

## 长江流域抑螺防病林生态服务功能评估

马莉<sup>1</sup>, 杨筱<sup>1</sup>, 张仪<sup>2</sup>, 贾霁群<sup>3</sup>, 孙启祥<sup>4</sup>, 张倩<sup>4</sup>, 周金星<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2. 中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所, 上海 200025; 3. 国家林业和草原局世界银行贷款项目管理中心(速丰办), 北京 100714; 4. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

**摘要:** 为定量评估长江流域抑螺防病林生态系统的服务功能价值, 科学评价林业血防工程生态效益, 依据林业行业技术规程 LY/T 1721-2008《森林生态系统服务功能评估规范》, 选取涵养水源、保持土壤、固碳、释氧、生物多样性保护、抑螺防病 6 项功能对长江流域抑螺防病林的生态服务功能进行评估。结果显示: 2006-2013 年长江流域抑螺防病林生态系统服务功能生态效益显著, 涵养水源  $16.16 \times 10^8$  t, 保持土壤  $1.46 \times 10^8$  t, 固碳  $0.10 \times 10^8$  t, 释氧  $0.29 \times 10^8$  t, 钉螺 *Oncomelania hupensis* 面积减少  $24.35 \times 10^7$  m<sup>2</sup>, 血吸虫病患者减少  $61.31 \times 10^4$  人, 总价值  $967.20 \times 10^8$  元。其中抑螺防病功能价值最大, 占全部生态系统服务功能价值的 35.87%, 是非抑螺防病林不具备的功能, 其次释氧价值占 33.06%, 固碳价值占 13.02%, 涵养水源价值占 9.17%, 保持土壤价值占 7.31%, 生物多样性保护所占比例最少, 仅有 1.57%。抑螺防病林生态服务功能价值大小为湖南>湖北>江西>安徽>江苏>四川>云南, 其中抑螺防病功能价值最大的为安徽省, 达 7 省抑螺防病功能总价值的 18.17%, 但其余 5 项服务价值最大的为湖南省。研究发现, 在抑螺防病林的全方位生态系统服务功能中, 抑螺防病功能、释氧、固碳、涵养水源、保持土壤等 5 项生态服务功能价值共占生态系统服务功能价值量的 98.43%, 是生态服务功能的主体, 各种服务功能价值量大小排序为抑螺防病功能价值>释氧功能价值>固碳功能价值>涵养水源功能价值>保持土壤功能价值>生物多样性保护功能价值。其中, 湖南省对血吸虫病防治工作的高度重视使抑螺效果发挥作用最大; 云南省山丘区, 钉螺适生环境多样, 而且其生命力强, 繁殖快, 血吸虫病的预防和控制难度相对较大, 抑螺效益不显著。图 1 表 5 参 29

**关键词:** 森林生态学; 长江流域; 抑螺防病林; 生态服务; 评估

**中图分类号:** S718.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2019)01-0130-08

## Ecosystem services of forests for snail control and schistosomiasis prevention in the Yangtze River Basin

MA Li<sup>1</sup>, YANG Xiao<sup>1</sup>, ZHANG Yi<sup>2</sup>, JIA Jiqun<sup>3</sup>, SUN Qixiang<sup>4</sup>, ZHANG Qian<sup>4</sup>, ZHOU Jinxing<sup>1</sup>

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. National Institute of Parasitic Disease, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 20025, China; 3. World Bank Loan Project Management Center, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100714, China; 4. Institute of Forestry Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** To assess the ecosystem services value of forests for snail control and schistosomiasis prevention in the Yangtze River Basin, The Benefit Of Forestry Schistosomiasis Prevention Ecological Project, referenced as *Specifications for Assessment of Forest Ecosystem Services in China* (LY/T 1721-2008), was evaluated scientifically by market value method and shadow engineering method selecting water conservation, soil conservation, carbon sequestration, oxygen released, biodiversity conservation, snail control and schistosomiasis prevention to

收稿日期: 2018-01-19; 修回日期: 2018-06-08

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划项目(2015BAD07B07); 国家自然科学基金资助项目(41071334)

作者简介: 马莉, 博士研究生, 从事生态服务功能评估研究。E-mail: mmyy6363@163.com。通信作者: 周金星, 教授, 博士生导师, 从事水土保持与荒漠化防治、石漠化治理与生态修复研究。E-mail: zjx001@bjfu.edu.cn

