

贺祥. 脆弱生态环境区生态系统服务功能与价值时空演变的研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(4): 209-215.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.049

# 脆弱生态环境区生态系统服务功能与价值时空演变的研究

贺祥<sup>1,2</sup>

(1. 凯里学院旅游学院, 贵州凯里 556011; 2. 贵州财经大学管理科学学院, 贵州贵阳 550025)

**摘要:**运用 GIS 软件和采用价值系数估值法, 分析 2005 年、2010 年及 2015 年黔东南州土地利用变化, 研究其生态系统服务功能与价值的时空演变。结果表明, 2005—2015 年黔东南州水域、建设用地与未利用地等面积增加幅度较大, 水田、有林地和草地面积减少较多。生态系统服务总价值呈负增长, 建设用地与未利用地、水域的生态系统服务价值增加率较高, 其余土地利用类型生态系统服务价值均呈倒“V”形变化; 气候调节、水文调节、土壤保持、气体调节、生物多样性和净化环境等生态系统服务功能价值降低幅度较大; 粮食生产服务价值降低, 表明耕地面积流失量较大。各时期气候调节、水文调节、土壤保持、气体调节、净化环境和生物多样性等生态系统服务功能价值占总价值 89% 左右, 结果与黔东南州森林面积较大, 具有较强气候调节、土壤保持能力等特征一致。剑河县、雷山县、黎平县、天柱县、镇远县和榕江县的生态系统服务价值变化幅度高于全州, 且与其变化趋势与方向相反; 岑巩县、从江县、丹寨县、锦屏县、麻江县、三穗县、施秉和台江县生态系统服务价值变化幅度低于全州, 且与其变化趋势与方向一致; 黄平县和凯里市生态系统服务价值变化幅度低于全州, 且与其变化趋势与方向相反。有林地、灌木林地与草地面积变化率较低, 但其生态系统服务价值却明显下降, 其提供的气候调节和人文调节生态系统服务价值最高, 其次是土壤保持和生物多样性; 水田和旱地的面积变化较小, 但其生态系统服务价值降低幅度较大, 水田与旱地提供的食物生产、原料生产等服务功能的生态系统服务价值下降。建设用地与未利用地面积增加幅度较大, 其生态系统服务价值增加较少, 其美学景观功能服务价值降低。研究结果有助于深入认识土地利用变化对脆弱生态环境系统格局、生态系统服务价值功能的影响, 还可为区域生态环境保护及管理等方面提供有效建议。

**关键词:**黔东南州; 贵州省; 脆弱生态环境区; 生态系统服务功能与价值; 时空演变

**中图分类号:** S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0209-07

生态系统服务 (ecological services) 是指通过生态系统的结构、过程和功能, 直接或间接得到生命支持产品和服务<sup>[1-3]</sup>。Costanza 等首先提出生态系统服务概念、理论与评价方法<sup>[1-2]</sup>; 欧阳志云等研究了生态系统服务功能的内涵<sup>[4]</sup>; Sutton 等对生态系统服务的市场与非市场价值进行研究<sup>[5]</sup>; 千年生态系统评估 (millennium ecosystem assessment, MA) 把生态系统服务类型划分供给服务、调节服务、文化服务和支持服务<sup>[6]</sup>; Haines-Young 等构建并逐步完善了生态系统结构、过程、功能、服务与价值的级联式框架<sup>[7]</sup>; Verburg 等运用 InVEST 与 CLUE 模型分析流域的生态系统服务价值<sup>[8-10]</sup>; 徐丽芬等对土地利用变化及类型转型等对生态系统服务价值的影响进行研究<sup>[11-12]</sup>; 李双成等分析了基于生态系统服务理论的人类收益与福祉<sup>[13]</sup>; 戴尔阜等对生态系统服务权衡与集成的方法、模型和框架进行了研究<sup>[14-15]</sup>; 吴健生等基于生态系

统服务价值研究生态安全格局的构建<sup>[16]</sup>。

土地利用活动影响着各类生态系统类型、面积以及空间分布格局的变化<sup>[17]</sup>, 也对生态系统服务功能变化有显著驱动作用。学者们从土地利用变化对生态系统服务价值影响等方面进行大量研究, 石龙宇等<sup>[18]</sup>、李屹峰等<sup>[19]</sup>分别以玛纳斯河流域、密云水库为例, 对土地利用变化引起生态系统服务价值变化进行了分析; 刘海等基于土地利用类型对生态系统服务价值结构变化进行研究<sup>[20]</sup>; 熊善高等对土地利用变化导致各类生态系统服务价值变化及其时空分异特征进行研究<sup>[21]</sup>; 郭玲霞等则从土地整治角度出发, 对土地整治前后区域生态系统服务价值进行评估<sup>[22]</sup>; 张骞等研究了区域生态用地空间结构及其生态系统服务价值变化<sup>[23]</sup>; 王航等从土地利用面积变化引起的结构与格局演变, 分析生态系统服务价值变化<sup>[24]</sup>。虽然学者们开展了大量研究, 但对土地利用变化导致生态系统服务价值与功能时空演变的研究成果还较少, 对脆弱生态区的研究成果则更加欠缺。因此, 研究中选择贵州省脆弱生态区黔东南州为研究对象, 分析 2005 年、2010 年和 2015 年土地利用变化情况, 研究其土地利用变化导致生态系统服务价值、生态系统服务功能的时空演变。研究结果有助于深入掌握土地利用变化对生态系统格局、生态系统服务功能的影响, 可为区域生态环境保护、生态经济可持续发展等方面提供有益的措施和建议。

收稿日期: 2017-10-30

基金项目: 贵州省科技厅联合基金 (编号: 黔科合 LH 字 [2014] 7237); 凯里学院 2017 年度学术新苗培养及创新探索专项 (编号: 黔科合平台人才 [2017] 5723-04); 贵州财经大学第六期重点建设学科团队项目。

