

文章编号:1001-7380(2020)03-0016-06

江苏长江沿岸森林生态系统服务功能价值评估

王磊^{1,2}, 万欣^{1,2}, 王火^{1,2}

(1. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153; 2. 江苏扬州城市森林生态系统国家定位观测研究站, 江苏 扬州 225000)

摘要:长江沿岸森林资源的生态区位极为重要,不仅能改善和维持区域生态环境平衡,发挥森林生态系统服务功能,而且为长江沿岸居民的生存和发展提供天然的绿色屏障,对国土生态安全、生物多样性保护和经济社会可持续发展具有重要作用。研究结合2018年江苏省森林资源变更调查数据及实地调研,并结合现有的文献资料,对江苏长江两岸宽1 km范围内的森林生态系统服务价值进行计算。结果表明:(1)江苏长江两岸宽1 km森林生态系统服务功能的总价值为17.1亿元/a,其中森林固碳释氧的功能价值占比最高(8.40亿元/a),其次是涵养水源(5.78亿元/a),森林防护价值最低(0.08亿元/a)。(2)江苏长江两岸宽1 km内39种植被类型森林中,乔木林的生态服务功能价值远远大于灌木林、竹林及药材林。显然,这与乔木林的面积大密切相关。生态服务功能总价值最高的是杨树林(5.6亿元/a),其次是阔叶混交林(2.7亿元/a),茶林及其他药材林生态服务功能价值最小。(3)单位面积生态服务功能价值总量大小依次为阔叶混交林>针阔混交林>阔叶纯林>灌木林>针叶纯林。单位面积混交林的生态服务功能价值高于纯林。可见,江苏长江沿岸森林在固碳释氧、涵养水源方面发挥着巨大的作用。研究建议江苏应大力发展长江沿岸的阔叶混交林建设,以增加长江沿岸森林整体的生态服务价值,同时运用多种监测手段监测长江沿岸森林面积和树种变化等。此外,还建议在江苏长江沿岸增设森林生态监测站点,为长江沿岸森林的保护管理及合理利用提供科学依据和技术支撑。

关键词:长江;森林;混交林;生态服务功能;价值评估;江苏

中图分类号:X171.1;X826

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2020.03.004

Evaluation of ecological service of forests along the Yangtze River in Jiangsu Province

Wang Lei^{1,2}, Wan Xin^{1,2}, Wang Huo^{1,2}

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China;

(2. Yangzhou Long-term Observation Station of Urban Ecosystem, Yangzhou 225000, China)

Abstract: Located at the lower reaches of the Yangtze River, Jiangsu Province is an important part of the Yangtze River delta. The forest resources along the River plays an important role in the land ecological security, biodiversity protection and sustainable economic and social development of Jiangsu Province. In this study, the forest ecosystem service value within 1 km of the Yangtze River in Jiangsu Province was calculated based on the survey data of relevant forest changed resources in 2018 and the existing literature. The results showed that: (1) the ecological service value of arbor forest was much higher than that of shrub forest, bamboo forest and medicinal material forest in 39 forest species planted within 1 kilometer along the Yangtze River in Jiangsu Province. Obviously, this was closely related to the large area of the arbor forest. The highest total value of ecological service function was from the poplar forest (560 million yuan per year), followed by the broad-leaved mixed forest (270 million yuan per year), and the tea forest and other medicinal materials had the least value of ecological service function. (2) The total ecological service function value per unit area was, in proper order, needle-width

收稿日期:2020-04-17;修回日期:2020-04-30

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目“江苏长江沿岸景观防护林构建与生态修复技术研究”(CX(19)1004);江苏省创新能力建设科技设施类——省公益类科研院所自主科研经费“江苏省林业科学研究院自主科研项目”(BM2018022);中央财政林业科技推广示范资金项目“长江河滩湿地修复与生态防护林营建技术推广示范”(苏[2019]TG01);江苏省林业科技创新与推广项目“江苏长江沿岸造林绿化模式构建技术集成与示范”(LYKJ[2019]01)

