安徽农业大学学报, 2015, 42(4): 613-620
Journal of Anhui Agricultural University
[DOI] 10.13610/j.cnki.1672-352x.20150626.005　网络出版时间：2015-6-26　9:08:08
[URL] http://www.cnki.net/kcms/detail/34.1162.S.20150626.0908.005.html

安徽省生态系统服务价值估算与时空分异

汪　瑞[1]，何如海[1*]，栾　倩[2]，汪　玮[1]
(1. 安徽农业大学经济管理学院，合肥 230036；2. 安徽省国土资源储备发展中心，合肥 230041)

摘　要：以土地利用变更调查数据和 2013 年我国各类土地生态系统单位生态服务价值为基础，估算 2005、2009 和 2013 年安徽全省及各地市生态系统服务价值，分析安徽省生态系统服务价值总量、构成与质量的时空分布。研究发现，2005、2009 和 2013 年安徽省生态系统服务价值分别为 3846.055、3788.165 和 3754.096 亿元。研究期间，各项生态服务功能价值、各类用地对区域内生态服务系统价值贡献大小的排序均未改变。湿地、水域、耕地和草地 4 类用地的减少，是区域生态系统服务价值下降主因。六安、安庆、宣城、黄山、滁州、合肥和池州 7 市生态系统的稳定，对于维系全省生态环境质量有举足轻重的作用。2013 年各地市生态系统服务质量呈现明显的地带性分布规律，自南向北逐渐递减。

关键词：安徽；土地利用/覆被变化；生态系统服务价值；生态系统服务质量
中图分类号：F301.24　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1672–352X (2015)04–0613–08

Spatiotemporal features of the ecosystem service values of Anhui Province

WANG Rui[1], HE Ruhai[1]，LUAN Qian[2], WANG Wei[1]
(1. School of Economy and Management, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;
2. Land Reserve and Development Center, Hefei 230041)

Abstract: According to the survey data on land use changes obtained from the Department of Land and Resources of Anhui Province and the national ecosystem service values of various types of land units in 2013, we estimated the ecosystem service values of Anhui in 2005, 2009, and 2013 and analyzed its structure and spatiotemporal features. We found that the ecosystem service values of Anhui in 2005, 2009, and 2013 were 384.6055, 378.8165, and 375.4096 billion yuan, respectively. During the study period, the rank of each ecosystem service function value and the rank of contribution of individual land use types to the regional ecosystem service values were not changed. The main reason for the decline of regional ecosystem service value was the reduction of wetland area, water area, cultivated land, and grassland. The ecosystem stability of Lu'an, Anqing, Xuancheng, Huangshan, Chuzhou, Hefei, and Chizhou has been playing a decisive role in maintaining the quality of ecological environment in Anhui province. The quality of regional ecological environment showed a zonal distribution pattern.

Key words: Anhui；LUCC；ecosystem service value；quality of ecosystem service

生态系统服务（ecosystem service value, ESV）是指自然生态系统及其物种所提供的能够满足和维持人类生活需要的条件和过程[1]。正因为不合理的人类活动会导致生态系统结构和功能的破坏，进而导致生态系统服务功能退化[2]，生态系统服务研究已成为当前国内[3-5]与国外[6-7]生态学研究的热点与前沿。土地利用作为人与自然交叉最为密切环节，其变化必然引起生态系统结构与功能的改变[8]，于是，土地利用/覆被变化（LUCC）对区域生态系统服务价值影响研究成为了生态服务研究的一项重要内容。通过估算与分析特定研究区域生态系统服务价值的时空演变，可以定量分析生态环境对土地利用的面积[9]与强度[10]变化、类型与结构改变[11]及利用方式转变[12]等的响应。安徽作为中国典型粮食大

收稿日期：2015-03-02
基金项目：国土资源部公益性行业科研专项（201111010），安徽省国土资源厅软科学项目（2012015）和农业部软科学基金项目（20140604）共同资助。
作者简介：汪　瑞，硕士研究生。E-mail：1229816892@qq.com
* **通信作者：**何如海，副研究员。E-mail：ruhaihe@ahau.edu.cn

省，近年来快速融入“长三角”、积极承接产业转移，社会经济发展迅速，资源环境所面临压力也与日俱增。针对该省有关 ESV 研究集中在局部地区，缺乏系统全面研究。估算安徽全省生态系统服务价值，分析其 ESV 总量、构成与质量及其时空分布情况，可以为安徽生态省建设、生态补偿机制构建、土地利用规划等提供科学参考。

1 研究区概况

安徽省地处长江、淮河中下游（东经 114°54′～119°37′、北纬 29°41′～34°38′），东接浙江、江苏，西邻河南、湖北，南通江西，北靠山东，南北 570 km，东西 450 km，土地总面积约 13.94×10^4 km^2。气候上属暖温带与亚热带过渡地区，年均日照时数 1800～2500 h，年均风速 1.3～3.3 m·s^{-1}，年平均气温 14～17℃，年均降水量 773～1670 mm，全年无霜期 200～250 d。研究区地跨淮河、长江、新安江三大流域，地貌主要分为平原、丘陵、低山和台地 4 大类，地势南高北低、西高东缓。土壤以水稻土、红壤、砂姜黑土、粗骨土和潮土为主，具有类型多样、适宜性广的特点。

