2000—2023年鄱阳湖生态经济区水土资源演变规律及其匹配性

储小东[1], 郑跃军[2], 何文清[1], 李梦宇[2], 马少波[1], 曹祥会[2]
(1.江西省地质调查勘查院 地质环境监测所, 江西 南昌 330006; 2.中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘　要: [目的]探究水土资源的演变规律及其时空匹配特征,为国土空间格局优化与生态保护修复工作提供重要的科学支撑。[方法]以鄱阳湖生态经济区为研究区,整合2000—2023年间的多源遥感数据、气象观测数据、水文监测数据、土地利用数据及其他相关监测数据,系统分析该区域水资源的演变规律,并对水土资源平衡特征开展定量评估。[结果]①鄱阳湖生态经济区多年平均水资源总量为1.28×10^{11} m^3,近年来受极端气候事件影响,区域内大部分地区水资源量呈减少态势。从水收支平衡角度分析,陆地水储变量为1.93×10^{9} m^3,表明整个鄱阳湖生态经济区水资源量存在一定盈余。②2000—2023年,该区域土地利用变化特征显著,土地利用综合指数介于243.89～255.05,且呈现增加的变化趋势,不同土地利用类型之间频繁转换。③水土资源总体匹配度处于0.171～0.523,说明鄱阳湖生态经济区水土资源处于比较匹配与相对不匹配的波动状态。从空间分布特征来看,各市农业用地、工业用地和生活用地的水土资源匹配度差异显著,生态用地的水土资源匹配度则相对一致;其中,农业用地、生活用地和生态用地的水土资源匹配状况较好,工业用地则处于相对不匹配状态。[结论]在匹配状况欠佳的区域,应开展科学合理的水量调配,降低干旱对农业生产的不利影响;而对于匹配状况较好的区域,可通过工程手段与非工程手段的协同应用,增强区域水资源的调蓄能力。

关键词: 水平衡; 土地资源; 基尼系数; 水土资源匹配; 鄱阳湖生态经济区
文献标识码: A　　**文章编号:** 1000-288X(2026)05-0431-11　　**中图分类号:** P641, X523

文献参数: 储小东, 郑跃军, 何文清, 等.2000—2023年鄱阳湖生态经济区水土资源演变规律及其匹配性[J].水土保持通报,2026,46(5):431-441. Chu Xiaodong, Zheng Yuejun, He Wenqing, et al. Evolution and matching of water and land resources in Poyang Lake ecological economic zone during 2000—2023 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2026,46(5):431-441.
DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2026.05.012　　**CSTR:32312.14.stbctb.2026.05.012**

Evolution and matching of water and land resources in Poyang Lake ecological economic zone during 2000—2023

Chu Xiaodong[1], Zheng Yuejun[2], He Wenqing[1], Li Mengyu[2], Ma Shaobo[1], Cao Xianghui[2]
(1.*Geological Environment Monitoring Institute of Jiangxi Geological Survey and Exploration Institute, Nanchang, Jiangxi* 330006, *China*; 2.*China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: [Objective] The evolution and spatiotemporal matching characteristics of water and land resources were analyzed in order to provide a scientific basis for the optimization of territorial spatial patterns and ecological protection and restoration. [Methods] Taking the Poyang Lake ecological economic zone as the study area, this study analyzed the evolution of water resources in the region and quantitatively evaluated the balance characteristics of water and land resources using multi-source remote sensing, meteorological observation, hydrological monitoring, land use and other relevant monitoring data from 2000 to 2023. [Results] ① The multi-year average total water resources in the Poyang Lake ecological economic zone was 1.28×10^{11} m^3. In recent

收稿日期:2025-12-02　　**修回日期:**2026-03-24　　**采用日期:**2026-03-30
资助项目:江西省水资源基础调查项目(赣自然资办函[2024]362号);江西省技术创新引导类计划"科技+地质"联合计划项目(2023KDG01008; 2023KDG01009)
第一作者:储小东(1984—),男(汉族),安徽省安庆市人,博士,正高级工程师,主要从事地下水调查监测评价和水污染防治与生态修复研究。Email:chuxiaodong_2001@163.com。
通信作者:曹祥会(1990—),男(汉族),安徽省六安市人,博士,高级工程师,主要从事水文水资源和水循环等方面研究。Email:xhcao199054@163.com。

years, affected by extreme climate events, the water resources in most areas had decreased. From the perspective of water budget balance, the terrestrial water storage change was 1.93×10^9 m^3, indicating that the total water resources in the entire Poyang Lake ecological economic zone had a certain surplus. ② Land use changed significantly from 2000 to 2023, with the comprehensive land use index ranging from 243.89 to 255.05 and showing an increasing trend. There were frequent conversions between different land use types. ③ The overall matching degree of water and land resources ranged from 0.171 to 0.523, indicating that the water and land resources in the Poyang Lake ecological economic zone fluctuated between relatively matched and relatively mismatched states. From the perspective of spatial distribution, there were significant differences in the matching degree of water and land resources among agricultural land, industrial land and residential land in various cities, while the matching degree of water and land resources in ecological land was relatively consistent. Agricultural, residential, and ecological land had relatively good matching, whereas industrial land was relatively mismatched. [Conclusion] In areas with poor matching between water and land resources, scientific and rational water allocation should be carried out to reduce the adverse impact of drought on agricultural production. For areas with good matching of water and land resources, the coordinated application of engineering and non-engineering measures can be adopted to enhance the regional water-resource regulation and storage capacity.

Keywords: water balance; land resources; Gini coefficient; matching of water and land resources; Poyang Lake ecological economic zone

水资源作为支撑自然生态与人类社会发展的核心要素,其拥有的基础性、战略性地位,以及不可替代和总量有限的特点,已成为全球共识[1-2]。然而,在气候变化与人类活动的双重影响下,水资源在时空上的分布呈现出明显的不均衡性[3]。区域水收支平衡状况,不仅是水循环系统是否健康的直接体现,还与土地资源的变化存在着相互影响、相互制约的关系[4]。水土资源的合理开发利用及匹配性直接影响着区域的社会经济发展以及生态系统,对国土空间格局优化也具有十分重要的科学支撑作用[5-6]。

近年来,区域水平衡已成为国内外学术界关注的焦点[7]。区域或系统内区域水资源收入项和支出项的均衡关系常用水平衡理论来表征[8-9]。在水平衡研究中,多源卫星遥感凭借其在空间覆盖上的广度和时间序列上的高重复性,已成为一种备受认可的有效研究手段。以降水量数据的获取为例,其主要是通过多卫星降水再分析技术,结合人工神经网络算法,从大量遥感信息中推算得出的[10]。随着对水文模型的深入研究,一系列融入物理机制的分布式水文模型在水平衡研究中得到广泛运用,其中具有代表性的包括SWAT,WEP,VIC等模型[11-13]。土地利用变化研究已形成多维度综合体系,从传统调查演进为动态监测、驱动分析与生态评估的综合探索,依托高分辨率遥感与GIS空间分析技术构建了天空地一体化支撑体系;研究尺度从单一区域扩展到跨区域,跨境流域,强化多尺度耦合分析;研究内容聚焦格局-过程-效应,重点关注生态环境效应,其中,土地利用变化对水资源的空间分配产生重要影响[14]。针对区域水土资源匹配,现有研究主要评价区域耕地资源与水资源分布的基尼系数,衡量两类资源空间配置的均衡程度。从研究的空间尺度来看,行政区划通常被设定为基础分析单元[15-17]。综合来看,尽管水土资源空间匹配已开展了相关研究,但当前研究主要围绕耕地与农业用水的匹配展开,而忽略了其他土地利用类型与水资源的匹配关系。此外,现有研究对水土资源演变及匹配性缺乏系统认知,尤其在水土资源匹配程度,水平衡与水土资源匹配的协同关系方面存在不足,其研究的系统性和完整性有待提升。

