

---

# 基于生态绿当量模式的生态资产核算研究

## ——以抚仙湖流域为例\*<sup>1</sup>

杨艳林<sup>1,3</sup> 王金亮<sup>1,3</sup> 李石华<sup>2,3</sup> 杨超<sup>1,3</sup>

(1. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500;

2. 云南基础地理信息中心, 云南 昆明 650034;

3. 云南省高校资源与环境遥感重点实验室, 云南 昆明 650500)

**【摘要】**:生态资产是以货币的形式来度量生态系统为人类社会提供物资和生态服务的价值,核算一个区域的生态资产实际上就是评估一个区域的可持续发展能力。生态绿当量依据“服务功能相当、服务价值相当”的理论,以森林生态系统生态资产为参考标准,能简单、高效、可计量地核算出区域的生态资产价值。通过生态绿当量模式,核算了云南省抚仙湖流域1992—2014年间的生态资产价值。结果表明:①抚仙湖流域1992年、1996年、2001年、2006年、2010年、2014年生态资产价值分别为161.44亿元、162.02亿元、160.56亿元、160.49亿元、160.52亿元、160.45亿元,总体呈逐年下降趋势;②抚仙湖提供的生态价值占总资产价值的90%,湖泊在维持生态稳定方面起着非常重要的作用。

**【关键词】**:生态资产;生态资产核算;绿当量;抚仙湖流域

**【中图分类号】**:F062.2;X321 **【文献标志码】**:A **【文章编号】**:1005-8141(2017)05-0513-05

### 1 引言

生态资产是生态系统中生物资源的直接价值及其生态服务价值的总和<sup>[1]</sup>,是表征区域生态环境质量的重要指标。Perk等人指出,生态资产是自然资本中由生物提供的生态服务所形成的价值<sup>[2]</sup>。在人类社会发展的过程,实际上是对自然资源开发利用、生态系统逐步改造和生态环境不断演化的过程。在这个过程中,生态资产通过供给人类自然资源及各种生态系统服务实现其价值。

---

<sup>1</sup>收稿日期:2017-03-21;修订日期:2017-04-14

**基金项目**:国家自然科学基金项目(编号:41561048);云南省中青年学术带头人培养项目(编号:2008PY056);国家测绘地理信息局地理国情监测示范项目“抚仙湖流域生态环境动态监测”测国土函[2014]35号;云南省高校资源与环境遥感重点实验室项目。

**第一作者简介**:杨艳林(1993-),男,云南省宾川人,硕士研究生,主要从事资源环境信息系统。

**通讯作者简介**:王金亮(1963-),男,云南省武定人,博士,教授,博士生导师,主要从事资源环境遥感研究。

一般而言,生态资产价值随着社会经济发展和生态环境变化而变化。核算一个地区的生态资产就是评价一个地区的自然环境能够支撑人类经济社会可持续发展的能力<sup>[3]</sup>。在过去的20多年间,随着人类活动的影响,云南省玉溪市抚仙湖流域内农业、农村污染加重、土地持续退化、抚仙湖湖面浮游生物增加、局部水质降为Ⅱ类水质,流域内的生态系统结构与功能发生了巨大变化<sup>[4, 5]</sup>。如果我们想要清楚的理解和把握流域生态环境健康的状况,最有效的办法是具体评估该地区的生态资产价值<sup>[6]</sup>。

本文拟运用生态绿当量模式的研究方法核算云南省玉溪市抚仙湖流域1992年、1996年、2001年、2006年、2010年、2014年6个时间节点的生态资产价值,并以该地区研究计算得到的生态资产价值来表征流域内1992—2014年的生态环境状况。分析抚仙湖流域生态资产变化趋势及原因,寻找提高流域内生态系统服务能力的方法,充分发掘各类生态系统的服务潜力,以期为实现抚仙湖流域内人与自然和谐、可持续发展提供科学参考依据。