value ecosystem services. Results showed that ecosystem service ecological benefit of forests for snail control and schistosomiasis prevention in the Yangtze River Basin was great from 2006–2013 with water conservation totaling  $16.16 \times 10^8$  tons, soil conservation  $1.46 \times 10^8$  tons, carbon sequestration  $0.10 \times 10^8$  tons, oxygen released  $0.29 \times 10^8$  tons, snail area decreasing  $24.35 \times 10^7$  square meters, and the number of schistosomiasis patients decreasing by 613.1 thousand. This was a saving of about  $967.20 \times 10^8$  Yuan in all. Snail control and schistosomiasis prevention had the greatest value accounting for 35.87%, oxygen release accounted for 33.06%, carbon sequestration accounted for 13.02%, water conservation accounted for 9.17%, soil conservation accounted for 7.31%, and biodiversity conservation had the least value, accounting for 1.57%. The ecosystem services value for different provinces was Hunan > Hubei > Jiangxi > Anhui > Jiangsu > Sichuan > Yunnan. Of the seven provinces, snail control and schistosomiasis prevention of Anhui Province was greatest accounting for 18.17%. The other five function values were largest in Hunan Province. The study found that the comprehensive ecosystem service of snail prevention and control, oxygen release, carbon sequestration, water conservation, and soil conservation accounted for 98.43% of the ecosystem service value. The government of Hunan Province attached great importance to the prevention and treatment of schistosomiasis and undertook suppressing snail work the most. In hilly regions of Yunnan Province, *Oncomelania* Snail has a variety of environment, and its vitality is strong and its reproduction is fast, the difficulty of the prevention and control of schistosomiasis is relatively large, and the benefit of the snail suppression is not significant. This study provided a scientific basis for understanding the ecological role of snail prevention and control. [Ch, 1 fig. 5 tab. 29 ref.]

**Key words:** forest ecology; Yangtze River Basin; forests for snail control and schistosomiasis prevention; ecological services; value assessment

血吸虫病是一种人兽共患寄生虫病, 在中国主要流行于长江流域的江苏、安徽、江西、湖北、湖南、四川等省, 是严重危害人体健康的一种重大传染病, 被中国政府列为重点防治的三大传染病之一<sup>[1-3]</sup>。由于钉螺 *Oncomelania hupensis* 是血吸虫病的唯一寄主, 防螺、控螺、灭螺是控制血吸虫病的主要手段。为降低钉螺密度和孳生面积, 有效防控血吸虫病的流行与传播, 彭镇华等<sup>[4]</sup>和江泽慧<sup>[5]</sup>提出以改变钉螺孳生环境、抑制钉螺生长发育、阻止血吸虫病流行为目的, 在钉螺孳生和潜在分布区建立抑螺防病林。自 2006 年国家林业局将抑螺防病林建设作为重大工程并在长江流域进行推广应用以来, 至今已经营建了大面积的抑螺防病林, 整个工程产生的生态系统服务功能效益目前没有准确的评估。生态系统服务功能是生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用<sup>[6]</sup>。当今社会、经济高速发展, 生态环境影响着人类的生存和发展, 包括防护林在内的生态系统服务功能评估是当前生态研究的热点, 并被相关领域广泛采用。国内外学者针对不同的评估区域, 对不同尺度生态系统服务评估框架与方法进行研究, 文献<sup>[7]</sup>对区域生态系统服务功能进行研究, CONSTANZA 等<sup>[8]</sup>在 *Nature* 发表《全球生态系统服务和自然资本的价值》, 对全球生态系统服务价值进行评价, 整个生物圈每年产生的价值平均最少为 33 万亿美元。21 世纪千年生态系统评估 (millennium ecosystem assessment, MA)<sup>[9]</sup>在全球范围内首次联合对生态系统及其服务功能与人类福祉间的相互联系进行研究。2011 年, UKNEA (UK national ecosystem assessment)<sup>[10]</sup>项目中英国组织 500 多位科学家进行了全国性自然环境科学研究。2008 年王兵等<sup>[11]</sup>制定了 LY/T 1721–2008《森林生态系统服务功能评估规范》, 之后不同学者根据各自选取的指标用不同方法对不同区域和不同自然地理区域的生态系统服务功能进行评估<sup>[12-21]</sup>。目前国内外对抑螺防病林生态服务功能的研究较少, 没有明确的评估指标和方法计算抑螺防病林的生态服务功能, 中国学者对抑螺防病林主要集中于抑螺机理、营造技术等方面的研究<sup>[22-24]</sup>, 对抑螺防病林的综合效益的研究较少, 还没有相应的评估指标体系与方法<sup>[25]</sup>。在已有生态系统服务功能价值研究的基础上, 本研究选取涵养水源、保持土壤、固碳、释氧、生物多样性保护、抑螺防病等 6 项功能对血吸虫病疫区江苏、安徽、湖北、湖南、江西以及四川、云南抑螺防病林的生态服务功能价值进行定量评估, 试图揭示长江流域抑螺防病林生态系统在维持生态稳定, 促进社会经济可持续发展的重大作用, 为长江流域抑螺防病林的保护与经营提供理论依据, 对科学评价林业血防工程生态效益, 有针对性地研究抑螺防病林的经营机制和补

偿机制有现实意义,对“十三五”林业生态工程中抑螺防病林的营建规划起指导和完善作用。

## 1 研究区概况

长江是中国第一大河,干流全长 6 397 km,位于 24°30'~35°45'N, 99°30'~122°25'E,流域总面积逾 180 万 km<sup>2</sup>,平均入海水量为 9 600 余亿 m<sup>3</sup>·a<sup>-1</sup>。长江中下游沿江约有 6.0 × 10<sup>5</sup> hm<sup>2</sup> 滩地,一般海拔为 5~100 m,多在海拔 50 m 以下,年平均气温为 14.0~18.0 °C,年降水量为 1 000.0~1 500.0 mm,属亚热带气候带,是中国经济比较发达的地区<sup>[26-27]</sup>。但长期以来,该地区为血吸虫病流行的重疫区,人畜感染率高,占全国血吸虫流行病区的 90%以上<sup>[5]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