鄱阳湖生态经济区地处长江中下游南岸,在长江水位调控、水源涵养、气候调节等方面发挥关键生态作用。近年来,受气候变化加剧与人类活动强度提升的双重影响[18-19],鄱阳湖水位异常波动、湿地生态功能退化等问题凸显[20-21],这些问题均与水土资源动态演变及匹配性密切相关。因此,本研究基于多源遥感和监测数据,分析2000—2023年鄱阳湖生态经济区水土资源演变特征,定量评估水土资源平衡状况及其与水平衡的协同关系,分析水土资源匹配格局的影响因素,为区域水资源优化利用、生态安全策略制定及可持续发展提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

鄱阳湖生态经济区地处东经115°49′—117°35′、北纬27°32′—30°06′,面积5.12×10^4 km^2。区域以鄱阳湖为核心,地貌类型多样,包含山地、丘陵与平原。该区属亚热带湿润季风气候,年均气温16~18 ℃,年

均降水量1 400～1 800 mm,降水时空分布不均,季节与区域差异显著。鄱阳湖水位年内变幅大,洪水期水域面积约3 000 km²,平均水深6 m,最大水深30 m;枯水期水域面积不足1 000 km²,水体多缩至主河道。近年来受人类活动加剧与气候异常共同影响,土地利用结构与区域水平衡、生态系统稳定性均发生显著变化。

1.2　数据收集与预处理

本文使用的主要数据包含土地利用、气象、蒸散量、径流、陆地水储变量、耗水量以及水资源量等数据。

(1)土地利用数据。2000—2023年鄱阳湖生态经济区的土地利用数据从资源环境科学数据平台(https://www.resdc.cn/DOI/DOI.aspx DOIID=54)下载,其空间分辨率为1 km。该数据以美国陆地卫星Landsat遥感影像数据作为主信息源,通过人工目视解译,根据土地资源及其利用特点,分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地6个一级类型。

(2)监测站点数据。降水逐月数据来源于国家气象信息中心(http://data.cma. cn/en),时间覆盖范围为1960年至2023年。河流流量数据从江西省水文局获取,主要包括赣江、抚河、信江、饶河、修水入湖的主要控制断面的监测数据,时间跨度为2015—2023年。对于部分站点因历史因素导致的数据缺失问题,若缺失量较少,采用缺失时段近期的水位-流量关系或缺失时段前后数据的线性内插法进行推算补充。地下水位监测数据源自《中国地质环境监测地下水位年鉴》,观测时段为2005—2022年。

(3)遥感数据。研究区的逐月降水量(2000—2023年)、蒸散量(2001—2020年)、径流深(2000—2018年)和陆地水储量变化(2002—2022年)均从国家青藏高原科学数据中心(https://data.tpdc.ac.cn/home)获取,其中降水量和蒸散量空间分辨率为1 km,径流深空间分辨率为0.25°×0.25°,陆地水储量数据空间分辨率为0.05°×0.05°。为了使径流和陆地水储量数据的空间分辨率与降水、土地利用及蒸散量一致,在投影坐标系下,将0.25°和0.05°的像元采用双线性插值法重采样为1 km分辨率。转换完成后,确认坐标系为目标投影,像元大小为1 000×1 000 m。基于17个水文站点的实测径流数据和20个地下水监测站点的地下水位数据,提取站点投影坐标所在1 km栅格的像元值作为栅格模拟值,通过比较重采样1 km径流深,陆地水储量栅格与实测站点监测值,径流深全域的平均相对误差为4.0%,地下水储量全域的平均相对误差为3.8%,误差均在5%以内。此外,径流场和水储量保持连续平滑,无明显阶梯状变化。

(4)耗水量和水资源量数据。耗水量和水资源开发利用数据基于以往在江西省开展的水资源调查评价成果以及《江西省水资源公报》。

1.3　研究方法

1.3.1　水平衡分析方法

水平衡是指在时间与空间范围内,水分借助降水、蒸散发、径流、水汽输送等过程持续进行循环运动,且水分循环运动遵循质量守恒,即水分输入量与输出量的差值等于储水变化量[22]。水平衡方程为

$$\Delta W=(P+R_{\text{in}}+WT_{\text{in}})-(R_{\text{out}}+ET+W_h+WT_{\text{out}}) \tag{1}$$

式中:P为时段内降水量(10^8 m³);R_{in}为流入研究区域的水量,包括地表径流量和地下径流量(10^8 m³);R_{out}为流出的水量,包括地下径流量和地表河流径流量(10^8 m³);WT_{in}为调入水量(10^8 m³);WT_{out}为调出水量(10^8 m³);W_h为人类活动耗水量,主要包括农业用水、生活用水和工业用水过程中的耗水量(10^8 m³);ET为蒸散发量(10^8 m³);ΔW为储水变化量(10^8 m³)。

为探究水平衡要素在时空维度上的变化趋势,本研究选用简便且实用的线性回归分析方法。该方法能够对每个网格单元的变化态势进行模拟,通过剖析不同时段内单个像素的空间变化特点,进而揭示区域整体格局的演变规律[5]。计算公式为

$$\text{slope}=\frac{n\times\sum_{i=1}^{n}(i\times C_i)-\sum_{i=1}^{n}i\sum_{i=1}^{n}C_i}{n\sum_{i-1}^{n}i^2-\left(\sum_{i=1}^{n}i\right)^2} \tag{2}$$

式中:slope为变化速率,如果slope>0,则表示上升趋势,如果slope<0,则表示下降趋势;n为年数;C_i是第i年的变量值。趋势的显著性采用F检验。

1.3.2　土地利用动态变化分析方法

为实现对鄱阳湖生态经济区土地利用动态变化的定量描述,采用综合土地利用动态度来分析土地资源变动状况,其计算公式为

$$\text{LC}=\frac{\sum_{i-1}^{n}\Delta\text{LU}_{i-j}}{2\sum_{i=1}^{n}\text{LU}_i}\times\frac{1}{T}\times 100\% \tag{3}$$

式中:LC为综合土地利用动态度;n为土地类型的数量;LU_i为研究初期第i类土地面积;ΔLU_{i-j}为i类土地变换为j类的土地面积;T为间隔年份。

为深入分析研究区内不同土地利用类型的结构特征与变化趋势,运用土地利用类型转移矩阵刻画

各时间段内初期与末期各类土地间相互转化的动态过程[23]。

1.3.3 水土资源匹配的量化方法

（1）基尼系数法。意大利经济学家基尼以洛伦兹曲线为理论基础，为了评估收入分配的公平状况，于1912年提出了基尼系数（Gini coefficient，G）。在区域水土资源研究范畴内，考虑到资源在空间上存在分布特征，研究者将该方法融入水土资源匹配研究中，通过构建区域基尼系数来反映资源空间分布的匹配状况，并将其应用于实际研究中[24]。计算公式为

$$G=1-\sum_{i-1}^{n}(\ddot{x}_i-\ddot{x}_{i-1})(y_i+y_{i+1}) \tag{4}$$

式中：x_i，y_i分别为第i个空间单元的水资源量和土地利用面积的累计百分比；n表示空间单元的个数。当$i=1$时，(x_{i-1},y_{i-1})视为（0，0）。$0<G<0.2$为高度匹配，$0.2\leqslant G<0.3$表示相对匹配，$0.3\leqslant G<0.4$为比较匹配，$0.4\leqslant G<0.5$为相对不匹配，$0.5\leqslant G<1$为高度不匹配。