## 2 研究区概况

抚仙湖流域隶属于云南省玉溪市,位于滇中盆地中心,距离省会城市昆明市约60km,地理位置为东经102°39′—103°00′、北纬24°13′—24°46′,地处长江流域和珠江流域的分水岭地带,为珠江流域西江水系,流域位于滇中湖群五大湖泊(抚仙湖、星云湖、杞麓湖、阳宗海和滇池)的中心部位,流域内气候属亚热带季风气候。抚仙湖流域总面积为675.32km<sup>2</sup>,林业用地面积为178.10km<sup>2</sup>,占流域总面积的32.3%,森林覆盖率为27.1%(不含灌木林地),活立木蓄积量为36.69万m<sup>3</sup>,耕地面积170.85km<sup>2</sup>,草地面积81.49km<sup>2</sup>,湖面面积约为216.6km<sup>2</sup>,占总面积的32.2%<sup>[7]</sup>。抚仙湖北长约31.4km、东西宽11.8km,湖岸线长达100.8km,平均水深约95.2m,湖泊容水量达216.2亿m<sup>3</sup><sup>[8]</sup>,见图1。

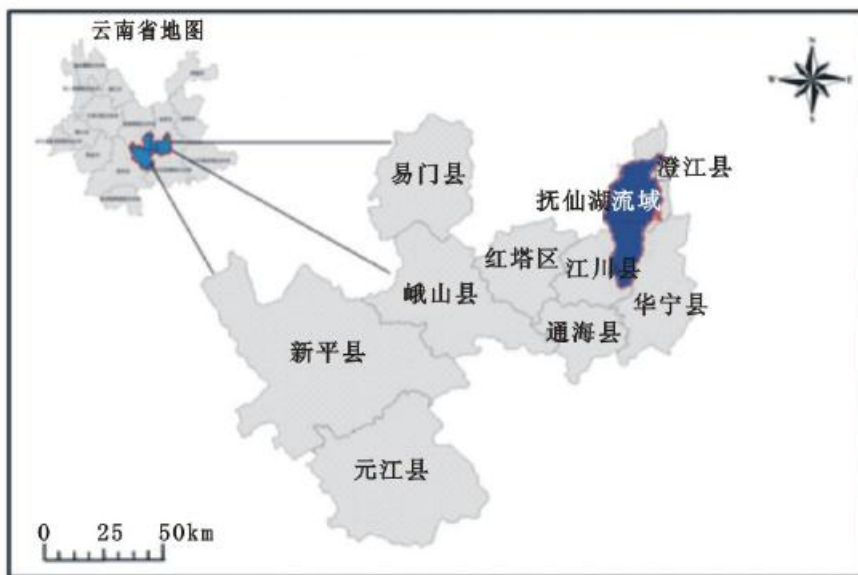


图1 研究区位置

抚仙湖是云南省高原湖泊中蓄水量最大的湖泊,是我国战略用水的储存地。抚仙湖对维持周边澄江县、华宁县、江川县及昆明等地区的生态环境有着非常重要的意义<sup>[9]</sup>。2003年,抚仙湖水质从Ⅰ类水质下降为Ⅱ类水质,蓝藻大面积爆发。2012年抚仙湖水位下降近2m,部分水域水质临近Ⅱ类水质<sup>[6]</sup>。抚仙湖流域自1992—2014年以来旅游业、农业和工业(磷矿业)快速发展,城镇建设用地逐年增长,加之抚仙湖流域内围湖造田现象频繁,湖泊面积正在逐年减少,人口数量快速上升,工业污染物排放量逐年增长,因此抚仙湖流域的自然环境遭到不同程度的破坏,环境承载压力不断上升<sup>[10]</sup>。

