

# 基于生态系统服务的水网乡村生态修复效果评估

## ——以吴江区为例

周凌赟<sup>1\*</sup>

(1. 苏州科技大学 苏州 215000)

**摘要:**【目的】作为人类社会与自然生态系统紧密联系的纽带,生态系统服务可与生态修复工程结合明确区域生态修复的效果。【方法】以典型水网乡村吴江区为例,利用土地利用转移矩阵,分析吴江区土地利用的时空变化特征,以生态系统服务价值变化作为生态修复的效果表征,构建生态修复效果量化评估体系,对吴江区十年来的生态修复效果进行评估和分析。【结果】2012年-2022年在经济高速发展背景下建设用地面积增加,耕地、水域面积减少,建设用地主要由耕地和水域面积转入。区域生态系统服务价值由2012年的57347万元上升至2022年的61189万元,总体呈现上升趋势【结论】生态战略下吴江区10年修复效果显著,生态系统持续向好,生态效益得到提升。但局部仍存在下降趋势,环境质量有待进一步改善,在未来应增加对其的生态修复手段,促进生态环境发展。

**关键词:** 生态修复; 生态系统服务价值评估; 体系构建; 水网乡村

# Evaluation of ecological restoration effect in rural areas with water networks based on ecosystem services: a case study in

Wujiang District, China

**Abstract:** 【Objective】 As a close link between human society and natural ecosystems, ecosystem services can be combined with ecological restoration projects to clarify the effectiveness of regional ecological restoration. 【Method】 Taking a typical rural water network in Wujiang District as an example, the land use transfer matrix was used to analyze the spatiotemporal changes in land use in Wujiang District. The change in ecosystem service value was used as a representation of the effectiveness of ecological restoration, and a quantitative evaluation system for ecological restoration effectiveness was constructed to evaluate and analyze the ecological restoration effectiveness of Wujiang District over the past decade. 【Result】 In the context of rapid economic development from 2012 to 2022, the area of construction land increased, while the area of arable land and water decreased. Construction land was mainly transferred from arable land and water area. The value of regional ecosystem services has increased from 573.47 million yuan in 2012 to 61.89 million yuan in 2022, showing an overall upward trend. 【Conclusion】 Under the ecological strategy, the 10-year restoration effect of Wujiang District is significant, the ecosystem continues to improve, and the ecological benefits have been improved. However, there is still a downward trend in some areas, and the environmental quality needs to be further improved. In the future, ecological restoration measures should be increased to promote the development of the ecological environment.

**Key words:** ecological restoration; ecosystem service value; system construction; water network rural

生态系统服务(Ecosystem Services, ES)是人类直接或间接从生态系统和生态过程中的获益<sup>0</sup>。生态修复是实现人类可持续发展的重要手段。生态系统服务与生态修复理念具有一定的耦合性。一方面,人们可以通过使用不同的生态修复方式来提升自然生态系统的服务供给能力,提升生态效益与生态系统的可持续性。另一方面,修复后的生态系统也将通过各类生态系统服务,为景观美学、休闲娱乐等社会效益提供支持。

国内外学者使用生态系统服务作为指标,对生态修复效果进行评估,取得了一定的成果。Palmer等(2014)<sup>0</sup>通过引入生态系统服务的概念对城市中的溪流修复工程进行了更为全面的效果评估;De Valck<sup>0</sup>等(2

019)以比利时弗兰德省某棕地作为案例,评估了将城市棕地改造为城市绿色基础设施后为居民提供的生态系统服务价值。此外,在黄河滩地杨树生态防护林<sup>0</sup>、边坡生态修复<sup>0</sup>、海岸带湿地回垦<sup>0</sup>等的研究中均从不不同区域展开生态修复效果评估。目前,生口系口服口与生口修复效果的耦合口价尚口于初步口口口段,其相关性研究十分有限。在研究尺度上,主要集中于流域尺度<sup>0</sup>或极端条件<sup>0</sup>区域,对于乡村等特定尺度的研究关注较少。

生态修复最重要的目标之一是建立一个可持续的生态系统,了解和判断区域修复后生态系统服务能力是检验生态修复成功与否非常必要的一步。本文以吴江区为例,分析 2012-2022 年土地利用类型的时空变化关系,从生态系统服务功能角度建立基于生态系统服务的生态修复效果评估体系,以期为苏南水网乡村生态修复提供新思路与方法。

## 1 研究区概况和数据来源

### 1.1 研究区概况

苏州市吴江区位于苏、浙、沪两省一市的地理交界处(120°21'~120°54'E、30°46'~31°14'N),全区总面积 1176km<sup>2</sup>,水面积占全市总面积的 22.70%。水陆共生的特征对生态系统服务可持续发展有着不可或缺的作用<sup>0</sup>(图 1)。10 年来,吴江区全力开展生态修复,先后完成大渠荡、杨沙荡、莺脰湖、元荡等湖泊生态治理。但经济的高速增长以高投入、高消耗的传统经济增长模式为主,带来了产业结构耗能、生态环境保护形势严峻、土壤污染等问题,有必要对吴江区生态修复效果进行评估,有针对性地提出管理策略。