作者简介: 贺祥 (1978—), 男, 贵州水城人, 博士, 教授, 主要研究方向为生态治理与环境保护。E-mail: hexiang1997403@163.com。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况与数据来源

黔东南州位于贵州省东南部,地处贵州高原向东南倾斜下降的过渡地带,森林资源丰富,森林覆盖率高。境内沟壑纵横、地形起伏较大。山地面积比重高达 72.8%, >25°坡地面积达 31.2%,生态环境较为脆弱。境内有清水江、舞阳河、都柳江三大干流,是长江、珠江上游地区的重要生态屏障区。该地区属亚热带季风气候,粮食种植面积较大,共辖 16 个县市,2015 年末户籍人口 473.54 万人,少数民族人口占总人口的 80.2%。常住人口密度低,但区内乡村从业人口比例高,农村贫困率属贵州全省中最高。地理位置如图 1。

### 1.2 数据来源

黔东南州 2005 年、2010 年及 2015 年的土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>),黔东南州各县(市)主要粮食作物产量、粮食价格等数据来源于黔东南州社会经济统计年鉴和农业统计年鉴,以及各县(市)社会经济统计年鉴和农业统计年鉴等资料。

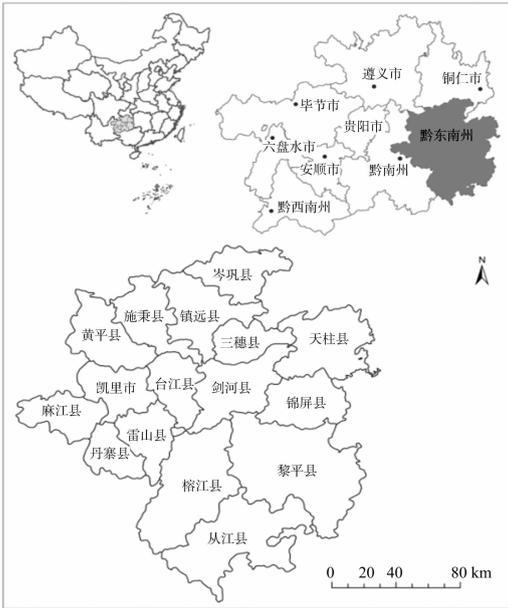


图1 黔东南州地理位置

### 1.3 研究方法

1.3.1 单位面积生态系统服务功能的经济价值 为消除价格波动对生态系统服务价值量的影响,以 2010 年全国农作物平均价格为基准,结合黔东南州各县(市)不同年份主要粮食作物水稻、小麦、玉米和大豆的播种面积和产量情况,计算 2005 年、2010 年和 2015 年各县(市)单位生态系统服务功能的经济价值,其计算公式为<sup>[25]</sup>

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{P_i Q_i}{A} \quad (1)$$

式中: $E_a$  为农田生态系统的经济价值(纯收益),元/hm<sup>2</sup>;  $i$  为作物种类; $P_i$  是  $i$  种粮食作物全国平均价格,元/t; $Q_i$  为  $i$  种粮食作物总产量,t; $A$  为粮食作物总种植面积,hm<sup>2</sup>。

1.3.2 生态系统服务价值系数计算 参考谢高地等提出中国生态系统服务价值当量因子值<sup>[26]</sup>,结合黔东南州土地分类情况,计算城市建设用地、农田、有林地、草地和水域等土地利

用类型生态系统服务价值的系数,计算公式为

$$\gamma_{ij} = V_j E_a(i, j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: $\gamma_{ij}$  为  $i$  种生态系统  $j$  种生态系统服务功能价值系数,元/(hm<sup>2</sup>·年); $V_j$  为  $i$  种生态系统  $j$  种生态服务功能相对于单位农田生态系统提供食物生产的生态服务功能,即生态系统价值当量因子,元/hm<sup>2</sup>;  $i$  为生态系统类型; $j$  为生态系统服务功能; $E_a$  为单位农田生态系统提供生产服务功能的经济价值,元/hm<sup>2</sup>。

1.3.3 生态系统服务价值计算 根据各类土地生态系统面积和单位面积生态系统服务价值,计算区域生态系统服务总价值,其公式<sup>[1]</sup>为

$$ESV = \sum (A_i \times \gamma_i); \quad (3)$$

$$ESV_j = \sum (A_i \times \gamma_{ij}) \quad (4)$$

式中: $ESV$  为生态系统服务价值,元/年; $A_i$  为土地利用类型  $i$  的面积,hm<sup>2</sup>; $\gamma_i$  为  $i$  土地利用类型的生态系统服务价值系数,元/(hm<sup>2</sup>·年); $ESV_j$  是生态系统第  $j$  项服务功能价值,元/年; $\gamma_{ij}$  是土地利用类型  $i$  的第  $j$  项服务功能价值系数,元/(hm<sup>2</sup>·年)。

1.3.4 区域差异性分析 生态系统服务价值的相对变化率是指生态系统服务价值变化与土地利用面积变化之间的比率<sup>[27]</sup>,用于反映区域差异,公式如下:

$$R = \frac{R_L}{R_C} = \frac{(L_b - L_a)/L_a}{(C_b - C_a)/C_a} \quad (5)$$

式中: $R$  为相对变化率; $R_L$ 、 $R_C$  分别为区域、总体变化率; $L_a$ 、 $L_b$  分别为区域的初始与末期  $ESV$ ;  $C_a$ 、 $C_b$  分别为总体的初始与末期  $ESV$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用时空动态变化分析

通过对黔东南州 2005 年、2010 年和 2015 年 1 km 分辨率的土地利用类型遥感影像解译,将土地利用类型分为耕地、旱地、有林地、灌木林地、草地、水域、建设用地与未利用地等 7 类,其中由于未利用地与建设用地的生态系统服务价值相近,故在计算生态系统服务价值时合并为一类地,获得各土地类型的面积(表 1),并得到黔东南州各县(市)土地利用的时空动态(图 2)。分析可知,2005—2015 年,建设用地与未利用地变化幅度最大,增加面积较多,变化率为 108.68%;其次是水域面积增加也较多,变化率为 70.81%。虽然水田、有林地和草地等面积的变化率分别仅为 -1.04%、-0.38%、-2.53%,但由于其土地面积基数较大,其各类土地面积减少较多。其中,2005—2015 年,水田面积逐渐减少;旱地面积先减少,然后再增加,总体呈减少趋势;有林地面积逐渐减少;灌木林地面积先增加再减少,整体呈增加趋势;草地面积先减少后增加;建设用地与未利用地面积逐渐增加;水域面积逐渐增加。