2 研究方法

2.1 数据来源与预处理

土地利用数据来自安徽省国土资源厅 2005、2009 和 2013 年土地利用变更详查数据。其中，因区划调整造成地市间数据变化，已事先进行了重新归并。社会经济数据来自安徽省及其各市相关年份统计年鉴。

为满足安徽省土地生态系统服务价值估算需要，参照已有研究[13-16]，结合实际情况，将其土地划分成 8 种类型：林地、草地、园地、耕地、湿地、水域、荒漠和建设用地。其中，建设用地包括城镇村建设用地、独立工矿用地、交通运输用地和水工建设用地等，未被纳入本次估算范畴。

因 2009 年以前土地利用变更数据采用“过渡期分类”，与现行“国标分类”有所差异，故参照两类用地分类体系中各类用地内涵和《二调(农调)地类与过渡期土地分类之间的归并关系》，将 2 种分类体系下各类用地归并为 8 类（表 1）。其中，考虑到耕地生态系统的完整性，将田坎和农田水利（沟渠）与耕地统一纳入到耕地类中。

表 1 基于土地生态服务价值估算的安徽省地类归并

Table 1 Merging result of land use classification based on estimated ecosystem service values of Anhui province

归并类 Class-merging	Ⅰ林地 Forest land	Ⅱ草地 Grassland	Ⅲ园地 Garden plot	Ⅳ耕地 Cultivated land	Ⅴ湿地 Wetland	Ⅵ水域 Water area	Ⅶ荒漠 Wilderness
过渡期	13 林地	14 牧草地；311 荒草地；317 其他未利用地	12 园地	11 耕地；156 农田水利；157 田坎	313 沼泽地；323 苇地；324 滩涂	154 坑塘水面；155 养殖水面；321 河流水面；322 湖泊水面；271 水库水面	312 盐碱地；314 沙地；315 裸土地；316 裸岩石砾地
新 3 类	03 林地	04 草地	02 园地	01 耕地；117 沟渠；123 田坎	115 沿海滩涂；116 内陆滩涂；125 沼泽地	111 河流水面；112 湖泊水面；113 水库水面；114 坑塘水面	124 盐碱地；126 沙地；127 裸地

表 2 2013 年我国各类土地生态系统服务价值

Table 2 China's ecosystem service values of various land types in 2013 元·hm^{-2}

功能分类 Functional classification	森林 Forest	草地 Grassland	园地 Garden plot	耕地 Cultivated land	湿地 Wetland	水域 Wet area	荒漠 Wilderness
气体调节 Gas regulation	6654.17	1520.95	4087.56	950.60	3422.14	0.00	0.00
气候调节 Climate regulation	5133.21	1711.07	3422.14	1692.06	32510.35	874.55	0.00
水源涵养 Water conservation	6083.81	1520.95	3802.38	1140.71	29468.45	38746.25	57.04
土壤形成与保护 Soil forming and protection	7414.64	2490.56	4952.60	2775.74	3251.03	19.01	38.02
废物处理 Waste disposal	2490.56	2490.56	2490.56	3117.95	34563.63	34563.63	19.01
生物多样性保护 Biodiversity protection	6197.88	2072.30	4135.09	1349.84	4752.98	4733.96	646.40
食物生产 Food production	190.12	570.36	380.24	1901.19	570.36	190.12	19.01
原材料 Raw material	4943.09	95.06	2519.08	190.12	133.08	19.01	0.00
娱乐文化 Entertainment culture	2433.52	76.05	1254.79	19.01	10551.60	8251.16	19.01

表 3　各类用地面积、生态服务价值的数量与结构变化

Table 3　The changes of quantity and structure of each land type's area and ecological service values　　10^4 hm^2, ×10^8 元

年份 Year		林地 Forest land	草地 Grass land	园地 Gardern plot	耕地 Cultivated land	湿地 Wetland	水域 Water area	荒漠 Wilderness	建设 Construction	H	J	D
S	2005	359.95	23.06	34.21	652.92	18.57	131.50	11.84	169.21	1.438	0.692	0.308
		25.69%	1.65%	2.44%	46.60%	1.33%	9.38%	0.84%	12.08%			
	2009	378.08	8.08	35.62	636.22	13.03	128.11	4.47	197.79	1.392	0.669	0.331
		26.98%	0.58%	2.54%	45.40%	0.93%	9.14%	0.32%	14.11%			
	2013	376.11	7.58	35.27	633.92	12.44	126.48	4.37	205.23	1.391	0.669	0.331
		26.84%	0.54%	2.52%	45.23%	0.89%	9.03%	0.31%	14.64%			
ESV	2005	1495.265	28.932	92.511	857.761	221.344	1149.296	0.945	——	1.356	0.654	0.346
		38.88%	0.75%	2.41%	22.30%	5.76%	29.88%	0.02%	——			
	2009	1570.568	10.142	96.336	835.819	155.302	1119.642	0.357	——	1.300	0.625	0.375
		41.46%	0.27%	2.54%	22.06%	4.10%	29.56%	0.01%	——			
	2013	1562.392	9.513	95.395	832.792	148.290	1105.364	0.349	——	1.296	0.625	0.375
		41.62%	0.25%	2.54%	22.18%	3.95%	29.44%	0.01%	——			