作者简介:王磊(1980-),男,江苏宜兴人,研究员,博士。主要从事森林生态学的研究工作。E-mail: wl.stone@163.com。

mixed forest, broad-leaved pure forest, shrubbery, coniferous pure forest. The ecological service value of mixed forest per unit area was higher than that of pure forest. (3) The total value of forest ecosystem services along the Yangtze River in Jiangsu Province was 1.71 billion yuan per year, of which the function value of forest carbon sequestration and oxygen release occupied the highest proportion (840 million yuan per year), followed by water conservation (578 million yuan per year), and the lowest value of forest protection (800 million yuan per year). Therefore, the forests along the Yangtze River in Jiangsu Province play an important role in carbon sequestration, oxygen release and water conservation. This study suggests that mixed forests along the Yangtze River in Jiangsu Province should be vigorously developed, so as to increase the overall ecological service value of the forests along, and use a variety of methods to monitor the changes of forest area and tree species along. In addition, forest ecological monitoring stations should be set up along for providing scientific basis and technical support for the protection, management and rational utilization of forests along.

Key words: Yangtze River; Forest; Mixed forest; Ecological service function; Evaluation; Jiangsu

森林生态系统是陆地生态系统的主体,能改善全球气候条件以维护人类的生存环境。近年来,日益恶化的生态环境和不断深入的可持续发展理念,迫使人们意识到了森林生态系统对人类生存发展的重要性。江苏省位于长江下游,是长江三角洲的重要组成部分。其中,长江沿岸森林资源作为天然的绿色屏障,其生态区位极为重要。它不仅能平衡和维持长江沿岸生态环境,而且对本省生态安全格局构建、生物多样性保护和经济社会可持续发展具有重要作用。因此,开展长江沿岸森林生态系统服务功能及价值评价研究,对了解长江沿岸森林资源状况、保护森林环境等具有重要意义。

本研究依据中华人民共和国林业行业标准《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721-2008)^[1]中的指标和计算方法,结合江苏省长江沿岸森林资源调查数据及现有的文献资料,对江苏省长江两岸宽1 km范围内的森林生态系统服务价值进行计算,以期今后江苏省长江沿岸森林的保护、规划及管理提供科学依据和理论指导。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

据统计资料显示,长江江苏段岸线长达430 km,长江沿岸森林植被类型极为丰富,且大多属于水土保持类森林,农田防护林和防风固沙林极少。

本研究根据2018年江苏省森林资源变更调查数据及实地调研,并结合遥感卫片解译,统计出了江苏省范围内长江两岸宽1 km范围各植被类型的面积,如表1所示。此次评估的江苏省长江两岸宽1 km内森林总面积为9 276.3 hm²,包括针叶纯林、针叶混交林、阔叶纯林、阔叶混交林、果树、药材林、灌木林等。乔木林面积为8 247.61 hm²,占总面积

表1 江苏省长江两岸宽1 km各植被类型森林面积

林分类型	森林面积/hm ²
黑松林	16.22
马尾松林	8.68
湿地松林	26.97
其他松类林	58.52
杉木林	385.46
柳杉林	1.25
水杉林	533.19
柏木林	18.24
其他杉类林	21.37
青冈栎林	2.28
樟木林	367.36
榆树林	7.37
黄檀林	644.01
杨树林	2 985.24
柳树林	504.32
泡桐林	1.14
其他软阔类林	1 117.25
针叶混交林	0.90
阔叶混交林	1 319.20
针阔混交林	205.86
毛竹林	22.76
散生杂竹类林	95.60
丛生杂竹类林	0.93
混生杂竹类林	12.84
柑桔类林	69.22
梨树林	22.81
桃树林	117.03
枣树林	1.99
柿树林	1.61
其他果树类林	47.36
茶叶树林	0.11
桂花树林	6.56
银杏树林	273.66
其他药材类林	0.21
桑树林	38.77
其他经济林	93.44
栎灌林	1.46
竹灌林	6.76
其他灌木林	238.35
合计	9 276.30

的89%,在乔木林中阔叶纯林面积占比最大,为5 628.98 hm²,其次是针叶纯林(1 069.9 hm²)和混交林(1 525.96 hm²)。在统计的39类植被类型中,杨树林的面积最大,占总面积的32.2%。茶林和药材林面积最小。

1.2 估算方法

本研究依据《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721-2008)^[1]相关指标和估算方法,并结合江苏省长江沿岸森林的实际状况和相关文献,对江苏省长江沿岸森林生态系统服务功能的价值进行估算。

