

江苏沿海地区农业水土资源匹配及其效益差异分析

贺仓国¹, 姚怀柱², 于广浒³, 管伟⁴, 徐彬冰³, 余冬立^{1*}

(1.河海大学 农业科学与工程学院, 南京 211100; 2.江苏省农村水利科技发展中心, 南京 210029;
3.江苏省农垦集团有限公司, 南京 210008; 4.江苏省临海农场有限公司, 江苏 射阳 224353)

摘要:【目的】探究江苏沿海地区农业水土资源与效益的时空匹配差异。【方法】采用基尼系数与泰尔指数相结合的方法, 分析了 2009—2020 年江苏沿海地区农业水土资源匹配及其效益的差异构成, 采用耦合协调度评价各指标之间的协调发展水平。【结果】江苏沿海地区垦殖率高于全省平均水平, 农业水土资源匹配系数低于全省平均水平, 且在空间分布上存在错位现象。农业水土资源匹配系数及其效益基尼系数特征为“耕地效益基尼系数<农业水土资源匹配系数基尼系数<农田灌溉水效益基尼系数”, 与泰尔指数结果一致。耦合协调度在 0.35~0.40 之间波动变化。【结论】江苏沿海地区农业水土资源呈“耕地资源丰富, 农田灌溉水资源短缺”的特点, 耕地对农业产值的匹配程度显著优于农田灌溉水资源, 有限的水资源制约了江苏沿海地区的农业经济发展。各项指标差异主要来源于沿海 3 市的内部差异, 且耦合协调发展水平由比较均衡状态向一般失衡状态转变。

关键词: 沿海地区; 农业水土资源; 基尼系数; 泰尔指数; 耦合协调度

中图分类号: S274.3

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022308

OSID: 

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 Cangguo, YAO Huaizhu, YU Guanghu, 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.

0 引言

【研究意义】水土资源是农业发展不可或缺的生产要素。随着城镇化和农业现代化进程的加快, 有限的水土资源对农业发展的约束性愈加突出。解析水土资源匹配状况已成为保障农业水土资源合理利用、促进农业可持续发展的首要问题^[1]。【研究进展】传统水土资源匹配研究多以农业水土资源匹配系数法^[2]、基尼系数^[3]或数据包络分析^[4]等方法为主。上述方法侧重点不同, 存在各自的不足之处^[5]。徐娜等^[6]采用数据包络分析和农业水土资源匹配系数分析了内陆河流域水土资源匹配特性和利用效率。高芸等^[5]采用农业水土资源匹配系数、基尼系数和变异系数等方法分析了黄河流域的水土资源匹配特征。王凌阁等^[7]以水土资源匹配系数结合耦合协调度模型量化了水土资源的协调发展水平, 通过灰色关联度分析了耦合协调度的影响因素。水土资源与经济发展、农业生产之间的匹配状况也受到一定关注。彭立等^[8]利用基尼系数和经济增长阻力模型分析了横断山区水土资源与经济发展之间的匹配和

制约程度; 夏文雪等^[9]通过分析粮食生产格局, 结合水土资源系数法剖析了水土资源匹配状况对农业生产的影响。【切入点】随着江苏“沿海大开发”战略的实施, 临海与城镇产业得到了快速发展, 同时也导致了沿海地区土地资源利用格局发生剧烈变化^[10-11], 这一变化严重影响了沿海地区农业水土资源的匹配格局。【拟解决的关键问题】鉴于此, 本研究从水土资源与农业经济发展相结合的角度出发, 利用基尼系数明确的分级标准和泰尔指数的完全可分解优势, 分析 2009—2020 年江苏沿海地区农业水土资源匹配及其效益的差异构成, 利用耦合协调度模型量化农业水土资源及其效益协调发展水平。本研究结果可为江苏沿海地区农业水土资源的优化配置以及乡村振兴背景下保障粮食安全、促进农业经济发展提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

江苏沿海区域地处长江出海口和黄海交汇地区, 包括连云港、盐城和南通 3 市下辖的 13 个沿海区县(图 1)。该区域属于亚热带与暖温带过渡区, 水网密布, 地势低平, 拥有丰富的土地资源和滩涂资源, 地理优势显著。截至 2020 年, 江苏沿海地区土地总面积为 2.89 万 km², 人口密度为 531 人/km², 地区生产总值上涨到 16 240 亿元, 第一产业产值占 GDP 的

收稿日期: 2022-06-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(42177393); 江苏省水利科技项目(2021054); 江苏省自然资源科技项目(2022046); 南通市自然资源和规划科技创新项目(2022005)

作者简介: 贺仓国(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事农业水土资源保护研究。E-mail: 944236763@qq.com

通信作者: 余冬立(1980-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农田水土过程与侵蚀控制研究。E-mail: shedongli@hhu.edu.cn

