

# 基于基尼系数的江苏省水资源空间均衡性评价

翟海峰, 赵益, 张师尧, 史鲁媚, 王红专\*

淮阴工学院, 数理学院, 江苏 淮安

收稿日期: 2023年12月12日; 录用日期: 2023年12月25日; 发布日期: 2024年2月9日

## 摘要

水资源空间均衡影响到经济持续稳定发展、国家水网建设、生态环境持续发展。而实现均衡的路径是以水资源、水生态、水环境承载能力作为约束, 促进经济社会发展与水资源条件的匹配。本研究以江苏省13个地级市为研究单元, 构建水资源-人口、水资源-第二产业、水资源-播种面积几个匹配关系, 利用基尼系数、不平衡指数等方法对江苏省水资源在空间中的均衡程度进行评价, 进而揭示江苏省水资源空间的不均衡性和时空变化规律。研究结果表明: 江苏省经济、社会的发展水平与用水量比较不适应。各地市水资源、经济社会发展水平均存在较大差异。

## 关键词

基尼系数, 不平衡指数, 均衡分析, 水资源, 江苏省

# Spatial Equilibrium Evaluation of Water Resources in Jiangsu Province Based on Gini Coefficient

Haifeng Zhai, Yi Zhao, Shiyao Zhang, Lumei Shi, Hongzhuan Wang\*

School of Mathematics and Physics, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an Jiangsu

Received: Dec. 12<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 25<sup>th</sup>, 2023; published: Feb. 9<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

The spatial balance of water resources affects the sustainable and stable development of economy, the construction of national water network and the sustainable development of ecological environment. The way to achieve equilibrium is to take water resources, water ecology and water en-

\*通讯作者。

文章引用: 翟海峰, 赵益, 张师尧, 史鲁媚, 王红专. 基于基尼系数的江苏省水资源空间均衡性评价[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(1): 64-72. DOI: 10.12677/aep.2024.141010

environment carrying capacity as constraints to promote the match between economic and social development and water resources conditions. This study takes 13 prefecture-level cities in Jiangsu Province as the research unit, constructs several matching relationships between water resources and population, water resources and secondary industry, water resources and sown area, and evaluates the spatial equilibrium degree of water resources in Jiangsu Province by using Gini coefficient, imbalance index and other methods, and then reveals the spatial imbalance and spatio-temporal change law of water resources in Jiangsu Province. The results show that the level of economic and social development in Jiangsu Province is not suitable for water consumption. There are great differences in water resources, economic and social development in different cities.

## Keywords

Gini Coefficient, Imbalance Index, Equilibrium Analysis, Water Resources, Jiangsu Province

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

水资源是持续支撑经济社会和生态环境不断发展的不可或缺的基础性自然资源[1] [2],也是人类赖以生存的特殊性经济资源,与粮食、能源一起构成三大战略资源[3]。随着经济水平不断增长、人口密度不断提高,水资源污染、短缺等问题日益严重,水资源承载力与经济社会发展建设矛盾不断加深,国家高度重视日益严峻的水资源状况。习总书记提出的“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”十六字治水方针为新时期水资源治理指明了方向,其根本目的是在水资源水环境承载力之内发展经济,实现两者的和谐共生。目前水资源均衡研究已经取得一些成果,但是仍处于起步阶段。左其亭等[4]通过对现有水资源空间均衡研究进行梳理,提出了水资源空间均衡的定义以及理论体系框架。金菊良等[5]在分析归纳相关学科领域空间均衡现有研究成果的基础上,梳理了水资源空间均衡分析的研究方向以及研究趋势。王劲峰等[6]提出了水资源空间配置的边际效益均衡理论。Arto 等[7]从全球角度对各国水资源均衡性评估,提出全球可持续用水战略政策。亢晓龙等[8]采用不平衡指数来研究水资源空间均衡问题;夏帆等[9]融合多种已有方法来综合表征水资源空间均衡状况。