### 2.2 黔东南州生态系统服务价值的时空变化

2.2.1 生态系统服务价值系数 谢高地等修正了 Costanza 提出的方法<sup>[3]</sup>,并根据 200 多位我国生态学家的调查问卷,获取了生态系统服务价值的当量系数,2015 年谢高地等提出并修正了生态系统价值当量系数值<sup>[26]</sup>。通过黔东南州各县市 2005 年、2010 年、2015 年的社会经济统计年鉴与农业统计年

表1 黔东南州各年份土地利用类型面积及其变化

| 土地利用类型    | 面积 (hm <sup>2</sup> ) |              |              | 2005—2010年<br>变化(hm <sup>2</sup> ) | 变化率<br>(%) | 2010—2015年<br>变化(hm <sup>2</sup> ) | 变化率<br>(%) | 2005—2015年<br>变化(hm <sup>2</sup> ) | 变化率<br>(%) |
|-----------|-----------------------|--------------|--------------|------------------------------------|------------|------------------------------------|------------|------------------------------------|------------|
|           | 2005年                 | 2010年        | 2015年        |                                    |            |                                    |            |                                    |            |
| 水田        | 414 991.18            | 414 591.34   | 410 691.39   | -399.84                            | -0.10      | -3 899.95                          | -0.94      | -4 299.79                          | -1.04      |
| 旱地        | 341 941.77            | 340 941.92   | 341 039.95   | -999.85                            | -0.29      | 98.03                              | 0.03       | -901.82                            | -0.26      |
| 有林地       | 768 857.95            | 768 430.51   | 765 972.39   | -427.44                            | -0.06      | -2 458.12                          | -0.32      | -2 885.56                          | -0.38      |
| 灌木林地      | 1 108 605.81          | 1 118 842.22 | 1 115 732.67 | 10 236.41                          | 0.92       | -3 109.55                          | -0.28      | 7 126.86                           | 0.64       |
| 草地        | 381 619.10            | 371 310.13   | 371 979.62   | -10 308.97                         | -2.70      | 669.49                             | 0.18       | -9 639.48                          | -2.53      |
| 建设用地与未利用地 | 8 005.51              | 8 605.20     | 16 705.30    | 599.69                             | 7.49       | 8 100.10                           | 94.13      | 8 699.79                           | 108.68     |
| 水域        | 2 683.25              | 3 983.25     | 4 583.25     | 1 300.00                           | 48.45      | 600.00                             | 15.06      | 1 900.00                           | 70.81      |

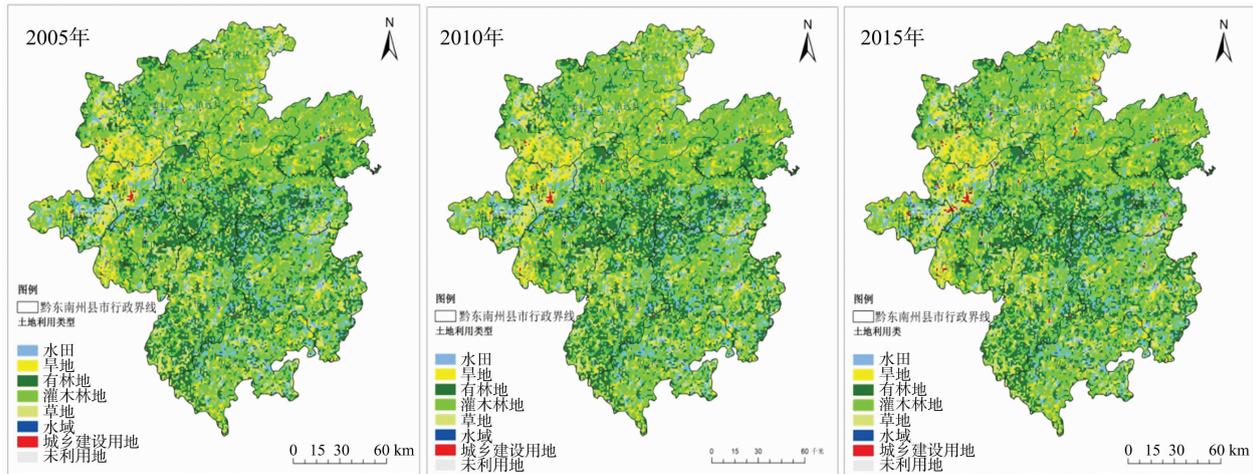


图2 黔东南州 2005年、2010年、2015年的土地利用类型面积

鉴等资料,获得各县市不同年份的平均粮食产量及粮食价格。考虑到物价等影响因素,为了消除价格变化对生态系统服务价值计算的影响,从而能够对生态系统服务价值的边际差别进行分析,对3个年份粮食价格求平均值,为2.43元/kg。生态系统服务价值当量因子是生态系统潜在服务价值的相对贡献率,1个生态服务价值当量因子的经济价值量等于当年全

国平均粮食单产市场价值的1/7<sup>[28]</sup>。运用公式(1)计算得到各县(市)的生态系统服务价值当量因子(表2),运用公式(2)获得黔东南州各县(市)2005年、2010年、2015年不同土地利用类型的生态系统服务价值系数和不同生态系统服务功能价值系数(表3、表4)。