2 估算结果

2.1 江苏省长江两岸宽1 km 森林生态系统服务功能的总价值

经估算,江苏省长江两岸宽1 km 森林生态系统服务功能的总价值为17.1亿元/a,各项生态服务功能价值量大小依次为:固碳释氧(8.40亿元/a) > 涵养水源(5.78亿元/a) > 生物多样性保护(1.54亿元/a) > 积累营养物质(0.61亿元/a) > 保育土壤(0.32亿元/a) > 净化大气环境(0.22亿元/a) > 森林游憩(0.15亿元/a) > 森林防护(0.08亿元/a)。统计如表2所示。由江苏省长江两岸宽1 km 森林生态系统的8大服务功能价值的占比可知,森林8大服务功能价值差异较大,其中森林固碳释氧的功能价值占比最高,其次是涵养水源,森林防护和森林游憩的价值占比最低。由此可见,森林在固碳释氧、涵养水源方面发挥着巨大的作用。

表2 江苏省长江沿岸宽1 km 内森林生态系统服务功能价值

功能类别	评估指标	各项指标价值量/ (万元/a)	总价值/ (亿元/a)	占比 /%
涵养水源	调节水量	43 057.40	5.78	33.8
	净化水质	14 726.62		
保育土壤	固土	211.85	0.32	1.87
	保肥	2 999.89		
固碳释氧	固碳	72 036.54	8.4	49.12
	释氧	11 954.68		
积累营养物质	营养积累	6 053.08	0.61	3.57
	负氧离子	19.34		
净化大气环境	吸收污染物	424.37	0.22	
	减噪	92.76		
	滞尘	1 713.15		
生物多样性保护	物种保育	15 357.9	1.54	9.01
森林防护	森林防护	766.22	0.08	0.47
森林游憩	森林游憩	1 452.73	0.15	0.88
总计	-	-	17.1	100

2.2 各植被类型森林生态服务功能总价值

本研究参考相关文献资料,结合各植被类型森林面积以及生态服务功能价值的计算公式,将各植被类型森林的生态服务功能价值进行了估算,结果如表3所示。在不同林分类型中,乔木林生态服务功能价值远远大于灌木林、竹林及药材林。显然,这与乔木林的面积大密切相关,乔木林面积占总面积的89%,是灌木林面积的8倍。其中杨树林面积最大,且其叶面积指数较其他类型树种大,固碳释氧、净化大气、积累营养物质等生态服务功能都具有明显优势,因此生态服务功能价值最大,为5.6亿元/a,其次是阔叶混交林,为2.7亿元/a,茶林及其他药材林面积最小,生态服务功能价值也最小。

2.3 单位面积各植被类型森林生态服务功能价值

本研究对单位面积各植被类型的生态服务功能价值也进行了统计,结果如表4所示。单位面积生态服务功能价值总量大小依次为阔叶混交林 > 针阔混交林 > 阔叶纯林 > 灌木林 > 针叶纯林。可见,单位面积混交林的生态服务功能价值高于纯林。

3 分析与讨论

3.1 涵养水源价值

森林涵养水源功能是指森林对降水的截留、吸收和贮存,将地表水转为地表径流或地下水的功能。主要功能表现在增加可利用水资源、净化水质和调节径流3个方面。参考相关文献资料^[2-8],计算得出本省长江沿岸森林单位面积涵养水源功能价值量最高的是针叶混交林、阔叶混交林和针阔混交林,均达到7.06万元/a,其次是经济林、阔叶纯林、竹林,针叶纯林。其中杉木林涵养水源价值量最低,为4.93万元/a。可见,林分复杂、树种多样、植被丰富的混交林涵养水源的能力最强,优于单一的纯林。此结论与蔡婷等^[9]、黄健韬^[10]的研究结果一致。研究表明,与纯林相比,混交林的凋落物量多且分解快,腐殖质增多能提高土壤肥力,且土壤疏松度和通气性增强可形成最佳的土壤结构,从而提高了渗透速度,地表径流量减小,土壤持水性能提升,林分持水量增大。因此,在建议长江沿岸建立混交林可提升林分涵养水源性能。

