

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20231084

# 土地利用对湘江流域蒸散发的影响

冯 畅<sup>1</sup>, 李嘉洁<sup>2</sup>, 杨 柳<sup>1</sup>, 李苏迅<sup>3</sup>

(1. 衡阳师范学院地理与旅游学院, 湖南 衡阳 421002; 2. 湖南师范大学地理科学学院, 湖南 长沙 410081; 3. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:**以湘江流域湖南段为例,基于2000、2010、2020年土地利用和蒸散发等数据,通过土地利用转移矩阵、综合/单一动态模型和GIS空间分析等方法,探讨2000~2020年湘江流域土地利用类型、面积变化和转换特征,揭示研究区土地利用类型、面积和转换对蒸散发的影响。结果表明,研究期内湘江流域土地利用类型的面积、占比和空间格局均发生了较大变化,尤其是土地利用类型之间相互转换频繁,但近20年主要土地利用类型的面积排序基本保持稳定,即林地>耕地>草地>建设用地>水域;湘江流域基于土地利用类型的年蒸散量排序为林地>草地>耕地>建设用地,相较于基于土地利用面积的实际年蒸散总量排序(林地>耕地>草地>建设用地)存在差异,因此分析研究区土地利用对蒸散量的贡献要综合考虑土地利用类型及所占面积;研究区各土地利用类型的相互转换,引起了不同趋势和程度的年蒸散量变化,其中,建设用地与其他土地利用类型的相互转换对研究区蒸散量的影响相对较大,其余土地利用类型转换对于区域蒸散发的影响相对较小。研究成果可为流域土地利用规划和水资源管理提供参考。

**关键词:**土地利用;蒸散发;时空格局;湘江流域

**中图分类号:** P339

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7709(2023)12-0010-04

## 1 概况

湘江是长江流域的重要支流,也是湖南省境内最大的河流,湘江流域在湖南省内面积占流域总面积的90%以上,地形以平原、丘陵和山地为主,属于典型的亚热带季风湿润气候,降水主要集中在春夏季。主要土壤类型为红壤和黄壤,适合水稻、茶树等作物的种植及常绿阔叶林与针阔叶混交林等植被的生长。针对湘江流域的土地利用或蒸散发(ET)情况已有一些研究,如王宽等<sup>[1]</sup>从土地利用程度、面积变化和重心转移等方面探讨了湘江流域土地利用变化特征;张婷婷<sup>[2]</sup>通过分析湘江流域蒸发量的时空变化,发现近51年来研究区整体蒸散量变化较小,而2001~2010年蒸散量明显上升。但关于湘江流域土地利用类型、面积和转换对于蒸散发的影响亟待进一步分析和探讨。湘江流域湖南段主要涉及长沙市、湘潭市、株

洲市、衡阳市、永州市和郴州市等行政单元,集中了省内大部分人口,经济相对发达。近年来随着城市化水平不断提高,流域内土地利用类型和面积不断变化。因此,本文以湘江流域湖南段为例,结合土地利用和蒸散发数据,运用综合/单一动态模型、土地利用转移矩阵和GIS空间分析等方法,揭示研究区土地利用类型的面积变化及转换特征,从土地利用类型、面积和转换三个方面分析湘江流域土地利用对蒸散发的影响,以期与研究区未来土地利用规划和水资源管理提供参考。

## 2 研究方法

采用综合/单一动态模型<sup>[3]</sup>计算研究区内主要土地利用类型的变化情况;通过计算土地利用转移矩阵<sup>[4]</sup>,分析土地利用类型的转换方式及程度;运用ArcGIS空间分析等,统计并分析土地利用和蒸散发数据,揭示土地利用类型、面积及转

**收稿日期:** 2023-07-01, **修回日期:** 2023-07-30

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(42001024, 41901026);湖南省自然科学基金项目(2022JJ40015, 2021JJ40011);湖南省教育厅科学研究项目(21B0625, 21B0646)

**作者简介:** 冯畅(1988-),男,博士,副教授,研究方向为水文水资源, E-mail: fengchang126@qq.com

**通讯作者:** 杨柳(1986-),女,博士,副教授,研究方向为水文水资源环境, E-mail: palapalayl2006@126.com

换对蒸散格局的影响。2000、2010、2020 年三期土地利用数据(图 1)来源于 GlobeLand 30,空间分辨率 30 m<sup>[5]</sup>。蒸散发数据<sup>[6]</sup>基于 STARFM 模型,结合 MODIS 16 与 GLASS 数据通过数据融合而得,其中 MODIS 16 数据取自 NASA 的 MODIS 数据集,GLASS 数据取自国家地球系统科学中心。为统一土地利用和蒸散发数据精度,运用 ArcGIS 软件等对土地利用和蒸散发数据进行了镶嵌、裁剪、重分类及重采样等预处理。