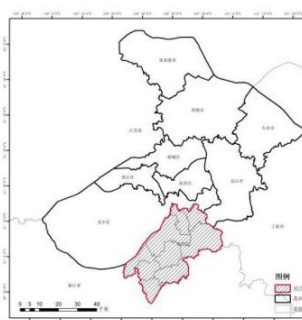


图 1 研究区域

Fig. 1 Study area

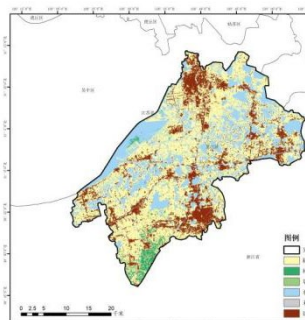


图 2 吴江区 2012 年土地利用

类型

Fig. 2 Land use types in  
Wujiang District in 2012

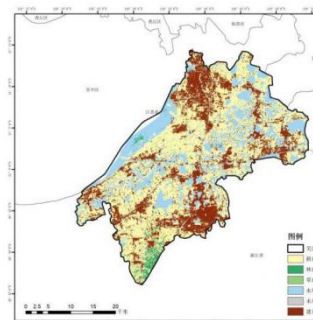


图 3 吴江区 2022 年土地利用

类型

Fig. 3 Land use types in  
Wujiang District in 2022

### 1.2 数据来源

研究数据包括土地利用数据、社会经济数据。1) **土地利用数据**: 主要来源于中科院资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn>)。分辨率口 30m×30m。参考《土地利用口状分口(GBT-21010-2022)》将研究区的土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、未利用地和建口用地 6 类(图 2、图 3)。2) **社会经济数据**: 本研究所参考的吴江区农作物产量、全国粮食产量等,主要来源于《吴江统计年鉴 2012-2022》、《全国农产品成本收益资料汇编 2012-2022》。上述数据或参数均为开放数据或公开发表数据。

## 2 研究方法

### 2.1 土地利用转移矩阵

叠加分析研究区不同时期的土地利用数据得到土地利用转移矩阵,该矩阵能够表示一定区域在特定时间段不同土地利用类型之间转入和转出的数量<sup>0</sup>,揭示区域土地利用格局的演化特征。其公式如下:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix}$$

式中,  $A$  表示不同类型的土地面积,  $n$  表示统计土地利用类型总数,  $i, j$  分别代表不同的土地利用类型。

## 2.2 生态系统服务价值计算

当量因子法基于可量化的标准构建生态系统服务功能的价值当量, 结合生态系统的分布面积进行评估<sup>0</sup>。本研究借鉴 Costanza<sup>0</sup> 和谢高地<sup>0</sup> 等的生态系统服务分类, 以供给、调节、支持、文化服务为分类基础, 进一步细分为食物生产、原料生产、水资源供给等 4 大类 11 种服务功能<sup>0</sup>, 采用当量因子法进行生态系统服务价值评估后通过 ArcGIS 平台进行可视化。其公式如下:

$$ESV_{\text{总}} = \sum_{k=1}^n A_k \times D \times C_k \quad (1)$$

式 (1) 中:  $ESV$  为生态系统服务价值(元);  $A_k$  表示研究区第  $k$  类土地利用类型的面积 ( $\text{hm}^2$ );  $D$  表示 1 个标准当量因子的生态系统服务经济价值量 (元/ $\text{hm}^2$ );  $C_k$  表示第  $k$  类土地利用类型单位面积生态系统服务当量因子<sup>0</sup>。

生态系统服务的时空异质性决定了特定的生态系统服务价值指标体系不能用于衡量每一个地区生态系统服务的实际价值<sup>0</sup>。因此, 在计算不同区域单位面积价值时, 需要对经济价值  $D$  与当量因子  $C_k$  与全球或全国平均水平比较进行当量校正, 结合文献资料与研究区实际情况确定生态系统服务的单位面积价值量<sup>00</sup>。其修正公式如下:

$$D = S_r \times F_r + S_w \times F_w \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{Q}{Q_0} \quad (3)$$

$$E_1 = \lambda \times E_{0i} \quad (3)$$

式 (2) 中:  $S_r$ 、 $S_w$  分别表示当年吴江区单季稻、小麦的播种面积占播种总面积的百分比 (%);  $F_r$ 、 $F_w$  分别表示当年吴江区单季稻、小麦的单位面积平均净利润 (元/ $\text{hm}^2$ )。

式 (3) 中,  $\lambda$  为当量因子的修订指数,  $Q$ 、 $Q_0$  分别为吴江区和全国的单位面积粮食产量 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),  $C_i$  为第  $i$  类土地利用类型经地区修订后的生态服务功能当量,  $C_{0i}$  为第  $i$  类全国尺度的当量因子<sup>0</sup>。结合式 (2) 与式 (3), 分别计算得出 2012 年与 2022 年吴江区单位面积生态系统服务价值量。(表 1、表 2)