梳理相关文献发现,当前研究多集中于黄河流域、长江流域、长三角等地区,针对省域水资源的研究较少;江苏省现有水资源因子与经济社会等因素在空间中的匹配关系的研究尚是空白。鉴于此,本文基于基尼系数、不平衡指数等方法,选取了水资源-播种面积、水资源-人口、水资源-经济三个匹配指标,以江苏省13个市级行政区为研究单元,对江苏省水资源在空间中的均衡程度进行识别。以期江苏省水资源的可持续管理提供决策依据。

## 2. 数据与方法

### 2.1. 研究区概况

江苏地处长江之尾、黄海之滨,跨江滨海,湖泊众多,水网密布,江淮沂沭泗五大河流汇集于江苏出海,自古以来水资源就很丰富。江苏省多年平均水资源总量为321.6亿立方米。淮河流域、长江下游干流区、太湖区的总水资源量分别约占全省总水资源量的60.3%、17.4%、22.3%。江、淮、沂沭泗上中游近200万平方千米来水,入境水量比较丰沛。

## 2.2. 数据来源

以江苏省 13 个市级行政区作为研究单元,其中各地级市行政区水资源总量、用水总量来源于地方水资源公报(2021 年);人口、GDP、播种面积数据来自各市统计年鉴(2021 年);部分数据经过统一口径的计算得到,缺失年份数据采取邻近年份数据。

## 2.3. 研究方法

关于区域空间均衡匹配程度评价方法,可以引入经济学中收入分配的原理,结合洛伦兹曲线和基尼系数,根据水资源量和各地级市耕地面积数据、常住人口数据以及地区生产总值,计算其基尼系数,研究水资源的空间匹配问题。同时采用不平衡指数法对水资源空间开发利用和均衡性进行评价。

## 2.4. 基于基尼系数的水资源空间均衡评价

### 2.4.1. 洛伦兹曲线

洛伦兹曲线是由美国统计学家洛伦兹(Max Otto Lorenz)于 1905 年提出的,它利用频率累计数绘制成的曲线来刻画其不平等(集中或分散)程度,是经济学上研究地区之间收入差距或财富不平等的一种分析手段。洛伦兹曲线最大的优点是直观性。其次与抽样调查相比,洛伦兹曲线在反映分配不平等程度上具有一定的优越性。洛伦兹曲线在经济学上常用作地区之间收入差距或财富不平等的分析手段,在粮食空间分配、经济发展与城市化水平对比分析、水资源空间匹配和土地利用结构特征分析等其他领域也有广泛的应用,并能很好地刻画和解释研究指标的特征。

### 2.4.2. 绘制洛伦兹曲线

本文选取江苏省 2021 年统计年鉴中各地市的水资源因子(水资源总量、用水总量)、经济因子(播种面积、人口数量和第二产业 GDP)等数据,以水资源总量累计百分比为横坐标,以经济因子(播种面积、人口数量、第二产业)累计百分比为纵坐标,绘出坐标图,以各累计数绘制坐标点,得到的曲线至绝对均匀线的离差就是该地水资源实际分布与其在全省均匀分布的差异测度。越接近绝对均匀线,曲线离差较小,表明该地水资源在全省分布越均匀;反之,离绝对均匀线较远的曲线,表明该地水资源利用在全省中的区域分布差异较大,即分布相对分散。

### 2.4.3. 基尼系数的计算

洛伦兹曲线可以直观显示水资源在全区空间分布的差异性,但是无法对差异(或均衡不均衡的)的程度进行定量描述。因此我们引入基尼系数,来进一步定量描述水资源在各地级市的分布情况。基尼系数(Gini coefficient),就是通过两组数据的对比分析,纵、横坐标均以累计百分比表示,从而做出洛伦兹曲线,然后再计算得出的集中化指数。在研究水资源均衡性时,基尼系数就是通过对水资源和经济因子数据相比较分析,然后将纵、横坐标均以累计百分比表示,做出洛伦兹曲线,再计算集中化指数而得到的一个判断水资源和经济因子匹配程度的指标。基尼系数的计算方法有多种。本研究中我们选择如下公式。