## 3 生态绿当量模式核算生态资产

### 3. 1 生态绿当量模式

绿当量概念最初出现在生态补偿能力研究中<sup>[11]</sup>，有狭义和广义之分，狭义的绿当量是某一生态系统补偿单位污染物所需要的绿量。广义的绿当量为最低满足全部绿地功能所需要的最大绿量<sup>[12]</sup>。随着人类社会的发展，森林生态系统不可避免地遭到人类的破坏。面对这种破坏，有学者提出利用其他类型的生态系统来补偿遭受破坏的森林生态系统。因此，为制定科学、可计量的补偿方案，需要对森林系统与其他生态系统的生态功能“当量”进行比较，从而提出生态绿当量概念。生态绿当量是草地、耕地、园地等生态系统的绿量相对于等量森林面积绿量的比率<sup>[13]</sup>。生态绿当量能度量不同生态系统的生态补偿能力，通过绿量来表征单位面积地不同生态系统的生态服务能力。草地、耕地、湖泊等生态系统和森林系统服务的功能基本相同，只是在生态服务能力大小上存在差异。邹志杨、黄天其<sup>[14]</sup>的研究表明，单位面积的森林、双季稻田、草地的生态绿当量分别为1、0.48、0.4。于谦龙认为<sup>[15]</sup>，耕地、草地、湖泊、林地等生态系统的生态资产价值相当于森林生态系统生态资产的一定比例，该比例可用绿当量来表示。

在生态资产核算中遇到难以直接计量的生态系统价值时，可采用服务功能相近的、有计量数据的另一项生态系统进行间接评估<sup>[3]</sup>，一般以森林生态系统为参考。绿当量模式主要根据“生态服务功能相当于其生态服务价值”的原理，以森林生态系统作为参考标准，间接地核算出其他类型生态系统的价值。在采用生态绿当量模式对生态资产进行核算时，首先需要评估出各类生态系统的绿当量，即评估出各生态系统的服务功能值。其次核算出研究区单位面积森林系统的生态资产价值做参考标准，通过参考标准与其他生态系统的绿当量和面积之积求出研究区的其他生态系统的生态资产，再对各生态系统求和即为研究区域生态资产的总价值。

### 3. 2 测算各生态系统的生态绿当量

指标选取及其量化:林地、草地、耕地、湖泊等生态系统生态服务功能的大小是不尽相同的。参考 Costanza<sup>[16]</sup>、谢高地<sup>[17]</sup>等学者对生态系统服务功能类型和能力地的研究，邀请了15位研究抚仙湖流域自然生态学方面的专家、学者对抚仙湖流域内各类生态系统的服务功能进行评价打分，得到流域内各生态系统的生态服务功能分值，见表1。

表 1 抚仙湖流域生态系统服务功能评价

功能	森林	耕地	草地	湖泊
吸收二氧化碳	9.0	3.5	4.7	2.7
制造氧气	9.0	3.6	4.5	1.5
吸尘滞尘	8.7	2.6	4.6	3.0
吸收有毒气体	8.2	3.3	3.7	4.0
气候缓和	8.0	3.0	3.8	8.5
防噪声	7.7	2.6	3.0	1.2
洪水防治	8.7	3.0	4.5	4.0
水源涵养	9.0	4.3	5.0	10
水质净化	7.8	4.0	5.1	7.5
防止土崩溃	8.2	4.1	6.0	4.0
防止土壤侵蚀	9.0	5.2	6.5	3.5
防止地面下沉	7.8	5.6	5.0	4.7
污染物净化	7.7	3.3	4.2	6.0
防止发生灾害	8.5	3.7	5.0	1.7
提供避难地	7.0	3.1	6.2	2.5
维持景观	8.0	4.5	6.5	8.5
提供休闲空间	7.8	3.3	6.8	8.0
保护生物多样性	8.7	3.1	5.2	7.5
防止有害生物	7.0	4.0	4.2	4.7
合计	156	69.8	94.5	93.5

注:评价分值以 10 为极大; 7 为较大; 5 为中; 1 为极小。

核算各生态系统的绿当量:绿当量为某类生态系统的生态服务价值量与森林生态系统的生态服务价值量之比<sup>[13]</sup>。生态服务价值分值的大小取决于各生态系统对区域生态服务贡献的大小, 分值越大其贡献的生态服务价值越大<sup>[18]</sup>。生态绿当量的计算公式为:

$$X_i = F_i / F_L \dots\dots\dots (1)$$

式中,  $X_i$  为第  $i$  类生态系统的生态绿当量;  $F_i$  为第  $i$  类生态系统的生态服务总分值;  $F_L$  为森林生态系统的生态服务总分值。