表 1 2012 年吴江区单位面积生态系统服务价值量 (元/ $\text{hm}^2$ )

Tab. 1 Ecosystem service value per unit area in Wujiang District in 2012

|      | 供给服务        |           |             | 调节服务        |             |             |             | 支持服务        |             |             | 文化服务        |
|------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|      | 食物生产        | 原料生产      | 水资源供给       | 气体调节        | 气候调节        | 净化环境        | 水文调节        | 土壤保持        | 维持养分        | 生物多样性       | 美学景观        |
| 耕地   | 2367.522    | 156.67425 | 4578.36975  | 1932.31575  | 992.27025   | 295.94025   | 4735.044    | 17.40825    | 330.75675   | 365.57325   | 156.67425   |
| 林地   | 439.5583125 | 1009.6785 | 522.2475    | 3320.623688 | 9935.758688 | 2911.529813 | 6501.981375 | 4043.066063 | 308.9964375 | 3681.844875 | 1614.615188 |
| 草地   | 661.5135    | 974.862   | 539.65575   | 3429.42525  | 9069.69825  | 2994.219    | 6649.9515   | 4177.98     | 313.3485    | 3794.9985   | 1671.192    |
| 水域   | 1392.66     | 400.38975 | 14431.43925 | 1340.43525  | 3986.48925  | 9661.57875  | 177981.948  | 1618.96725  | 121.85775   | 4439.10375  | 3290.15925  |
| 未利用地 | 0           | 0         | 0           | 34.8165     | 0           | 174.0825    | 52.22475    | 34.8165     | 0           | 34.8165     | 17.40825    |
| 建设用地 | 0           | 0         | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |

表 2 2022 年吴江区单位面积生态系统服务价值量 (元/ $\text{hm}^2$ )

Tab. 2 Ecosystem service value per unit area in Wujiang District in 2022

|      | 供给服务        |            |              | 调节服务        |             |             |             | 支持服务        |             |             | 文化服务        |
|------|-------------|------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|      | 食物生产        | 原料生产       | 水资源供给        | 气体调节        | 气候调节        | 净化环境        | 水文调节        | 土壤保持        | 维持养分        | 生物多样性       | 美学景观        |
| 耕地   | 2782.8966   | 184.162275 | -5381.630925 | 2271.334725 | 1166.361075 | 347.862075  | 5565.7932   | 20.462475   | 388.787025  | 429.711975  | 184.162275  |
| 林地   | 516.6774938 | 1186.82355 | 613.87425    | 3903.217106 | 11678.95761 | 3422.348944 | 7642.734413 | 4752.409819 | 363.2089313 | 4327.813463 | 1897.894556 |
| 草地   | 777.57405   | 1145.8986  | 634.336725   | 4031.107575 | 10660.94948 | 3519.5457   | 7816.66545  | 4910.994    | 368.32455   | 4460.81955  | 1964.3976   |
| 水域   | 1636.998    | 470.636925 | 16963.39178  | 1575.610575 | 4685.906775 | 11356.67363 | 209208.3444 | 1903.010175 | 143.237325  | 5217.931125 | 3867.407775 |
| 未利用地 | 0           | 0          | 0            | 40.92495    | 0           | 204.62475   | 61.387425   | 40.92495    | 0           | 40.92495    | 20.462475   |
| 建设用地 | 0           | 0          | 0            | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |

## 2.3 生态修复效果评估体系构建

本研究基于供给服务 ( $B_1$ )、调节服务 ( $B_2$ )、文化服务 ( $B_3$ ) 和支持服务 ( $B_4$ ) 四大生态系统服务功能, 考虑数据的掌握情况和可操作性, 将食物生产、原料生产、水资源供给等 11 种服务功能作为  $C_1$ - $C_{11}$  指标层, 构建吴江区生态修复效果评估体系 (图 4)。

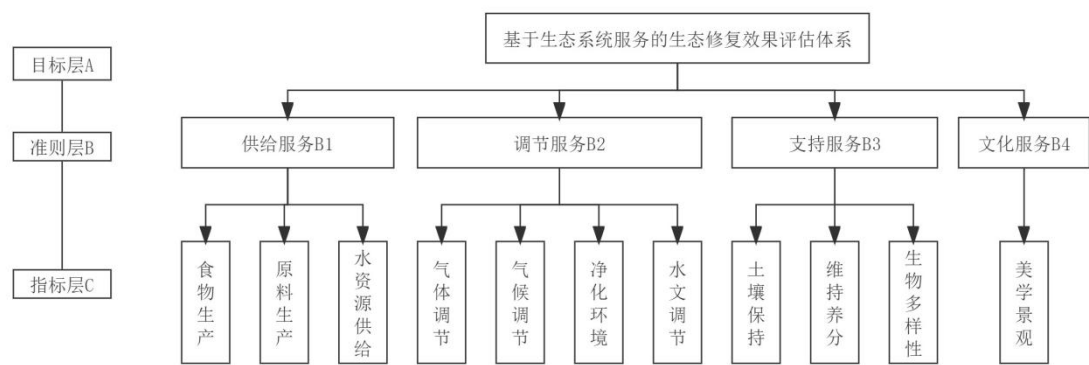


图 4 吴江区生态修复效果评估体系

Fig. 4 Wujiang District Ecological Restoration Effect Evaluation System

在对指标的相对重要性进行评判时，根据美国 Saaty 教授提出的 1~9 标度法对每个元素打分<sup>0</sup>，结合层次分析法构造出成对比较矩阵后，即可计算出矩阵的特征向量标准化值 $\omega$ 、权重、最大特征向量 $\lambda_{\max}$ ，然后进行一致性检验<sup>00</sup>。检验公式为：