（2）水土资源匹配系数。考虑到Gini法仅能从整体层面对区域水土资源匹配进行定量表征，而区内各市/县农业用地、生活用地、工业用地和生态用地与其对应的水资源量的匹配关系无法表征，故本研究引入水土资源匹配系数，定量表征不同市/县之间水土资源匹配程度的差异。该系数越大，意味着该区域水资源对各类用地需求的满足能力越强；反之，满足能力则越弱。

$$R_i=W_i\cdot\alpha/L_i \tag{5}$$

式中：R_i为研究区内i市水土资源匹配系数；W_i为其水资源量（10^8 m^3）；α为其用水比重，即农业用水总量、工业用水量、生活用水量及生态用水量占区域总用水量的比例，分别为0.65，0.20，0.10和0.05，具体取值基于《江西省水资源公报（2010—2020年）》，根据研究区域的农业、工业、生活和生态实际用水量和总用水量，采用面积加权法计算研究区用水比重；L_i为生活用地、工业用地、农业灌溉用地及生态用地面积（10^4 hm^2）。

$$R=\frac{\sum_{i=1}^{n}R_i}{n} \tag{6}$$

式中：R为研究区综合水土资源匹配系数；n为研究区市的数量。

1.3.4 水平衡与水土资源匹配协同关系量化分析方法

耦合协调度模型可以清晰地描述区域水平衡和水土资源匹配之间的协同发展情况和耦合协调程度[25]。耦合协调度模型由耦合度C和综合发展指数T构成，首先运用熵值法确定各指标权重，加权求和计算得到鄱阳湖生态经济区水平衡和水土资源匹配之间的综合评价指数U，进而测算得到耦合度C和综合发展指数T，最终得到区域耦合协调度D。

（1）评价指标体系构建及适配性检验。基于左其亭等[22]和黄梓鑫等[24]的研究，水平衡指数（U_1）指标主要包括降水量、水资源总量、人均水资源量、水资源开发利用率（负向）和径流系数；水土匹配指数（U_2）指标包括水土匹配系数和基尼系数（负向）。本研究采用熵值法计算权重，但需先通过KMO检验与巴特利特球形检验以验证指标间的相关性与适用性。KMO值为0.823，介于0.8～0.9；巴特利特检验结果χ^2为287.45，自由度为45，显著性$p<0.001$，满足熵值法指标适配性要求。

（2）耦合协调度（D）。计算公式为

$$C=\left[\frac{U_1\times U_2}{\left(\frac{U_1\times U_2}{2}\right)}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{7}$$

$$T=\alpha U_1+\beta U_2 \tag{8}$$

$$D=\sqrt{C\cdot T} \tag{9}$$

式中：C为各系统的耦合度；U_1，U_2为计算得到的综合评价指数；X_{ij}表示第i年份第j项指标值；T为综合发展指数；α，β分别为水平衡和水土资源匹配系统的贡献份额，且$\alpha+\beta=1$，本研究中二者重要程度相同，故$\alpha=\beta=1/2$；D为耦合协调度，既可以反映系统发展的综合水平，也可以体现系统发展的协调状况，$0\leqslant D\leqslant 1$，耦合协调度越小说明系统间协调状况越差，耦合协调度越大协调状况则越好。

2 结果与分析

2.1 水资源时空演变规律分析

2.1.1 水资源量时空变化

总体来看，鄱阳湖生态经济区水资源总量未呈现明显增减趋势，整体呈波动状态（图1）。2008—2010年区域水资源总量逐步增加，从1.01×10^{11} m^{3}增至1.80×10^{11} m^3；2010—2023年则呈下降趋势，降至1.09×10^{11} m^3，降幅达39.15%。行政分区来看（图1a，图1b），上饶市、抚州市、吉安市水资源总量较丰富，分别介于1.92×10^{10}～3.85×10^{10} m^3，1.15×10^{10}～3.30×10^{10} m^3，1.49×10^{10}～3.21×10^{10} m^3；新余市、鹰潭市、南昌市、景德镇市水资源总量较少，分别介于1.66×10^{9}～4.21×10^{9} m^3，3.18×10^{9}～7.14×10^{9} m^3，4.84×10^{9}～1.04×10^{10} m^3，4.07×10^{9}～8.17×10^{9} m^3。

从流域分区水资源量的变化及其比例来看(图 1c,1d),赣江对研究区水资源总量贡献最大,总量介于 4.36×10^{10}～1.01×10^{11} m^3,比例为 36.25%～51.35%;宜昌至湖口及湖口以下干流水资源总量最小,所占比例分别为 0.52%～1.35% 和 0.59%～0.83%。受极端气候影响,近年来大部分地区水资源量减少,其中长江干流湖口以下右岸区降幅最大,达 36.9%。

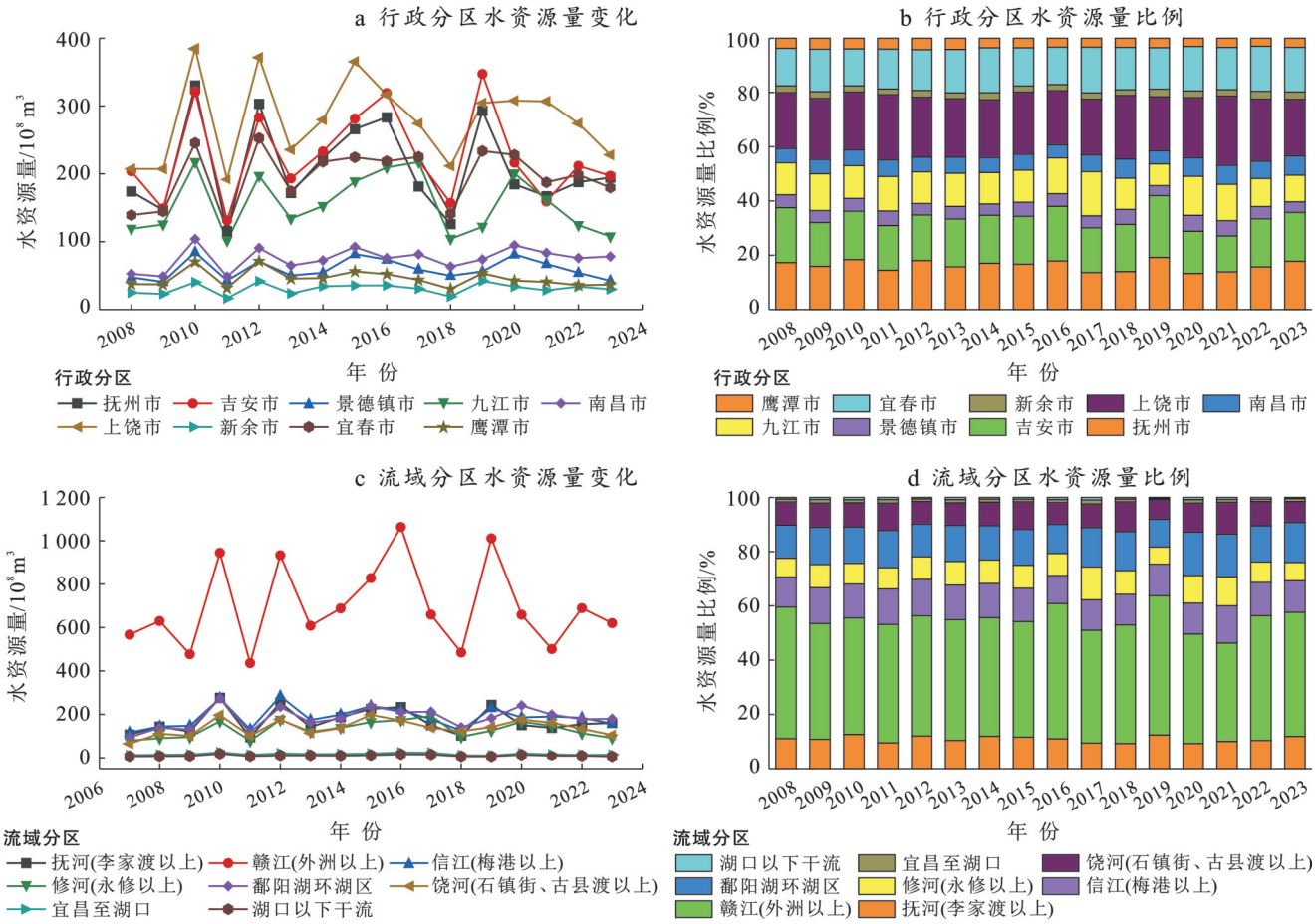


图 1　鄱阳湖生态经济区 2008—2023 年水资源量变化及所占比例

Fig.1　Changes and proportions of water resources in Poyang Lake ecological economic zone from 2008 to 2023