表2 黔东南州各县市不同年份生态系统服务当量因子

| 年份   | 生态系统服务当量因子(元/hm <sup>2</sup> ) |          |          |          |          |          |          |          |
|------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|      | 凯里市                            | 黄平县      | 施秉县      | 三穗县      | 镇远县      | 岑巩县      | 天柱县      | 锦屏县      |
| 2005 | 1 583.62                       | 1 404.19 | 1 531.70 | 1 674.53 | 1 565.31 | 1 365.03 | 2 281.94 | 1 511.48 |
| 2010 | 1 774.71                       | 1 531.76 | 1 671.10 | 1 969.58 | 1 453.13 | 1 491.16 | 2 236.16 | 1 514.45 |
| 2015 | 1 679.28                       | 1 392.51 | 1 513.90 | 1 441.06 | 1 266.88 | 1 227.92 | 1 829.71 | 1 212.27 |

| 年份   | 生态系统服务当量因子(元/hm <sup>2</sup> ) |          |          |          |          |          |          |          |
|------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|      | 剑河县                            | 台江县      | 黎平县      | 榕江县      | 从江县      | 雷山县      | 麻江县      | 丹寨县      |
| 2005 | 1 078.07                       | 1 489.23 | 1 897.71 | 1 814.17 | 1 689.30 | 1 631.26 | 1 259.75 | 1 382.86 |
| 2010 | 1 180.64                       | 1 604.38 | 1 955.70 | 1 808.26 | 1 733.08 | 1 572.18 | 1 472.33 | 1 526.63 |
| 2015 | 1 039.46                       | 1 376.48 | 1 443.24 | 1 376.53 | 1 418.52 | 1 226.20 | 1 191.42 | 1 248.74 |

表3 黔东南州各年份不同土地利用类型生态系统服务价值系数

| 年份   | 生态系统服务价值系数[元/(hm <sup>2</sup> ·年)] |          |           |           |          |           |            |
|------|------------------------------------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|
|      | 水田                                 | 旱地       | 针阔混交林     | 灌木        | 草地       | 建设用地与未利用地 | 水系         |
| 2005 | 6 127.67                           | 6 316.70 | 36 151.66 | 23 975.09 | 7 986.45 | 315.05    | 197 865.40 |
| 2010 | 6 408.38                           | 6 619.30 | 37 619.23 | 24 952.93 | 8 305.84 | 327.86    | 207 511.80 |
| 2015 | 5 333.98                           | 5 498.52 | 31 469.10 | 20 869.70 | 6 952.00 | 274.24    | 172 236.70 |

生态系统服务价值系数是单位面积土地利用类型对生态系统提供服务功能的强弱,黔东南州生态系统服务价值系数的演变特征:(1)所有土地利用类型的生态系统服务价值系

数均在2005—2010年呈增加趋势,2010—2015年呈降低趋势。其中,2005—2010年各土地利用类型生态系统服务价值系数增加约4%,2010—2015年各土地利用类型生态系统服

表4 黔东南州各年份生态系统服务功能价值系数

| 年份   | 供给服务功能价值系数[元/(hm <sup>2</sup> ·年)] |          |           | 支持服务功能价值系数[元/(hm <sup>2</sup> ·年)] |          |           |
|------|------------------------------------|----------|-----------|------------------------------------|----------|-----------|
|      | 食物生产                               | 原料生产     | 水资源供给     | 土壤保持                               | 维持养分循环   | 生物多样性     |
| 2005 | 5 655.09                           | 3 071.70 | 9 955.49  | 10 995.14                          | 1 197.18 | 11 735.50 |
| 2010 | 5 944.88                           | 3 229.11 | 10 465.62 | 23 465.72                          | 1 174.22 | 12 284.72 |
| 2015 | 4 922.62                           | 2 673.85 | 8 666.00  | 9 571.00                           | 1 042.11 | 10 215.46 |

| 年份   | 调节服务功能价值系数[元/(hm <sup>2</sup> ·年)] |           |           | 文化服务功能价值系数[元/(hm <sup>2</sup> ·年)] |          |
|------|------------------------------------|-----------|-----------|------------------------------------|----------|
|      | 气体调节                               | 气候调节      | 净化环境      | 水文调节                               | 美学景观     |
| 2005 | 10 491.06                          | 24 085.35 | 15 075.00 | 180 096.71                         | 6 379.70 |
| 2010 | 11 028.65                          | 23 623.57 | 16 481.92 | 177 705.20                         | 6 341.68 |
| 2015 | 9 132.21                           | 20 965.69 | 13 122.40 | 156 769.58                         | 5 553.36 |

务价值系数降低约17%，表明各土地利用类型生态系统服务价值系数在前5年逐渐增加，但在近5近年却迅速降低。(2)所有生态系统服务功能价值系数均在2005—2010年呈增加趋势，2010—2015年呈降低趋势。其中，供给服务的粮食生产、原料生产和水资源供给等生态服务功能价值系数，在前5年呈增加约5%，后5年降低约17%；支持服务的生态服务功能价值系数中，土壤保持在2005—2010年增加113.42%，生物多样性增加4.68%，但维持养分循环降低1.92%；调节服务中，气体调节在2005—2010年增加5.12%，从2010—2015年降低17.20%，气候调节在前5年降低1.92%，在后5年降低11.25%；净化环境服务在前5年增加9.33%，在后5年降低20.38%；水文调节在前5年降低1.33%，在后5年降低11.78%；文化服务功能美学景观功能，在2005—2010年降低0.60%，在2010—2015年降低12.43%。结果表明，黔东南州单位面积土地生态系统服务功能价值系数，具有在2005—2010年呈增加趋势，在2010—