$$CR=CI/RI$$
$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$$

式中， $\lambda_{\max}$ 为矩阵最大特征向量，CI 为一致性指标,RI 是平均随机一致性指标，CR 为一致性检验比例， $CR<0.1$  则说明通过一致性检验，否则需要重新构造矩阵。本研究结合相关文献及专家打分法得到本次研究的指标权重（表 3），已通过一致性检验。本研究运用加权叠加法的思路，得到吴江区生态修复效果综合评价结果。

表 3 生态修复效果指标权重

Tab. 3 Ecological restoration effect index weight

| 目标层                | 准则层            | 指标层               | 总权重    |
|--------------------|----------------|-------------------|--------|
| 吴江区生态修复效果评估<br>(A) | $B_1$ (0.3524) | $C_1$ (0.4251)    | 0.1498 |
|                    |                | $C_2$ (0.1251)    | 0.0441 |
|                    |                | $C_3$ (0.4498)    | 0.1585 |
|                    |                | $C_4$ (0.2214)    | 0.0317 |
|                    | $B_2$ (0.1430) | $C_5$ (0.1389)    | 0.0199 |
|                    |                | $C_6$ (0.2869)    | 0.0410 |
|                    |                | $C_7$ (0.3528)    | 0.0505 |
|                    |                | $C_8$ (0.1847)    | 0.0688 |
|                    | $B_3$ (0.3724) | $C_9$ (0.3236)    | 0.1205 |
|                    |                | $C_{10}$ (0.4917) | 0.1831 |
|                    | $B_4$ (0.3058) | $C_{11}$ (1)      | 0.3058 |

3 结果与分析

3.1 生态系统服务价值结果

3.1.1 吴江区用地类型变化 由表 4 和图 5 可知，2012-2022 年吴江区土地利用变化总量为 1221.969km<sup>2</sup>，土地利用转移方向主要表现为耕地向建设用地、水域转变，水域向耕地转变，新增建设用地主要为耕地转入，转入面积为 12.503km<sup>2</sup>，耕地与水域相互转移，水域转化为耕地面积为 63.302km<sup>2</sup>。整体来看，2012-2022 年城镇经济快速发展，吴江区建设用地扩张明显，水域面积有所减少，但耕地仍占主体地位。

表 4 2012—2022 年吴江区土地利用转移矩阵（/km<sup>2</sup>）

Tab. 4 Land use transfer matrix of Wujiang District from 2012 to 2022

| 2010 年 | 2022 年  |        |       |         |       |        | 总计      |
|--------|---------|--------|-------|---------|-------|--------|---------|
|        | 耕地      | 林地     | 草地    | 水域      | 未利用地  | 建设用地   |         |
| 耕地     | 521.912 | 2.602  | 0     | 29.738  | 0.063 | 86.628 | 640.945 |
| 林地     | 12.358  | 16.027 | 0     | 0.927   | 0.002 | 0.135  | 29.449  |
| 草地     | 0.005   | 0      | 0.008 | 0       | 0     | 0.302  | 0.315   |
| 水域     | 63.302  | 0.830  | 0.006 | 255.698 | 0.112 | 6.979  | 326.926 |
| 未利用地   | 0.041   | 0.001  | 0     | 0.073   | 0.174 | 0.019  | 0.308   |

|      |         |        |       |         |       |         |          |
|------|---------|--------|-------|---------|-------|---------|----------|
| 建设用地 | 12.503  | 0.021  | 0.001 | 2.645   | 0.011 | 208.845 | 224.026  |
| 总计   | 610.122 | 19.480 | 0.015 | 289.082 | 0.361 | 302.909 | 1221.969 |