表3 各类植被生态系统服务功能价值

万元/a

植被类型	涵养水源	保育土壤	固碳释氧	积累营养物质	净化大气环境	森林防护	生物多样性保护	森林游憩	生态服务功能总价值
黑松林	86.74	6.15	141.92	8.86	8.34	1.34	8.11	2.54	264.00
马尾松林	49.92	3.29	68.49	2.14	4.46	0.72	4.34	1.36	134.72
湿地松林	146.24	10.24	236.00	14.73	13.87	2.23	13.49	4.22	441.02
其他松类林	312.92	22.21	505.32	29.61	30.09	4.83	29.26	9.16	943.40
杉木林	1 898.71	144.71	3 190.95	146.93	200.26	31.84	192.73	60.37	5 866.50
柳杉林	6.29	0.48	10.94	0.68	0.65	0.10	0.62	0.20	19.96
水杉林	2 686.47	174.71	4 665.18	291.10	277.01	44.04	266.59	83.50	8 488.60
柏木林	99.61	6.92	151.28	7.05	9.48	1.51	9.12	2.86	287.83
其他杉类林	107.70	8.11	184.82	10.90	11.11	1.77	10.69	3.35	338.45
青冈栎林	14.94	0.86	20.34	1.39	0.50	0.19	4.55	0.36	43.13
樟木林	2 303.11	139.41	3 214.28	200.57	80.56	30.34	734.73	57.53	6 760.53
榆树林	46.22	2.80	64.51	4.03	1.62	0.61	14.75	1.15	135.69
黄檀林	4 037.46	244.39	5 634.79	351.60	141.22	53.19	1 288.01	100.86	11 851.52
杨树林	18 157.17	837.10	27 282.31	2 036.34	654.60	246.58	5 970.48	467.51	55 652.09
柳树林	3 161.74	191.38	4 412.62	275.34	110.59	41.66	1 008.65	78.98	9 280.96
泡桐林	7.17	0.44	10.00	0.62	0.25	0.09	2.29	0.18	21.04
其他软阔类林	7 004.37	422.75	10 246.64	774.71	244.99	92.29	2 234.51	174.97	21 195.23
针叶混交林	6.39	0.34	7.92	0.49	0.47	0.07	0.45	0.14	16.27
阔叶混交林	9 311.52	500.62	12 956.09	1 214.48	289.27	108.97	2 638.40	206.59	27 225.94
针阔混交林	1 453.04	95.85	1 787.08	107.47	45.40	17.00	411.72	32.24	3 949.80
毛竹林	132.66	8.64	199.18	12.43	3.73	1.88	11.38	3.57	373.47
散生杂竹类林	557.11	36.27	836.44	52.19	15.68	7.90	47.80	14.97	1 568.36
丛生杂竹类林	5.41	0.35	8.12	0.51	0.15	0.08	0.46	0.15	15.23
混生杂竹类林	74.81	4.87	112.31	7.01	2.11	1.06	6.42	2.01	210.60
柑桔类林	460.95	26.27	605.65	37.79	6.38	5.72	20.77	10.84	1 174.37
梨树林	151.88	8.65	199.56	12.45	2.10	1.88	6.84	3.57	386.93
桃树林	779.34	44.41	1 023.99	63.90	10.79	9.67	35.11	18.33	1 985.54
枣树林	13.22	0.76	17.37	1.08	0.18	0.16	0.60	0.31	33.68
柿树林	10.74	0.61	14.11	0.88	0.15	0.13	0.48	0.25	27.35
其他果树类林	315.35	17.97	414.34	25.85	4.37	3.91	14.21	7.42	803.42
茶叶树林	0.72	0.04	0.95	0.06	0.01	0.01	0.03	0.02	1.84
桂花树林	43.67	2.49	57.37	3.58	0.60	0.54	1.97	1.03	111.25
银杏树林	1 822.36	103.85	2 394.42	149.41	60.01	22.60	82.10	42.86	4 677.61
其他药材类林	1.40	0.07	1.84	0.11	0.02	0.02	0.06	0.03	3.55
桑树林	258.19	14.72	339.24	21.17	3.58	3.20	11.63	6.07	657.80
其他经济林	622.22	35.45	817.54	51.01	8.62	7.72	28.03	14.63	1 585.22
栎灌林	9.72	0.55	12.77	0.80	0.15	0.12	1.46	0.23	25.80
竹灌林	39.37	2.56	59.11	3.69	0.71	0.56	6.76	1.06	113.82
其他灌木林	1 587.20	90.45	2 085.44	130.13	5.53	19.69	238.35	37.33	4 194.12