通过式(1)的计算, 得到抚仙湖流域的耕地、草地、湖泊生态系统的绿当量分别为 0. 45、0. 61、0. 60。草地、耕地生态系统中的植被有着物候方面的变化, 因此绿当量要乘一个相对于全年满种的生长期系数 0. 67<sup>[14]</sup>, 得到抚仙湖流域耕地、草地、湖泊的最终绿当量分别为 0. 30、0. 41、0. 60。

### 3. 3 抚仙湖流域生态资产核算

生态资产主要由自然资源价值、生态系统服务价值及生态经济产品价值三部分构成<sup>[3]</sup>。其中，自然资源价值和生态经济产品价值这两类生态资产价值已经纳入国民生产总值中，本文在核算抚仙湖流域的生态资产价值不再考虑自然资源价值和生态经济产品价值，将抚仙湖流域划分为森林、草地、耕地、湖泊4类生态系统，以森林生态系统的生态资产价值作为参考。根据生态绿当量的“当量”原理分别求出草地、耕地、湖泊的生态资产价值，4类生态系统的生态资产之和即为抚仙湖流域的生态资产价值。

抚仙湖流域森林生态资产核算:我国对森林生态系统的生态资产核算方面有比较深入的研究<sup>[19]</sup>，有着科学可靠的模式和方法来核算森林生态系统的生态资产。森林生态系统的生态资产主要体现在涵养水源类、维持生物多样性、净化空气类、保护土壤类及调节大气类的价值。参考前人的有关研究，本文对森林生态系统的生态资产计算方法<sup>[20-24]</sup>见表2。

表2 抚仙湖流域森林生态资产核算公式

生态资产类型	核算公式	说明与参数
涵养水源类	$V_{\text{涵水}} = P_{\text{降水}} \times S_{\text{林}} \times C_{\text{库}} \times 30\%$	$V_{\text{涵水}}$ 为森林涵养水量价值; $P_{\text{降水}}$ 为年降水量(900mm); $S_{\text{林}}$ 为森林面积; $C_{\text{库}}$ 为单位面积水库建设成本(5.714元)
维持生物多样性	$V_{\text{多样性}} = 41448 \times S_{\text{林}}$	$V_{\text{多样性}}$ 为生物多样性维持类生态资产; $S_{\text{林}}$ 为林地面积
净化空气类	$V_{\text{SO}_2} = Q_{\text{SO}_2} \times S_{\text{林}} \times C_{\text{SO}_2}$ $V_{\text{滞尘}} = Q_{\text{滞尘}} \times S_{\text{林}} \times C_{\text{滞尘}}$	$V_{\text{SO}_2}$ 、 $V_{\text{滞尘}}$ 为森林吸收SO <sub>2</sub> 和尘土的价值; $Q_{\text{SO}_2}$ 为森林对SO <sub>2</sub> 的吸收能力(88.65kg/hm <sup>2</sup> ·a); $S_{\text{林}}$ 为森林面积; $C_{\text{SO}_2}$ 为削减单位的工程费用(600元/t); $Q_{\text{滞尘}}$ 为林地滞尘能力(10.11t/hm <sup>2</sup> ·a); $C_{\text{滞尘}}$ 为削减粉尘成本(170元/t)
土壤保持类	$V_{\text{保土}} = A_{\text{流失}} \times \rho_{\text{土}} \times C_{\text{土}}$	$V_{\text{保土}}$ 为森林土壤保持类价值; $A_{\text{流失}}$ 为森林年保土量(66716.26t/a); $\rho_{\text{土}}$ 为土壤流失中的堆积系数(75%); $C_{\text{土}}$ 为清理淤积泥沙费用(40元/t)
调节大气类	$V_{\text{大气}} = 0.27 \times 1.63 \times C_{\text{林}} \times W_{\text{干}} + 1.2 \times C_{\text{氧}} \times W_{\text{干}}$ $W_{\text{干}} = V_{\text{蓄积量}} \times \rho_{\text{密度}}$	$W_{\text{大气调节}}$ 为森林大气调节类生态资产; $C_{\text{林}}$ 为中国造林成本(260.9元/m <sup>2</sup> ); $W_{\text{干}}$ 为森林干物质总重量; $V_{\text{蓄积量}}$ 为抚仙湖流域活立木总蓄积量(36.69万m <sup>3</sup> ); $\rho_{\text{密度}}$ 为林木干物质密度(0.45t/m <sup>3</sup> ); $C_{\text{氧}}$ 为工业制氧成本(400元/t)
森林生态资产	$V_{\text{总}} = V_{\text{涵水}} + V_{\text{多样性}} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{滞尘}} + V_{\text{保土}} + V_{\text{大气}}$	