比例由 12.4%（2009 年）下降至 7.5%（2020 年）；地区耕地面积为 1.24 万 km²，其中粮食作物播种面积为 1.55 万 km²；地表水资源量为 117.76 亿 m³，其中农田灌溉用水量为 58 亿 m³。

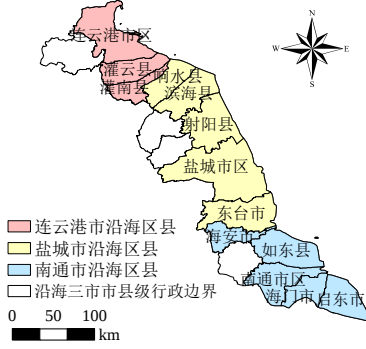


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Geographical location of the study area

1.2 数据来源

以江苏省 13 个沿海区县为研究单元，土地面积、耕地面积和农业产值数据来自各市《统计年鉴》和《江苏省统计年鉴》（2010—2021 年），农田灌溉用水量来源于各市《水资源公报》（2009—2020 年）。为消除物价水平带来的误差并保证数据的一致性，以 2009 年为基准期，利用定基指数对农业产值进行调整。本文涉及的农业水土资源特指农田灌溉水资源和耕地资源。

1.3 研究方法

1.3.1 各指标含义及计算方法

1) 农业水土资源匹配系数是指单位面积耕地拥有的农田灌溉用水量，该系数值越大表明农田灌溉用水量越丰富，越有利于农业种植结构的调整，其计算式为：

$$M_{WS} = \frac{W}{S}, \quad (1)$$

式中： M_{WS} 为农业水土资源匹配系数（m³/hm²）； W 为农田灌溉用水量（m³）； S 为耕地面积（hm²）。

2) 农田灌溉水效益是指单位体积农田灌溉用水量的农业产值，反映当前农业种植结构和节水灌溉技术水平下的农业用水效益，其计算式为：

$$M_W = \frac{Y}{W}, \quad (2)$$

式中： M_W 为农田灌溉水效益（元/m³）； Y 为农业产值（元）。

3) 耕地效益是指单位面积耕地的农业产值，反映耕地利用的经济效益。在保障粮食安全的前提下，通过优化作物种植结构，促进农业经济发展，其计算式为：

$$M_S = \frac{Y}{S}, \quad (3)$$

式中： M_S 为耕地效益（元/hm²）。

4) 垦殖率是指单位面积土地中耕地所占的比例，

反映土地被开垦的程度，其计算式为：

$$K = \frac{L}{S}, \quad (4)$$

式中： K 为垦殖率； L 为土地面积（hm²）。

1.3.2 基尼系数

基尼系数（ G ）是一种基于洛伦兹曲线来衡量 2 个要素空间匹配差异性的指标，常用以反映收入分配公平程度^[12]。以农业水土资源匹配系数为例，其基尼系数（ G_{WS} ）的计算过程如下：①计算某时间段内各区县农业水土资源匹配系数，并由小到大排序；②按照该排序计算各区县耕地面积和农田灌溉用水量占沿海地区的累计比例；③以耕地面积累计比例为 X 轴，农田灌溉用水量累计比例为 Y 轴绘制得到洛伦兹曲线；④洛伦兹曲线与 45°公平曲线所围成面积的 2 倍为基尼系数，采用梯形法^[13]计算基尼系数。参照文献^[14]将基尼系数进行分级： $G \in [0.0, 0.2]$ 表示高度匹配； $G \in (0.2, 0.3]$ 表示相对匹配； $G \in (0.3, 0.4]$ 表示一般匹配； $G \in (0.4, 0.5]$ 表示匹配差距较大； $G \in (0.5, 1.0]$ 表示匹配差距悬殊。

1.3.3 泰尔指数

泰尔指数（ T ）又称为锡尔熵，是一种利用信息熵来体现区域经济差异的指标。该指数最大的优点在于差异的完全可分解性，可将总体差异分解为区域间差异和区域内差异，分析差异的构成^[15]。泰尔指数越小说明差异越小。参照文献^[15-16]，以农业水土资源匹配系数为例，其泰尔指数 T_{WS} 计算式为：

$$T_{WS} = T_{BR} + T_{WR}, \quad (5)$$

$$T_{BR} = \sum_{i=1}^3 y_i \times \lg \left(\frac{y_i}{x_i} \right), \quad (6)$$

$$T_{WR} = \sum_{i=1}^3 y_i \times \left[\sum_j y_{ij} \times \lg \left(\frac{y_{ij}}{x_{ij}} \right) \right], \quad (7)$$