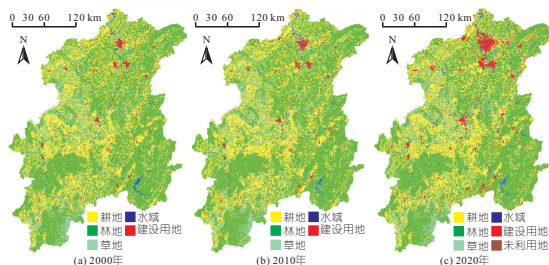


图 1 湘江流域湖南段土地利用分布

Fig. 1 Distribution map of land use in Xiangjiang River Basin

### 3 湘江流域土地利用类型的面积变化及转换特征

#### 3.1 土地利用类型的面积变化

结合图 1、表 1 可知,研究区主要土地利用类型为林地、耕地、草地、建设用地和水域,其中耕地和林地占据了大部分区域。2000~2020 年研究区土地利用面积排序未发生明显变化,为林地>耕地>草地>建设用地>水域,但不同时期各土地利用面积和占比有所不同。

表 1 2000~2020 年湘江流域土地利用结构

Tab. 1 Land use structure in Xiangjiang River Basin from 2000 to 2020

土地利 用类型	2000 年		2010 年		2020 年	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
耕地	24 827	28.84	24 641	28.62	24 684	28.67
林地	50 168	58.28	50 197	58.31	48 473	56.31
草地	8 268	9.60	8 420	9.78	7 981	9.27
水域	1 400	1.63	1 293	1.50	1 692	1.97
建设用地	1 419	1.65	1 532	1.78	3 249	3.77

2000~2020 年湘江流域所有土地利用类型

表 2 2000~2020 年湘江流域土地利用变化情况

Tab. 2 Land use changes in Xiangjiang River Basin from 2000 to 2020

土地利用 变化情况	2000~2010 年			2010~2020 年			2000~2020 年		
	面积变化/km <sup>2</sup>	单一动态度/%	综合动态度/%	面积变化/km <sup>2</sup>	单一动态度/%	综合动态度/%	面积变化/km <sup>2</sup>	单一动态度/%	综合动态度/%
耕地	-186	-0.07	0.64	43	0.02	0.59	-143	-0.03	0.45
林地	29	0.01		-1 724	-0.34		-1 695	-0.17	
草地	152	0.18		-439	-0.52		-287	-0.17	
水域	-107	-0.76		399	3.09		292	1.04	
建设用地	113	0.80		1 717	11.21		1 830	6.45	

的综合变化速率为 0.45%,变化速率相对较慢(表 2)。总体变化趋势为:①耕地、林地、草地分别减少了一 143、-1 695、-287 km<sup>2</sup>,呈不同程度的下降趋势。但由于耕地、林地和草地的面积基数较大,因此三种土地类型的单一动态度均相对较小且基本保持稳定;②水域、建设用地面积分别增加 292、1 830 km<sup>2</sup>,呈显著的上升趋势。这是由于建设用地和水域面积较小,单一动态度明显大于其他土地利用类型。其中,建设用地的变化速度最快,近 20 年增长了近 229%,其单一动态度为 6.45%,尤其过去 10 年达 11.21%。这些变化产生的主要原因是研究区城市化进程加速、人口持续增长和经济快速发展,使对住房、工业和交通用地等建设用地需求增加,建设用地的扩张侵占了农田、林地和草地等土地;此外,研究区对于流域水资源保护的重视及流域内“退田还湖”等政策也起到了一定作用。