草地、耕地生态系统的生态资产核算:草地、耕地、湖泊生态系统的生态服务功能具有与森林生态系统相同的服务功能。绿当量核算其他类型生态系统的生态资产的方法为单位面积森林的生态资产价值与某类生态系统的绿当量面积之和的乘积。生态资产价值计算公式为:

$$V_i = V_{\text{森林}} \times Q_{\text{绿当量}} \times S_i \dots\dots\dots (2)$$

式中， $V_i$ 表示*i*类生态系统的生态资产； $V_{\text{森林}}$ 表示森林系统单位面积( $\text{m}^3$ )的生态资产价值； $Q_{\text{绿当量}}$ 表示第*i*类生态系统地的绿当量； $S_i$ 表示第*i*类生态系统的面积。

抚仙湖湖泊生态资产核算:抚仙湖的生态资产价值分为直接价值和间接价值。抚仙湖涵养水源的效益可以直接测量，抚仙湖湖泊蓄水量为206.2亿 $\text{m}^3$ 。参照赵润计算程海涵养水源价值的方法<sup>[25]</sup>，求出抚仙湖涵养水源价值为2138.154亿元。抚仙湖的其他生态服务功能如维持大气稳定、提供生物多样性、水质净化等生态价值难以直接量化，一般采用生态绿当量模式间接核算。

抚仙湖流域生态资产总额:抚仙湖流域生态资产总额为森林、草地、耕地、湖泊四类生态系统服务价值的总和，计算公式为:

$$V_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n V_i \dots\dots\dots (3)$$

式中， $V_{\text{总}}$ 为抚仙湖流域生态资产总额， $n$ 等于4， $V_i$ 为各类生态系统服务价值。

## 4 结果与分析

### 4.1 流域1992—2014年生态资产

抚仙湖流域近20年来土地利用发生了巨大变化，土地覆盖/利用变化直接影响着区域的生态资产价值<sup>[26]</sup>。结合抚仙湖流域生态环境动态监测项目的成果，包括各生态类型的地表覆盖面积，再通过生态绿当量模式，本文核算了抚仙湖流域1992年、1996年、2001年、2006年、2014年的生态资产价值(表3)。

表3 1992—2014年抚仙湖流域生态资产(亿元)

生态系统	1992年	1996年	2001年	2006年	2010年	2014年
森林	11.77	11.53	11.56	11.54	11.44	11.46
草地	1.96	2.13	2.14	2.12	2.09	2.11
耕地	3.51	4.46	3.26	3.23	3.29	3.28
湖泊	144.20	143.90	143.60	143.60	143.70	143.60
合计	161.40	162.10	160.50	160.40	160.50	160.40

生态绿当量结合区域土地利用面积能快速核算区域生态资产价值，这些价值能真实客观反映出区域年度的生态资产现状和变化趋势。采用绿当量模式核算出抚仙湖流域生态资产平均值为160.88亿元，单位面积生态资产为2379.76万元/ $\text{km}^2$ ，高于刘阳学者研究的抚仙湖流域生态资产75.79亿元。抚仙湖流域的单位生态资产价值高于程海流域(1249.6万元/ $\text{km}^2$ )，主要原因是选择计算抚仙湖流域涵养水源类的方法不同。其他学者采用湖泊面积的尺度来衡量抚仙湖涵养水源类价值，本文把湖泊生态资产分为间接价值和直接价值，主要采用抚仙湖实际储水量216亿 $\text{m}^3$ 来计算其直接涵养水源的价值，用绿当量模式核算其间接价值，两者结合更加真实客观地反映出抚仙湖流域的生态价值。抚仙湖流域生态资产远高于云南省单位生态系统的服务价值<sup>[27]</sup>