参考《生态文明制度构建中的中国森林资源核算研究》中关于水源涵养、土壤保持、固碳、释氧价值量计算的相关数据,结合抑螺防病林自身特点,对抑螺防病林价值估算使用表 1 所示的社会公共数据。

表 1 社会公共数据

Table 1 Social public data

名称	含量或价格	数据来源及说明
水资源市场交易价格/(元·t <sup>-1</sup> )	4.48	发改委、财政部和水利部共同发布《关于水资源费征收标准有关问题的通知》
污水处理成本/(元·t <sup>-1</sup> )	1.00	采用 2013 年城市供水工业用水征收的污水处理全国平均费用
挖取单位面积土方费用/(元·m <sup>-3</sup> )	63.00	根据《中华人民共和国水利部水利建筑工程预算定额》(上册)中人工挖土方 100 m <sup>3</sup> 需 42 个工时,按 2013 年人工费用为 15000 元·工 <sup>-1</sup> 计算,挖取单位面积土方费用为 6300 元·m <sup>-3</sup>
固碳价格/(元·t <sup>-1</sup> )	48.18	根据 <i>A Report by Forest Trends' Ecosystem Market</i> (GOLDSTEIN, et al, 2013) 中全球主要碳交易市场碳汇价格 7.80 美元·t <sup>-1</sup> ,折合人民币即 48.18 元·t <sup>-1</sup>
制造氧气价格/(元·t <sup>-1</sup> )	1 108.00	采用中华人民共和国卫生部网站 ( <a href="http://www.nhfpc.gov.cn">http://www.nhfpc.gov.cn</a> ) 春季氧气平均价格
单位面积药工费/(元·m <sup>-2</sup> )	129.11	《兴林灭螺论文集》 <sup>[5]</sup> ,并根据存贷款均衡利率获得 2013 年的费用
人均年治疗费用/(元·a <sup>-1</sup> )	3 208.20	采用《中国卫生统计年鉴》数据
误工费/(元·人 <sup>-1</sup> )	2 106.80	引自国家统计局网站: <a href="http://www.stats.gov.cn">www.stats.gov.cn</a> ,农村居民家庭平均每人农业纯收入
造林面积		国家林业局 2006-2013 年各省抑螺防病林营建面积统计数据
钉螺面积、血吸虫病人数		国家统计局 2005 年和 2013 年全国血吸虫病年报汇总数据

### 2.2 评估方法

本研究依据由国家林业局 2008 年发布并实施的 LY/T 1721-2008《森林生态系统服务功能评估规范》,结合抑螺防病林的实际情况,选取涵养水源、保持土壤、固碳、释氧、生物多样性保护、抑螺防病等 6 项功能对江苏省、安徽省、湖北省、湖南省、江西省、四川省、云南省抑螺防病林生态服务功能价值进行评估。由于受生长环境的限制,林业血防工程的抑螺防病林 90%以上林种为杨树 *Populus* 林,因此本研究中的抑螺防病林以杨树林为研究对象。森林生态服务功能物质量评估指标与方法见表 2,价值量结合表 1 的社会公共数据,采用市场价值法、影子工程法<sup>[16]</sup>等计算得出。其中,抑螺防病功能价值量的计算方法为  $U_{\text{抑螺防病}} = P_{\text{钉螺}} G_{\text{钉螺}} + (P_{\text{患}} + P_{\text{工}}) G_{\text{患}}$ ,  $U_{\text{抑螺防病}}$  为抑螺防病功能价值量,元;  $P_{\text{钉螺}}$  为单位面积省工省药费,元·m<sup>-2</sup>;  $G_{\text{钉螺}}$  为钉螺面积减少量,10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>;  $P_{\text{患}}$  为血吸虫病患者人均年治疗费用,元·人<sup>-1</sup>;  $P_{\text{工}}$  为误工费及照顾人员费用,元·人<sup>-1</sup>;  $G_{\text{患}}$  为血吸虫病人数量减少量,人。

## 3 结果与分析

### 3.1 抑螺防病林生态服务功能物质量

本研究依据林业行业技术规程<sup>[8]</sup>,采用国家林业局和卫生部门公布的数据,计算从 2006 年营建抑螺防病林起,至 2013 年江苏省、安徽省、江西省、湖北省、湖南省、四川省、云南省等 7 省的抑螺防病林生态系统服务物质量,选择涵养水源、保持土壤、固碳、释氧、生物多样性保护、抑螺防病等 6 项功能进行评估。物质量如表 3 所示。2006-2013 年,湖南省、湖北省、江西省、江苏省、安徽省、四川