表 4　安徽省 2005、2009 和 2013 年各地市土地生态系统服务价值

Table 4　Ecological service values of each city of Anhui in 2005, 2009 and 2013　　10^8 元, ×10^4 元·hm^{-2}

地区 Region	2005	2009	2013			
			ESV	I_{ESV}	H_{ESV}	Q_{ESV}
01 六安 Lu'an	579.76	543.45	540.25	3.327	1.272	III
02 安庆 Anqing	555.24	540.64	537.30	3.963	1.213	II
03 宣城 Xuancheng	408.47	411.84	409.72	3.639	0.960	III
04 黄山 Huagshang	358.03	364.27	363.22	3.916	0.625	I
05 滁州 Chuzhou	338.13	342.29	339.79	2.930	1.167	III
06 合肥 Hefei	317.46	312.06	308.91	3.319	1.029	III
07 池州 Chizhou	294.67	309.67	307.31	3.939	0.881	I
08 阜阳 Fuyang	172.05	161.15	159.89	2.038	1.122	IV
09 宿州 Suzhou	160.67	158.43	156.33	1.983	1.383	IV
10 芜湖 Wuhu	154.41	150.90	151.24	3.096	1.313	III
11 蚌埠 Bengbu	128.01	119.76	117.92	2.410	1.168	IV
12 亳州 Bozhou	122.02	113.02	112.02	1.642	0.810	IV
13 马鞍山 Maanshan	120.68	125.36	118.98	3.544	1.157	III
14 淮南 Huainan	57.51	61.08	57.98	2.893	1.146	III
15 淮北 Huaibei	41.57	38.91	38.35	1.838	1.016	IV
16 铜陵 Tongling	37.36	35.34	3 4.89	4.344	1.285	II
全省 Whole province	3846.05	3788.17	3754.10	3.138	1.296	III

2.2　生态服务价值评估

谢高地等人在 Costanza 提出的生态系统服务价值评价方法[17]基础上，研究提出了适合中国实际情况的 9 项生态系统服务功能和相应的修正算法[13]（公式 1 和公式 2）。本研究采用该方法，参照其当量因子表，依据国家相关部门公布的 2013 年我国平均粮食单产 5377 kg·hm^{-2} [18]及原粮市场平均价格 2.4936 元·kg^{-1}[19-21]，计算出 2013 年我国各类土地生态系统单位生态服务价值（表 2）,进而计算安徽省 2005、2009 和 2013 年各类土地生态系统服务价值。并引入敏感性指数（公式 3）来反映生态系统服务价值对生态价值系数的依赖程度[22-23]。

$$ESV = \sum S_i \times VC_i \tag{1}$$

$$ESV_f = \sum S_i \times VC_j \tag{2}$$

式中，ESV 表示生态系统服务价值（元），后文中生态系统服务价值以此代之；S_i 表示 i 类土地面积（hm^2）；VC_i 表示 i 类土地的生态系统服务价值系数

（元·hm^{-2}·年$^{-1}$）；ESV_f 表示生态系统单项服务功能价值（元），VC_j 表示 j 类单项生态服务功能的价值系数（元·hm^{-2}·年$^{-1}$）。

$$CS = \left| \frac{(ESV' - ESV)/ESV}{(VC' - VC)/VC} \right| \quad （3）$$

式中，CS 表示某类型土地生态系统敏感性指数，VC 和 VC'为调整前后的生态服务价值系数，ESV 和 ESV'分别为生态服务价值系数调整前后的总生态服务价值量。当 CS 大于 1 时，表明 ESV 对于 VC 富有弹性的，且 CS 值越大，说明 VC 准确性越重要。反之则缺乏弹性。