(123.65 万元/km<sup>2</sup>)，高于新疆的生态资产(90.38 万元/km<sup>2</sup>)。湖泊的生态服务能力高于草地、耕地等生态系统，有湖泊生态系统的区域其生态资产明显高于其他地区，湖泊生态系统为流域提供了大量生态资产，说明湖泊在维持生态稳定、生态安全方面起的作用更大。

#### 4.2 生态资产构成比重分析

抚仙湖流域中湖泊的生态资产占整个流域总资产的 90%，森林生态资产占流域内生态资产的 7%。耕地生态资产占流域内总资产的 2%，草地生态资产占流域总资产的 1%(图 2)。

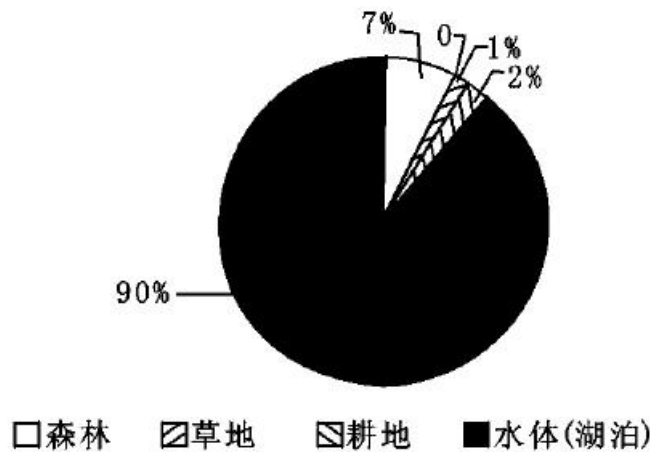


图 2 抚仙湖流域各系统生态资产比重

抚仙湖湖泊面积占流域总面积的 32.3%，生态资产占 90%，是流域内最大的生态系统，湖泊的生态服务功能占主导地位。抚仙湖流域内草地生态系统的生态资产最小，主要是因为流域内的地势平坦，农业发展迅速，大量草地被人为地改造成耕地，从而减少了草地生态资产。抚仙湖流域耕地生态系统的面积占 25%，但耕地生态资产价值仅占其总价值 2%，原因在于耕地的生态服务能力相对较低，仅为森林的 30%，耕地单位面积的生态资产为森林生态资产的 30%，因此出现森林、耕地生态系统面积相近，生态资产却相差较大的情况。抚仙湖流域的生态资产构成比重不均衡，湖泊生态资产的占比过大，一旦湖泊生态系统遭到破坏，流域内的其他生态系统没有能力维持其区域生态系统的稳定。

#### 4.3 生态资产变化趋势分析

1992—2014 年抚仙湖流域森林生态系统的生态资产逐年减少，减少量为 3100 万元；草地生态资产有所增加，增加量为 500 万元；耕地生态资产在 1992—1996 年有所增加，1996—2014 年减少。从整体来看，抚仙湖流域的湖泊生态资产基本保持稳定状态。1992—2014 年抚仙湖流域总生态资产价值发生了剧烈变化，变化状况见图 3。