江苏省水资源空间匹配度( $G$ )计算公式:

$$G = 1 - \sum_{i=1}^n (X_i - X_{i-1})(Y_i - Y_{i-1}) \quad (1)$$

其中  $G$  为整个区域与水资源相匹配对象的基尼系数;  $X_i$  为各地市人口总数的累计比例;  $Y_i$  为各地市水资源总量(用水总量)的累计比例。 $n$  为子区域数目。基尼系数数值越大,匹配程度越差,反之,匹配程度越好(见表 1)。

**Table 1.** Relationship table of evaluation results corresponding to Gini coefficient**表 1.** 基尼系数对应的评价结果关系表

基尼系数	(0.1, 0.2]	(0.2, 0.3]	(0.3, 0.4]	(0.4, 0.5]	(0.5, 1]
评价结果	高度匹配	比较匹配	相对匹配	较差匹配	极差匹配

#### 2.4.4. 基于不平衡指数的水资源空间均衡评价

区域不平衡发展理论是以赫希曼为代表提出来的，他认为经济增长过程是不平衡的，并强调关联效应和资源优化配置效应，同时也强调了经济部门或产业的不平衡发展。不平衡指数用来量化不平衡的程度，是量化两组数据所占比重差异程度的指标。本研究中的不平衡指数反映了研究区域的水资源指标与经济社会指标之间的均衡性状况，可以由下面数学公式计算得出：

$$I = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{\sqrt{2}}{2} (Y_i - X_i) \right]^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$d_i = \frac{\sqrt{2}}{2} (Y_i - X_i) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式(2)中： $I$ 是不平衡指数， $Y_i$ 与 $X_i$ 是需要进行量化对比的两列指标， $Y_i$ 为研究范围内第 $i$ 个子区域的水资源量或地区生产总值占整个研究区域的比例， $X_i$ 为研究范围内第 $i$ 个子区域的常住人口数量占整个研究区域的比例， $d_i$ 是 $Y_i$ 与 $X_i$ 所形成坐标系的点到直线 $y=x$ 的空间距离长度， $n$ 为江苏省子区域的个数， $n=13$ 。

从研究范围整体的角度来看，根据子区域的 $d_i$ 值得到不平衡指数 $I$ ，如果 $Y_i$ 与 $X_i$ 这两列数据所占比重的差距越大，那么不平衡指数 $I$ 的值越大，则江苏省的水资源因子与经济因子相比较而言就越不均衡；如果这两列指标所占比例的差距越小，那么不平衡指数 $I$ 的值就越小，则江苏省的水资源因子与经济因子相比较而言就越均衡。

### 3. 结果与分析

从江苏省统计年鉴上收集整理了2021年江苏省13个地市的水资源总量、用水总量、播种面积、第二产业GDP和人口数量等数据。将江苏省13个地市作为研究样本，具体可以划分为三个区域：苏北、苏中以及苏南。根据上述不平衡指数计算方法，分别计算每个子区域的水资源总量、用水总值、播种面积、第二产业GDP、常住人口数量占整个研究区域的比重，得到江苏省13个子区域的水资源因子与经济因子间的不平衡指数值。

#### 3.1. 基于基尼系数的江苏省各地市计算结果分析

根据洛伦兹曲线的构造步骤：首先定义水资源因子(水资源总量、用水总量)分别为匹配原像，经济因子(播种面积、第二产业GDP、人口总数)为匹配对象，绘制6条洛伦兹曲线，得到图1。之后采用式(1)的方法计算图1各洛伦兹曲线图的基尼系数，得到表2。

由图1、表2可知：2021年，江苏省水资源总量与大部分经济因子(人口数量、播种面积)匹配性良好，基尼系数均没有超过0.3，水资源空间分布相对较为均匀。而水资源总量与第二产业GDP匹配性很差，基尼系数超过0.5，属于极差匹配。水资源总量与各经济社会指标的匹配关系反映出江苏省的水资源总量与大部分经济的发展水平相适应，但仍存在部分不平衡的情况。江苏省用水总量与经济社会因子间的基尼系数均超过了0.3，这样的结果是相对较差的，其中水资源总量与播种面积的基尼系数超