2015年呈降低趋势的演变特征。

2.2.2 黔东南州生态系统服务总价值变化 将土地利用类型面积及生态系统服务价值系数代入公式(3)和公式(4)，计算得到各年份、各县(市)不同土地利用类型的生态系统服务价值(图3、表5)。计算得到，近10年黔东南州生态系统服务总价值呈负增长，从2005年的626.59亿元，减少到2015年的548.35亿元，减少12.49%。其中，2005—2010年，黔东南州生态系统服务总价值增加4.78%；从2010—2015年，降低16.48%。2005—2015年，建设用地与未利用地、水域这2类土地利用类型的生态系统服务价值均是呈逐渐增加趋势，增加率均较高；其余土地利用类型的生态系统服务价值均是呈倒“V”形变化，即2005—2010年呈增加趋势，2010—2015年，生态系统服务价值呈减少趋势。其中，水田、旱地、有林地和灌木林地具有相近似的变化趋势，从2005—2010年，生态系统服务价值增长均约4%；2010—2015年，它们的生态系统服务价值降低约17%。

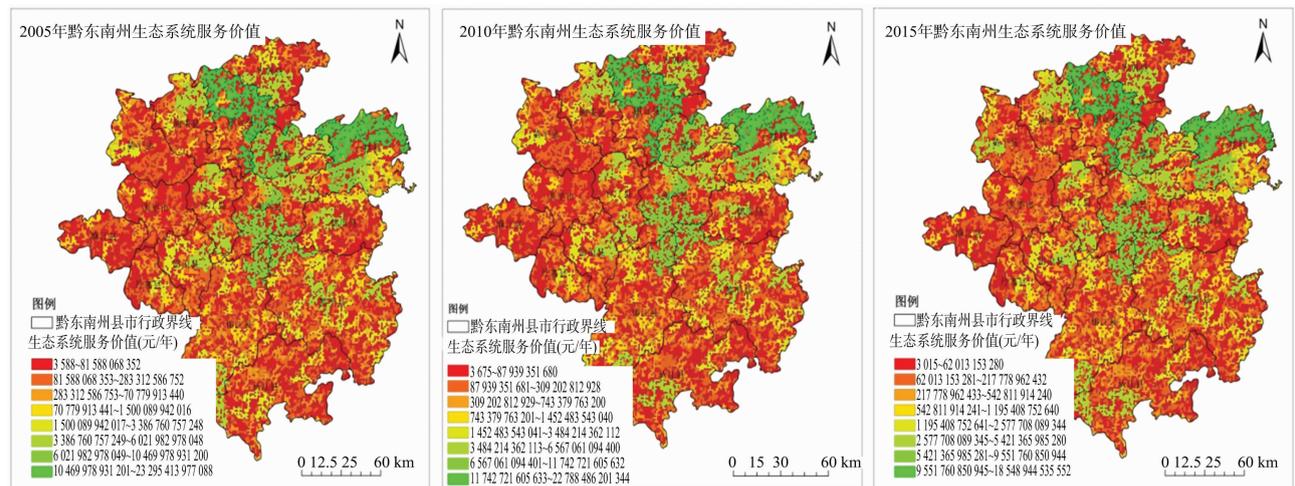


图3 黔东南州各年份土地利用类型的生态系统服务价值

2.2.3 单项生态系统服务功能价值变化 通过计算黔东南州各单项生态系统服务功能的价值(表6)可知，水资源供给处于负值，说明农田生产需水量较大，导致水系、林地等生态系统供给水资源低于农田对水资源的需求量。2005—2010年，仅水资源供给、气候调节和维持养分循环生态系统服务功能价值降低，其他生态系统服务功能价值均呈增加趋势；2010—2015年，水资源供给增加1.65%，维持养分循环降低0.78%，其余生态系统服务功能价值降低3.50%~19.46%。2005—2015年，黔东南州水资源供给生态系统服务价值增加

1.44%，表明生态系统的水资源供给功能逐渐增强；维持养分循环生态系统服务功能价值仅降低0.90%，而其余生态系统服务功能价值均有较大幅度降低。其中，气候调节、水文调节、土壤保持等生态服务功能价值的变化幅度较大，分别降低21.55%、16.31%、9.27%，气体调节、生物多样性、净化环境等生态服务功能价值也降低较多，分别降低8.47%、8.01%、6.38%。粮食生产的生态系统服务功能价值先增加再降低，说明近期的土地利用开发造成大量耕地面积流失和耕地质量下降。

表5 黔东南州各年份各类用地生态系统服务价值及其变化率

| 土地利用类型    | 生态系统服务价值(亿元/年) |        | 2005—2010年 |          | 2010—2015年 |          | 2005—2015年 |          |        |
|-----------|----------------|--------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|--------|
|           | 2005年          | 2010年  | 2015年      | 变化(亿元/年) | 变化率(%)     | 变化(亿元/年) | 变化率(%)     | 变化(亿元/年) | 变化率(%) |
| 水田        | 25.43          | 26.57  | 21.91      | 1.14     | 4.48       | -4.66    | -17.54     | -3.52    | -13.84 |
| 旱地        | 21.6           | 22.57  | 18.75      | 0.97     | 4.49       | -3.82    | -16.93     | -2.85    | -13.19 |
| 有林地       | 277.95         | 289.08 | 241.04     | 11.12    | 4.00       | -48.03   | -16.61     | -36.91   | -13.28 |
| 灌木林地      | 265.79         | 279.18 | 232.85     | 13.39    | 5.04       | -46.33   | -16.60     | -32.94   | -12.39 |
| 草地        | 30.48          | 30.84  | 25.86      | 0.36     | 1.18       | -4.98    | -16.15     | -4.62    | -15.16 |
| 建设用地与未利用地 | 0.03           | 0.03   | 0.05       | 0        | 0.00       | 0.02     | 66.67      | 0.02     | 66.67  |
| 水域        | 5.31           | 8.27   | 7.89       | 2.96     | 55.74      | -0.37    | -4.47      | 2.58     | 48.59  |
| 合计        | 626.59         | 656.53 | 548.35     | 29.95    | 4.78       | -108.18  | -16.48     | -78.23   | -12.49 |