表 2 森林生态服务功能物质质量评估指标与方法

Table 2 Evaluation indicator formula for assessing forest ecosystem services

功能	指标	计算公式	参数说明
涵养水源	调节水量	$G_{调}=10A(P-E-C)$	$G_{调}$ 为实测林分调节水量, $m^3 \cdot a^{-1}$ ; $P$ 为实测林分林外降水量, $mm \cdot a^{-1}$ ; $E$ 为实测林分蒸散量, $mm \cdot a^{-1}$ ; $C$ 为实测林分地表快速径流量, $mm \cdot a^{-1}$ ; $A$ 为林分面积, $hm^2$
	净化水质	$G_{净化}=10A(P-E-C)$	$G_{净化}$ 为实测林分调节水量, $m^3 \cdot a^{-1}$ ; $P$ 为实测林分林外降水量, $mm \cdot a^{-1}$ ; $E$ 为实测林分蒸散量, $mm \cdot a^{-1}$ ; $C$ 为实测林分地表快速径流量, $mm \cdot a^{-1}$ ; $A$ 为林分面积, $hm^2$
保育土壤	固土	$G_{固}=A(X_2-X_1)$	$G_{固}$ 为实测林分固土量, $t \cdot a^{-1}$ ; $X_1$ 为有林地土壤侵蚀模数, $t \cdot hm^{-2}$ ; $X_2$ 为无林地土壤侵蚀模数, $t \cdot hm^{-2}$ ; $A$ 为林分面积, $hm^2$
固碳	固碳	$G_{碳}=A(1.63R_{碳}B_{年}+F_{土壤碳})$	$G_{碳}$ 为实测固碳量 $t \cdot a^{-1}$ ; $B_{年}$ 为实测林分净生产力 $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ ; $F_{土壤碳}$ 为单位面积林分土壤固碳量 $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ ; $R_{碳}$ 为二氧化碳中碳的质量分数, 27.27%; $A$ 为林分面积 $hm^2$
释氧	释氧	$G_{氧气}=1.19AB_{年}$	$G_{氧气}$ 为实测林分释氧量 $t \cdot a^{-1}$ ; $B_{年}$ 为实测林分净生产力 $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ ; $A$ 为林分面积 $hm^2$
抑螺防病	减少钉螺面积	$G_{钉螺}=G_1-G_2$	$G_{钉螺}$ 为钉螺面积减少量, $10^4 m^2$ ; $G_1$ 为 2005 年实有钉螺面积, $10^4 m^2$ ; $G_2$ 为 2013 年实有钉螺面积, $10^4 m^2$
	血吸虫病人数量减少	$G_{患}=G_{11}-G_{21}$	$G_{患}$ 为血吸虫病患者人数减少量, 人; $G_{11}$ 为 2005 年血吸虫病人数量, 人; $G_{21}$ 为 2013 年血吸虫病人数量, 人

省、云南省等 7 省共营建抑螺防病林 45.84 万  $hm^2$ , 生态效益显著。共涵养水源  $16.16 \times 10^8 t$ , 保持土壤  $1.46 \times 10^8 t$ , 固碳  $0.10 \times 10^8 t$ , 释氧  $0.29 \times 10^8 t$ 。其中, 湖南省涵养水源、保持土壤、固碳、释氧功能物质质量最大, 湖北省次之, 云南省 4 项生态系统服务功能物质质量最小。

表 3 抑螺防病林生态服务功能物质质量

Table 3 Material quantity of snails control and schistosomiasis prevention forest ecosystem function

省份	抑螺防病林面积/( $\times 10^8 m^2$ )	涵养水源/( $\times 10^4 t$ )	保持土壤/( $\times 10^4 t$ )	固碳/( $\times 10^4 t$ )	释氧/( $\times 10^4 t$ )
江苏省	1.24	4 381.87	395.76	28.93	79.57
安徽省	7.23	25 483.04	2 301.56	168.26	462.75
江西省	9.71	34 238.86	3 092.37	226.07	621.75
湖北省	10.21	36 005.95	3 251.97	237.74	653.84
湖南省	14.09	49 688.75	4 487.76	309.99	852.57
四川省	2.25	7 931.41	716.345	52.37	144.03
云南省	1.11	3 911.59	353.28	25.83	71.03
总计	45.84	161 641.45	14 599.05	1 049.18	2 885.55

依据国家统计局和卫生部公布的关于 2005 和 2013 年钉螺面积和血吸虫病疫情数据, 由表 4 得出: 各省血吸虫病情得到改善, 血吸虫病人数量大幅度减少。因气候等因素差异, 不同省份钉螺面积有不同程度的上下波动, 但总体呈下降趋势。7 省抑螺防病林营建县(市)钉螺面积共减少  $24 345.50 \times 10^4 m^2$ , 血吸虫病患者减少  $61.31 \times 10^4$  人。其中, 安徽省实有钉螺面积减少量最大, 江西省实有钉螺面积减少量最小; 湖北省血吸虫病人数量减少量最大, 江苏省血吸虫病人数量减少量最小。与 2005 年相比, 云南省实有钉螺面积减少率最大, 为 69.91%, 湖南省实有钉螺面积减少率最小, 仅为 2.12%; 云南省血吸虫病人数量减少率最大, 达 98.41%, 江西省血吸虫病人数量减少率最小, 为 54.02%。