3.2 保育土壤价值

保育土壤功能包括固土和保肥2个方面。固土的功能价值由林地土壤侵蚀模数决定,保肥方面由各植被类型森林土壤有机质、氮、磷、钾含量决定。参考相关文献^[3,11-14],计算得出在研究的39中林分类型中,单位面积保育土壤价值最高的是针阔混交

林,为0.47万元/a,其他类型森林的单位面积保育土壤价值差别不大,均在0.33万—0.38万元/a之间。已有研究表明,针阔混交林的土壤侵蚀能力及土壤有机质等含量均高于纯林^[13-14],跟本研究结果一致。

表4 单位面积各植被生态系统服务功能价值

万元/(hm²·a)

植被类型	涵养水源	保育土壤	固碳释氧	积累营养物质	净化大气环境	森林防护	生物多样性保护	森林游憩	单位面积生态服务功能总价值
黑松林	5.35	0.38	8.75	0.55	0.51	0.08	0.50	0.16	16.28
马尾松林	5.75	0.38	7.89	0.25	0.51	0.08	0.50	0.16	15.52
湿地松林	5.42	0.38	8.75	0.55	0.51	0.08	0.50	0.16	16.35
其他松类林	5.35	0.38	8.64	0.51	0.51	0.08	0.50	0.16	16.12
杉木林	4.93	0.38	8.28	0.38	0.52	0.08	0.50	0.16	15.22
柳杉林	5.03	0.38	8.75	0.54	0.52	0.08	0.50	0.16	15.97
水杉林	5.04	0.33	8.75	0.55	0.52	0.08	0.50	0.16	15.92
柏木林	5.46	0.38	8.29	0.39	0.52	0.08	0.50	0.16	15.78
其他杉类林	5.04	0.38	8.65	0.51	0.52	0.08	0.50	0.16	15.83
青冈栎林	6.56	0.38	8.94	0.61	0.22	0.08	2.00	0.16	18.95
樟木林	6.27	0.38	8.75	0.55	0.22	0.08	2.00	0.16	18.40
榆树林	6.27	0.38	8.75	0.55	0.22	0.08	2.00	0.16	18.40
黄檀林	6.27	0.38	8.75	0.55	0.22	0.08	2.00	0.16	18.40
杨树林	6.08	0.38	9.14	0.68	0.22	0.08	2.00	0.16	18.64
柳树林	6.27	0.38	8.75	0.55	0.22	0.08	2.00	0.16	18.40
泡桐林	6.27	0.38	8.75	0.54	0.22	0.08	2.00	0.16	18.41
其他软阔类林	6.27	0.38	9.17	0.69	0.22	0.08	2.00	0.16	18.97
针叶混交林	7.06	0.38	8.75	0.54	0.51	0.08	0.50	0.15	17.98
阔叶混交林	7.06	0.38	9.82	0.92	0.22	0.08	2.00	0.16	20.64
针阔混交林	7.06	0.47	8.68	0.52	0.22	0.08	2.00	0.16	19.19
毛竹林	5.83	0.38	8.75	0.55	0.16	0.08	0.50	0.16	16.41
散生杂竹类林	5.83	0.38	8.75	0.55	0.16	0.08	0.50	0.16	16.41
丛生杂竹类林	5.82	0.38	8.74	0.55	0.16	0.09	0.50	0.16	16.40
混生杂竹类林	5.83	0.38	8.75	0.55	0.16	0.08	0.50	0.16	16.41
柑桔类林	6.66	0.38	8.75	0.55	0.09	0.08	0.30	0.16	16.97
梨树林	6.66	0.38	8.75	0.55	0.09	0.08	0.30	0.16	16.96
桃树林	6.66	0.38	8.75	0.55	0.09	0.08	0.30	0.16	16.97
枣树林	6.66	0.38	8.75	0.54	0.09	0.08	0.30	0.16	16.97
柿树林	6.66	0.38	8.75	0.55	0.09	0.08	0.30	0.16	16.96
其他果树类林	6.66	0.38	8.75	0.55	0.09	0.08	0.30	0.16	16.97
茶叶树林	6.67	0.37	8.80	0.56	0.09	0.09	0.28	0.19	17.05
桂花树林	6.66	0.38	8.75	0.55	0.09	0.08	0.30	0.16	16.97
银杏树林	6.66	0.38	8.75	0.55	0.22	0.08	0.30	0.16	17.09
其他药材类林	6.69	0.33	8.79	0.53	0.09	0.10	0.29	0.14	16.96
桑树林	6.66	0.38	8.75	0.55	0.09	0.08	0.30	0.16	16.97
其他经济林	6.66	0.38	8.75	0.55	0.09	0.08	0.30	0.16	16.97
栎灌林	6.66	0.38	8.75	0.55	0.11	0.08	1.00	0.16	17.67
竹灌林	5.83	0.38	8.75	0.55	0.11	0.08	1.00	0.16	16.85
其他灌木林	6.66	0.38	8.75	0.55	0.02	0.08	1.00	0.16	17.60