过 0.6，匹配状况最差，属于极差匹配。根据以上分析，不同分区的水资源空间分布基尼系数存在很大的差异，其主要的影响因素包括播种面积、人口数量及分区内经济条件(主要是第二产业 GDP 值)的空间变异性等，反映出江苏省的用水总量与大部分经济的发展水平不适应。本研究结果可为水资源的合理开发利用提供一定的参考。对于水资源空间分布不均匀性较大的区域(流域)为实现区域均衡发展，调水工程的必要性一般也较大，在调水工程规划中应优先考虑。同时，在水资源配置中要重视区域内水资源条件的空间差异，制定适合各子区水资源禀赋的社会经济发展规模和产业结构，实现水资源的合理利用。

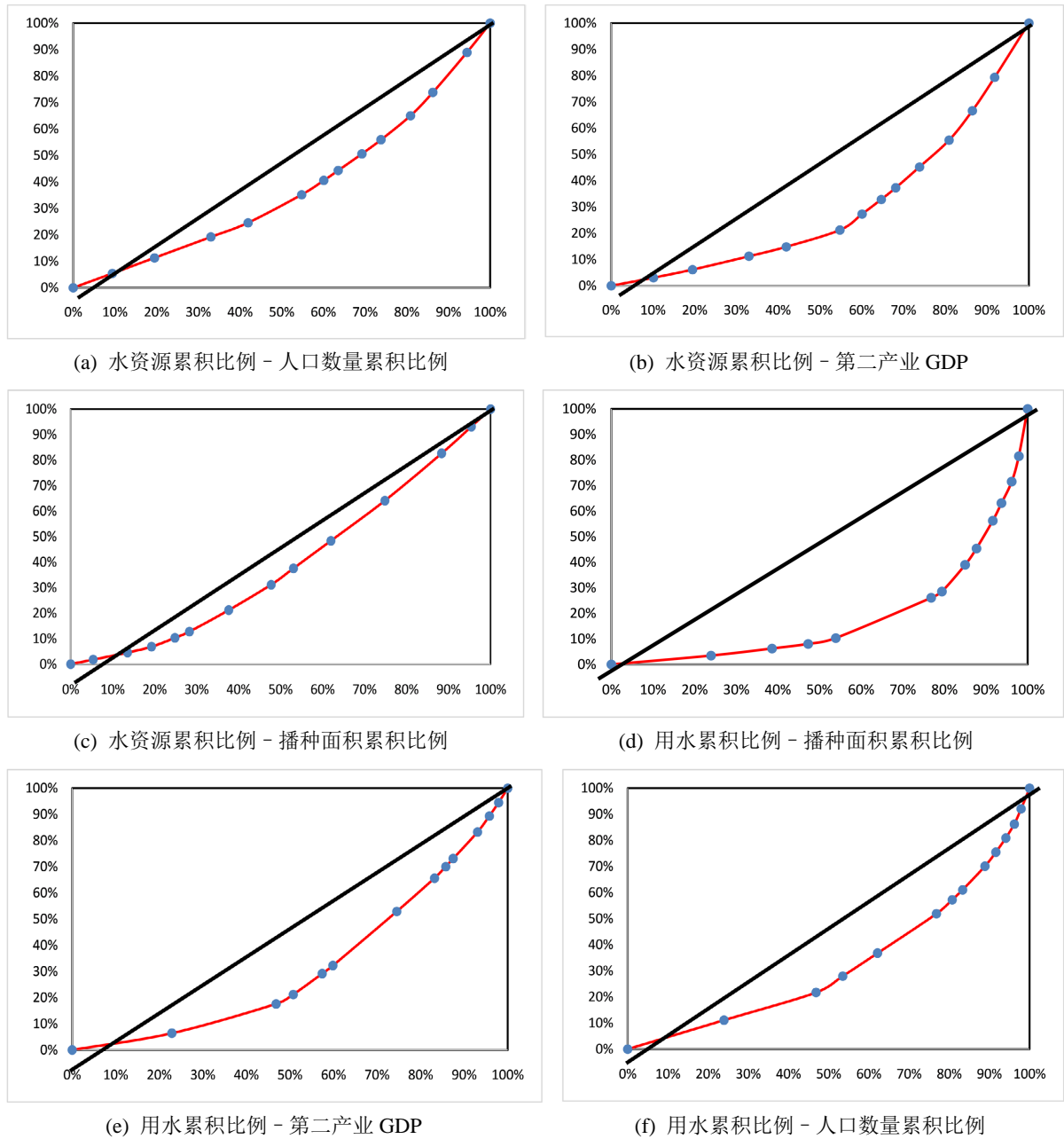


Figure 1. Lorenz curve of total water resources and various economic and social indicators

图 1. 水资源总量与各经济社会指标的洛伦兹曲线图