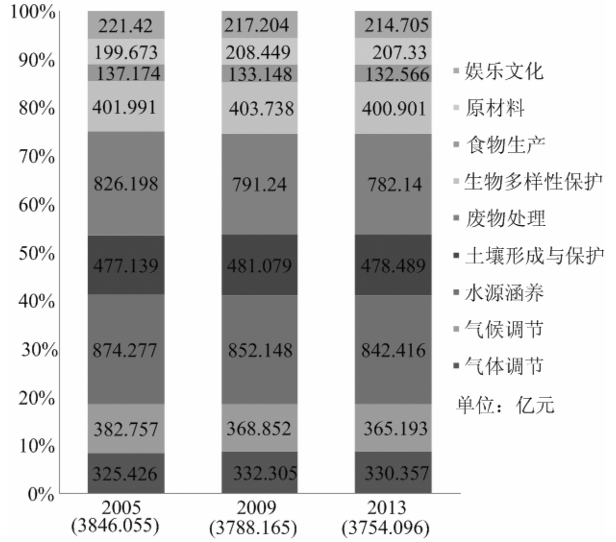

图 1 安徽省土地生态系统服务功能价值构成与变动

Figure 1 Components and changes of land ecosystem service function values of Anhui Province

2.3 土地利用空间结构信息熵及其改进

陈彦光等[24]将 Shannon 提出的信息熵公式引入到土地利用领域，提出土地利用空间结构信息熵（式 4），旨在反映区域土地利用的有序程度[24]。其计算方式如下：

$$H = -\sum \frac{S_i}{S} \ln \frac{S_i}{S} \quad （4）$$

其中，S 表示某一区域各类土地总面积；S_i（i=1,2,3…n）表示其中某一类用地面积；H 为土地空间结构信息熵，其值越大说明土地利用越无序，越小则说明土地利用越有序，结构性越强。此外，土地利用空间结构信息熵还引申出土地利用均衡度 J 和优势度 D 两个概念，来分别反映区域土地利用的均衡程度和集中程度[24]。其中，$J= H / \ln n$，其值越大，说明不同土地类型面积分布越均衡，反之相反；D=1–J，其值越大，说明区域土地利用集中在某些类型用地。

胡喜生应用土地生态系统服务功能价值指标来替代面积指标计算土地结构信息熵，提出土地生态系统服务功能空间结构信息熵（式 5），以补充土地利用空间结构信息熵的不足，解决面积指标对土地利用类型功能大小差异性的忽视[25]。

$$H_{ESV} = -\sum \frac{ESV_i}{ESV} \ln \frac{ESV_i}{ESV} \quad （5）$$

式中，ESV 表示某区域各类用地的土地生态服务总价值，ESV_i 表示该区域 i（i=1,2,3……n）类用地的土地生态服务价值，H_{ESV} 表示土地生态系统服务功能结构信息熵。那么，$J_{\mathrm{ESV}}= H_{\mathrm{ESV}} / H_{\mathrm{ESV\text{-}max}}$，可以表示区域土地生态服务功能价值均衡度；$D_{\mathrm{ESV}}= 1 – J_{\mathrm{ESV}}$，则表示区域土地生态服务功能价值的集中度。

研究采用土地利用结构信息熵 H 和土地生态系统服务功能空间结构信息熵 H_{ESV}，以及相应的均衡度和集中度指标，来探讨安徽省土地利用与土地生态服务价值在结构上、空间上的变化与关联。

3 结果与分析

3.1 ESV 时序变化分析

总体而言，安徽省在 2005 年、2009 年和 2013 年 ESV 分别为 3846.055 亿元、3788.165 亿元和 3754.096 亿元(图 1)。8 年来，ESV 净减 91.959 亿元，减幅达 2.34%，年均减少 11.495 亿元。其中，第一阶段，即前 4 年，减幅最大（1.51%），净减 57.890 亿元，约占总净减量的 62.95%，年均减少约合 14.473 亿元；第二阶段减幅稍小（0.90%），减速略缓，年均减少 8.517 亿元。

人均来看，以常住人口计，这 3 年安徽省人均 ESV 分别为 6284.40 元、6178.71 元和 6225.70 元。虽然人均生态福利经历了一个先减后增的过程，但第二阶段之所以增加主要由于大量农业人口外出务工与居住等原因造成；人均生态福利的增长并不能掩盖生态系统服务功能总价值降低的事实。这也说明，在所研究的这 8 年中，人口数量变化不太可能是安徽省 ESV 总量减少的原因。

从生态系统单项服务价值来看，如图 1 所示，在所研究的 3 年中，各项生态服务功能价值大小排序均未变化。以 2013 年计，价值大小排序及占比分别为：水源涵养 22.44%，废物处理 20.83%，土壤形成与保护 12.75%，生物多样性与保护 10.68%，气候调节 9.73%，气体调节 8.80%，娱乐文化 5.72%，原材料 5.52%和食物生产 3.53%。从 2005~2013 年各项功能的变化情况来看，可以简单分为净增加和净减少 2 类。首先，净增加的有原材料（3.84%）、气体调节（1.51%）、土壤形成与保护（0.28%），且

均表现为第一阶段减少，第二阶段增加。其二，价值量净减少的单项功能有废物处理（－5.33%）、气候调节（－4.59%）、水源涵养（－3.64%）、食物生产（－3.35%）、娱乐文化（－3.03%）和生物多样性与保护（－0.27%）。其中，生物多样性与保护功能价值在第一阶段增加（0.44%），而在第二阶段减少（－0.70%）；其他 5 项功能价值在两个阶段均呈现减少态势，且减少幅度在第二阶段明显放缓。