3.3 固碳释氧和积累营养物质价值

在固碳释氧和积累营养物质方面,本研究参考相关文献^[15-23],计算得出本省长江沿岸森林单位面积价值量最大的是阔叶混交林,分别达到9.82万元/a和

0.92万元/a,其次是其他软阔林和杨树林,其他类型森林固碳释氧和积累营养物质价值差别不大。分析其原因,主要由于阔叶树种枝繁叶茂,叶面积较其他类型树种大,林分净生产力水平高,而固碳释氧价值

主要由林分的净生产力决定。有研究表明,阔叶混交林的净生产力较其他纯林和混交林高^[17-18],因此,阔叶混交林固碳释氧价值最高。同时,积累营养物质的价值由林分的净生产力和林分含氮、磷、钾量决定,其中各林分的含氮、磷、钾量由于在研究文献中可查阅到的数据甚少,故此次估算中按照江苏省主要林分的林木氮、磷、钾含量的均值^[22]计算,因此,阔叶混交林积累营养物质的价值最高。

3.4 净化大气价值

净化大气功能由空气负离子浓度、吸收大气污染物(SO₂,NO_x,氟化物)浓度、单位面积年滞尘量等指标决定。在净化大气方面,本研究参考相关文献资料^[24-32],估算得出江苏长江沿岸森林单位面积价值量大小依次为针叶林>阔叶林>竹林>经济林>灌木林。值得关注的是,在林分空气负离子浓度、吸收大气污染物及滞尘方面,针叶林中的负离子浓度、单位面积年吸收SO₂,NO_x,氟化物和滞尘量均高于其他类型乔灌木类型。这与关蓓蓓等^[33]、郭益力等^[34]、文璐^[35]、魏爱丽等^[36]的研究结果基本一致。

4 结论

(1)江苏长江沿岸宽1 km森林生态系统服务功能的总价值为17.1亿元/a,其中森林固碳释氧的功能价值占比最高,其次是涵养水源,森林防护和森林游憩的价值占比最低。

(2)江苏省长江沿岸宽1 km内39种植被类型森林中,生态服务功能总价值最高的是杨树林(5.6亿元/a),其次是阔叶混交林(2.7亿元/a),茶林及其他药材林生态服务功能价值最小。

(3)单位面积生态服务功能价值总量大小依次为阔叶混交林>针阔混交林>阔叶纯林>灌木林>针叶纯林。单位面积混交林的生态服务功能价值高于纯林。

综上所述,江苏应大力发展长江沿岸的阔叶混交林建设,以增加长江沿岸森林整体的生态服务价值,同时运用多种监测手段监测长江沿岸森林面积和树种变化等。此外,建议在江苏长江沿岸增设森林生态监测站点,为长江沿岸森林的保护管理及合理利用提供科学依据和技术支撑。

参考文献:

[1] 国家林业局.中华人民共和国林业行业标准(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.