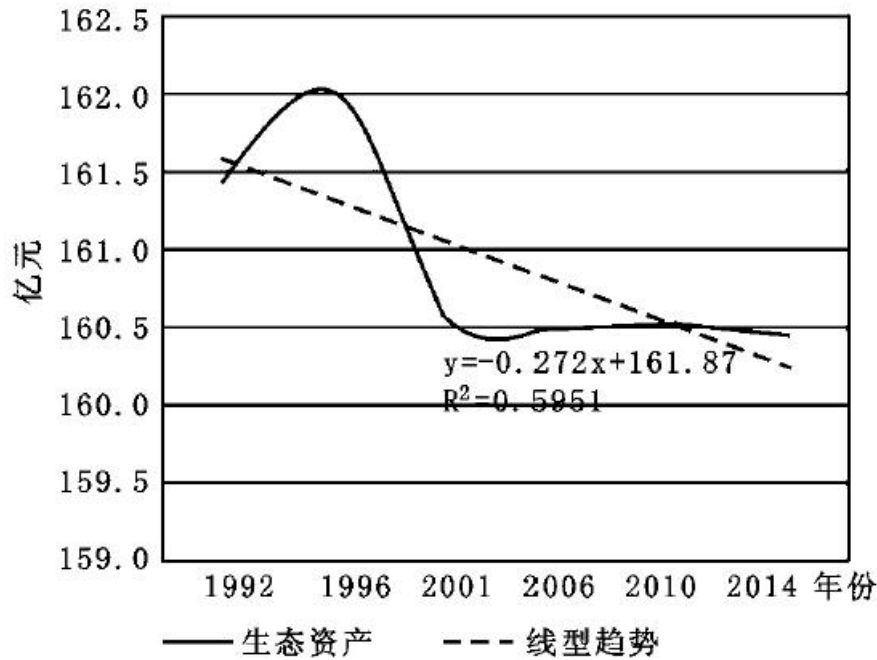


图3 1992—2010年抚仙湖流域生态资产变化状况

生态资产的大小取决于区域内生态系统的服务功能的能力。从整体来看，抚仙湖流域生态资产总体呈下降趋势。1992—1996年抚仙湖流域生态资产有所增加，主要是由于草地、耕地和湖泊生态系统的生态资产增加，1996年是抚仙湖流域生态环境状况最优的一年。抚仙湖流域生态资产1996—2001年呈现直线下降的趋势，1996年与2001年的生态资产相比减少了14993.05万元，缩减率为0.93%，主要是因为在在这个时间段内人类大量开发森林资源，森林面积减少，从而导致生态资产快速下降。随着联合国《千年生态系统评估》的影响，我国加大了对生态环境的保护，同时设立了抚仙湖保护管理局，制定了《云南省抚仙湖保护条例》，有效地保护了抚仙湖流域的自然生态环境，因此在2001—2014年期间抚仙湖流域生态资产未发生较大变化。

## 5 结论

生态绿当量模式是影子工程法的分支，在生态资产核算研究中遇到难以直接计量的某类生态系统环境价值时，可通过另一种计算方式相近的、能进行计量的生态系统进行间接评估。目前我国尚无统一的草地、耕地、湖泊等生态系统价值核算规范。由于流域内土地利用类型复杂多样，难以对草地、耕地、湖泊等生态系统进行科学的计量，对于这类生态系统采用生态绿当量模式核算其生态资产，能真实、可计量地反应其生态状况。采用生态绿当量模式核算流域的生态资产主要是根据“生态服务能力相当于其服务价值”的原理，以森林系统服务价值为基准，运用“当量”理论间接核算出其他生态类型的服务价值。生态绿当量模式核算的关键在于评估各类生态系统的绿当量和森林生态系统的生态资产价值。采用生态绿当量模式核算生态资产具有灵活、高效、可计量等优点，是区域生态资产核算的有效方法。

经过生态绿当量模式的核算，抚仙湖流域1992—2014年的生态资产呈现下降趋势，主要是因为流域内人口的持续增加、水资源消耗的增加，农业的大力发展、采矿业(磷矿)的大量开发等因素，给抚仙湖流域的生态系统带来了巨大的威胁。面对抚仙湖流域内的生态环境问题，有关部门要制定合理的法律法规来保护生态环境不受到破坏。我们认为，抚仙湖流域应当重点保护其湖泊的自然生态环境，严禁围湖造田，减少农业化肥、农药的使用量，消除对湖泊生态环境造成污染的工厂，重视湖泊生态安全，消除安全隐患，防范于未然。保护的核心在于湖泊，但不能忽略其他生态类型的保护。自然环境是由不同类型的生态系统构成的，某一类生态系统受到破坏都会影响到整体生态系统。科学规划流域内的土地利用，增加森林面积，优化耕地，使流域生态资产构成比重均衡化，这样才能提高生态系统的稳定性。