式中： T_{WS} 为农业水土资源匹配系数的总体差异（泰尔指数）； T_{BR} 和 T_{WR} 分别为区域间差异和区域内差异； $i=1, 2, 3$ 分别表示连云港市、盐城市和南通市沿海地区； j 表示各市下辖区县； y_i 为 i 地区农田灌溉用水量占沿海地区的比例； x_i 为 i 地区耕地面积占沿海地区的比例； y_{ij} 为 i 地区区县 j 农田灌溉用水量占 i 的比例； x_{ij} 为 i 地区区县 j 耕地面积占 i 的比例。如计算农业水效益泰尔指数 T_W 和耕地效益泰尔指数 T_S ，只需将式中对应指标替换即可，下同。

引入贡献率^[17]进一步研究区域间差异和区域内差异对江苏沿海地区总体差异的影响。江苏沿海地区区域内差异可进一步表示为连云港、盐城和南通市下辖沿海区县的内部差异 T_i ：

$$T_i = \sum_j y_{ij} \times \lg \left(\frac{y_{ij}}{x_{ij}} \right). \quad (8)$$

沿海地区农业水土资源匹配系数总体差异可表

示为:

$$T_{WS}=T_{BR}+T_{WR}=T_{BR}+y_1 \times T_1+y_2 \times T_2+y_3 \times T_3, \quad (9)$$

等式两边同时除以 T_{WS} , 表示为:

$$\frac{T_{BR}}{T_{WS}}+y_1 \times \frac{T_1}{T_{WS}}+y_2 \times \frac{T_2}{T_{WS}}+y_3 \times \frac{T_3}{T_{WS}}=1, \quad (10)$$

式中: $TC_{BR} = \frac{T_{BR}}{T_{WS}}$ 为农业水土资源匹配系数区域间差异占总体差异的贡献率; $TC_i = y_i \times \frac{T_i}{T_{WS}}$ ($i=1, 2, 3$) 分别为连云港、盐城和南通市下辖沿海区县内部差异占总体差异的贡献率。

1.3.4 耦合协调度模型

耦合协调度模型既能反映系统内各指标间的相互作用程度又能度量各指标协调发展的水平高低^[18]。本文以耦合协调度模型来表征农业水土资源匹配系数与效益的均衡发展程度, 计算式为:

$$C=3 \times \left[\frac{G_{WS} \times G_W \times G_S}{(G_{WS}+G_W+G_S)^3} \right]^{1/3}, \quad (11)$$

$$Z=\alpha G_{WS}+\beta G_W+\gamma G_S, \quad (12)$$

$$D=\sqrt{C \times Z}, \quad (13)$$

式中: D 为耦合协调度; C 为协调度; Z 为综合评价指标; G_{WS} 、 G_W 、 G_S 为农业水土资源匹配系数、农田灌溉水效益、耕地效益的基尼系数; α 、 β 、 γ 为各指标对应的权重。

农田灌溉水效益和耕地效益权重相等, 并结合熵权法^[19]确定权重。参照文献^[20]将耦合协调度进行分级: $D \in [0.0, 0.2]$ 表示绝对均衡; $D \in (0.2, 0.4]$ 表示比

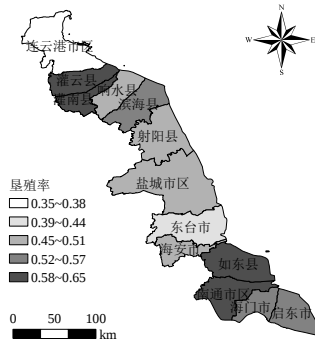
较均衡; $D \in (0.4, 0.6]$ 表示一般失衡; $D \in (0.6, 0.8]$ 表示中度失衡; $D \in (0.8, 1.0]$ 表示严重失衡。

2 结果与分析

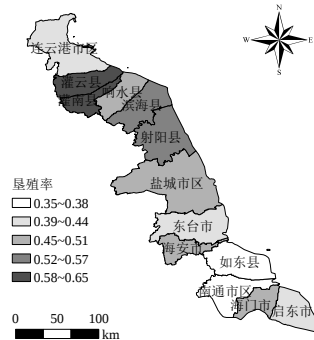
2.1 农业水土资源空间分布格局

沿海各区县多年平均垦殖率和农业水土资源匹配系数如图 2 所示。2009—2020 年, 南通市下辖各区县垦殖率显著降低, 连云港市区和射阳县垦殖率有所增加, 其余地区变化较小。滩涂围垦对沿海地区垦殖率有较大影响, 连云港市和盐城市围垦强度较低, 南通市围垦强度最高, 新增围垦土地中耕地占比较少导致垦殖率大幅度降低^[21]。各区县农业水土资源匹配系数变化较小, 灌云县和如东县有所降低, 而启东市有所增加。