**Table 2.** Table of Gini coefficient and matching between total water resources and economic and social development factors in Jiangsu Province in 2021

**表 2.** 2021 年江苏省水资源总量与经济社会发展因子的基尼系数、匹配状况表

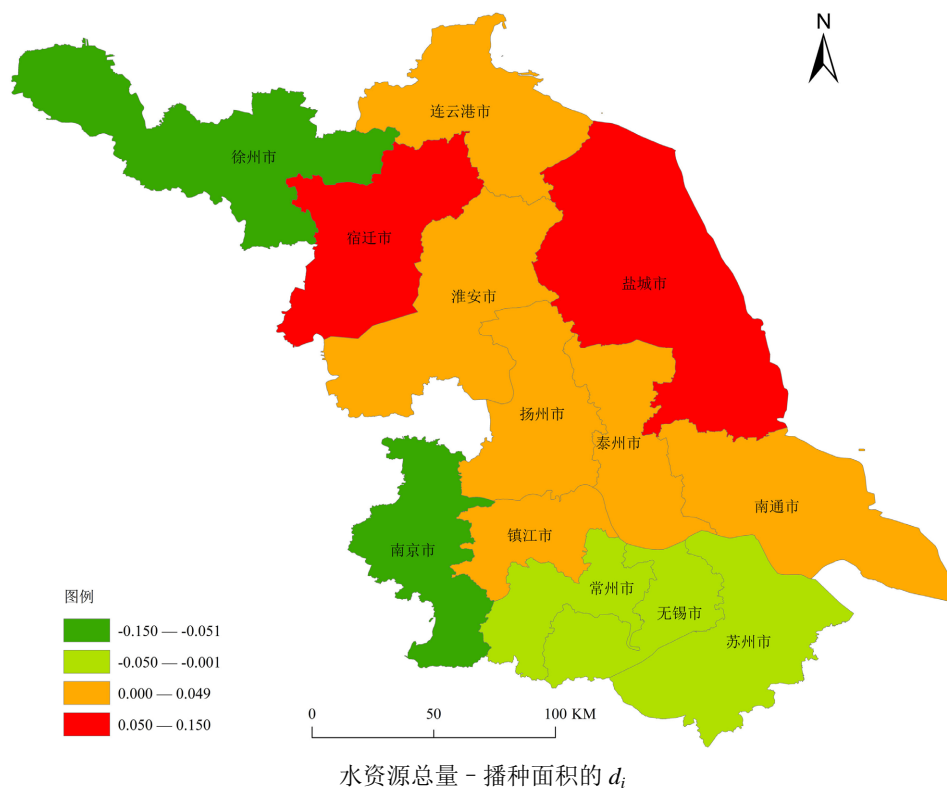
匹配原像	匹配对象	匹配关系	基尼系数	匹配状况
水资源总量	人口数量	水资源总量 - 人口数量基尼系数	0.2503	比较匹配
	播种面积	水资源总量 - 播种面积基尼系数	0.2163	比较匹配
	第二产业 GDP	水资源总量 - 第二产业 GDP 基尼系数	0.4063	较差匹配
用水总量	人口数量	用水总量 - 人口数量基尼系数	0.3486	相对匹配
	播种面积	用水总量 - 播种面积基尼系数	0.6325	极差匹配
	第二产业 GDP	用水总量 - 第二产业 GDP 基尼系数	0.3630	相对匹配
水资源总量	用水总量	水资源总量 - 用水总量基尼系数	0.4962	较差匹配