2.1.2　水平衡演变规律

从图 2 可以看出,鄱阳湖生态经济区多年平均降水量为 1 593.08 mm/a,常年高于蒸散量(600.12 mm/a)。从年际变化来看(图 2a),2001—2022 年降水-蒸散量呈现微弱的增长趋势,而 2015—2019 年降水-蒸散量呈现显著的下降趋势,下降速率为 37.78 mm/a,由此可见,鄱阳湖生态经济区整体可用水量存在一定下降情况。降水-蒸散量分布不均衡,空间上表现出从西北向东南逐步增加的格局。东南部的抚河和信江流域相对较高,降水-蒸散量介于 1 100～1 500 mm;而西北部的修河和环湖区相对较低,降水-蒸散量介于 500～900 mm。鄱阳湖生态经济区的降水-蒸散量空间分布呈现出明显的区域差异,主要由于气候导致降水在空间上的分布不均衡。

图 3a 为 2007—2022 年鄱阳湖生态经济区水资源量平衡状况。陆地水储变量呈先增后降趋势,从 2007 年的 -4.92×10^8 m^3 增至 2016 年的 6.43×10^9 m^3,随后降至 2022 年的 -7.46×10^8 m^3。总体而言,研究期内多数年份陆地水储变量为正值,表明水资源存在盈余;仅 2007,2011 和 2022 年出现水资源亏损,亏损量分别为 -4.92×10^8,-4.20×10^8,-7.46×10^8 m^3。其中,2007 年亏损源于人类活动导致的中上游植被破坏,引发泥沙淤积;2011 年受长江上游水库“拉空”作用影响,鄱阳湖水位快速下降;2022 年受极端气候的影响,地下水位大幅下降[26]。

从各个子流域多年平均水收支平衡来看(图 3b),抚河(李家渡以上)、赣江(外洲以上)、信江(梅港以上)、修河(永修以上)、鄱阳湖环湖区、饶河(石镇街、古县渡以上)、宜昌至湖口和湖口以下干流陆地水储变量为正值,其中鄱阳湖环湖区水资源盈余量最大,达到 6.00×10^8 m^3。从整个鄱阳湖生态经济

区来看(表1),降水资源量为8.26×10^{10} m^3,蒸散量为3.09×10^{10} m^3,耗水量为1.09×10^{9} m^3,径流量为4.79×10^{10} m^3,陆地水蓄变量为1.93×10^{9} m^3,表明整个鄱阳湖生态经济区水资源量较多。

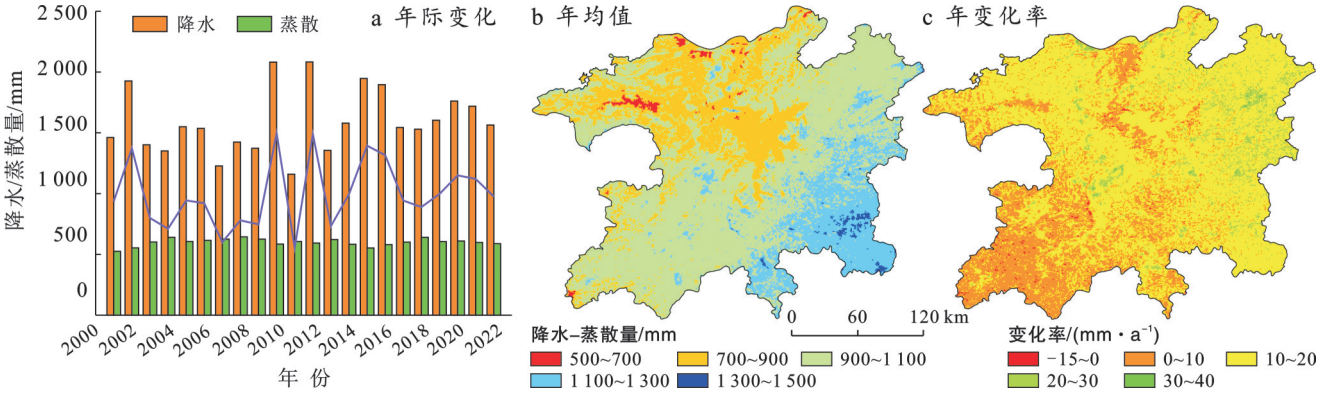


图2 鄱阳湖生态经济区2001—2022年降水-蒸散量年际变化及空间分布

Fig.2 Interannual changes and spatial distribution of difference between precipitation and evapotranspiration in Poyang Lake ecological economic zone from 2001 to 2022

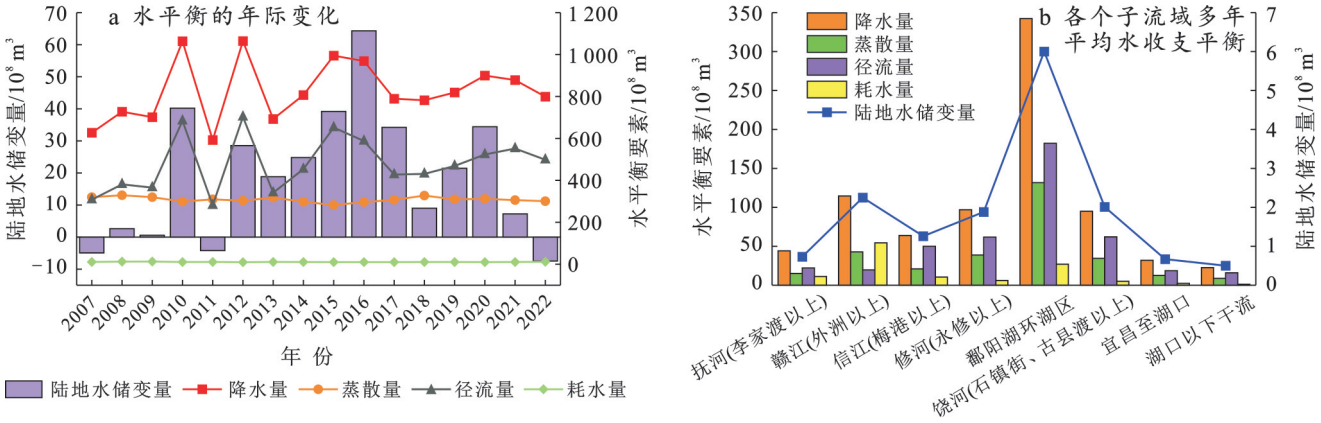


图3 鄱阳湖生态经济区水平衡时空变化

Fig.3 Spatiotemporal variations in water balance in Poyang Lake ecological economic zone