3.2　土地利用变化对生态系统服务价值变动影响

3.2.1　土地利用/覆被变化分析　由表 3 可知，3 年中，安徽省各类用地面积均有所改变，但结构基本维持稳定。耕地、林地、建设用地、水域的规模一直分列前 4，占各类用地总和之比稳定在 90%以上。土地利用空间结构信息熵（H）和均衡度（J）一直在减少，说明土地利用日臻有序的同时，各类用地面积分布均衡程度却在降低；集中度（D）增加，区域土地利用集中在耕地、林地和建设用地中。

首先，建设用地、林地、园地整体上都在增加。建设用地增长明显，在各类用地中净增量和增幅均最大，36×10^4 hm^2 的净增量相当于园地的总规模，增幅达到了 20%以上，但在第二阶段增速明显放缓。林地的增量仅次于建设用地，为 16.16×10^4 hm^2；这主要可归功于退耕还林等人工造林工程和一些森林保育措施的开展。其次，其他 5 类用地规模均在减少，耕地、草地、荒漠分列前 3，湿地、水域紧随其后。耕地减少量最大，在两个阶段方分别减少了 16.7×10^4 和 2.3×10^4 hm^2，总的减少幅度为 2.90%。一方面城镇村与交通建设、工矿开发等占用了大量耕地资源；另一方面，耕地保护制度约束和规划管控成效显现，尤其是“增减挂钩”和土地整理的全面开展，耕地资源在后期减少大幅放缓。草地减幅最大，为 67%，15.48×10^4 hm^2 的净减也仅次于耕地，但在第二阶段减速放缓明显。荒漠减幅仅次于草地，为 63.09%，其大幅减少说明随着区域社会经济的发展，土地资源日趋紧张，一些难以利用的未利用地也相继得到开发利用。湿地的减幅也较大，为 33.01%。湿地作为一种重要的生态资源，在研究区内分布本就极少，在第一阶段减幅几近三成，所幸在第二阶段大幅放缓、规模趋于稳定，可见湿地生态系统的骤减态势在第二阶段得以有效遏止，近年来受到了较好保护。水域净减少量达 5×10^4 hm^2，减幅为 3.8%，后期减幅和减速均放缓。

3.2.2　生态系统服务价值响应分析　由表 3 可知，研究期内，各类型用地对区域内生态服务系统价值的贡献率各有不同，但是贡献大小排序均一致，从大到小排序分别是：林地>水域>耕地>湿地>园地>草地>荒漠。安徽省各类土地生态系统服务价值均有所改变，但总体结构比较稳定。土地生态系统服务空间结构信息熵（H）和均衡度（J）一直在减少，说明人类介入与改造土地生态系统的方式日臻有序，但也导致了生态系统服务价值在各类土地生态系统中分布均衡程度的降低；集中度（D）增加，区域土地生态系统服务价值集中在森林、水域和农田生态系统中，三者贡献率之和超过了 90%。

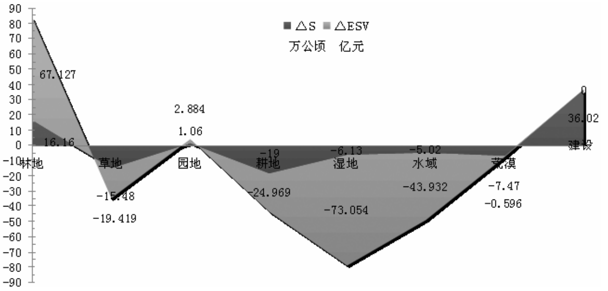

图 2　2005-2013 年各类用地面积与生态服务价值变化比较

Figure 2　Comparison of the variation of each land type's area and ecological service value from 2005 to 2013