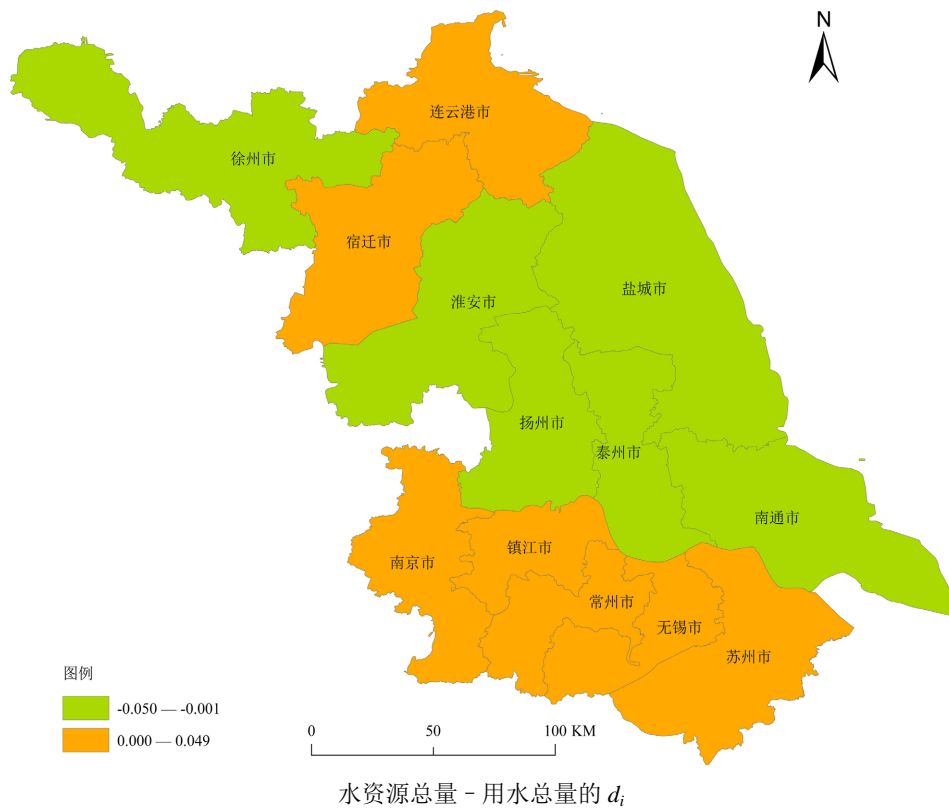
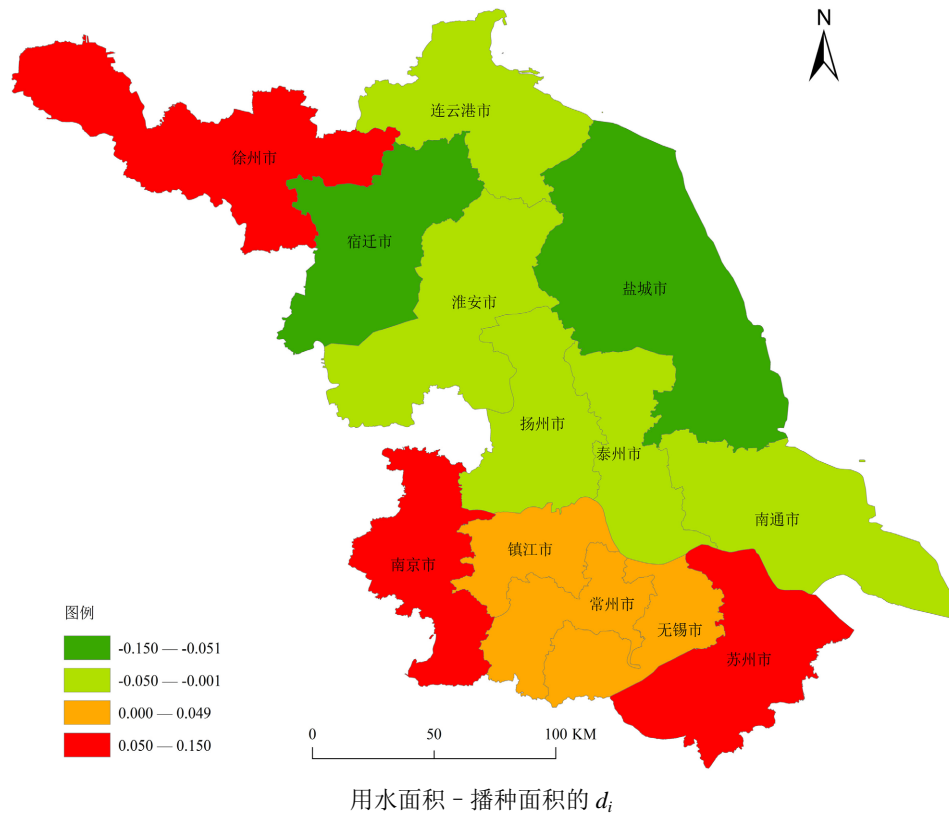
### 3.2. 江苏省水资源因子与播种面积的均衡特性分析