表1 鄱阳湖生态经济区多年平均水收支平衡

Table 1 Multi-year average water balance in Poyang Lake ecological economic zone 单位:10^8 m^3

年份	降水量	蒸散量	径流量	耗水量	陆地水储变量
2007	627.10	319.91	308.05	11.07	−4.92
2008	727.52	329.15	381.11	12.65	2.62
2009	701.49	319.76	365.33	12.80	0.59
2010	1 063.50	298.81	683.79	10.70	40.19
2011	592.52	309.59	281.17	10.96	−4.20
2012	1 064.29	303.22	702.66	9.89	28.52
2013	692.57	317.87	341.11	10.77	18.82
2014	806.98	297.97	453.55	10.63	24.81
2015	994.81	282.46	652.06	10.11	39.18
2016	968.88	296.47	587.86	10.23	64.32
2017	789.10	307.01	427.52	10.35	34.23
2018	781.92	327.34	430.99	10.58	9.02
2019	819.24	309.32	468.81	10.66	21.45
2020	899.87	311.91	523.29	10.28	34.39
2021	878.45	305.81	551.88	10.53	7.23
2022	799.29	300.59	498.33	11.83	−7.46
年均值	825.47	308.57	478.59	10.88	+19.30

2.2 土地资源动态变化分析

2.2.1 土地资源利用程度

2000—2023年鄱阳湖生态经济区土地利用面积变化显著(图4a,图5)。耕地与森林为区域主要土地利用类型,各时期合计占总面积80%以上。过去23 a间,耕地、灌木、草地及未利用地面积逐年缩减,水体面积保持稳定;建设用地面积大幅增长,从2000年1 456 km^{2}增至2023年5 423.72 km^2,增幅达2.72倍。2000—2023年区域土地利用综合指数介于243.89~255.05,呈稳步上升趋势,累计增幅4.58%(图4b),表明研究期内土地集约化利用水平持续提升,土地利用整体处于发展阶段。其中2000—2010年指数上升最显著,增加值1.42,增幅0.58%,2009年鄱阳湖生态经济区建设启动后,土地开发与利用程度进一步提升。区域土地利用程度总体变化率为4.857%,2000—2010年和2020—2023年分别为0.825%和2.587%,表明人类活动影响显著,林地和耕地向建设用地转换推动了土地利用程度变化率上升。

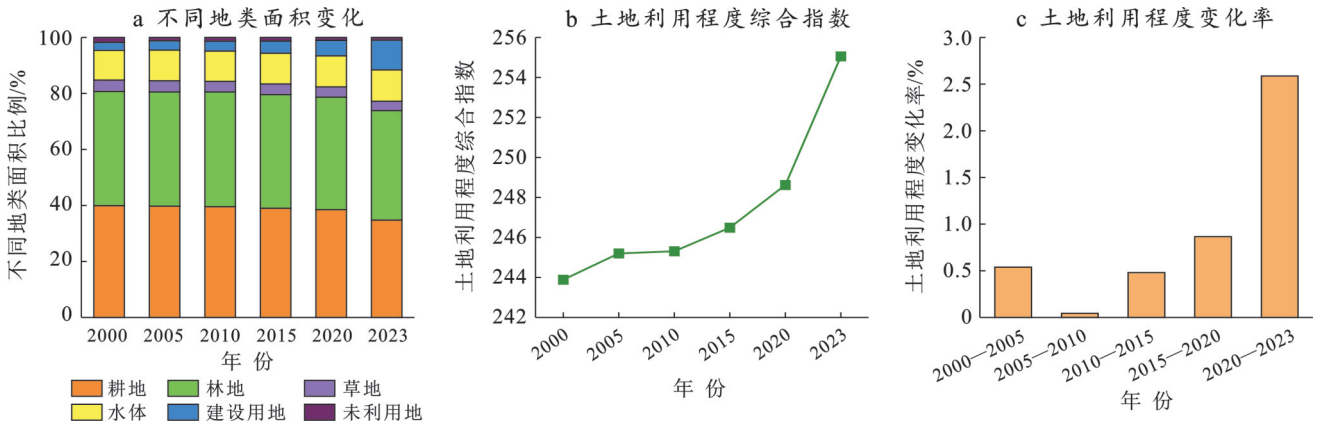
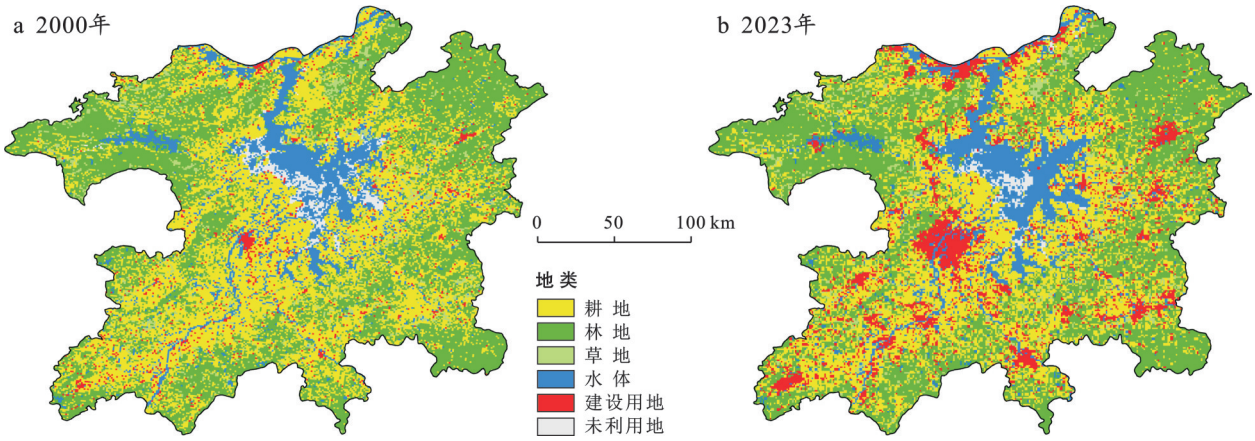


图 4　鄱阳湖生态经济区土地资源时空动态变化

Fig.4　Spatio-temporal dynamics of land resources in Poyang Lake ecological economic zone



注:土地利用遥感影像数据来源于资源环境科学数据平台。

图 5　鄱阳湖生态经济区 2000 和 2023 年土地利用分布

Fig.5　Land use of Poyang Lake ecological economic zone in 2000 and 2023

2.2.2　不同土地利用类型的动态转化

2000—2023 年,林地在各类土地利用类型中转入面积最大,所占比例达到 19.47%(图 6)。这主要源于耕地与草地向林地的逐步转化,这一现象可能与生态保护相关政策的实施以及林地恢复类项目的推进密切相关。其次是耕地,其转入面积比例为 17.45%,主要由林地和水体转化而来。这一变化可能是受到农业用地需求增长的影响。在转出面积方面,林地依旧位居首位,比例达 20.32%,主要源于森林向农田的转化。其次是耕地,占据转出面积的 20.04%,这表明耕地转变为其他类型的土地利用是一个持续的趋势,可能是由于城市扩张、农业结构调整和土地生产力提升的影响。水体和草地的转出面积比例分别为 5.31% 和 2.02%,其中水体的转出面积较大,可能受到了水资源利用和环境变化的影响。建设用地、草地和未利用地的转出面积比例较小。