表6 黔东南州各年份生态系统服务价值结构变化

| 生态系统服务功能 | 单项生态系统服务功能 | 生态系统服务价值(亿元/年) |        |        | 生态系统服务价值变化率(%) |            |            |
|----------|------------|----------------|--------|--------|----------------|------------|------------|
|          |            | 2005年          | 2010年  | 2015年  | 2005—2010年     | 2010—2015年 | 2005—2015年 |
| 供给服务     | 食物生产       | 20.93          | 22.01  | 18.15  | 1.08           | -3.87      | -2.79      |
|          | 原料生产       | 19.10          | 20.12  | 16.62  | 1.02           | -3.50      | -2.48      |
|          | 水资源供给      | -8.29          | -8.50  | -6.85  | -0.21          | 1.65       | 1.44       |
| 调节服务     | 气体调节       | 64.87          | 68.33  | 56.40  | 3.46           | -11.93     | -8.47      |
|          | 气候调节       | 166.41         | 163.67 | 144.86 | -2.74          | -18.81     | -21.55     |
|          | 净化环境       | 50.27          | 61.29  | 43.89  | 11.02          | -17.39     | -6.38      |
|          | 水文调节       | 145.36         | 148.51 | 129.05 | 3.14           | -19.46     | -16.31     |
| 支持服务     | 土壤保持       | 71.51          | 80.71  | 62.25  | 9.19           | -18.46     | -9.27      |
|          | 维持养分循环     | 6.88           | 6.76   | 5.98   | -0.12          | -0.78      | -0.90      |
|          | 生物多样性      | 62.16          | 66.20  | 54.14  | 4.05           | -12.06     | -8.01      |
| 文化服务     | 美学景观       | 27.38          | 27.44  | 23.87  | 0.06           | -3.57      | -3.51      |
| 合计       |            | 626.59         | 656.53 | 548.35 | 29.95          | -108.18    | -78.23     |

由表6可知,气候调节和水文调节的生态系统服务功能价值均占据各时期总服务价值的20%以上。土壤保持、气体调节、净化环境和生物多样性等生态系统服务功能价值占各时期10%左右,以上6大生态系统服务功能价值总和占生态系统服务功能价值总和的89%左右。黔东南州生态环境整体状况较好,森林面积较大,森林覆盖率较高,生态系统的气候调节和水文调节功能较强,同时还具有较强的土壤保持、气体调节及净化环境功能,以及具有显著的生物多样性生态系统服务功能。因此,研究结果与黔东南州生态环境系统服务功能的特征相一致,说明研究方法较好,研究结果具有较高可信度。

2.2.4 黔东南州生态系统服务价值的时空分异 运用公式(5)对黔东南州各县(市)生态系统服务价值的相对变化率进行计算(表7)。相对变化率有如下几个特征<sup>[28]</sup>:(1)相对变化率的绝对值 $|R| \geq 1$ ,表明各县(市)生态系统服务价值的变化幅度要高于黔东南州。若 $R \geq 1$ ,则表明各县(市)与其生态系统服务价值变化趋势与方向是相反;而 $R \leq -1$ ,则其变化趋势与方向与黔东南州是一致的。(2)相对变化率的绝对值 $|R| < 1$ ,说明各县(市)生态系统服务价值的变化幅度要小于黔东南州。若 $-1 < R < 0$ ,表明各县(市)与其生态系统服务价值变化趋势与方向是相反的;而 $0 < R < 1$ ,则其变化趋势与方向与黔东南州是一致的。

表7 黔东南州生态系统服务价值的相对变化率

| 年份        | 相对变化率   |         |         |         |          |         |          |          |
|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
|           | 剑河县     | 岑巩县     | 从江县     | 丹寨县     | 黄平县      | 锦屏县     | 凯里市      | 雷山县      |
| 2005—2010 | 2.374 0 | 2.288 2 | 0.809 4 | 2.570 5 | 2.997 9  | 1.195 1 | 2.949 4  | -0.800 7 |
| 2005—2015 | 2.520 5 | 0.596 9 | 0.879 1 | 0.567 0 | -0.042 5 | 0.912 0 | -0.310 4 | 1.391 2  |
| 2010—2015 | 2.369 7 | 0.864 9 | 0.872 6 | 0.882 0 | 0.479 1  | 0.956 8 | 0.267 9  | 1.061 7  |

| 年份        | 相对变化率   |         |         |         |         |          |          |         |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|
|           | 黎平县     | 麻江县     | 三穗县     | 施秉县     | 台江县     | 天柱县      | 镇远县      | 榕江县     |
| 2005—2010 | 0.719 4 | 4.193 7 | 4.472 9 | 2.268 0 | 1.951 5 | -0.550 1 | -1.842 1 | 0.146 5 |
| 2005—2015 | 1.358 3 | 0.390 8 | 0.781 3 | 0.108 7 | 0.425 4 | 1.043 6  | 1.087 5  | 1.324 9 |
| 2010—2015 | 1.254 5 | 0.970 7 | 1.288 5 | 0.481 7 | 0.680 8 | 0.798 2  | 0.616 6  | 1.145 9 |

分析表明:(1)2005—2010年,剑河县、岑巩县、丹寨县、黄平县、锦屏县、凯里市、麻江县、三穗县、施秉县和台江县的相对变化率( $R$ ) $> 1$ ,其生态系统服务价值变化幅度要高于黔东南州,且与黔东南州变化趋势相反;镇远县 $R$ 值 $< -1$ ,其

生态系统服务价值变化幅度要高于黔东南州,且与黔东南州变化趋势一致。从江县、黎平县和榕江县 $R$ 值在 $0 \sim 1$ 之间,生态系统服务价值变化幅度要小于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价值变化趋势一致;雷山县与天柱县 $R$ 值在