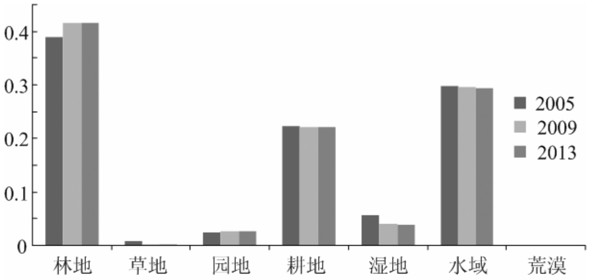

图 3　敏感性分析

Figure 3　Sensibility analysis

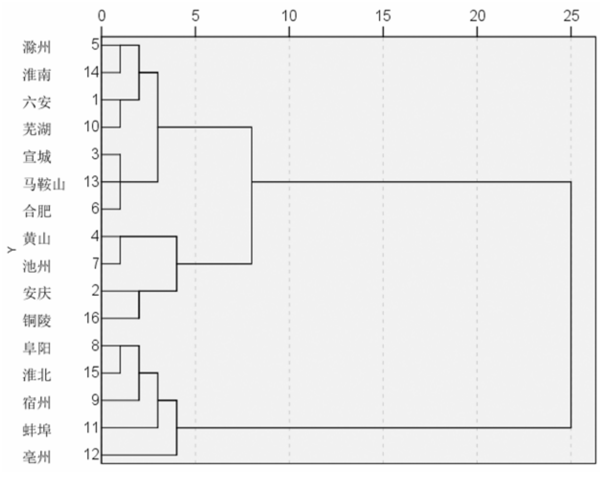

图 4　A_{ESV} 和 H_{ESV} 的系统聚类分析

Figure 4　Hierarchical cluster analysis of A_{ESV} and H_{ESV}

随着各类用地面积的变化，其对应的生态服务价值随之改变(图 1)。区域内 8 年间生态系统服务价

值下降主要的原因是湿地、水域、耕地和草地 4 类用地面积的减少，尤以湿地、水域和耕地为甚。以湿地为例，比较不同土地生态系统面积与生态服务价值变化，湿地系统在研究区内各类土地生态系统中面积占比仅在 1%上下，但其 6.3×10^4 hm^2 的减少量，给生态系统带来的损失，是新增 16.16×10^4 hm^2 林地都无法弥补的。可见，湿地系统的保护对于研究区生态环境具有极大意义；如继续减少，很可能会产生突变效应，导致区域生态环境质量与功能的直转急下。可见，安徽要建设生态省，就要在继续造林保林、切实落实最严格耕地保护制度的同时，格外注意保护湿地、水域和草地等生态系统。

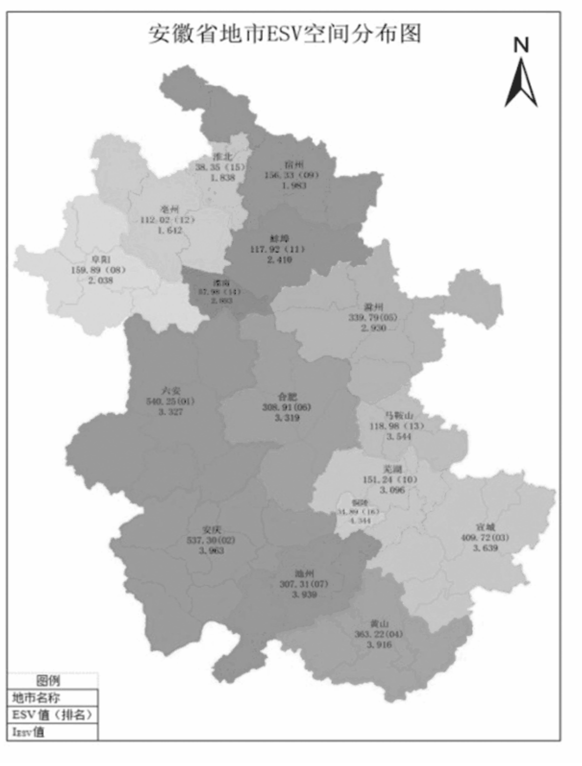

图 5　2013 年安徽省 ESV 的空间分布

Figure 5　Spatial distribution of ESV of Anhui in 2013

3.2.3　敏感性分析　将各类土地生态价值系数分别增减 50%，求算研究期内安徽省各类土地生态系统的敏感性指数如图 3。各类用地价值系数的敏感性指数大小排序为：林地>水域>耕地>湿地>园地>草地>荒漠；且均小于 1，不同年份之间有所差异，但差异不大。林地、水域、耕地的敏感性指数分别为 0.39~0.42、0.29~0.30、0.22~0.23，林地、水域敏感性指数相对较高的主因是其价值系数较高，耕地敏感性指数较高则主要受其规模优势影响，其他类型土地生态系统敏感性指数均小于 0.1。总之，安徽省生态系统服务价值整体上缺乏弹性，生态服务总价值受到生态服务价值系数赋值大小的影响不大；同时也说明，本次研究所计算并采用的价值系数比较合理，研究结果可信度高。

3.3　地域分异特征

从表 4 可以看出，各地市三期的 ESV 有所变化，但它们在全省排序均未变动。ESV 大于 290 亿元的为六安、安庆、宣城、黄山、滁州、合肥和池州 7 市，三年中其 ESV 之和占全省比重均大于 74%，且比重一直在增大。其中，六安市林地和水域的 ESV 之和占其总值之比超七成；安庆市林地和水域的 ESV 之和占总值之比超八成；黄山市林地对其 ESV 贡献度超八成；合肥市耕地与水域的 ESV 在全市占比超八成，尤其是巢湖的贡献度很大；池州市林地 ESV 占比超七成；这都与各地用地类型高度符合。这些地市生态系统的稳定对于维系全省生态环境质量有着举足轻重的作用。