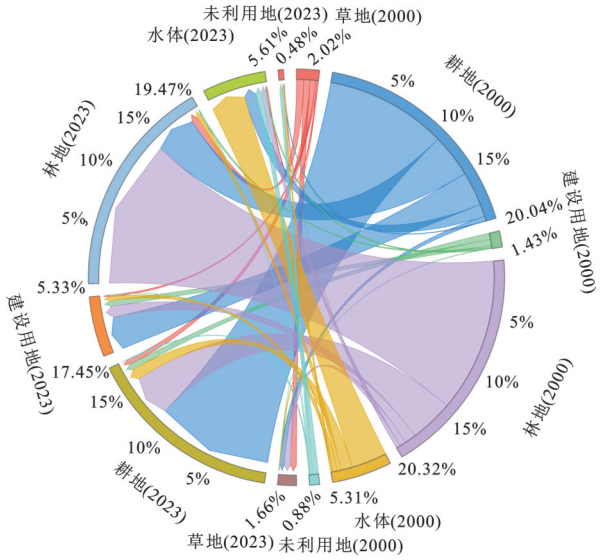


图 6　鄱阳湖生态经济区 2000—2023 年土地利用转化关系及比例

Fig.6　Conversion relationships and proportions of land use in Poyang Lake ecological economic zone from 2000 to 2023

2.3 水土资源匹配时空变化特征分析

图 7 为 2008—2023 年鄱阳湖生态经济区不同用地类型水土资源匹配程度的变化特征。区域水土资源总体匹配系数介于 0.171～0.523，整体处于比较匹配至相对不匹配水平，年际变化较为平稳。分类型来看，农业用地匹配系数为 0.172～0.398，整体呈比较匹配状态；生活用地匹配系数 0.185～0.262，2014—2023 年匹配系数呈缓降趋势，处于相对匹配水平；生态用地匹配系数介于 0.361～0.413，呈上升趋势，水土资源匹配状况良好；工业用地匹配系数 0.362～0.463，处于比较匹配至相对不匹配区间，近年来以相对不匹配为主。

从行政地市来看，鄱阳湖生态经济区各市农业、工业、生活用地水土资源匹配度差异显著，生态用地匹配度则相对一致（图 8）。多数地市生态用地匹配度呈下降趋势，主要由于农业引水灌溉、过度采矿及取土等人类活动，导致湖泊水量减少、水土流失加剧。不同用地类型的水土资源匹配问题需针对性关注：生活用地方面，受水价调整、限水政策及现代化用水监测系统影响，新余市、景德镇市等地匹配度较低且近年持续下降，需强化节水政策落实；工业用地方面，鹰潭市、九江市、抚州市匹配度偏低，尽管其工业发展水平较高，但低匹配度反映出资源利用存在潜在隐患，且采矿活动加剧工业用水需求，区域发展中需严控水土资源过度消耗与不合理开发；农业用地方面，多数地市匹配度偏低，表明农业用水量与用地规模失衡，需加强农业用水管理，通过提升用水保障能力、优化耕地布局及推广农业科技，提高农业水土资源利用效率。

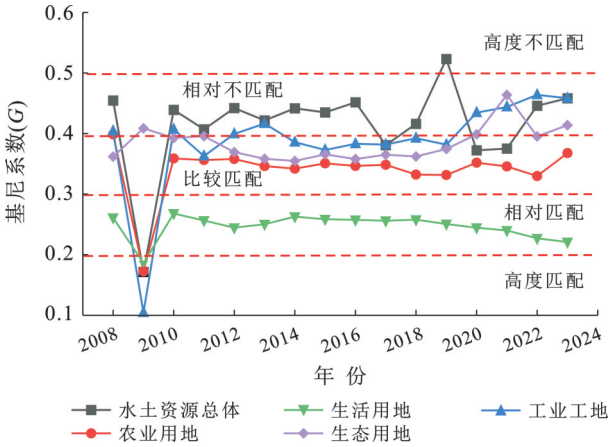


图 7 鄱阳湖生态经济区水土资源匹配程度动态变化

Fig.7 Dynamic changes in matching degree of water and land resources in Poyang Lake ecological economic zone

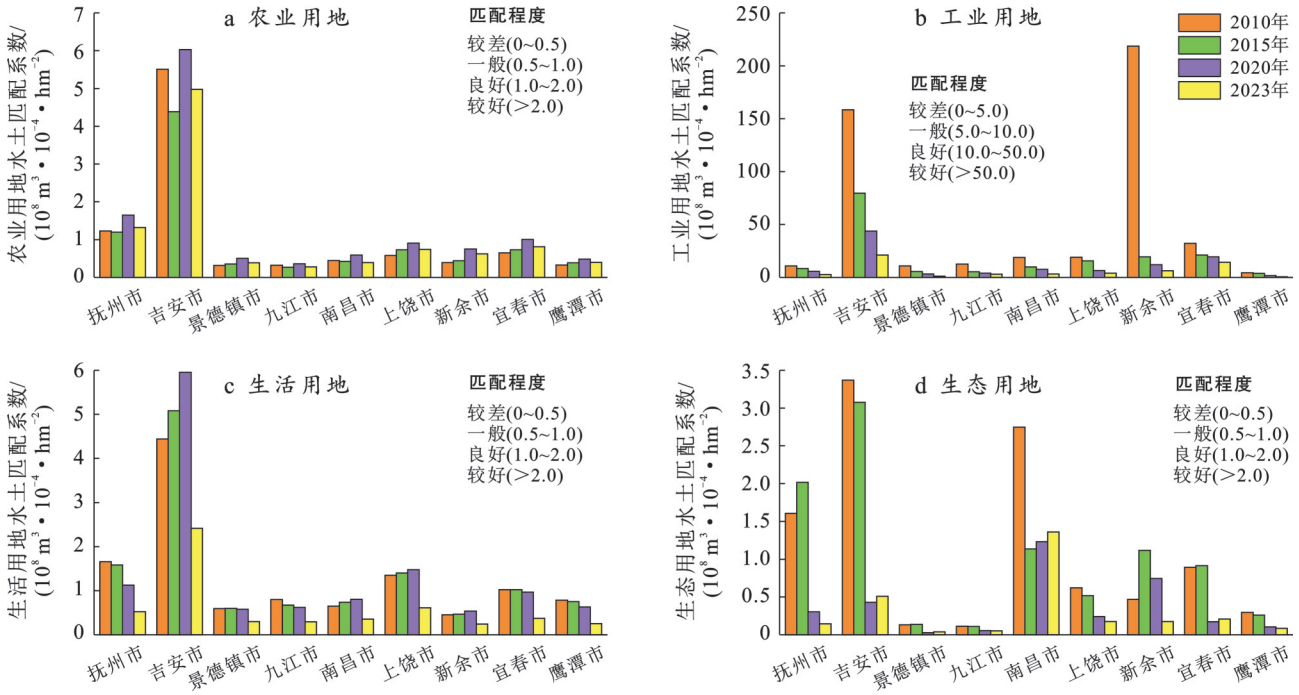


图 8 鄱阳湖生态经济区水土资源匹配程度空间分布

Fig.8 Spatial distribution of matching degree of water and land resources in Poyang Lake ecological economic zone

2.4 水平衡与水土资源匹配之间的协同关系及相关分析

为揭示水平衡核心要素与水土资源匹配度的关联规律，结合区域 2001—2023 年水文、土地利用、降水及蒸散等数据开展相关分析（图 9）。降水量、径流量与水土匹配系数呈高度正相关，相关系数分别为 0.78 和 0.82，二者越大，水资源供给越充足，单位耕地水资源占有量提升，可直接改善水土匹配水平；蒸散

量与水土匹配系数呈负相关($r=-0.45$),丘陵区(如夏季伏旱期)蒸散发过高易导致土壤墒情不足,降低土地生产力及水土匹配度;水资源开发利用率与水土匹配系数呈中度负相关($r=-0.57$),当开发利用率超过30%阈值时,过度挤占生态用水会导致水土匹配度下降。