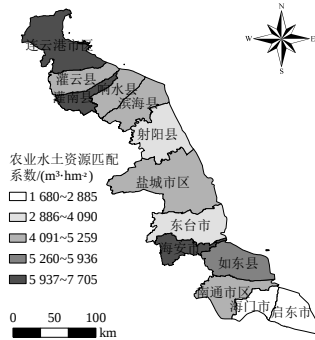
沿海地区农业水土资源表现为“耕地资源丰富, 农田灌溉水资源短缺”的特点。垦殖率与农业水土资源匹配系数存在空间错位现象。垦殖率在 0.35~0.65 之间, 普遍高于江苏省平均垦殖率 (0.38); 农业水土资源匹配系数在 1 680~7 705 m^3/hm^2 之间, 普遍低于江苏省平均水平 (5 936 m^3/hm^2)。2015—2020 年, 连云港市区、南通市区、海安市和如东县垦殖率等级显著低于农业水土资源匹配系数等级, 而灌云县、灌南县、滨海县、射阳县和海门市则相反。这一结果主要受土地利用状况以及高耗水作物 (稻谷) 种植比例的影响, 使得各区县耕地面积和农田灌溉用水量出现显著差异。



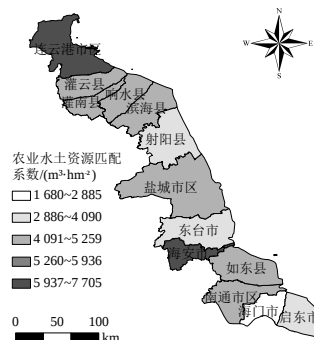
(a) 2009—2014 年垦殖率



(b) 2015—2020 年垦殖率



(c) 2009—2014 年农业水土资源匹配系数



(d) 2015—2020 年农业水土资源匹配系数

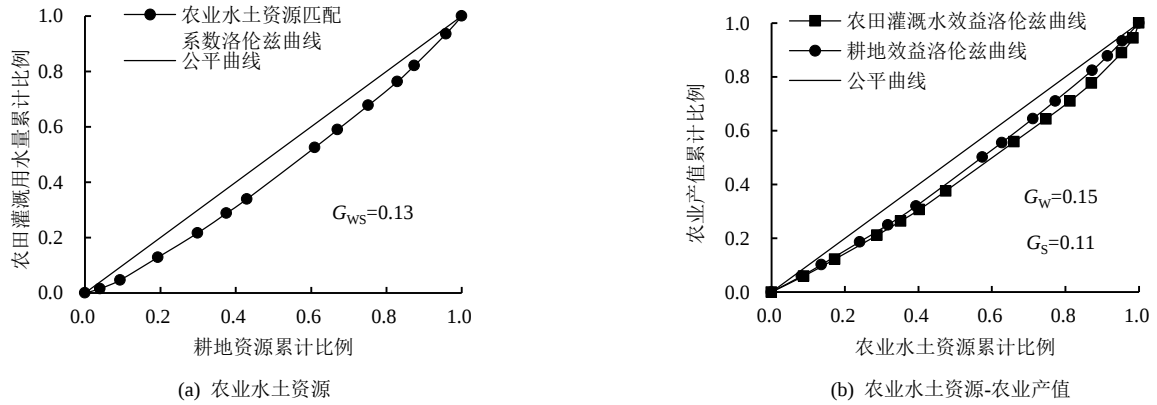
图 2 垦殖率和农业水土资源匹配系数空间分布

Fig.2 Spatial distribution of reclamation rate and Agricultural water and soil resources matching coefficient

2.2 农业水土资源匹配系数与效益的匹配特征分析

由农业水土资源匹配系数洛伦兹曲线(图 3(a))可知, 61%的耕地面积拥有 52%的农田灌溉用水量, 基尼系数 $G_{WS}=0.13<0.2$, 表明农业水土资源空间匹配高度均衡。由农业水土资源效益洛伦兹曲线(图 3(b))可知, 耕地效益洛伦兹曲线比农田灌溉水效

益洛伦兹曲线更加贴合公平曲线, 64%农业产值对应 71%的耕地面积和 75%的农田灌溉用水量, 耕地效益基尼系数 ($G_S=0.11$) < 农田灌溉水效益基尼系数 ($G_W=0.15$) < 0.2, 表明江苏沿海地区农业水土资源与农业产值空间分布处于高度匹配程度, 且耕地对农业产值的匹配程度优于农田灌溉水资源。