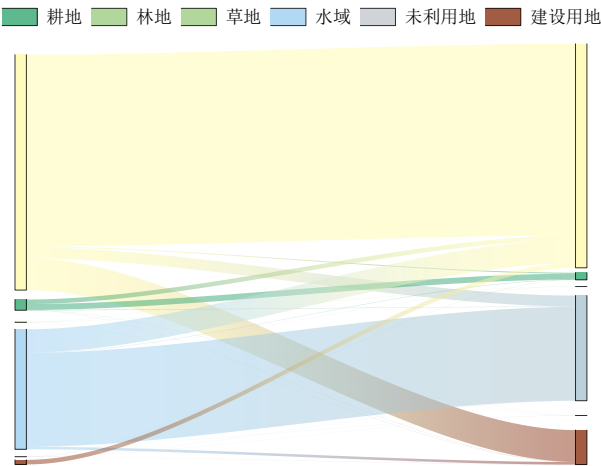


图 5 吴江区土地利用转移桑基图

Fig. 5 Sankey diagram of land use transfer in Wujiang District

由图 5 可知，2012-2022 年吴江区土地利用变化总量为 1221.969km<sup>2</sup>，土地利用转移方向主要表现为耕地向建设用地、水域转变，水域向耕地转变，新增建设用地主要为耕地转入，转入面积为 12.503km<sup>2</sup>，耕地与水域相互转移，水域转化为耕地面积为 63.302km<sup>2</sup>。整体来看，2012-2022 年城镇经济快速发展，吴江区建设用地扩张明显，水域面积有所减少，但耕地仍占主体地位。

3.1.2 吴江区生态系统服务价值计算 2012 年吴江区调节服务中水文调节服务价值最高，达 74611 万元，其次为净化环境>气候调节>食物生产>水资源供给>生物多样性>气体调节>美学景观>土壤保持>原料生产>维持养分。2022 年吴江区调节服务中水文调节服务价值最高，达 80107 万元，其次为净化环境>气候调节>食物生产>气体调节>生物多样性>水资源供给>美学景观>土壤保持>维持养分>原料生产。

表 5 2012 年吴江区生态系统服务价值（元）  
Tab.5 Ecosystem service value of Wujiang District  
t in 2012

| 一级指标 | 二级指标  | 价值          |
|------|-------|-------------|
| 供给服务 | 食物生产  | 235289605.8 |
|      | 原料生产  | 31264645.84 |
|      | 水资源供给 | 231176435.9 |
|      | 气体调节  | 210510582.9 |
| 调节服务 | 气候调节  | 268099760   |
|      | 净化环境  | 416913611.2 |
|      | 水文调节  | 7461100536  |
|      | 土壤保持  | 79884074.06 |
| 支持服务 | 维持养分  | 30844013.86 |
|      | 生物多样性 | 217053883.2 |
| 文化服务 | 美学景观  | 148366147.5 |

表 6 2022 年吴江区生态系统服务价值（元）  
Tab.6 Ecosystem service value of Wujiang District  
t in 2022

| 一级指标 | 二级指标  | 价值          |
|------|-------|-------------|
| 供给服务 | 食物生产  | 271674708.8 |
|      | 原料生产  | 33870760.98 |
|      | 水资源供给 | 206860879.4 |
|      | 气体调节  | 238809806.3 |
| 调节服务 | 气候调节  | 286263338   |
|      | 净化环境  | 445597476.6 |
|      | 水文调节  | 8010700963  |
|      | 土壤保持  | 81887327.86 |
| 支持服务 | 维持养分  | 35564899.67 |
|      | 生物多样性 | 231865049.2 |
| 文化服务 | 美学景观  | 158495533.2 |

借助 ArcGIS 软件，将各项生态系统服务价值结果可视化，利用自然断点法将生态系统服务价值由低到高分 5 个等级（图 6）。食物生产、气体调节、维持养分服务较高的区域主要集中于吴江区近太湖的区域，主要用地类型为耕地和水域，地势平坦，雨水充足，便于耕作和粮食作物生长，是吴江区提供大部分生态系统价值的主要区域。原料生产、土壤保持、气候调节在吴江区南部都呈现出较高的价值，主要分布于桃源镇等地，该地区植被覆盖率较高，表现出较强的土壤保持和气候调节能力，同时以林地为主的吴江区南部提供了较多的木材等原材料，使其具备较强的原料生产能力。