---

## 参考文献:

- [1] 高吉喜, 范小杉. 生态资产概念、特点与研究趋向 [J]. 环境科学研究, 2007, 20(5): 139—143.
- [2] Perk J, Chiesura A, Groot R. Towards a Conceptual Framework to Identify and Operationalize Critical Natural Capital [J]. Working Paper of CRIING-Projiect, 1998, 12(3): 4—14.
- [3] 高吉喜. 区域生态资产评估——理论、方法与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 3—56.
- [4] 杨超, 王金亮, 李石华, 等. 抚仙湖流域土地退化动态遥感监测研究 [J]. 遥感技术与应用, 2016, 31(2): 388—396.
- [5] 高伟, 陈岩, 徐敏, 等. 抚仙湖水质变化(1980—2011年)趋势与驱动力分析 [J]. 湖泊科学, 2013, 25(5): 635—642.
- [6] 贾军梅, 罗维, 杜婷婷, 等. 近十年太湖生态系统服务功能价值变化评估 [J]. 生态学报, 2015, 35(7): 2255—2264.
- [7] 玉溪市人民政府实施方案编制组. 抚仙湖生态环境保护试点实施方案 [R]. 玉溪: 玉溪市人民政府, 2011.
- [8] 杨娅楠, 王金亮, 陈光杰, 等. 抚仙湖流域土地利用格局与水质变化关系 [J]. 国土资源遥感, 2016, 28(1): 159—165.
- [9] 胡元林, 赵光州. 抚仙湖保护与湖区可持续发展 [J]. 经济问题探索, 2006, (9): 130—133.
- [10] 张秀敏, 戴丽, 王志芸, 等. 抚仙湖流域主要生态安全问题识别 [J]. 环境科学导刊, 2008, 27(1): 40—43.
- [11] 刘艳芳, 明东萍, 杨建宇. 基于生态绿当量的土地利用结构优化 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2002, 27(5): 493—498.
- [12] 倪琳, 周勇, 刘以, 等. 基于生态绿当量的土地利用结构优化研究——以湖北省潜江市为例 [J]. 资源与产业, 2008, 10(4): 50—53.
- [13] 赵丹, 李峰, 王如松. 基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例 [J]. 生态学报, 2011, 31(20): 6242—6250.
- [14] 邹振扬, 黄天其. 论城乡开发自然生态补偿的植被还原原理 [J]. 重庆环境科学, 1992, 14(1): 18—21.
- [15] 于谦龙. 基于绿当量的生态资产核算模式研究——以新疆为例 [J]. 统计与信息论坛, 2010, 25(2): 20—25.
- [16] Costanza R, d'Arge, de Groot R. et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital [J]. Nature, 1997, 38(7): 253—260.
- [17] 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.
- [18] 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.

[19] 候元兆. 中国森林资源核算研究 [M]. 北京:中国林业出版社, 1995 : 23—150.

[20] 王让会, 于谦龙, 张慧芝, 等. 森林生态系统生态资产核算的模式与方法 [J]. 生态环境, 2008, 17(5) : 1903—1907.

[21] 张颖. 中国森林生物多样性价值核算研究 [J]. 林业经济, 2001, (3) : 37—42.

[22] 陈兴茹. 辽宁省典型水库污染状况及非点源污染研究 [D]. 沈阳:沈阳农业大学硕士学位论文, 2010.

[23] 中国生物多样性国情研究报告编委会. 中国生物多样性国情研究报告 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 1997 : 45—123.

[24] 李静江, 刘治兰. 北京市森林资源核算及对国民经济账户的调整 [J]. 林业经济, 2001, (9) : 35—38.

[25] 赵润, 董云仙, 谭志卫. 程海流域生态系统服务功能价值评估 [J]. 环境科学导刊, 2014, 33(4) : 19—23.

[26] 刘阳, 吴刚, 高正文. 基于土地覆盖/利用模式的云南抚仙湖流域生态资产评估 [J]. 生态学报, 2007, 27(12) : 5282—5290.

[27] 杨咙霏. 云南省 Lucc 与土地生态系统服务价值变化态势分析 [Z]. 中国土地资源战略与区域协调发展研究, 2006 : 129—137.