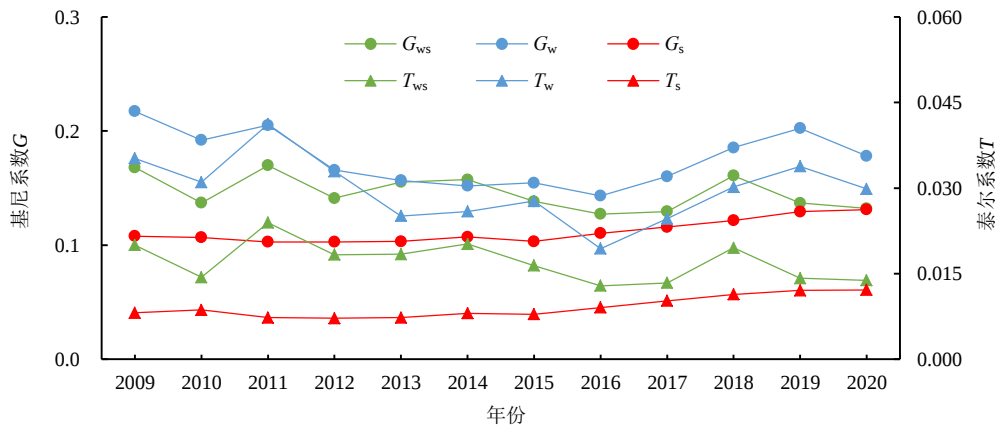
注 图中 G_{WS} 、 G_W 和 G_S 分别为农业水土资源匹配系数、农田灌溉水效益和耕地效益基尼系数, 下同。

图 3 2009—2020 年江苏沿海地区洛伦兹曲线及基尼系数

Fig.3 Lorentz curve and Gini coefficient in Jiangsu coastal area from 2009 to 2020

2009—2020 年, 江苏省沿海地区农业水土资源匹配系数及效益的基尼系数与泰尔指数如图 4 所示。2 个指数的变化趋势基本一致, 表现为 $G_W>G_{WS}>G_S$ ($T_W>T_{WS}>T_S$)。其中 G_S 和 T_S 年际变化较为平稳且呈逐渐增大的趋势; G_{WS} 、 T_{WS} 和 G_W 、 T_W 年际波

动变化, 在 2009、2011 年和 2019 年 G_W 均超过 0.2, 表示 G_W 在高度匹配与相对匹配之间波动变化。受各区县耕地质量、作物种植结构和节水技术发展水平等因素影响, 农田灌溉水效益波动频繁。



注 图中 T_{WS} 、 T_W 和 T_S 依次为农业水土资源匹配系数、农田灌溉水效益和耕地效益泰尔指数。

图 4 2009—2020 年沿海地区基尼系数与泰尔指数年际变化

Fig.4 The interannual variation of Gini coefficient and Theil index in coastal area from 2009 to 2020

表 1 为 2009—2020 年各指标总体差异的泰尔指数分解。3 项指标的区域间差异贡献率较小, 且显著低于区域内差异贡献率, 故其总体差异主要由区域内差异构成。农业水土资源匹配系数区域间差异贡献率呈波动变化, 农田灌溉水效益区域间差异贡献率基本在 10%以内, 耕地效益的区域间差异贡献率呈不断增大趋势。对比沿海 3 市区域内差异发现, 连云港市、盐城市沿海地区农业水土资源匹配系数

和农田灌溉水效益的区域内差异贡献率明显低于南通市沿海地区区域内差异贡献率 (50%~85%)。3 市沿海地区耕地效益的区域内差异贡献率波动变化。以上结果表明, 2009—2020 年沿海地区内部差异是导致江苏沿海地区水土资源匹配系数及其效益总体差异的主要来源。科学合理地优化沿海各区县水土资源配置, 是促进整个江苏沿海地区农业可持续发展的关键与突破点。

表 1 2009—2020 年各指标总体差异的泰尔指数分解

Table 1 Theil index decomposition of the overall difference of each index from 2009 to 2020

年份	农业水土资源匹配系数				农田灌溉水效益				耕地效益			
	TC_{BR}	TC_1	TC_2	TC_3	TC_{BR}	TC_1	TC_2	TC_3	TC_{BR}	TC_1	TC_2	TC_3
2009	0.15	0.11	0.24	0.50	0.17	0.07	0.20	0.56	0.07	0.17	0.49	0.27
2010	0.15	0.09	0.15	0.62	0.07	0.00	0.23	0.69	0.00	0.18	0.56	0.26
2011	0.13	0.10	0.07	0.70	0.06	0.02	0.12	0.80	0.01	0.35	0.27	0.37
2012	0.07	0.06	0.09	0.78	0.04	0.01	0.10	0.85	0.05	0.34	0.24	0.38
2013	0.09	0.23	0.06	0.62	0.02	0.04	0.12	0.82	0.09	0.32	0.22	0.37
2014	0.10	0.25	0.07	0.58	0.05	0.10	0.13	0.72	0.12	0.30	0.22	0.37
2015	0.12	0.09	0.08	0.71	0.04	0.11	0.10	0.76	0.17	0.19	0.19	0.45
2016	0.06	0.06	0.12	0.75	0.06	0.12	0.14	0.68	0.18	0.20	0.16	0.45
2017	0.12	0.10	0.11	0.67	0.05	0.17	0.12	0.66	0.17	0.25	0.15	0.44
2018	0.26	0.13	0.11	0.51	0.09	0.23	0.17	0.51	0.20	0.27	0.13	0.39
2019	0.23	0.15	0.09	0.53	0.10	0.19	0.16	0.55	0.24	0.26	0.16	0.34
2020	0.11	0.12	0.03	0.74	0.01	0.16	0.16	0.67	0.18	0.22	0.23	0.37