运用式(2)~(3)计算 2021 年江苏省各地市水资源总量(或用水总量)与播种面积的  $d_i$ 。得到图 2。

根据水资源均衡指数计算结果,江苏省整体水资源开发利用程度和开发利用极不均衡。

水资源总量 - 播种面积  $d_i$  结果表明:有 6 个地市的  $d_i$  为负数:淮安、盐城、扬州、徐州、泰州、南通。其中包含了 3 个苏北, 2 个苏中以及一个苏南地市。这表明苏北的水资源总量不丰富,但是播种开垦面积较大,导致了不平衡指数小于 0;而苏南地区大部分不平衡指数  $d_i$  值均为正值,主要因为此地区水资源量丰富,但是相比于苏北此地区城市建设面积相对更大,可供播种面积较少。





**Figure 2.** Comparison of the balance of total water resources, total water use and sown area in different cities  
**图 2.** 各地市水资源总量、用水总量与播种面积的均衡性比较

用水总量 - 播种面积  $d_i$  结果表明：江苏省大多数区域的水资源量与播种面积  $d_i$  值为负值，有 7 个地市的  $d_i$  为负数：连云港、淮安、盐城、扬州、南通、泰州、宿迁。其中包含了 4 个苏北，2 个苏中以及一个苏南地市。这表明苏北的用水总量与播种面积的矛盾未得到缓解。这些子区域的水资源量占整个研究区域的比重少于播种面积占整个研究区域的比重，呈现出“农业面积多水少”的状态，水资源量与农耕地面积  $d_i$  值达到 -0.001，处于极度不平衡的状态。而苏南地区大部分不平衡指数  $d_i$  值均为正值，主要因为此地区水资源量丰富，可以为农田提供充足的灌溉水源。

### 3.3. 江苏省水资源总量与用水总量的均衡特性分析

运用式(2)~(3)计算 2021 年江苏省各地市水资源总量与用水总量的  $d_i$ 。根据图 2，我们可以得到以下信息：

水资源总量 - 用水总量  $d_i$  结果表明：有 5 个地市的  $d_i$  为负数：常州、无锡、徐州、苏州、南京。其中包含了 4 个苏南和一个苏北地市。这表明苏南、苏北的  $d_i$  值差异较大，全省各地市自然资源、经济社会发展水平平均仍存在差异，水资源量与用水总量间的均衡程度不可能全省统一。