### 3.2 抑螺防病林生态服务功能价值量

3.2.1 抑螺防病林生态服务功能价值量 从 2006 年开始, 国家大力实施林业血防工程, 在长江流域血吸虫病流行区营建抑螺防病林, 在生态系统服务功能和抑螺防病效益方面创造了巨大的经济价值。依据表 1 的市场经济价值和抑螺防病林的监测数据, 本研究计算出江苏省、安徽省、江西省、湖北省、湖南省、四川省、云南省 7 个省的抑螺防病林生态服务价值, 结果见表 5。结果显示: 2006–2013 年抑螺防病林生态系统服务功能价值为  $967.20 \times 10^8$  元。其中涵养水源价值量为  $88.73 \times 10^8$  元, 保持土壤  $70.75 \times 10^8$  元。

表4 抑螺防病林抑螺防病功能物质质量

Table 4 Material quantity of snails control and schistosomiasis prevention forest

省份	2005年钉螺面积/( $\times 10^4$ m <sup>2</sup> )	2013年钉螺面积/( $\times 10^4$ m <sup>2</sup> )	钉螺面积减少量/( $\times 10^4$ m <sup>2</sup> )	2005年血吸虫病人数/人	2013年血吸虫病人数/人	血吸虫病人数量减少/人
江苏省	7 248.84	2 784.46	4 464.38	3 434.00	595.00	2 839.00
安徽省	26 530.63	21 784.61	4 746.02	50 056.00	17 264.00	32 792.00
江西省	80 943.96	78 793.32	2 150.64	138 808.00	63 818.00	74 990.00
湖北省	78 770.50	75 805.52	2 964.98	288 024.29	51 848.00	236 176.29
湖南省	177 106.77	173 358.20	3 748.57	211 751.00	41 290.00	170 461.00
四川省	4 408.46	1 549.65	2 858.81	46 431.00	1 573.00	44 858.00
云南省	4 880.73	1 468.64	3 412.10	51 761.00	824.00	50 937.00
总计	364 250.23	355 544.39	24 345.50	790 265.29	177 212.00	613 053.29

10<sup>8</sup>元, 固碳 125.9 $\times 10^8$ 元, 释氧 319.72 $\times 10^8$ 元, 生物多样性保护价值 15.19 $\times 10^8$ 元, 抑螺防病价值量 346.91 $\times 10^8$ 元。

表5 2013年抑螺防病林生态服务功能价值量

Table 5 Value of snails control and schistosomiasis prevention forest ecosystem function

省份	涵养水源价值量/( $\times 10^8$ 元)	土壤保持价值量/( $\times 10^8$ 元)	固碳价值量/( $\times 10^8$ 元)	释氧价值量/( $\times 10^8$ 元)	生物多样性保护价值量/( $\times 10^8$ 元)	抑螺防病价值量/( $\times 10^8$ 元)	合计/( $\times 10^8$ 元)	比例/%
江苏省	2.55	1.92	3.47	8.82	0.41	57.79	74.96	7.75
安徽省	13.96	11.15	20.19	51.27	2.39	63.02	161.98	16.75
江西省	18.76	14.99	27.13	68.89	3.22	31.75	164.74	17.03
湖北省	19.73	15.76	28.53	72.45	3.38	50.83	190.68	19.72
湖南省	27.23	21.75	37.20	94.46	4.67	57.46	242.77	25.10
四川省	4.35	3.47	6.28	15.96	0.75	39.29	70.10	7.25
云南省	2.14	1.71	3.10	7.87	0.37	46.76	61.95	6.41
合计	88.73	70.75	125.90	319.72	15.19	346.91	967.20	
比例/%	9.17	7.31	13.02	33.06	1.57	35.87		

由于各省营建面积及当地病情的差异, 不同生态服务功能的价值不同。由表5可知: 在生态效益价值量中, 抑螺防病功能的价值量最大, 生物多样性保护价值量最小。江苏省抑螺防病林不同生态服务功能价值量大小为  $U_{\text{抑螺防病}} > U_{\text{释氧}} > U_{\text{固碳}} > U_{\text{水}} > U_{\text{土}} > U_{\text{生物多样性}}$ ; 安徽省  $U_{\text{抑螺防病}} > U_{\text{释氧}} > U_{\text{固碳}} > U_{\text{水}} > U_{\text{土}} > U_{\text{生物多样性}}$ ; 江西省  $U_{\text{释氧}} > U_{\text{抑螺防病}} > U_{\text{固碳}} > U_{\text{水}} > U_{\text{土}} > U_{\text{生物多样性}}$ ; 湖北省  $U_{\text{释氧}} > U_{\text{抑螺防病}} > U_{\text{固碳}} > U_{\text{水}} > U_{\text{土}} > U_{\text{生物多样性}}$ ; 湖南省  $U_{\text{释氧}} > U_{\text{抑螺防病}} > U_{\text{固碳}} > U_{\text{水}} > U_{\text{土}} > U_{\text{生物多样性}}$ ; 四川省  $U_{\text{抑螺防病}} > U_{\text{释氧}} > U_{\text{固碳}} > U_{\text{水}} > U_{\text{土}} > U_{\text{生物多样性}}$ ; 云南省  $U_{\text{抑螺防病}} > U_{\text{释氧}} > U_{\text{固碳}} > U_{\text{水}} > U_{\text{土}} > U_{\text{生物多样性}}$ 。涵养水源、保持土壤、固碳、释氧、生物多样性保护5项生态服务功能价值最大的为湖南省, 其次为湖北省、江西省、安徽省、四川省、江苏省、云南省, 抑螺防病功能价值大小为安徽省>江苏省>湖南省>湖北省>云南省>四川省>江西省。