为了进一步评估水平衡要素与匹配度的协同程度,构建了耦合协调度模型。结果表明,鄱阳湖生态经济区耦合协调度$D=0.68$,整体处于良好协调水平,表明水-土资源系统整体协同关系较好,但仍有提升空间。从空间分布来看,呈现"环湖高,周边低"的空间分布格局。湖区及五河下游为高协调区($D>0.8$),水资源丰富且水土配置合理;河流中游及平原区为中协调区($0.6<D\leqslant0.8$),水土匹配良好;丘陵过渡带为低协调区($0.4<D\leqslant0.6$),存在季节性缺水;西部山区及部分城镇密集区为失调区($D<0.4$),水土矛盾突出。

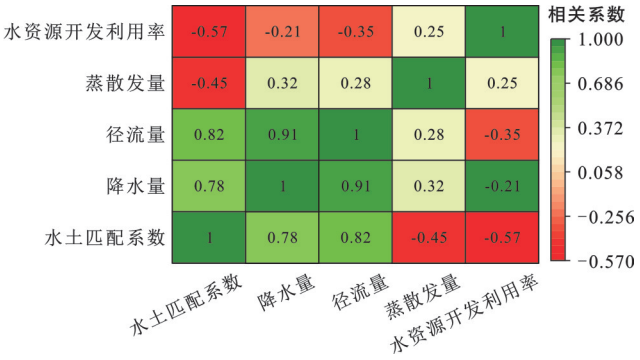


图9　水平衡关键要素与水土匹配系数的相关性

Fig.9　Correlation between key elements of water balance and matching coefficient of water and land resources

3　讨　论

3.1　自然因素对水土资源匹配格局的影响

鄱阳湖生态经济区水土资源匹配格局由自然因素与人类活动共同作用形成,其中自然因素主要包括气候水文条件、地形地貌及土壤理化特性。在气候水文条件方面,区域降水时空分布不均,60%集中于4—7月,丰枯季径流量差异达7倍;五河来水与长江顶托共同调控湖区水位,枯水期水位低于10 m时,湿地萎缩导致周边水土匹配系数下降25%。此外,蒸散量空间异质性显著,丘陵区伏旱期蒸散量偏高,加剧局部缺水与匹配失衡[27];植被覆盖变化亦发挥重要调节作用,2000—2018年赣江上游植被覆盖度提升19.4%,使蒸散量增加8%,间接减少入湖径流量3.2%,进而影响水土匹配格局[28]。在地形地貌方面,滨湖平原地势平坦,水资源供给充足,水土匹配系数较高;西部丘陵山区地形破碎、耕地分散,水资源拦蓄能力弱,匹配系数较低,形成"环湖高,周边低"的空间格局。在土壤理化特性方面,平原区水稻土孔隙度高,可提升水资源利用效率;丘陵区红壤黏重、渗透性差,易引发水土流失,间接削弱水土匹配质量。

3.2　人为因素对水土资源匹配格局的影响

除自然因素外,人为因素是驱动鄱阳湖生态经济区水土资源匹配时空演变的核心动力[24],其中土地利用变化是关键驱动因子(图10)。湿地向耕地转化使区域调蓄能力下降,耕地向建设用地转化破坏水文循环、导致地下水补给减少50%~70%,均会降低水土匹配系数;而退耕还林还湿等正向转化可提升匹配系数,改善匹配格局。区域水资源开发利用率总体约35%,南昌等城镇周边超50%,过度开发挤占生态用水,导致生态用水保障率降至60%以下,显著降低水土匹配度[29];鄱阳湖水利枢纽、五河控制性工程等水利设施可调节径流时空分布,提升枯水期水资源供给能力,进而提高匹配系数[30]。农业与产业活动加剧水资源消耗,传统农业漫灌模式水分利用率仅0.4~0.5,稻虾轮作等高效模式可将水分生产率提升至2.5 kg/m^3,优化水土匹配效率[24];城镇工业用水扩张及产业结构偏重,进一步加剧水资源供需矛盾,降低水土匹配协调性。

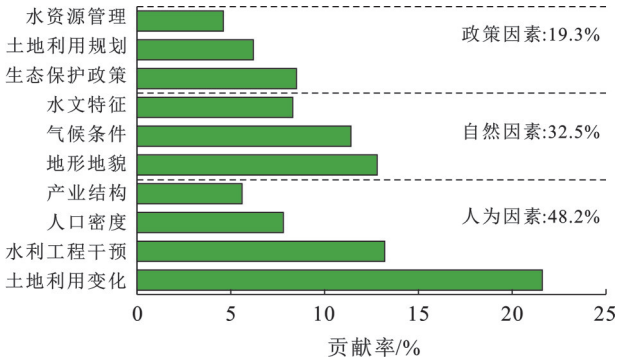


图10　影响水土资源匹配格局因素的贡献率

Fig.10　Contribution proportions of factors affecting matching pattern of water and land resources

3.3　产业与区域功能定位对水土资源匹配格局的影响

此外,产业与区域发展定位也对水土资源匹配产生重要影响。对于南昌、九江经开区等工业集聚型区域,水土资源优先保障工业与城镇建设用水需求,农业用水与耕地保护处于次要地位。2010—2020年城镇及工业用地增幅超40%,耕地减少12%;工业与生活用水比例分别为32%和15%,远超全省平均水平,挤占了农业与生态用水空间。对于上饶、抚州等农业主导型区,水资源优先保障农业灌溉,农业用水

比例居主导。以上饶为例，其耕地面积超4.00×10^5 hm^2，耕地保护红线占市域面积40%，工业用地指标仅占建设用地指标25%；农业用水比重达到75%，工业用水比重仅15%，水资源配置围绕农业生产展开。对于鄱阳、都昌等滨湖生态型区，水资源优先保障生态补水，其生态用地比例超50%，生态用水比重逐年提升至8%以上，工业和农业用水仅保障基本生产，城镇生活用水受湖体水位波动约束。

4 结 论

（1）鄱阳湖生态经济区多年平均水资源总量为1.28×10^{11} m^3，近几年来，受到极端气候的影响，大部分地区水资源量减少。从水收支平衡状况来看，降水资源量为8.26×10^{10} m^3，蒸散量为3.09×10^{10} m^3，耗水量为1.09×10^9 m^3，径流量为4.79×10^{10} m^3，陆地水储变量为1.93×10^9 m^3，表明整个鄱阳湖生态经济区水资源量较多。

（2）鄱阳湖生态经济区在2000—2023年土地利用变化显著，土地利用综合指数在243.89～255.05，呈现增加趋势。不同土地利用类型之间相互转换频繁，转入和转出面积最多的均是林地，比例分别达到19.47%和20.32%，其次是耕地，转入面积和转出面积分别为17.45%和20.04%。

（3）水土资源总体匹配程度介于0.171～0.523，表明鄱阳湖生态经济区水土资源处于比较匹配和相对不匹配状态。其中农业用地水土资源处于比较匹配状态，生活用地处于相对匹配状态且匹配性越来越好，生态用地处于比较匹配状态，而工业用地处于比较匹配和相对不匹配状态。从空间分布来看，各市农业用地、工业用地和生活用地水土资源匹配度差异较大，生态用地水土资源匹配度较一致。

参考文献(References)

[1] 胡庆芳，陈秀敏，高娟，等.水平衡与国土空间协调发展战略研究[J].中国工程科学，2022，24(5)：63-74.
Hu Qingfang, Chen Xiumin, Gao Juan, et al. Coordinated development between water balance and territory space [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(5): 63-74.