- [2] 曹静.南京紫金山森林植物多样性及其价值评估[D].南京:南京林业大学,2011.
- [3] 李炜,司建华,苗政.林分耗水的尺度扩展研究进展[J].生态学报,2012,31(3):714-723.
- [4] 娄源海.基于同位素技术的森林生态系统水分通量解析[D].北京:北京林业大学,2016.
- [5] 汪金梅,吴松钦,崔鹏,等.五马河流域森林生态系统服务价值评估[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2019,27(4):49-55.
- [6] 马志良,赵文强,刘美,等.岷江源头区乔灌交错带地被物和土壤持水能力[J].水土保持学报,2018,32(5):146-150.
- [7] 马成武.不同树种水源涵养能力的研究[J].现代农业科技,2018(3):148-151.
- [8] 陈琦,刘苑秋,刘士余,等.杉木取代阔叶林后林下水源涵养功能差异评价[J].水土保持学报,2019,33(2):244-250.
- [9] 蔡婷,李阿瑾,宋坤,等.黄浦江上游近自然混交林和人工纯林水源涵养功能评价[J].水土保持研究,2015,22(2):36-40.
- [10] 黄健韬.杉木闽粤栲异龄复层混交林涵养水源功能[J].福建林业科技,2019,46(2):11-17.
- [11] 杨贤均,邓云叶,段林东.三种不同林分的保护水土功能分析[J].水土保持研究,2016,23(2):177-182.
- [12] 黄进.苏南丘陵山区主要森林类型防水蚀功能评价[D].南京:南京林业大学,2011.
- [13] 王国斌,陈报章,孙少波,等.2000—2014年徐州地区土壤侵蚀的变化趋势[J].水土保持通报,2019,39(1):43-49.
- [14] 王略,屈创,赵国栋.基于中国土壤流失方程模型的区域土壤侵蚀定量评价[J].水土保持通报,2018,38(1):122-125,130.
- [15] 黄兴召,许崇华,徐俊,等.利用结构方程解析杉木林生产力与环境因子及林分因子的关系[J].生态学报,2017,37(7):2274-2281.
- [16] 刘会玲.基于去计算的森林固碳释氧与涵养水源价值评估[D].哈尔滨:东北林业大学,2018.
- [17] 邹奕巧,应宝根,蔡人岳,等.基于固定样地的林分乔木层年净生产力参数结构化估算[J].浙江林业科技,2019,39(3):23-31.
- [18] 余超,王斌,刘华,等.中国森林植被净生产量及平均生产力动态变化分析[J].林业科学研究,2014,27(4):542-550.
- [19] 苏继申,庄家尧,顾叶,等.南京市城市森林固碳制氧效益研究[J].林业科技开发,2010,24(3):49-52.
- [20] 王晓杰.徐州市森林植被碳储量与固碳价值研究[D].南京:南京林业大学,2012.
- [21] 师贺雄.长江、黄河中上游地区退耕还林工程生态效益特征及价值化研究[D].北京:中国林业科学研究院,2016.
- [22] 刘超明,唐美庆,马坤,等.北京地区典型落叶阔叶乔木叶片含氮量和 $\delta^{15}N$ 值对大气氮沉降的响应[J].生态学报,2017,37(7):2334-2341.

(下转第45页)