上述分析表明：不平衡指数和洛伦兹曲线耦合，用于江苏省水资源空间均衡定量评价是合理有效的；基尼系数和不平衡指数都是在洛伦兹曲线的基础上提出的，不同均衡情况下的洛伦兹曲线计算得到的基尼系数可能相同，基尼系数仅反映整个区域的均衡性、不能反映各区域的均衡性；本研究将不平衡指数法和洛伦兹曲线相结合，通过计算匹配原象与匹配对象之间洛伦兹曲线上各子区域样本点到绝对平等曲线的纵向距离，对应具体均衡情况，提出了水资源空间均衡定量评价的新方法，可反映各区域的均衡性，评价结果的分辨率高于基尼系数法，这些优势通过江苏省实证研究得到了体现。

## 4. 结论

本研究利用基尼系数、不平衡指数方法对江苏省水资源在空间中的均衡程度进行了评价，揭示江苏省水资源空间的不均衡性和时空变化规律。研究结果表明，江苏省在 2021 年时水资源总量与经济社会因子间的基尼系数值相对较差，用水总量与各经济社会指标反映出江苏省经济社会的发展水平与用水量很不适应。其中：苏北地区中水资源总量、用水总量与播种面积、人口数量间的匹配关系较差，播种面积与人口数量超过水资源总量的支撑范围；苏中地区中水资源总量、用水总量与播种面积、人口数量间的匹配关系比较一般，播种面积与人口数量基本与水资源量相匹配；苏南地区中水资源总量、用水总量与经济社会因子间的匹配关系较好，当地水资源量不仅丰富，而且经济发展水平也很高。表明不平衡指数方法在水资源空间均衡评价中适用、可行，可为水资源优化配置提供科学依据，为水资源空间均衡评价拓展了新的研究途径。

## 5. 展望

在取得研究结果的同时，也发现一些问题，故作出以下展望：水资源空间均衡领域的研究仍处于初步发展阶段，存在很多尚待解决的问题。问题主要集中于以下几个方面：构建水资源空间均衡的理论体系问题；探索水资源空间均衡诊断识别研究理论和方法；构建差异化水资源空间均衡调控模型问题。在研究水资源空间均衡相关问题时，需要坚持以问题为导向，需要对空间均衡机理进行分析，诊断空间均衡状态，提出实现水资源空间均衡优化的方法与政策建议。

## 基金项目

1) 江苏省 2022 年社科基金项目《长江经济带水权交易的“空间均衡”效应评估和影响机理研究》(编号：22EYB022)。



2) 淮阴工学院 2023 年江苏省大学生创新创业训练项目《水资源空间均衡性评价分析——以江苏省为例》(编号: 202311049101Y)。

### 参考文献

- [1] 阿琼. 基于 SD 模型的天津市水资源承载力研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2008.
- [2] 李辉, 金菊良, 吴成国. 基于联系数的安徽省水资源承载力动态诊断评价研究[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(1): 42-49.
- [3] 中共中央宣传部宣传教育局, 水利部办公厅. 水资源问题与对策[M]. 北京: 学习出版社, 2002.
- [4] 左其亭, 韩春辉, 马军霞. 水资源空间均衡理论方法及应用研究框架[J]. 人民黄河, 2019, 41(10): 113-118.
- [5] 金菊良, 酆建强, 吴成国. 水资源空间均衡研究进展[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2019, 40(6): 47-60.
- [6] 王劲峰, 刘昌明, 王智勇. 水资源空间配置的边际效益均衡模型[J]. 中国科学: D 辑地球科学, 2001, 31(5): 421-427.
- [7] Arto, I., Andreoni, V. and Rueda-Cantuche, J.M. (2016) Global Use of Water Resources: A Multiregional Analysis of Water Use, Water Footprint and Water Trade Balance. *Water Resources and Economics*, **15**, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2016.04.002>
- [8] 亢晓龙, 尹鹏博. 基于不平衡指数的郑州、洛阳水资源空间均衡分析[J]. 河南水利与南水北调, 2019(4): 33-35.
- [9] 夏帆, 陈莹, 窦明, 等. 水资源空间均衡系数计算方法及其应用[J]. 水资源保护, 2020, 36(1): 52-57.