obtained from the associated hydrological model indicate that daily and monthly Nash coefficients calculated from the new dataset are 0.41 and 0.52, respectively, better than those calculated from HydroSHEDS. 【Conclusion】 The newly developed hydrographic dataset provides a more accurate representation of the locations of the rivers, thereby reducing the uncertainties in predicting runoffs and potential flooding. This dataset is now available for academic research and educational use.

Key words: DEM; flow direction; river network; basin delineation; hydrometeorological services

责任编辑: 赵宇龙