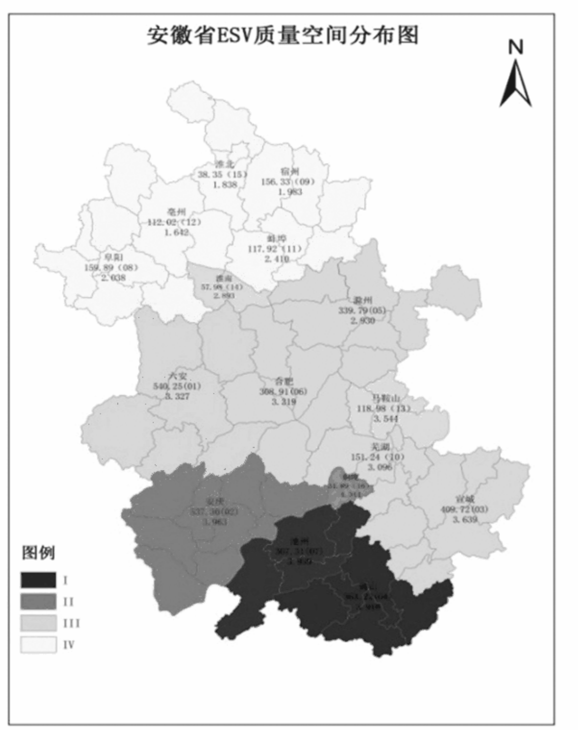

图 6　2013 年安徽省 Q_{ESV} 的空间分布

Figure 6　Spatial distribution of Q_{ESV} of Anhui in 2013

各市 8 年间 ESV 总增加量为 21.21 亿元，总减少量为 113.16 亿元。根据各地三年度 ESV 变化情况，可以分为 2 类。第一类是宣城、黄山、滁州、池州和淮南，其 ESV 均为先增后减、8 年来 ESV 总体有所增加。这其中前 4 者均为前述 ESV 值较大地市。ESV 增量最大的前三地市是池州（12.64 亿元）、黄山（5.19 亿元）和滁州（1.66 亿元）。池州是我国首个生态经济示范区、《中国 21 世纪议程》

试点地之一及生态安徽建设试点市[26]，其 ESV 大量增加说明示范区建设成效显著。黄山市 ESV 增长主要归功于其林地的增长，8 年来，其林地净增量高达 1.7×10^4 hm^2，在全省同期林地净增量中占比超 10%。第二类是其他 11 市，其中马鞍山、芜湖的 ESV 分别为先增后减和先减后增，8 年来 ESV 总体都略有减少；其他 9 市两阶段 ESV 均在减少，但减速均在第二阶段放缓。其中，8 年来 ESV 净减少量最大的前三地市依次是六安（39.51 亿元）、安庆（17.94 亿元）和阜阳（12.16 亿元），三地 ESV 减少量占同类地市 ESV 减少总量之比超 6 成。减幅最大的前 5 个地市是亳州（8.20%）、蚌埠（7.88%）、淮北（7.75%）、阜阳（7.07%）和六安（6.82%）。需要指出的是，减幅最大的前 4 个地市均为皖北城市。以人均 GDP 为参照，皖北城市中除淮南、淮北以外，其余 4 市人均 GDP 均低于全省平均水平，社会经济实力较差，而其 ESV 总量本身较低，在研究期内 ESV 下降幅度也较大。从减少量来看，蚌埠的湿地 ESV 净减少量达 18.24 亿元，这相当于全省近 8 年湿地 ESV 净减少量的四分之一；而阜阳市林地 ESV 净减少量达 11.68 亿元；宿州市耕地 ESV 净减 7.75 亿元。可见这些城市社会经济发展对于自然资源消耗、生态环境破坏的依赖程度较大。

历年 ESV 时空数据可反映研究期内安徽省各地 ESV 的时空分布情况，体现各地对于全省 ESV 变动的贡献程度等；但各地 ESV 总量与各用地规模呈现显著的正向关系，难以准确区分各地生态环境的具体质量情况。为此，以 2013 年为例，进一步计算出各地市生态服务价值信息熵 H_{ESV} 和地均生态服务价值 I_{ESV}（表 4），其中建设用地面积不计入土地总面积；运用 SPSS 20.0 软件，对 2013 年 I_{ESV} 和 H_{ESV} 2 个变量进行个案系统聚类分析，根据聚类结果（图 4），划分得到 16 地市的生态系统服务功能质量类别 Q_{ESV}（见表 4）。由图 6 可知，安徽省各地市生态系统服务价值质量呈现出明显的地带性分布规律，由皖南山区向皖西山区、沿江平原、江淮丘陵、淮北平原，自南向北逐渐递减；这与五大自然区的土地利用与覆被情况比较吻合。有必要指出，Q_{ESV} 为 IV 类的均为皖北城市，说明皖北地区生态系统服务质量令人堪忧。可见，Q_{ESV} 从 ESV 分布的强度和有序性方面，对各地生态系统服务功能质量进行了有效衡量。