3.2.2 抑螺防病林不同生态服务功能价值分析 通过对研究区抑螺防病林不同生态服务功能价值分析可以看出: 抑螺防病林生态服务功能价值中抑螺防病功能价值最大, 占全部生态效益价值的35.87%, 生物多样性保护所占比例最少, 仅有1.57%。释氧价值占33.06%, 固碳价值占13.02%, 水源涵养价值占9.17%, 土壤保持价值占7.31%(表5, 图1)。总体而言, 抑螺防病林的生态服务功能价值量显著, 应加强林业血防工程建设。

3.2.3 不同省份抑螺防病林生态服务功能价值量比较 由表5可知: 各省抑螺防病林生态服务价值从大到小依次为湖南(242.77 $\times 10^8$ 元), 湖北(190.68 $\times 10^8$ 元), 江西(164.74 $\times 10^8$ 元),

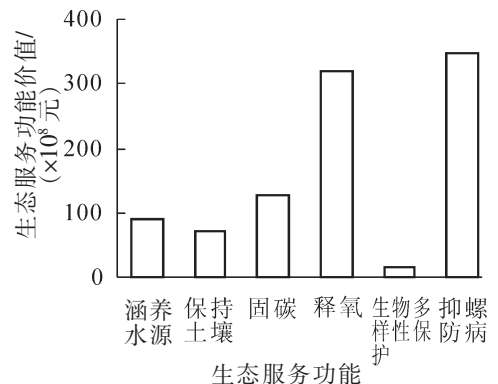


图1 各生态服务功能价值构成图

Figure 1 Value of different ecosystem services

安徽( $161.98 \times 10^8$ 元),江苏( $74.96 \times 10^8$ 元),四川( $70.10 \times 10^8$ 元),云南( $61.95 \times 10^8$ 元)。其中,湖南省抑螺防病林生态系统服务价值最大,占7省总价值量的25.10%;云南省抑螺防病林生态服务价值最小,仅占7省总和的6.41%。

3.2.4 不同省份抑螺防病效益价值量分析 依据单位面积药工费129.11元·m<sup>-2</sup>,血吸虫病患者平均每人年治疗费用3208.2元,误工费2106.8元/人计算,安徽省抑螺防病效益的价值量最大达 $63.02 \times 10^8$ 元,占7省抑螺防病效益价值总额的18.17%,江苏省次之,为16.66%,然后依次是湖南省、湖北省、云南省、四川省、江西省,其中江西省的抑螺防病效益价值量最少,为9.15%(表5)。

## 4 结论与讨论

本研究使用2006年林业血防工程实施以来,江苏、安徽、江西、湖北、湖南、四川、云南7个省营建的抑螺防病林的数据资料,采用LY/T 1721-2008《森林生态系统服务功能评估规范》的评估方法进行生态服务功能价值评估。可以看出:从2006年开始营建抑螺防病林,至2013年提供的各种生态服务功能价值量排序为抑螺防病功能价值>释氧功能价值>固碳功能价值>涵养水源功能价值>保持土壤功能价值>生物多样性保护功能价值。抑螺防病功能价值占全部生态效益的35.87%,非抑螺防病林不具备此功能,其次,释氧占全部生态效益价值的33.06%,固碳价值占13.02%,水源涵养占9.17%,保持土壤占7.31%。充分表明了抑螺防病是抑螺防病林主要的生态服务功能,同时,固碳释氧、涵养水源也是抑螺防病林重要的生态服务功能。因此对长江流域钉螺孳生和血吸虫病流行区的生态建设中应加大抑螺防病林的建设力度。

各省抑螺防病林生态服务价值从大到小依次为湖南、湖北、江西、安徽、江苏、四川、云南。一方面,这主要是各省对血吸虫病的重视程度不同,湖南省2006-2013年抑螺防病林营建面积最大,达14.09万hm<sup>2</sup>,云南省仅有1.11万hm<sup>2</sup>;另一方面由于钉螺的生长发育与当地雨量、气温分布、高程及社会因素有密切关系,山丘区钉螺适生环境多样,而且其生命力强,繁殖快,导致血吸虫病传播容易,血吸虫病的预防和控制难度相对较大,因此对钉螺面积减少量有一定程度的影响。各省抑螺防病林的抑螺防病功能价值从大到小依次为安徽、江苏、湖南、湖北、云南、四川、江西。由于安徽省水利、林业部门逐步将水利工程、农田水利和绿化造林项目与灭螺有机结合,发挥其消灭和控制钉螺的作用,从根本上改善生态环境,改变人们的传统生产、生活习惯,消除血吸虫病赖以传播的土壤,因此,安徽省钉螺面积减少量最大<sup>[28]</sup>;湖北省不仅科学规划设计林业血防工程,精心组织施工,科学育林护林,并结合工程建设开展科研攻关工作,开展系统、全面、长期的技术培训与交流<sup>[29]</sup>,群众的血吸虫病防范意识强,血吸虫病人数量减少量最大。