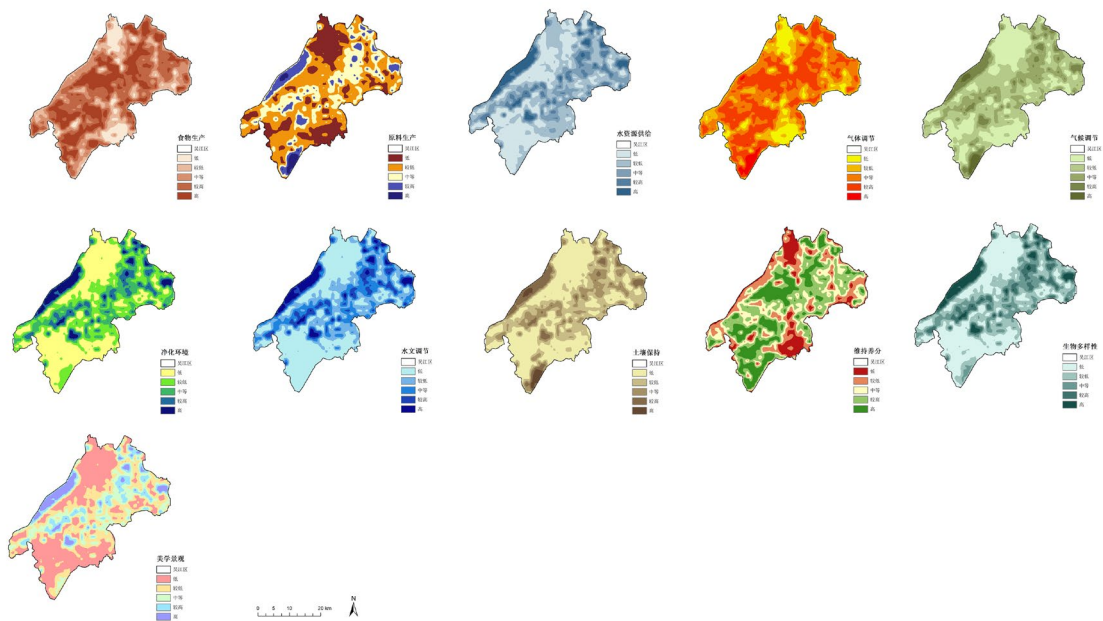


图 6 吴江区 2022 年生态系统服务价值空间制图

Fig. 6 Spatial mapping of ecosystem service value in Wujiang District in 2022

3. 2 吴江区生态修复效果评估

结合生态修复效果评估体系，加权叠加得出吴江区 2012-2012 年的生态修复效果评估表，量化生态系统服务的时空变化，以此表征该区域生态修复效果（表 7）。由表 7 可知，整体上生态系统服务价值 2022 年高于 2012 年，可见修复效果显著，通过生态修复提升了吴江区整体生态效益。从准则层来看，调节服务在生态修复中起到了很大作用，其中因苏南水网的典型特征，其水文调节对生态会修复的效果最大，未来可持续推动水文调节服务，增强其生态效益。在指标层面，水资源供给的服务价值从 3664.1 万元变为 3278.7 万元，减少了 385.4 万元，是各项指标中唯一呈现负值的指标。吴江区地处长江三角洲地区。该区域的水资源供给存在季节性和年际变化，需要进行合理的水资源管理和调配。同时，吴江区作为城市化进程中不断发展的地区，人口增长和经济发展对水资源的需求日益增加。居民用水、农业用水和工业用水等方面的需求都需要得到满足，因此，需要通过科学的水资源管理和合理的供水计划来平衡供需关系。

表 7 生态修复效果价值量（单位：万元）  
Tab.7 Ecological restoration effect value

| 评估指标 |       | 2012 年  | 2022 年  | 变化     |
|------|-------|---------|---------|--------|
| 准则层  | 指标层   |         |         |        |
| 供给服务 | 食物生产  | 3524.6  | 4069.7  | 545.0  |
|      | 原料生产  | 137.9   | 149.4   | 11.5   |
|      | 水资源供给 | 3664.1  | 3278.7  | -385.4 |
| 调节服务 | 气体调节  | 667.3   | 757.0   | 89.7   |
|      | 气候调节  | 533.5   | 569.7   | 36.1   |
|      | 净化环境  | 1709.3  | 1826.9  | 117.6  |
|      | 水文调节  | 37678.6 | 40454.0 | 2775.5 |
| 支持服务 | 土壤保持  | 549.6   | 563.4   | 13.8   |
|      | 维持养分  | 371.7   | 428.6   | 56.9   |

|      |       |        |        |       |
|------|-------|--------|--------|-------|
|      | 生物多样性 | 3974.3 | 4245.4 | 271.2 |
| 文化服务 | 美学景观  | 4537.0 | 4846.8 | 309.8 |

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究分析了吴江区 10 年以来土地利用变化，运用当量因子法评估 2012 年与 2022 年吴江区生态系统服务价值，构建评价体系定量评估吴江区 10 年来生态修复效果。研究结论如下：

（1）2012 年-2022 年在经济高速发展背景下建设用地面积增加，耕地、水域面积减少，建设用地主要由耕地和水域面积转入。

（2）吴江区生态系统服务价值整体较高，供给服务与调节服务占主导地位，提供较高的生态系统服务价值。

（3）吴江区十年生态修复工程的实施，较大地提升其生态系统服务价值，在供给、支持、调节和文化服务方面均取得较好效果，水文调节持续增长，表明水质的自净能力提升，洪涝灾害的风险有所减小。但在水资源供给方面修复效果较差，可能对生态系统的完整性和连通性造成影响。

4.2 讨论

4.2.1 建设用地增加，自然性不足 从 2010 年与 2022 年的土地利用类型来看，部分耕地消失，建设用地增加。随着城市化的发展和经济的增长，建设用地的需求不断增加，大量的土地被开发和利用，以满足人们对住房、商业和基础设施等需求。然而，这种建设用地的扩张导致了自然环境的破坏和生态系统的破碎化<sup>0</sup>。建设用地的增加剥夺了自然生态系统的空间。原本属于自然环境的土地被城市化和工业化的用途所取代，导致许多植被和野生动物的栖息地遭到破坏<sup>0</sup>。这种土地转变不仅直接影响了野生动植物的生存，也破坏了生态系统的平衡和稳定性。