4　结论

通过对安徽全省及各地市生态系统服务价值的估算与分析，得到的主要结论如下：（1）2005、2009 和 2013 年安徽省生态系统服务价值分别为 3846.055、3788.165 和 3754.096 亿元。研究期内，各项生态服务功能价值排序均未变化：水源涵养>废物处理>土壤形成与保护>生物多样性与保护>气候调节>气体调节>娱乐文化>原材料>食物生产。各类用地对区域内生态服务系统价值贡献大小排序未发生改变，分别是：林地>水域>耕地>湿地>园地>草地>荒漠。区域内 8 年间生态系统服务价值下降主要原因是湿地、水域、耕地和草地五类用地面积的减少，尤以湿地为甚。（2）各地市 ESV 变化方面，六安等 7 市生态系统的稳定对于维系全省生态环境质量有着举足轻重的作用。宣城等 5 市的 ESV 先增后减、ESV 总体在增加。其他 11 市 ESV 基本都在减少，但后期减速放缓。（3）对 2013 年各地生态服务价值信息熵和地均生态服务价值进行系统聚类分析，得到各地生态系统服务功能质量等级图，发现各地市生态系统服务价值质量呈现明显的地带性分布规律，自南向北逐渐递减。

参考文献：

[1] Dally G C. Nature’s Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington DC, USA: Island Press, 1997: 3-6.

[2] 杨兆平, 高吉喜, 沈渭寿, 等. 基于文献分析的中国生态服务研究[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(6): 1-7.

[3] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报，1999, 19(5): 607-613.

[4] 孙刚, 盛连喜, 冯江. 生态系统服务的功能分类与价值分类[J]. 环境科学动态, 2000(1): 19-22.

[5] Yang G M, Li W H, Min Q W. Review of foreign opinions on evaluation of ecosystem services [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(1): 205-212.

[6] Kreuter U P, Harris H G, Mafloek M D, et a1. Change in ecosystem service in the San Antonio area, Texas[J]. Ecological Economies, 2001, 39: 333-346.

[7] Sawut M, Eziz M, Tiyip T. The effects of land-use change on ecosystem service value of desert oasis: a case study in Ugan-Kuqa River Delta Oasis, China[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2013, 93(1): 99-108.

[8] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land cover change, Implementation strategy (LUCC): Implementation strategy[R]. IGBP Report.48, IHPD Report.10. Stockholm: IGBP, 1999.

[9] 吴大千, 刘建, 贺同利. 基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析[J]. 农业工程学报，2009, 25(8): 256-261.

[10] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴. 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.

[11] 张建. 安徽东部地区土地利用变化的生态环境效应评价[J]. 安徽农业大学学报, 2008, 35(3): 352-358.

[12] 郑江坤, 余新晓, 夏兵. 潮白河流域林地转化及森林生态服务价值动态分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊): 308-314.

[13] 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.

[14] 冉圣宏, 吕昌河, 贾克敬, 等. 基于生态服务价值的全国土地利用变化环境影响评价[J]. 环境科学, 2006, 27(10): 2139-2144.

[15] 陶星名, 田光明, 王宇峰, 等. 杭州市生态系统服务价值分析[J]. 经济地理, 2006, 26(4): 665-668.

[16] 孙贤斌, 黄润. 基于GIS的安徽省会经济圈区域生态补偿优先等级研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 152-156.

[17] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 386: 253-260.

[18] 2013 年全国粮食总产量 60193.5 万吨增长 2.1%[N/OL]. http://finance.people.com.cn/n/2013/1129/c1004-23698705. html, 2013-11-29.

[19] 中国国家发展和改革委员会. 7 月国内市场粮食价格基本稳定，国际市场小麦、玉米价格快速大幅上升[EB/OL]. http: //www.ndrc.gov.cn/ jjxsfx/t20120827_501579.html, 2013-03-26.

[20] 刘正敏. 中国粮油市场 2012 年 7 月份分析报告[J]. 粮食与油脂, 2012, 25(9): 36-42.

[21] 刘正敏. 中国粮油市场 2013 年 7 月份分析报告[J]. 粮食与油脂, 2013, 26(9): 31-38.

[22] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in Ecosystem Service Values in the San Antonio Area, Texas[J]. Ecological Economics, 2001, 3: 333-346.

[23] 吴后建, 王学雷, 宁龙梅, 等. 土地利用变化对生态系统服务价值的影响: 以武汉市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 186-189.

[24] 陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述:从信息熵到分数维[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 146-152.

[25] 胡喜生. 福州土地生态系统服务价值空间异质性及其与城市化耦合的关系[D]. 福州: 福建农林大学, 2012: 28-30.

[26] 张乐勤, 方宇媛, 许杨, 等. 池州森林生态系统服务价值评估与分析[J]. 广西植物, 2011, 31(4): 463-468.