注 表中 TC_{BR} 表示区域间差异对总体差异贡献率; TC_i ($i=1,2,3$) 分别表示连云港、盐城和南通市下辖沿海区县内部差异对总体差异的贡献率。

2.3 农业水土资源匹配系数与效益的耦合协调度分析

农业水土资源匹配系数权重为 0.28, 耕地效益和农田灌溉水效益的权重均为 0.36。农业水土资源匹配系数及其效益的耦合协调度如图 5 所示。2009—2020 年农业水土资源匹配系数与效益的耦合协调度为比较均衡状态, $D \in (0.2, 0.4]$ 。但耦合协调度 D 在 0.35~0.40 范围内波动, 极易由比较均衡状态 $D \in (0.2, 0.4]$ 转向一般失衡状态 $D \in (0.4, 0.6]$ 。在全面推进乡村振兴和促进农业经济平稳发展过程中, 统筹做好水土资源与效益的优化配置, 保障农业可持续发展至关重要。

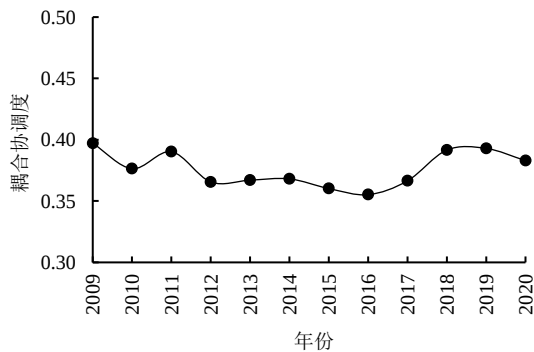


图 5 农业水土资源系数及效益的耦合协调度

Fig.5 The coupling coordination degrees of land and water resource matching coefficient and benefits

3 讨论

2009—2020 年是《江苏沿海地区发展规划》实施阶段, 在独特的地理优势和政策帮扶下, 有效推动了城镇化进程, 加剧了水土资源利用矛盾, 出现了利用滩涂围垦造田进行“占补平衡”的现象。本文利用基尼系数与泰尔指数分别从频率分布特征和信息熵的角度进行农业水土资源匹配及其效益的差异分析, 与以往研究^[3,5,14]相比, 本文验证了 2 种方法的实用性和准确性。从垦殖率和农业水土资源匹配系数来看, 沿海地区耕地资源丰富而农业灌溉水资源短缺, 农业

水土资源匹配系数极端值差异显著。从基尼系数结果来看, 各指标无显著的极端聚集现象, 表明农业水土资源及其效益在各区县内部分配高度均衡。从空间尺度来看, 本文以“沿海地区-市级-区县级”构建三级分区, 通过泰尔指数探究区域短板, 沿海区县内部差异是制约江苏省沿海农业可持续发展的区域短板。从农业经济学的角度分析, 江苏省沿海地区农业发展需要重点关注农业水资源利用与农业经济的匹配。作物种植结构、农业水土资源状况、农业科技投入等因素对农业水土资源及效益的空间匹配程度有极大影响。海门市和启东市粮食作物播种面积占比略低于其余沿海区县, 而高产、高耗水作物(稻谷)的播种面积占比仅为 5%左右, 显著低于其余沿海区县, 是造成海门市和启东市农业水土资源匹配系数显著低于其余区县的主要原因。林燕等^[22]和冯佳凝等^[23]通过分析南通市农业生产适宜性表明, 海安市和如东县适宜农业种植; 海门市和启东市多为中低产田改造区, 农业种植适宜性差。当农户在耕地质量较差的中低产田进行粮食作物生产过程中, 难以获得可观的经济收益时, 会自觉进行作物种植结构调整向经济作物生产转变, 从而导致了海门市和启东市“单位耕地粮食产量低, 农田灌溉用水量少, 农业水土资源效益高”这一“不健康”的生产状态, 严重威胁着粮食安全与农业效益稳步增收的平衡关系。