-1~0之间,生态系统服务价值变化幅度要小于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价值变化趋势相反。(2)2010—2015年,剑河县、雷山县、黎平县、三穗县和榕江县的 $R$ 值 $>1$ ,其生态系统服务价值变化幅度高于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价值变化趋势与方向相反;岑巩县、从江县、丹寨县、黄平县、锦屏县、凯里市、麻江县、施秉县、台江县、天柱县和镇远县的 $R$ 值在 $0\sim 1$ 之间,其生态系统服务价值变化幅度低于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价值变化趋势与方向一致。相对2005—2010年,在2010—2015年,剑河县、从江县与三穗县的生态系统服务价值幅度、趋势与方向没有明显变化。雷山县生态系统服务价值变化幅度由低于黔东南州,演变为高于黔东南州。黎平县和榕江县生态系统服务价值变化幅度由低于黔东南州,演变为高于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价值变化趋势由一致演变为相反。岑巩县、丹寨县、黄平县、锦屏县、凯里市、麻江县、施秉县和台江县的生态系统服务价值变化幅度由高于黔东南州,演变为低于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价值变化趋势与方向由相反演变为一致。天柱县生态系统服务价值变化幅度低于黔东南州,与黔东南州生态系统服务价值变化趋势与方向由相反演变为一致。镇远县生态系统服务价值变化幅度高于黔东南州,且与黔东南州变化趋势一致,演变为生态系统服务价值变化幅度低于黔东南州。(3)2005—2015年,剑河县、雷山县、黎平县、天柱县、镇远县和榕江县的 $R$ 值 $>1$ ,其生态系统服务价值变化幅度高于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价值变化趋势与方向相反;岑巩县、从江县、丹寨县、锦屏县、麻江县、三穗县、施秉县和台江县的 $R$ 值在 $0\sim 1$ 之间,其生态系统服务价值变化幅度低于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价值变化趋势与方向一致;黄平县和凯里市的 $R$ 值在 $-1\sim 0$ 之间,生态系统服务价值的变化幅度低于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价值变化趋势与方向相反。

### 3 黔东南州生态系统服务价值演变

对表1、表5和表6分析可知,2005年,黔东南州灌木林地、有林地和草地面积,占国土面积36.63%、25.40%、12.61%,比例最大,其生态系统服务价值分别为265.79亿、277.95亿、30.48亿元/hm<sup>2</sup>,分别占总价值的42.42%、44.36%、4.86%。2005—2015年,灌木林地面积增加0.64%,其生态系统服务价值减少12.39%;有林地面积减少0.38%,其生态系统服务价值却减少13.28%;草地面积降低2.53%,其生态系统服务价值降低15.16%。结果表明,虽然有林地、灌木林地与草地的总面积增加或降低幅度非常低,但其生态系统服务价值却显著下降。同时,在2005年,以上3类土地利用类型所提供的调节服务中,气体调节占总价值10.35%、气候调节占总价值26.56%、净化环境占总价值8.02%、水文调节占总价值23.20%;支持服务中,土壤保持占总价值11.41%、维持养分循环占总价值1.10%、生物多样性9.92%。2005—2015年,各生态系统服务功能的生态系统服务价值均呈下降趋势,其中气候调节下降21.55%,水文调节下降16.31%,土壤保持下降9.27%,气体调节下降8.47%,土壤保持下降9.27%、维持养分循环下降0.90%、生物多样性下降8.01%。

在2005年,水田、旱地和水域等面积占黔东南州土地面积的13.71%、11.30%、0.089%,其生态系统服务价值比例分别为4.06%、3.45%、0.847%,表明水田和旱地面积较大,但其生态系统服务价值却较低,水域面积虽然较小,但其生态系统服务价值却较大。2005—2015年,水田和旱地的面积变化较小,分别降低1.04%、0.26%,但其生态系统服务价值降低幅度却较大,分别降低13.84%、13.19%;水域面积增加幅度高达70.81%,其生态系统服务价值增加48.59%。在2005年,水田和旱地的提供食物生产、原料生产等生态服务功能价值占总价值的3.34%、3.05%;水田与旱地大量消耗水资源,水域提供水资源给以上土地利用类型,造成其水资源供给功能价值为-8.29亿元,占总价值的-1.32%。结果表明,黔东南州的旱地与水田灌溉消耗了大量的水资源,从而出现生态系统服务价值为负值。2005—2015年,水田与旱地土地利用类型所提供的食物生产、原料生产等服务功能价值分别降低2.79%、2.48%。水资源供给功能增加1.44%,表明水域面积所有增加,增强了生态系统水资源供给服务能力。

2005年,建设用地与未利用地面积占总面积的0.265%,生态系统服务价值占总价值的0.005%,表明建设用地与未利用地提供的生态系统价值较低。2005—2015年,建设用地与未利用地面积增加108.68%,但其生态系统服务价值仅增加66.67%,其提供的美学景观功能服务价值降低3.51%,表明城市建设用地及裸地和荒地的增加,导致生态系统美学景观质量下降、美学景观功能变差。

### 4 结论

通过对黔东南州遥感影像解译获得土地利用数据,分析其土地利用类型的时空变化;计算得到黔东南州2005年、2010年和2015年生态系统服务价值,分析其不同土地利用类型与生态系统服务功能的生态系统服务价值时空演变。具体结论如下:(1)2005—2015年,黔东南州建设用地与未利用地,以及水域面积增加幅度较大,水田、有林地和草地面积减少较多。生态系统服务总价值呈负增长趋势。其中,2005—2010年,生态系统服务总价值增加4.78%;2010—2015年,降低16.48%。从2005—2015年,农田与旱地生产需水量较大,水域、林地等生态系统供给水资源量低于农田和旱地对水资源的需求量,水资源供给生态系统服务功能价值是负值。维持养分循环生态系统服务功能价值仅降低0.9%,其余生态系统服务功能价值均有较大幅度降低。其中,气候调节、水文调节和土壤保持的生态服务功能价值幅度变化最大,分别降低21.55%、16.31%、9.27%。粮食生产的生态系统服务功能价值降低,说明土地利用开发造成大量耕地面积流失,耕地质量下降。(2)2005—2015年,气候调节和水文调节的生态系统服务功能价值占据各时期20%以上;土壤保持、气体调节、净化环境和生物多样性等生态系统服务功能价值占各时期10%左右,以上6大生态系统服务功能价值占生态系统服务功能总价值约89%。结果与黔东南州生态环境整体状况较好,森林面积较大,具有较强气候调节和水文调节功能,较强土壤保持、气体调节及净化环境等功能特征相一致。剑河县、雷山县、黎平县、天柱县、镇远县和榕江县生态系统服务价值变化幅度高于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价