#### 3.2 土地利用类型的转换特征

分析土地利用转移矩阵(表 3)可知,2000~2010 年湘江流域耕地、林地和草地三种土地利用类型之间发生了较大规模和面积的交叉转换,建设用地、水域和三种土地利用类型也发生了不同程度的转换。但最终 2000~2010 年主要土地利用类型之间的转入与转出量相差不大(如耕地净转出 186 km<sup>2</sup>,林地、草地分别净转入 29、152 km<sup>2</sup>),即各土地利用类型的面积变化不大。2010~2020 年林地的大量转出和建设用地的转入(林地净减少 1 724 km<sup>2</sup>,建设用地净增加 1 717 km<sup>2</sup>)及水域的转入(水域净增加 399 km<sup>2</sup>)是这一时期土地利用变化的主要特点,其原因是随着城市化进程加速及不合理的耕作和砍伐活动,建设用地不断扩张,同时部分自然植被遭到破坏,导致林地面积被侵占或破坏。相较于 2000~2010 年,2010~2020 年各土地利用类型之间的转入和转出量相差较大,面积变化也更大。

### 4 湘江流域土地利用对蒸散发的影响分析

表 3 2000~2020 年湘江流域土地利用转移矩阵

Tab. 3 Land use transfer matrix of Xiangjiang River Basin from 2000 to 2020

km<sup>2</sup>

研究时段	土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	合计
2000~2010	耕地	21 327	2 197	849	133	135	24 641
	林地	2 471	45 818	1 708	121	79	50 197
	草地	573	2 087	5 695	50	15	8 420
	水域	145	40	4	1 092	11	1 292
	建设用地	311	26	12	4	1 179	1 532
	合计	24 827	50 168	8 268	1 400	1 419	86 082
2010~2020	耕地	21 624	2 244	686	39	91	24 684
	林地	1 610	45 607	1 184	51	18	48 470
	草地	386	1 360	6 211	14	10	7 981
	水域	177	250	84	1 170	11	1 692
	建设用地	844	730	254	19	1 402	3 249
	合计	24 641	50 191	8 419	1 293	1 532	86 076

表 4 湘江流域内主要土地利用类型的年蒸散总量

Tab. 4 Annual evapotranspiration of each land use type in Xiangjiang River Basin

m<sup>3</sup>

年份	耕地	林地	草地	建设用地
2000	20 703 411	44 229 268	7 115 173	1 242 787
2010	20 601 025	43 657 616	7 229 922	1 351 611
2020	25 858 956	54 579 808	8 629 115	3 265 640

耕地>草地>建设用地。表明湘江流域基于土地利用面积的实际年蒸散总量的排序结果与基于土地利用类型的年蒸散量的排序存在差异,但这与研究区各土地利用类型的面积大小及排序相一致。可见研究区不同土地利用类型在单位面积上具有不同程度的年蒸散量,即具有不同的蒸散发能力,但对于流域实际总蒸散量的贡献,还需结合面积占比的影响。如 2000~2020 年单位面积耕地的年蒸散量排序靠后且低于草地,表明单位面积耕地的蒸散能力相对草地较弱,但较大的面积占比使耕地产生了比草地更多的区域年蒸散发总量,仅次于林地。因此,土地利用对湘江流域的蒸散发有重要影响贡献,且需从研究区各土地利用类型的蒸散发能力和土地利用类型的所占面积来综合考虑。

### 4.1 土地利用类型对蒸散发的影响

图 2 为 2000~2020 年湘江流域主要土地利用类型的年蒸散量变化。由图 2 可知,湘江流域不同时期及不同土地利用类型的年蒸散量存在差异。如 2020 年主要土地利用类型的年蒸散量排序为林地>草地>耕地>建设用地。这种排序是由于土地利用类型不同,植被覆盖度、吸水性能与保水能力不同,从而使蒸散能力相异。林地和草地作为自然植被,植物覆盖度较高,因此蒸腾作用相对更强且年蒸散量相对较高。其中林地的年蒸散量要高于草地,可能是因为林地的蒸散能力更强及林下生长的灌木和草本植物的辐合蒸腾作用;耕地的年蒸散量相对小于林地和草地,这可能与研究区种植作物的类型和性质有关;建设用地则由于地面硬化、城市排水设施建设及植被覆盖相对较少等原因,保持地表水分的能力较差且蒸散量较小,同时受降水量和温度等因素影响较大。值得注意的是,2010、2000 年建设用地的蒸散量略高于其他土地类型,明显不同于 2020 年,引起差异的可能因素是遥感空间分辨率或区域蒸散特征等,但仍需进一步归因和探讨。

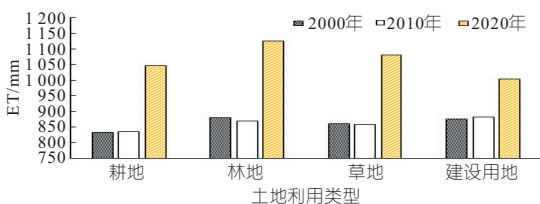


图 2 湘江流域主要土地利用类型的年蒸散量变化

Fig. 2 Annual evapotranspiration changes of main land use types in Xiangjiang River Basin