总体而言, 江苏沿海地区农业经济可持续发展的关键在于水资源的优化配置以及各沿海区县的均衡发展。对此提出以下建议: 在保障粮食安全的前提下, 优化作物种植结构, 实现水土资源优化配置, 促进农民稳步增收; 政府需加大中低产田改造力度, 增强农业科技贡献, 以水利技术为核心加速土壤脱盐改土, 提高作物种植适宜性; 积极推动水价改革和农田高效节水灌溉技术应用, 提高农业用水效率; 以高标准农田建设为切入点, 优化水土资源配置, 提升区域耕

地效益和农业用水效益, 打造以低耗水、高产出的用水模式, 从而促进农业水土资源的可持续发展。

4 结 论

1) 江苏沿海地区垦殖率高于全省平均水平, 农业水土资源匹配系数低于全省平均水平。即“耕地资源丰富, 农田灌溉水资源短缺”, 在空间分布上存在错位现象。

2) 沿海地区农业水土资源匹配系数与效益的基尼系数和泰尔指数结果一致, 表现为 $G_W > G_{WS} > G_S$ ($T_W > T_{WS} > T_S$); 通过泰尔指数分解得到总体差异的区域构成, 表明各指标区域内差异是导致总体差异的主要原因。

3) 农业水土资源匹配系数与效益的耦合协调度 D 在 0.35~0.40 之间波动变化, 其耦合协调状态极易由比较均衡转向变为一般失衡。优化沿海地区农业水土资源配置对农业可持续发展以及全面推进沿海地区乡村振兴尤为重要。

参考文献:

- [1] 璩路路, 王永生, 刘彦随, 等. 乡村振兴导向的水土资源承载力评价及其优化[J]. 自然资源学报, 2021, 36(2): 300-314.
QU Lulu, WANG Yongsheng, LIU Yansui, et al. Evaluation of water and land resources system bearing capacity and path optimization for rural revitalization[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(2): 300-314.
- [2] 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 Yansui, GAN Hong, ZHANG Fugang. Analysis of the matching patterns of land and water resources in Northeast China[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(8): 847-854.
- [3] 陶国芳, 蒋兆恒, 秦丽杰. 基于基尼系数的通化地区水土资源匹配分析[J]. 中国农业资源与区划, 2012, 33(4): 67-71.
TAO Guofang, JIANG Zhaozheng, QIN Lijie. Analysis of balance between water and land resources in Tonghua region using Gini coefficient[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2012, 33(4): 67-71.
- [4] LU Weinan, LIU Wenxin, HOU Mengyang, et al. Spatial-temporal evolution characteristics and influencing factors of agricultural water use efficiency in Northwest China: Based on a Super-DEA model and a spatial panel econometric model [J]. Water, 2021, 13(5): 632-650.
- [5] 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.
- [6] 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 Na, ZHANG Jun, ZHANG Renzhi. 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.
- [7] 王凌阁, 朱睿, 陈泽霞, 等. 甘肃河西地区 2000-2019 年水土资源耦合协调特征[J]. 中国沙漠, 2022, 42(2): 44-53.
WANG Lingge, ZHU Rui, CHEN Zexia, et al. Coupling effect of water-soil resources in Hexi Area of Gansu, China in 2000-2019[J]. Journal of Desert Research, 2022, 42(2): 44-53.
- [8] 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.
- [9] 夏文雪, 张兵, 何明霞, 等. 水足迹视角下京津冀县域粮食作物水土资源匹配格局[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(9): 22-33.
XIA Wenxue, ZHANG Bing, HE Mingxia, et al. The matching pattern of water and soil resources of food crops in Beijing-Tianjin-Hebei Counties from the perspective of water footprint[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(9): 22-33.
- [10] 许凤娇, 吕晓. 基于土地利用变化的江苏沿海地区生态风险格局[J]. 生态学报, 2018, 38(20): 7 312-7 325.
XU Fengjiao, LYU Xiao. Ecological risk pattern based on land use changes in Jiangsu coastal areas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(20): 7 312-7 325.
- [11] 陈君, 张长宽, 林康, 等. 江苏沿海滩涂资源围垦开发利用研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 39(2): 213-219.
CHEN Jun, ZHANG Changkuan, LIN Kang, et al. Reclamation and development of coastal tidal flats in Jiangsu Province[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2011, 39(2): 213-219.
- [12] LUCAS Karen, VANWEE Bert, MAAT Kees. A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches[J]. Transportation, 2015, 43(3): 473-490.
- [13] LI Liqin, WEI Chuanjiang, XIE Xinmin, et al. An optimal water allocation model based on "Water-Economy" Gini coefficient in urban agglomeration[C]//Seventh International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. Nanchang: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015: 128-132.
- [14] 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, 107.
LI Wenjing, XU Wenqiang, BAO Anming, 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, 107.
- [15] CLARKE-SATHER Afton, QU Jiansheng, WANG Qin, et al. Carbon inequality at the sub-national scale: A case study of provincial-level inequality in CO₂ emissions in China 1997—2007[J]. Energy Policy, 2011, 39(9): 5 420-5 428.
- [16] 陈洪全, 张云峰. 江苏沿海经济发展的区域差异及空间格局演变[J]. 地理科学, 2016, 36(2): 283-288.
CHEN Hongquan, ZHANG Yunfeng. Economic development disparities and spatial pattern evolution in coastal area of Jiangsu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(2): 283-288.
- [17] 康晓娟, 杨冬民. 基于泰尔指数法的中国能源消费区域差异分析[J]. 资源科学, 2010, 32(3): 485-490.
KANG Xiaojuan, YANG Dongmin. An analysis on the difference of regional energy consumption in China based on the method of the Theil index[J]. Resources Science, 2010, 32(3): 485-490.
- [18] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J]. 地理研究, 2018, 37(6): 1 100-1 114.
WANG Cheng, TANG Ning. Spatio-temporal characteristics and evolution of rural productionliving-ecological space function coupling coordination in Chongqing Municipality[J]. Geographical Research, 2018, 37(6): 1 100-1 114.
- [19] 邹志红, 孙靖南, 任广平. 模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2005, 25(4): 552-556.