值变化趋势与方向相反;岑巩县、从江县、丹寨县、锦屏县、麻江县、三穗县、施秉县和台江县生态系统服务价值变化幅度低于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价值变化趋势与方向一致;黄平县和凯里市生态系统服务价值的变化幅度低于黔东南州,且与黔东南州生态系统服务价值变化趋势与方向是相反。(3)2005—2015年,有林地、灌木林地与草地面积变化率低,但其生态系统服务价值却显著下降,其提供生态系统调节服务中,气候调节和水文调节的生态系统服务价值最高;支持服务中,土壤保持和生物多样性的生态系统服务价值较高;各生态系统服务功能价值均呈下降趋势,其中气候调节下降、水文调节和土壤保持等生态系统服务功能下降幅度较大。水田和旱地的面积变化较小,但其生态系统服务价值降低幅度却较大;水域面积增加幅度较高,其生态系统服务价值呈增加趋势;水田与旱地土地利用类型所提供的食物生产、原料生产等服务功能的生态系统服务价值下降;水资源供给功能增加,增强了生态系统水资源供给服务能力。建设用地与未利用地面积幅度较大,但其生态系统服务价值增加较少,其美学景观功能服务价值降低,美学景观功能变差。

研究表明,2005—2015年,黔东南州生态系统服务价值与功能整体均呈下降趋势,表明土地利用变化对其生态系统结构与格式造成一定负面影响,生态系统整体效益与功能处于下降态势。因此,积极调整和改善土地利用类型结构,增加生态系统服务价值与功能,对脆弱生态环境区的生态建设与保护有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 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(6630): 253 - 260.
- [2] Daily G C, Söderqvist T, Ayiyar S, et al. The value of nature and the Nature of value [J]. *Science*, 2000, 289(5478): 395 - 396.
- [3] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估 [J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189 - 196.
- [4] 欧阳志云, 王如松. 生态系统服务功能、生态价值与可持续发展 [J]. *世界科技研究与发展*, 2000, 22(5): 45 - 50.
- [5] Sutton P C, Costanza R. Global estimates of market and non - market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation [J]. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 509 - 527.
- [6] Watson R T, Zakri A H. Ecosystems and human well - being: a framework for assessment [M]. Washington D C: Island Press, 2003.
- [7] Haines - Young R, Potschin M. Proposal for a common international classification of ecosystem goods and services (CICES) for integrated environmental and economic accounting [M]. Nottingham: European Environment Agency, 2010.
- [8] Verburg P H, Overmars K P. Combining top - down and bottom - up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna - CLUE model [J]. *Landscape Ecology*, 2009, 24(9): 1167 - 1181.
- [9] Tallis H T, Ricketts T, Guerry A, et al. InVEST 2. 2. 4 user's guide [M]. Palo Alto: the Natural Capital Project, Stanford University, 2013.
- [10] 陈妍, 乔飞, 江磊. 基于 InVEST 模型的土地利用格局变化对区域尺度生境质量的影响研究——以北京为例 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2016, 52(3): 553 - 562.
- [11] 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.
- [12] 刘永强, 廖柳文, 龙花楼, 等. 土地利用转型的生态系统服务价值效应分析——以湖南省为例 [J]. *地理研究*, 2015, 34(4): 691 - 700.
- [13] 李双成, 张才玉, 刘金龙, 等. 生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题 [J]. *地理研究*, 2013, 32(8): 1379 - 1390.
- [14] 戴尔阜, 王晓莉, 朱建佳, 等. 生态系统服务权衡: 方法、模型与研究框架 [J]. *地理研究*, 2016, 35(6): 1005 - 1016.
- [15] 傅伯杰, 于丹丹. 生态系统服务权衡与集成方法 [J]. *资源科学*, 2016, 38(1): 1 - 9.
- [16] 吴健生, 岳新欣, 秦维. 基于生态系统服务价值重构的生态安全格局构建——以重庆两江新区为例 [J]. *地理研究*, 2017, 36(3): 429 - 440.
- [17] Mooney H A, Duraiappah A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(Suppl 1): 3665 - 3672.
- [18] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 等. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响 [J]. *地理学报*, 2010, 65(6): 708 - 714.
- [19] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 等. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例 [J]. *生态学报*, 2013, 33(3): 726 - 736.
- [20] 刘海, 殷杰, 林苗, 等. 基于 GIS 的鄱阳湖流域生态系统服务价值结构变化研究 [J]. *生态学报*, 2017, 37(8): 2575 - 2587.
- [21] 熊善高, 万军, 龙花楼, 等. 重点生态功能区生态系统服务价值时空变化特征及启示——以湖北省宜昌市为例 [J]. *水土保持研究*, 2016, 23(1): 296 - 302.
- [22] 郭玲霞, 赵微, 王丽娜, 等. 基于土地整治模式的区域生态服务价值变化研究 [J]. *地域研究与开发*, 2012, 31(6): 145 - 150.
- [23] 张骞, 高明, 杨乐, 等. 1988—2013 年重庆市主城九区生态用地空间结构及其生态系统服务价值变化 [J]. *生态学报*, 2017, 37(2): 566 - 575.
- [24] 王航, 秦奋, 朱筠, 等. 土地利用及景观格局演变对生态系统服务价值的影响 [J]. *生态学报*, 2017, 37(4): 1286 - 1296.
- [25] Zhao L, Liu J P, Tian X Z. The temporal and spatial variation of the value of ecosystem services of the Naoli River Basin ecosystem during the last 60 years [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(10): 3169 - 3176.
- [26] 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, 30(8): 1243 - 1254.
- [27] Feng Y X, Luo G P, Lu L, et al. Effects of land use change on landscape pattern of the Manas River watershed in Xinjiang, China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 64(8): 2067 - 2077.
- [28] 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.