### 4.2 土地利用面积对蒸散发的影响

将研究区主要土地利用类型单位面积上的年蒸散量与各土地利用类型总面积经单位换算后相乘,计算得到研究区内各土地利用类型的年蒸散总量见表 4。由表 4 可知,2000~2020 年湘江流域主要土地利用类型的年蒸散总量排序为林地>

### 4.3 土地利用类型转换对蒸散发的影响

2000~2020 年湘江流域各时期发生了不同类型、不同程度的土地利用类型转换见图 3。由图 3 可知,2000~2010 年各土地利用类型转换引起了不同趋势和程度的年蒸散量变化;2020 年相对于之前,所有土地利用类型未变化区与变化区的年蒸散量均呈显著上升趋势(图 2、3),即 2020 年各土地利用类型的蒸散量明显高于 2000、2010 年,这可能是由于气温或降水量的年际变化、不同时期的遥感数据来源或分辨率精度等引起的差异。因此,为消除不同时期蒸散量自身变动和这些干扰因素等影响,将土地利用类型变化区年蒸散量的变动值减去未变化区年蒸散量的变动值,分析其相对变化量,见表 5。

由表 5 可知,土地利用类型的转换对于蒸散发量的影响在 2000~2010、2010~2020 年两段时期均有所差异:①对于两段时期,建设用地转耕地、转水域后的年蒸散量相比于未变化区均明显增大(即两段时期的相对变动值均为正值,以某段时期相对变动值大于 40 mm 左右为参考),水域转建设用地和建设用地转草地后的年蒸散量相比于未变化区均明显减小。这说明研究区 4 种土地利用类型转变对蒸散影响较大,且前 2 种可能更有利于蒸散增强,后 2 种可能会使蒸散量减少。②林地转耕地、林地转建设用地、草地转建设用

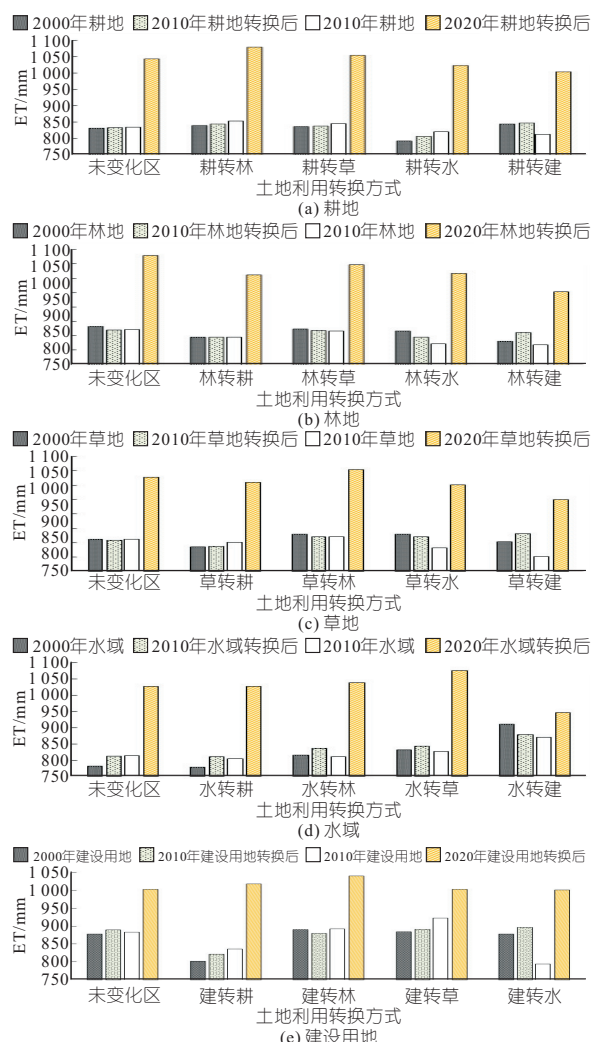


图 3 2000~2020 年湘江流域不同土地利用类型未变化区与变化区的年蒸散量

Fig. 3 Annual evapotranspiration in unchanged areas and change areas of different land use types in Xiangjiang River Basin from 2000 to 2020