此外，建设用地增加也使原生物种丧失了其自然栖息地。许多珍稀濒危物种面临栖息地缩小、断绝迁徙通道、资源匮乏等问题。这对于保护生物多样性和维护生态平衡带来了重要挑战。

为了解决这一问题，需要制定和实施更加综合和可持续的生态修复策略。包括通过合理规划城市发展，提高土地利用效率，保留一定比例的自然保护区和绿地，以及采用可持续的建筑设计 and 工程技术，减少对自然环境的侵蚀和破坏等。同时，公众的环保意识和参与度也至关重要，需要通过教育宣传和政策引导，促使人们更加重视自然环境的保护和恢复。只有综合考虑生态保护和城市发展的需求，才能实现生态修复的目标，确保未来的可持续发展。

4.2.2 生态环境治理仍需加大力度 近年来，吴江区在生态环境治理方面付出了前所未有的努力，实施了最严格的环境管理手段和最严厉的处罚力度。然而，由产业结构和能耗结构带来的污染问题仍需要进一步解决。吴江区的产业结构以丝绸纺织、电子信息、光电通信和装备制造为主导，经济发展取得了显著成效。然而，经济的高速增长仍以传统的高投入、高消耗的模式为主，工业企业的污染排放效益整体不高，尤其是纺织业。纺织业的工业总产值占全区规模以上工业总产值的比重与其排污量在全区占比之间存在明显的不匹配<sup>0</sup>。因此，吴江区需要进一步加大力度，促进生态环境与经济协调发展的协调。通过加强环境管理和监督，引导工业企业采取清洁生产技术和措施，提高污染物排放效率，实现经济与环境的双赢。

5 未来展望

本研究针对生态系统服务价值的测算问题,借鉴已有成果,基于研究区实际情况修正，揭示了吴江区生态系统服务价值 10 年来价值变化，并结合区域实际情况构建了生态修复效果评估体系，为生态修复研究方法带来一定的参考价值。

本研究仍存在一定的局限性。（1）本研究未考虑多尺度标准下数据结果的差异性。（2）在研究结果上，应加强生态修复效果评估与生态系统服务之间的关系，扩大样本容量进行研究。在未来将更多开展生态系统服务价值的空间分布研究及指标间的相关性分析。（3）对于生态修复效果评估体系，本研究还可更进一

步进行探讨。生态系统服务价值在结合权重得出评价结果,用时空变化价值表征生态修复效果的同时,应根据研究区实际情况,将变化量(评价结果)进行等级划分,分为生态修复好、较好、一般、中等、较差等多级指标,但因分类标准尚且无统一标准,相关文献有限,故在未来可针对这一层面进行更多的探讨。

## 参 考 文 献

- Costanza R, D Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997(387): 253-260.
- Palmer MA, Filoso S, Fanelli R M. From ecosystem to ecosystem services: Stream restoration as ecological engineering. *Ecological Engineering*, 2014, 65: 62-70.
- De Valck J, Beames A, Liekens I, et al. Valuing urban ecosystem services in sustainable brownfield redevelopment. *Ecosystem Services*, 2019, 35: 139-149.
- 于乃胜. 黄河滩地杨树生态防护林生态系统服务的计量及其价值评估. 山东农业大学, 2009.
- (Yu Naisheng. Measurement and value assessment of ecosystem services of poplar ecological shelterbelts in the Yellow River floodplain. Shandong Agricultural University, 2009. [in Chinese])
- 杜林峰, 沈彦, 王丽. 基于生态系统服务理论的生态修复边坡预评价. 亚热带水土保持, 2014, 1: 56-60.
- (Du Linfeng, Shen Yan, et al. Pre-evaluation of ecological restoration slopes based on ecosystem service theory. *Subtropical Soil and Water Conservation*, 2014, 1: 56-60. [in Chinese])
- Sun X, Xiong S, Zhu X, et al. A new indices system for evaluating ecological-economic-social performances of wetland restorations and its application to Taihu Lake basin, China. *Ecological Modelling*, 2015, 295: 216-226.
- 柴晨晖, 秦越强, 王志民等. 基于 AHP-TOPSIS 方法的薛家湾—龙口镇露天煤矿大型排土场生态修复效果评价[J]. 中国地质调查, 2023, 10(05): 118-127.
- (Chai Chenhui, Qin Yueqiang, Wang Zhimin, et al. Evaluation of ecological restoration effect of large-scale dumpsite of Xuejiawan-Longkou Town open-pit coal mine based on AHP-TOPSIS method [J]. *China Geological Survey*, 2023, 10(05): 118 [in Chinese])
- 黄钰清, 李骁尧, 于强等. 1995-2018 年黄河流域土地利用变化及驱动力分析[J]. 西北林学院学报, 2022, 37(06): 113-121.
- (Huang Yuqing, Li Xiaoyao, Yu Qiang, et al. Analysis of land use changes and driving forces in the Yellow River Basin from 1995 to 2018 [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2022, 37(06): 113-121. [in Chinese])
- 朱颖, 顾春望, 李欣等. 基于 DPSIRM 模型的苏州吴江区湿地生态安全评价[J]. 浙江农林大学学报, 2022, 39(05): 1114-1123.
- (Zhu Ying, Gu Chunwang, Li Xin, et al. Ecological security assessment of wetlands in Wujiang District, Suzhou based on DPSIRM model [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2022, 39(05): 1114-1123. [in Chinese])
- 李真, 张晖, 杨微石. 基于“自然基点”的自然资源资产生态价值核算[J]. 中国土地, 2022, No. 441(10): 47-49.
- (Li Zhen, Zhang Hui, Yang Weishi. Accounting of ecological value of natural resource assets based on "natural base point" [J]. *China Land*, 2022, No. 441(10): 47-49. [in Chinese])
- Costanza R, Arge, Groot R D, Farber, S, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 387(15): 253-260.
- 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展[J]. 资源科学, 2001, 23(6): 5-9.
- (Xie Gaodi, Lu Chunxia, Cheng Shengkui. Research progress in global ecosystem service value assessment [J]. *Resource Science*, 2001, 23(6): 5-9. [in Chinese])
- 杜倩倩, 张瑞红, 马本. 生态系统服务价值估算与生态补偿机制研究——以北京市怀柔区为例[J]. 生态经济, 2017, 33(11): 146-152+176.
- (Du Qianqian, Zhang Ruihong, Ma Ben. Research on ecosystem service value estimation and ecological compensation mechanism - taking Huairou District, Beijing as an example [J]. *Ecological Economy*, 2017, 33(11): 146-152+176. [in Chinese])