- [27] 陶仁中,张杰.间歇性淹水对池杉木材管胞形态径向变异影响的研究[J].安徽农业大学学报,1998,25(3):300-303.
- [28] 陶仁中,江泽慧,费本华,等.间歇性淹水对池杉木材物理力学性质影响的研究[J].林业科学,1998,34(3):110-114.
- [29] 陶仁中,费本华,廖应福,等.间歇性淹水对池杉木材制浆造纸性能影响的研究[J].安徽农业大学学报,1998,25(2):109-111.
- [30] 汪佑宏,洪安东,徐斌,等.不同淹水程度对长江滩地枫杨组织比量的影响及变异[J].安徽农业大学学报,2000,27(4):380-383.
- [31] 汪佑宏,徐斌,刘杏娥.淹水程度对滩地枫杨木材化学性质的影响[J].中南林学院学报,2003,23(1):37-39,99.
- [32] 汪佑宏,李杰,刘杏娥,等.淹水程度对长江滩地枫杨导管及微纤丝角的影响[J].安徽农业大学学报,2004,31(2):164-168.
- [33] 汤玉喜,刘友全,吴立勋,等.滩地淹水胁迫对杨树生长与木材显微结构的影响[J].中南林学院学报,2005,25(6):29-33.
- [34] 教忠意,罗祺,张纪林,等.10个树种耐水淹能力的比较[J].江苏林业科技,2007,34(1):15-18.
- [35] 王晶,严丹峰,王亚玲.5种木兰科 Magnoliaceae 植物的耐涝性研究[J].广东园林,2019,41(1):19-22.
- [36] 张学星,周筑,陈强,等.17种云南乡土树种对不同程度水涝胁迫的忍耐性调查[J].西北林学院学报,2012,27(1):15-21.
- [37] 罗祺,张纪林,郝日明,等.水淹胁迫下10个树种某些生理指标的变化及其耐水淹能力的比较[J].植物资源与环境学报,2007,16(1):69-73.
- [38] 张晓燕.涝渍胁迫对白蜡、枫杨和黄连木生长与生理的影响[J].西北林学院学报,2017,32(6):96-100.
- [39] 齐琳,马娜,吴雯雯,等.无花果品种幼苗淹水胁迫的生理响应与耐涝性评估[J].园艺学报,2015,42(7):1273-1284.
- [40] 黄利斌,杨静,何开跃,等.纳塔栎和南方红栎2年生苗耐水湿性试验[J].东北林业大学学报,2009,37(5):7-9,35.
- [41] 白丹凤,李志,齐秀娟,等.4种基因型猕猴桃对淹水胁迫的生理响应及耐涝性评价[J].果树学报,2019,36(2):163-173.
- [42] 李义良,苏晓华,张冰玉,等.转 vgb 基因银腺杂种杨的耐涝性[J].林业科学,2009,45(7):26-31.
- [43] 范文才,宣磊,王芝权,等.淹水胁迫下‘中山杉 406’ *ThRAP2*.1 基因的克隆、亚细胞定位与表达分析[J].分子植物育种,2018,16(9):2818-2826.

(上接第21页)

- [23] 张立华,林益明,叶功富,等.不同林分类型叶片氮磷含量、氮磷比及其内吸收率[J].北京林业大学学报,2009,31(5):67-72.
- [24] 郑绍伟,李隽,黎燕琼,等.利用形态因子建立城市森林主要乔木树种三维绿量预测模型[J].四川林业科技,2017,38(1):6-10.
- [25] 郑泽烂,张灵,千怀遂.海拔梯度上森林植物群落自然稀疏规律[J].热带地理,2017,37(3):392-399.
- [26] 刘斌.江苏省2003—2012年植树造林结构与成效浅析[J].江苏林业科技,2013,40(1):10-12.
- [27] 范云.马鞍山市森林生态系统服务功能价值评估与分析[J].江苏林业科技,2019,46(6):1-6.
- [28] 李思刚,蒋婷婷,曹国华,等.基于江苏省森林资源普查成果的生态效益评价与分析[J].江苏林业科技,2019,46(1):29-33.
- [29] 沈沉沉.上海市环城绿带生态系统服务功能评价及其价值评估[D].上海:华东师范大学,2011.
- [30] 薛冰,肖晓,李春花,等.基于空间分析的贵州省森林生态系统服务功能的价值评估[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2019,37(5):37-44.
- [31] 张谷,岳金平,王奕,等.江苏省重点公益林生态服务功能及价值评估[J].南京林业大学学报(自然科学版),2017,41(6):205-210.
- [32] 黄龙生,王兵,牛香,等.济南市森林生态系统服务功能的维持机制[J].生态学报,2018,38(23):8544-8554.
- [33] 关蓓蓓,郑思俊,崔心红,等.崇明岛不同生态用地空气负离子分布规律研究[J].西北林学院学报,2016,31(1):280-285.
- [34] 郭益力,张静,鲁小珍,等.南京不同绿地类型空气负离子浓度[J].安徽农业科学,2013,41(7):3077-3078,3083.
- [35] 文璐.绿化植物对二氧化硫吸收能力及其生理特性分析[J].江苏农业科学,2018,46(18):141-146,152.
- [36] 魏爱丽,郝爱娟,张珊珊,等.不同园林地被植物对SO₂的反应和抗性研究[J].太原师范学院学报(自然科学版),2016,15(1):93-96.