表 5 湘江流域土地利用类型转换引起的年蒸散量的相对变化值

Tab. 5 Relative changes of average evapotranspiration caused by land use type changes in Xiangjiang River Basin

土地利用 转换方式	ET 相对变动值		土地利用 转换方式	ET 相对变动值	
	2000~	2010~		2000~	2010~
	2010 年	2020 年		2010 年	2020 年
耕地转林地	3.03	17.13	林地转耕地	13.35	-40.04
耕地转水域	10.91	-6.90	林地转水域	-7.55	-11.02
耕地转草地	-0.09	0.72	林地转草地	7.62	-26.38
耕地转建设用地	0.37	-16.70	林地转建设用地	42.45	-73.52
草地转耕地	3.55	-7.90	水域转耕地	-0.08	8.33
草地转水域	-6.34	3.26	水域转草地	-19.81	33.69
草地转林地	-6.34	17.06	水域转林地	-11.46	13.74
草地转建设用地	31.20	-17.35	水域转建设用地	-63.71	-138.83
建设用地转耕地	7.97	62.49	建设用地转林地	-21.86	28.72
建设用地转草地	-5.42	-39.15	建设用地转水域	7.18	87.92

地、建设用地转林地和水域转草地引起的年蒸散量的相对变化值在两段时期呈明显的先上升一后下降或先下降一后上升的相反趋势(以两段时期正负相对变动值大于 40 mm 为参考)。由此,研

究区这 5 种土地利用类型转变引起的年蒸散发变化明显大于原土地利用类型不发生变化时的年蒸散发变化程度,表明它们同样对于区域蒸散发影响较大,但不同时期的影响呈相反趋势,其正负效应转换频繁且不稳定。③其余土地利用类型转换引起的年蒸散量的相对变化值在两段时期相对较小(两段时期正负相对变动值的绝对值均小于 20 mm),即其余土地利用类型转换引起的年蒸散发变化与原土地利用类型引起的年蒸散发变化程度相同或相近,表明研究区其余土地利用类型的转变对于区域蒸散发的影响较小。

但必须指出,以上部分土地利用类型的转换面积相对于整个研究区较小,有可能受到遥感空间分辨率、降水、气温或人类活动等其他干扰因素影响,因此如果将本文分析结果应用于其他研究区域,需十分谨慎。

## 5 结论

a. 2000~2020 年湘江流域主要土地利用类型的面积排序未发生明显变化,为林地>耕地>草地>建设用地>水域,但土地利用类型的面积、占比和空间格局变动较大。在时间上表现为林地、耕地和草地面积有所减少,建设用地增长显著;在空间上表现为不同土地利用类型之间的相互转换,尤其近 10 年林地大量转出和建设用地大量转入是土地利用类型转换的主要特点。

b. 湘江流域主要土地利用类型单位面积的年蒸散量排序为林地>草地>耕地>建设用地;基于土地利用面积的年蒸散总量排序为林地>耕地>草地>建设用地。基于土地利用类型与基于土地利用面积的年蒸散排序结果存在差异。因此,分析湘江流域土地利用对蒸散量的影响贡献,需综合考虑土地利用类型的蒸散能力和所占面积。

c. 土地利用类型的转变会引起蒸散能力的改变,2000~2020 年湘江流域各土地利用类型的相互转换,引起了不同趋势和程度的年蒸散发变化。建设用地与其他土地利用类型的相互转换对研究区蒸散量的影响相对较大,研究区其余土地利用类型转换对于区域蒸散发的影响相对较小。

## 参考文献:

[1] 王宽,李涛,齐增湘,等. 湘江流域土地利用时空变化及其影响因子研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学),2017, 37(5):179-187.

- 肃省水资源承载力评价[J]. 水电能源科学, 2022, 40(11): 35-39.
- [4] 薛晴, 杨侃. 基于 BP 神经网络-系统动力学耦合模型的江苏省水资源承载力预测与调控研究[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(11): 86-99.
- [5] 刘志明, 周真中, 王永强, 等. 基于灰色预测模型的区域水资源承载力预测分析[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(9): 34-39.
- [6] 夏继勇. 过境水影响区域水资源承载力评价方法及应用[J]. 水电能源科学, 2019, 37(4): 40-43, 47.
- [7] 崔威, 李晓英, 郭宜薇. 基于博弈论组合赋权的水电站事故风险评价[J]. 南水北调与水利科技(中英

文), 2022, 20(2): 408-416.