[2] 左其亭，吴青松，金君良，等.区域水平衡基本原理及理论体系[J].水科学进展，2022，33(2)：165-173.
Zuo Qiting, Wu Qingsong, Jin Junliang, et al. The basic principle and theoretical system of regional water balance [J]. Advances in Water Science, 2022, 33(2): 165-173.

[3] Jiang Huiru, Yi Yonghong, Xu Jijun, et al. Characterizing precipitation uncertainties in a high-altitudinal permafrost watershed of the Tibetan Plateau based on regional water balance and hydrological model simulations [J]. Journal of Hydrology (Regional Studies), 2023, 47: 101445.

[4] 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(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(2): 44-53.

[5] 杨绍康，曹祥会，赵振，等.高寒生态脆弱区水平衡时空变化及其影响因素分析[J].人民长江，2025，56(6)：82-92.
Yang Shaokang, Cao Xianghui, Zhao Zhen, et al. Spatio-temporal variations of water balance and its influencing factors in alpine ecologically fragile area [J]. Yangtze River, 2025, 56(6): 82-92.

[6] 江戈平，孟丽红，刘友存，等.环鄱阳湖城市群生态安全时空格局变化及其驱动力研究[J].生态科学，2024，43(5)：22-30.
Jiang Geping, Meng Lihong, Liu Youcun, et al. Study on ecological security pattern and driving force of urban agglomeration around Poyang Lake [J]. Ecological Science, 2024, 43(5): 22-30.

[7] 闫柏琨，李文鹏，甘甫平，等.基于地表水循环遥感观测的黑河流域水平衡分析[J].水文地质工程地质，2022，49(3)：44-56.
Yan Bokun, Li Wenpeng, Gan Fuping, et al. Water balance analysis based on remote sensing observation of surface water cycle in the Heihe River watershed [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2022, 49(3): 44-56.

[8] Abolafia-Rosenzweig R, Pan M, Zeng J L, et al. Remotely sensed ensembles of the terrestrial water budget over major global river basins: An assessment of three closure techniques [J]. Remote Sensing of Environment, 2021, 252: 112191.

[9] Du Meng, Huang Shengzhi, Singh V P, et al. Quantifying the effects of direct human activities and climate change on the spatial propagation of hydrological drought in the Yellow River basin, China [J]. Journal of Hydrology, 2024, 643: 131931.

[10] 赵珊珊，周向阳，童锦施.中国典型降水产品精度多时间尺度变化及空间分布[J].人民长江，2024，55(4)：103-117.
Zhao Shanshan, Zhou Xiangyang, Tong Jinshi. Precision variation of typical precipitation products at multi-time scale and their spatial distributions in China [J]. Yangtze River, 2024, 55(4): 103-117.

[11] Rumph Frederiksen R, Molina-Navarro E. The importance of subsurface drainage on model performance and water balance in an agricultural catchment using SWAT and SWAT-MODFLOW [J]. Agricultural Water Man-

agement, 2021,255:107058.

[12] 周祖昊,刘佳嘉,严子奇,等.黄河流域天然河川径流量演变归因分析[J].水科学进展,2022,33(1):27-37.
Zhou Zuhao, Liu Jiajia, Yan Ziqi, et al. Attribution analysis of the natural runoff evolution in the Yellow River basin [J]. Advances in Water Science, 2022, 33(1):27-37.

[13] Chen Yuyao, Niu Jun, Kang Shaozhong, et al. Effects of irrigation on water and energy balances in the Heihe River basin using VIC model under different irrigation scenarios [J]. Science of the Total Environment, 2018, 645:1183-1193.

[14] 温玉玲,李红波,张小林,等.近30年来鄱阳湖环湖区土地利用与景观格局变化研究[J].环境科学学报,2022,42(7):501-510.
Wen Yuling, Li Hongbo, Zhang Xiaolin, et al. Changes of land use and landscape pattern in the peripheral region of Poyang Lake in recent 30 years [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2022,42(7):501-510.

[15] 文倩,孟天醒,郧雨旱.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 He'nan Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017,24(5):233-239.

[16] 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 Xiaoyan, Hao Jinmin, Chen Aiqi. 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.

[17] 黄克威,袁鹏,刘刚.基于DEA的四川省水土资源匹配研究[J].中国农村水利水电,2015(10):58-61.
Huang Kewei, Yuan Peng, Liu Gang. Research on water and soil resources matching in Sichuan Province based on DEA [J]. China Rural Water and Hydropower, 2015(10):58-61.

[18] 王乐扬,李清洲,王金星,等.变化环境下近60年来中国北方江河实测径流量及其年内分配变化特征[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2020,41(2):36-42.
Wang Yueyang, Li Qingzhou, Wang Jinxing, et al. The variation characteristics of recorded runoff and its annual distribution in North China during the recent 60 years in the context of environment change [J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2020, 41(2): 36-42.

[19] Sun Shaobo, Song Zhaoliang, Chen Xi, et al. Multi-model-based analyses of evapotranspiration and its controls in China over the last three decades [J]. Ecohydrology, 2020,13(3):e2195.

[20] 王丹,张双虎,王国利,等.鄱阳湖枯水期水位变化及其影响因素量化分析[J].水力发电学报,2020,39(3):1-10.
Wang Dan, Zhang Shuanghu, Wang Guoli, et al. Quantitative assessment of water stage changes of Poyang Lake in dry period and its influencing factors [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2020,39(3):1-10.

[21] 许秀丽,李云良,谭志强,等.鄱阳湖湿地典型植被群落地下水-土壤-植被-大气系统界面水分通量及水源组成[J].湖泊科学,2018,30(5):1351-1367.
Xu Xiuli, Li Yunliang, Tan Zhiqiang, et al. Water fluxes in the groundwater-soil-plant-atmosphere continuum and water sources of typical wetland vegetation communities in Poyang Lake [J]. Journal of Lake Sciences, 2018,30(5):1351-1367.

[22] 左其亭,吴青松,纪义虎,等.区域水平衡及失衡程度度量方法[J].水利学报,2024,55(1):1-12.
Zuo Qiting, Wu Qingsong, Ji Yihu, et al. Methods for measuring regional water balance and imbalance degree [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2024, 55(1): 1-12.

[23] 邓信翠,陈洋波.1990—2018年东江流域土地利用变化及其驱动力[J].水土保持通报,2020,40(6):236-242.
Deng Xincui, Chen Yangbo. Land use change and its driving mechanism in Dongjiang River basin from 1990 to 2018 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020,40(6):236-242.

[24] 黄梓鑫,李晶,楚晶晶,等.中国农业水土资源时空匹配特征及影响因素研究[J].人民长江,2024,55(2):116-124.
Huang Zixin, Li Jing, Chu Jingjing, et al. Spatiotemporal matching characteristics and influencing factors of agricultural water and soil resources in China [J]. Yangtze River, 2024,55(2):116-124.

[25] 王富强,张蒙,吕素冰,等.京津冀地区水-经济-生态系统耦合协调发展模拟[J].南水北调与水利科技(中英文),2023,21(2):218-232.
Wang Fuqiang, Zhang Meng, Lyu Subing, et al. Simulation of coordinated development of water-economy-ecology system coupling in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023,21(2):218-232.

[26] 曹思佳,李云良,陈静,等.2022年鄱阳湖极端干旱对洪泛区地下水文情势的影响[J].中国环境科学,2023,43(12):6601-6610.
Cao Sijia, Li Yunliang, Chen Jing, et al. Influence of extreme drought in 2022 on groundwater hydrological regime in the Poyang Lake floodplain area [J]. China Environmental Science, 2023,43(12):6601-6610.

(下转第457页)