- 罗雅琴. 临川区土地利用与生态系统服务价值时空变化研究[D]. 东华理工大学, 2019.
- (Luo Yaqin. Research on spatiotemporal changes in land use and ecosystem service value in Linchuan District [D]. Donghua University of Science and Technology, 2019.[in Chinese])
- 张舟, 吴次芳, 谭荣. 生态系统服务价值在土地利用变化研究中的应用: 瓶颈和展望[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 556–562.
- (Zhang Zhou, Wu Cifang, Tan Rong. Application of ecosystem service value in land use change research: bottlenecks and prospects [J]. Journal of Applied Ecology, 2013, 24(2): 556–562.[in Chinese])
- 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015(8): 1243–1254.
- (Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Leiming, et al. Improvement of ecosystem service valuing method based on unit area value equivalent factor [J]. Journal of Natural Resources, 2015(8): 1243–1254.[in Chinese])
- SHI Yao, WANG Rusong, HUANG Jinlou, et al. An analysis of the spatial and temporal changes in Chinese terrestrial ecosystem service functions[J]. Science Bulletin, 2012, 57(17): 2120–2131.
- 徐丽芬, 许学工, 罗涛等. 基于土地利用的生态系统服务价值当量修订方法——以渤海湾沿岸为例[J]. 地理研究, 2012, 31(10): 1775–1784.
- (Xu Lifan, Xu Xuegong, Luo Tao, et al. Revision method of ecosystem service value equivalent based on land use - taking the Bohai Bay coast as an example [J]. Geographic Research, 2012, 31(10): 1775–1784. [in Chinese])
- Freeman A M III. The measurement of environmental and resources values: theory and methods[M]. Washing D C: Resource for the Future, 1993: 12–18.
- 徐国荣, 马维伟, 李广, 等. 基于 PSR 模型的甘南尕斯库勒湿地生态系统健康评价[J]. 水土保持通报, 2019, 39(6): 275–280.
- (Xu Guorong, Ma Weiwei, Li Guang, et al. Health assessment of Gannan Gahai wetland ecosystem based on PSR model [J]. Soil and Water Conservation Bulletin, 2019, 39(6): 275–280. [in Chinese])
- 喻立, 王健力, 李昌晓, 等. 基于 DPSIR 与 AHP 的宁夏沙湖湿地健康评价[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(2): 124–130.
- (Yu Li, Wang Jianli, Li Changxiao, et al. Health assessment of Ningxia Shahu Wetland based on DPSIR and AHP [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2014, 36(2): 124–130.[in Chinese])
- 陈琪. 基于 GIS 技术的苏南水网密集地区生态空间格局优化研究——以苏州吴江区为例[D]. 苏州: 苏州科技学院, 2015.
- (Chen Qi. Research on optimization of ecological spatial pattern in dense water network areas in southern Jiangsu based on GIS technology - taking Wujiang District, Suzhou as an example [D]. Suzhou: Suzhou University of Science and Technology, 2015.
- 谷树忠, 胡咏君, 周洪. 生态文明建设的科学内涵与基本路径[J]. 资源科学, 2013, 35(1): 2–13.[in Chinese])
- (Gu Shuzhong, Hu Yongjun, Zhou Hong. Scientific connotation and basic path of ecological civilization construction [J]. Resource Science, 2013, 35(1): 2–13.[in Chinese])
- 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2014, 34 (12): 3311–3319.
- (Liu Guilin, Zhang Luocheng, Zhang Qian. Impact of spatial and temporal changes in land use in the Yangtze River Delta region on ecosystem service value [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34 (12): 3311–3319.[in Chinese])