- ZOU Zhihong, SUN Jingnan, REN Guangping. Study and application on the entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(4): 552-556.
- [20] 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.
- XIA Fan, CHEN Ying, DOU Ming, et al. Calculation method and application of spatial equilibrium coefficient of water resources[J]. *Water Resources Protection*, 2020, 36(1): 52-57.
- [21] 王广博, 徐翠兰, 黄蕊, 等. 江苏沿海地区围垦动态与土地利用变化驱动力研究[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2020, 48(2): 163-170.
- WANG Guangbo, XU Cuilan, HUANG Rui, et al. Research on driving forces of reclamation dynamics and land use change in coastal areas of Jiangsu Province[J]. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2020, 48(2): 163-170.
- [22] 林燕, 白秀佳, 叶泽宇, 等. 基于 ArcGIS 的南通市农业生产适宜性评价[J]. *地质通报*, 2021, 40(6): 968-977.
- LIN Yan, BAI Xiujia, YE Zeyu, et al. Assessment of agricultural production suitability in Nantong City based on ArcGIS technology[J]. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(6): 968-977.
- [23] 冯佳凝, 刘荣娟, 濮励杰, 等. 基于陆海统筹的南通市国土空间开发适宜性评价[J]. *资源科学*, 2022, 44(2): 299-308.
- FENG Jianing, LIU Rongjuan, PU Lijie, et al. Suitability evaluation of territorial spatial development from the perspective of land-sea coordination: A case study of Nantong City, China[J]. *Resources Science*, 2022, 44(2): 299-308.

Balance Between Water Resources and Soil Resource in Coastal Regions of Jiangsu Province and Its Economic Analysis

HE Cangguo¹, YAO Huaizhu², YU Guanghu³, GUAN Wei⁴, XU Binbing³, SHE Dongli^{1*}

(1. College of Agricultural Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;

2. Development Center for Rural Water Conservancy and Technology of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China;

3. Jiangsu Nongken Group Co. Ltd., Nanjing 210008, China; 4. Jiangsu Linhai Farm Co. Ltd., Sheyang 224353, China)

Abstract: 【Background and Objective】 Agriculture in many regions in China relies on irrigation, while the available water resources in some regions might not be sufficient to meet the demand. Understanding this imbalance is essential to economic management, and this paper calculates spatiotemporal variation in this balance across coastal regions in Jiangsu province. 【Method】 The analysis is based on the Gini coefficient and the Theil index using data measured from 2009 to 2020. The coupled coordination method is used to evaluate the level of coordinated development in these regions. 【Result】 The reclaimed stalinized lands in the coastal regions for agricultural production is higher than provincial average, and the balance between agricultural water resources and soil resources is lower than provincial average. The Gini coefficient characterizing the balance between agricultural water and soil resources is consistent with the Theil index, and it is ranked in the order of cultivated land benefit < agricultural water and soil resources < agricultural irrigation water benefit. The coupled coordination degree varies from 0.35 to 0.40. 【Conclusion】 The coastal regions in Jiangsu province are rich in land resources and poor in irrigation water resources. The lack of water resources is the main factor restricting development of the agricultural economy in these regions. The overall difference in the Gini coefficient and the Theil index in these regions is due to the inter-region difference; the coupled and coordinated development level in the regions is fragile and could shift from balance to unbalance.

Key words: coastal area; agricultural water and soil resources; Gini coefficient; Theil index; coupling coordination model

责任编辑: 韩 洋