- [8] 杨子江, 韩伟超, 杨恩秀. 昆明市水资源承载力系统动力学模拟[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 594-602.
- [9] 王建华, 翟正丽, 桑学锋, 等. 水资源承载力指标体系及评判准则研究[J]. 水利学报, 2017, 48(9): 1023-1029.
- [10] MORCILLO J D, FRANCO C J, ANGULO F. Simulation of demand growth scenarios in the Colombian electricity market: an integration of system dynamics and dynamic systems[J]. Applied energy, 2018, 216: 504-520.

## Comprehensive Evaluation of Water Resources Carrying Capacity and Sustainable Utilization in Wuhan City

GUO Hao-feng, YUAN Yan-bin, CAO Yang, LIAN Yi-wen

(School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In order to coordinate the balance between water resources supply and demand and promote the sustainable use of water resources in Wuhan City, this paper conducts a comprehensive evaluation and simulation of the water resources carrying capacity of Wuhan based on the improved TOPSIS method and system dynamics, and realizes a combination of static evaluation and dynamic prediction. The results show that the overall water resources carrying capacity of Wuhan City fluctuates and increases from 2010 to 2020, and the overall level is in a critical state; By simulating the development of Wuhan City from 2021 to 2035, the water resources carrying capacity of Wuhan City under the conventional development model has exceeded the limit and it is difficult to maintain the demand; The economic priority model sacrifices resources and environment for economic speed up, which shows the most serious water resources; The environment-friendly model can reduce water consumption and improve the ecological environment, but the economic development is also limited to a certain extent; The integrated development model, from the perspective of coordination and balance, can achieve resource conservation and environmental protection while satisfying the steady and rapid economic development, and obtain the maximum economic and ecological benefits with the minimum water consumption, achieving the harmonious development of human and nature.

**Key words:** water resources carrying capacity; sustainable utilization; TOPSIS method; system dynamics; Wuhan City

(上接第 13 页)

- [2] 张婷婷. 湘江流域蒸发皿蒸发量的变化趋势及原因分析[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.
- [3] ZHANG Y, YU P H, TIAN Y S, et al. Exploring the impact of integrated spatial function zones on land use dynamics and ecosystem services tradeoffs based on a future land use simulation (FLUS) model[J]. Ecological indicators, 2023, 150: 110246.
- [4] 吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 1976 年以来北洛河流

域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 54-63.

- [5] CHEN J, BAN Y, LI S. China: open access to earth land-cover map [J]. Nature, 2014, 514(7523): 434.
- [6] LI S X, FENG C, YANG L. Spatiotemporal patterns of evapotranspiration in the Xiangjiang River Basin from 2000 to 2020[J]. Hydrology research, 2023, nh2023143.

## Impact of Land Use on Evapotranspiration in Xiangjiang River Basin

FENG Chang<sup>1</sup>, LI Jia-jie<sup>2</sup>, YANG Liu<sup>1</sup>, LI Su-xun<sup>3</sup>

(1. School of Geography and Tourism, Hengyang Normal University, Hengyang 421002, China;

2. School of Geographical Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

3. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Taking the section of Hunan in Xiangjiang River Basin(XRB) as an example, based on the land use and evapotranspiration data in 2000, 2010 and 2020, this study discusses the characteristics of land use type, area change and mutual conversion in the XRB by using the methods of land use transfer matrix, integrated and single dynamic attitude model and GIS spatial analysis. The effects of land use type, area and conversion on evapotranspiration in the study area were revealed. The results show that the area, proportion and spatial pattern of land use types in the XRB have undergone great changes, especially the frequent conversion among land use types. However, in the past 20 years, the order of main land use areas in the XRB remained stable: forest > farmland > grassland > construction land > water area. The order of theoretical annual evapotranspiration based on land use type in the XRB is forest > grassland > farmland > construction land, which is different from the order of actual annual total evapotranspiration based on land use area: forest > farmland > grassland > construction land. Therefore, the land use type and land use area to evapotranspiration in the study area should be considered comprehensively. The conversion of different land use types in the XRB caused the change of evapotranspiration in different trends and degrees. The conversion between construction land and other land use types has a relatively large impact on evapotranspiration in the study area, while the conversion of other land use types has a small impact on regional evapotranspiration. The research results can provide scientific reference for land use planning and water resources management in the basin.

**Key words:** land use; evapotranspiration; spatiotemporal pattern; Xiangjiang River Basin