此外,本研究仅对抑螺防病林生态服务功能中几项常见的主导功能进行评估。实际上抑螺防病林生态系统服务功能不止这些,还包括提供木材、林产品、调节气候、净化空气等服务功能。钉螺面积的控制,血吸虫病人数的减少,是营建抑螺防病林、血防部门以及沟渠硬化改水改厕等综合措施的成效,抑螺防病林的抑螺防病效益只是全部林业血防工程效益其中的一部分。因研究资料的获取与技术方法等的限制,在本研究中无法将抑螺防病林独有的效益区分出来,因此对长江流域抑螺防病林的抑螺防病效益评估有一些夸大作用。但在估算抑螺防病林生态服务功能价值时对人的价值只是进行了保守估算,没有根据社会和个人自身的发展价值进行估算,因此,科学定量的评估抑螺防病林的生态服务功能价值,对长江经济带加强抑螺防病林的建设提供科学依据有重大意义,今后仍需对此展开深入研究。使抑螺防病林的效益达到最大化,在营造和管理方面应该做到运用经济生态学原理,因地制宜,采用以林为主,林、农、副、渔多种经营的模式,生物与工程措施相结合,科研和生产相结合,多部门和多学科相结合,创建融抑螺防病、经济、生态和社会等综合效益。

## 5 参考文献

- [1] 刘俊龙,吴中能,肖正东,等. 2008-2009年安徽省林业血防设计[J]. 河北农业科学, 2009, 13(6): 33-34, 58.  
LIU Junlong, WU Zhongneng, XIAO Zhengdong, et al. Discussion on the design of forestry schistosomiasis control in Anhui Province from 2008 to 2009 [J]. *J Hebei Agric Sci*, 2009, 13(6): 33-34.

- [2] 周晓农, 姜庆五, 吴晓华, 等. 我国控制和消灭血吸虫病标准的作用与演变[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2007, **19**(1): 1 - 4.  
ZHOU Xiaonong, JIANG Qingwu, WU Xiaohua, *et al.* The function and evolution of The Criteria for Control and Elimination of Schistosomiasis in China [J]. *Chin J Schisto Control*, 2007, **19**(1): 1 - 4.
- [3] 夏尚光, 刘和香, 何结宝, 等. 不同林龄抑螺防病林林分内钉螺种群分布特点的研究: 以安庆市大观区沿江滩地为例[J]. 湿地科学与管理, 2012, **8**(2): 4 - 6.  
XIA Shangguang, LIU Hexiang, HE Jiebao, *et al.* Characterization of the distribution of *Oncomelania hupensis* in schistosoma prevention forests at different ages [J]. *Wetland Sci Manage*, 2012, **8**(2): 4 - 6.
- [4] 彭镇华, 江泽慧. 中国新林种抑螺防病林研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [5] 江泽慧. 兴林灭螺论文选集[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [6] 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.  
OUYANG Zhiyun, WANG Xiaoke, MIAO Hong. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values [J]. *Acta Ecol Sin*, 1999, **19**(5): 607 - 613.
- [7] ALEXANDER H. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems [J]. *Corporate Environ Strategy*, 1999, **6**(2): 219.
- [8] CONSTANZA R, A'RGE R, de GROOT R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, **387**: 253 - 260.
- [9] World Resources Institute (WRI). *Ecosystem and Human Wellbeing: Synthesis* [M]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [10] UK National Ecosystem Assessment. *UK National Ecosystem Assessment: Synthesis of the Key Findings* [M]. Cambridge: UNEPWCMC, 2011.
- [11] 国家林业局. LY/T 1721-2008 森林生态系统服务功能评估规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [12] 肖强, 肖洋, 欧阳志云, 等. 重庆市森林生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2014, **34**(1): 216 - 223.  
XIAO Qiang, XIAO Yang, Ouyang Zhiyun, *et al.* Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, **34**(1): 216 - 223.
- [13] 赖瑾瑾, 刘雪华, 靳强. 顺义地区生态系统服务功能价值的时空变化[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2008, **48**(9): 86 - 91.  
LAI Jinjin, LIU Xuehua, JIN Qiang. Spatial-temporal changes of ecosystem services in the Shunyi District [J]. *J Tsinghua Univ Sci Technol*, 2008, **48**(9): 86 - 91.
- [14] 陈姗姗, 刘康, 李婷, 等. 基于 InVEST 模型的商洛市水土保持生态服务功能研究[J]. 土壤学报, 2016, **53**(3): 800 - 807.  
CHEN Shanshan, LIU Kang, LI Ting, *et al.* Evaluation of ecological service function of soil conservation in Shangluo City based on InVEST Model [J]. *Acta Pedol Sin*, 2016, **53**(3): 800 - 807.
- [15] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学, 2015, **37**(9): 1740 - 1746.  
XIE Gaodi, ZHANG Caixia, ZHANG Changsun, *et al.* The value of ecosystem services in China [J]. *Resour Sci*, 2015, **37**(9): 1740 - 1746.
- [16] 许妍, 高俊峰, 黄佳聪. 太湖湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 长江流域资源与环境, 2010, **19**(6): 646 - 652.  
XU Yan, GAO Junfeng, HUANG Jiacong. Ecosystem service baluation of Taihu Wetland [J]. *Resour Environ the Yangtza Basin*, 2010, **19**(6): 646 - 652.
- [17] 王兵, 鲁绍伟, 尤文忠, 等. 辽宁省森林生态系统服务价值评估[J]. 应用生态学报, 2010, **21**(7): 1792 - 1798.  
WANG Bing, LU Shaowei, YOU Wenzhong, *et al.* Evaluation of forest ecosystem services value in Liaoning Province [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2010, **21**(7): 1792 - 1798.
- [18] 李锋, 叶亚平, 宋博文, 等. 城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变: 以常州市为例[J]. 生态学报, 2011, **31**(19): 5623 - 5631.  
LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, *et al.* Spattial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(19): 5623 - 5631.

- [19] 白杨, 郑华, 庄长伟, 等. 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控[J]. 生态学报, 2013, **33**(3): 711 – 717.  
BAI Yang, ZHENG Hua, ZHUANG Changwei, *et al.* Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: based on InVEST model [J]. *Acta Ecol Sin*, 2013, **33**(3): 711 – 717.
- [20] 刘世荣, 代力民, 温远光, 等. 面向生态系统服务的森林生态系统经营: 现状、挑战与展望[J]. 生态学报, 2015, **35**(1): 1 – 9.  
LIU Shirong, DAI Limin, WEN Yuanguang, *et al.* A review on forest ecosystem management towards ecosystem services: status, challenges, and future perspectives [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(1): 1 – 9.
- [21] 中国森林资源核算及纳入绿色 GDP 研究项目组. 绿色国民经济框架下的中国森林资源核算研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [22] 中国森林资源核算研究项目组. 生态文明制度构建中的中国森林资源核算研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2015.
- [23] 冯继广, 丁陆彬, 王景升, 等. 基于案例的中国森林生态系统服务功能评价[J]. 应用生态学报, 2016, **27**(5): 1375 – 1382.  
FENG Jiguang, DING Lubing, WANG Jingsheng, *et al.* Case-based evaluation of forest ecosystem service function in China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2016, **27**(5): 1375 – 1382.
- [24] 汤玉喜, 吴敏, 吴立勋, 等. 滩地林业血防工程抑螺效应及其成因研究[J]. 湿地科学与管理, 2006, **2**(4): 8 – 13.  
TANG Yuxi, WU Min, WU Lixun, *et al.* Effects of lakeside plantations on schistosomiasis control [J]. *Wetland Sci Manage*, 2006, **2**(4): 8 – 13.
- [25] 彭镇华. 林业血防生态工程抑螺防病机理[J]. 湿地科学与管理, 2013, **9**(2): 8 – 10.  
PENG Zhenhua. Mechanism of forestry schistosomiasis-control project on snail control and schistosomiasis prevention [J]. *Wetland Sci Manage*, 2013, **9**(2): 8 – 10.
- [26] 高凯, 周志翔, 杨玉萍. 长江流域土地利用结构及其空间自相关分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, **19**(21): 13 – 20.  
GAO Kai, ZHOU Zhixiang, YANG Yuping. Land use structure and its spatial autocorrelation analysis in the Yangtze River Basin [J]. *Resour Environ in the Yangtze Basin*, 2010, **19**(21): 13 – 20.
- [27] 周金星, 彭镇华, 李世东. 森林生态工程建设对水资源的影响[J]. 世界林业研究, 2002, **15**(6): 54 – 60.  
ZHOU Jinxing, PENG Zhenhua, LI Shidong. The relationship between forestry eco-engineering and water resource exploitation and utilization [J]. *World For Res*, 2002, **15**(6): 54 – 60.
- [28] 方建民, 程鹏, 张世清, 等. 安徽省林业血防工程之建设[J]. 安徽林业科技, 2012, **38**(2): 85 – 92.  
FANG Jianmin, CHENG Peng, ZHANG Shiqing, *et al.* Construction of schistosomiasis-prevention forestry projects in Anhui Province [J]. *J Anhui For Sci Technol*, 2012, **38**(2): 85 – 92.
- [29] 孟长来, 蒋俊明, 唐人权, 等. 四川山丘区林业血防的农林复合经营模式解析[J]. 四川林业科技, 2012, **33**(6): 9 – 19.  
MENG Changlai, JIANG Junming, TANG Renquan, *et al.* An analysis of agro-forestry management patterns in schistosomiasis prevention of forestry in hilly and mountainous areas of Sichuan [J]. *J Sichuan For Sci Technol*, 2012, **33**(6): 9 – 19.