

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2021.02.10

引用格式: 刘润,牛香,王兵.天保工程对森林涵养水源和保育土壤空间格局的影响——以内蒙古森工林区为例[J].中国地质调查,2021,8(2): 62–73. (Liu R, Niu X, Wang B. Impact of NFCP on water and soil conservation of forest ecosystem: A case study of forest industry region in Inner Mongolia [J]. Geological Survey of China, 2021, 8(2): 62–73.)

天保工程对森林涵养水源和保育土壤空间格局的影响 ——以内蒙古森工林区为例

刘润^{1,2}, 牛香^{1,2}, 王兵^{1,2}

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业和草原局森林生态环境重点实验室, 北京 100091; 2. 江西大岗山森林生态系统国家野外科学观测研究站, 江西 新余 336600)

摘要: 为了更直观地反映天然林资源保护工程(以下简称“天保工程”)对森林生态系统涵养水源和保育土壤功能产生的影响,体现天保工程所带来的生态效益,依据《森林生态系统服务功能评估规范(GB/T 38582—2020)》,以内蒙古大兴安岭重点国有林管理局的林区为研究对象,对天保工程实施前(1998年)和实施后(2018年)2期森林生态系统涵养水源和保育土壤功能进行量化分析,认为内蒙古大兴安岭重点国有林管理局林区(简称“内蒙古森工林区”)涵养水源价值为950.16亿元(1998年)和1341.32亿元(2018年),保育土壤的价值为563.49亿元(1998年)和760.11亿元(2018年)。天保工程实施前后,森林生态系统涵养水源功能总价值量排名前3位的林业局依次是根河、莫尔道嘎、乌尔旗汉,保育土壤功能排名前3位的依次是根河、乌尔旗汉、金河。从整体空间分布上分析得出的2期涵养水源和保育土壤功能价值量均呈现中部>北部>南部的趋势。

关键词: 天保工程; 内蒙古森工林区; 涵养水源和保育土壤; 空间格局

中图分类号: S718.55; X82

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2021)02–0062–12

0 引言

天然林资源保护工程(以下简称“天保工程”)是我国重要生态战略工程,也是实现山水林田湖草生命共同体的重要支撑^[1]。随着天保工程的实施,森林覆盖率、森林蓄积量和森林质量呈现“三增长”的态势,解决了天保工程区原有的生态环境问题^[2]。

森林是生态系统的主体,森林资源的过度消耗可直接导致森林土质疏松、水土流失,从而引发多种自然灾害。如今,水土流失已成为全球化的环境问题,在很多国家引发了严重的自然灾害^[3–5]。曾有研究表明,森林和植被在控制水土流失方面有着

极其重要的作用,并提出水土保持功能的强弱可以直接影响土壤侵蚀强度^[6]。由于人为因素的干扰,森林火灾等自然灾害频繁发生,导致森林生态环境每况愈下,土壤侵蚀日益严重。实施天保工程,能够解决森林资源消耗严重及其衍生的多种生态学问题^[7],从根本上遏制水土流失等生态环境恶化问题,从而为促进社会经济和生态安全的可持续发展提供科学支撑。

本文以内蒙古大兴安岭重点国有林管理局林区(简称“内蒙古森工林区”)为研究对象,依据中华人民共和国国家标准《森林生态系统服务功能评估规范(GB/T 38582—2020)》(以下简称“规范”),开展内蒙古森工森林生态系统涵养水源和保育土壤功能空间格局研究,明确不同区域内其功能强弱分布,探索空间格局分布特征,以期科

收稿日期: 2021–01–27; 修订日期: 2021–03–12。

基金项目: 国家林业和草原局“中国森林核算及纳入绿色经济评价研究(编号: 90445–2017)”和中央公益性科研院所基本科研业务专项“天然林保护工程生态效益监测评估及示范(编号: CAFYBB2020ZD002–2)”项目联合资助。

第一作者简介: 刘润(1988—),女,博士研究生,主要从事森林生态系统长期观测与网络管理研究。Email: liurun6046@163.com。

通信作者简介: 牛香(1982—),女,副研究员,主要从事森林生态系统服务功能评估研究。Email: niuxiang@caf.ac.cn。

学地开展生态环境保护、制定林业政策等提供重要科学依据。

1 研究区概况

内蒙古森工林区东连黑龙江,西接呼伦贝尔大草原,南至洮儿河,北部和西部与俄罗斯、蒙古国毗邻,地跨呼伦贝尔市、兴安盟等9个旗市(图1)。该区域地处欧亚大陆中高纬度地带,属寒温带大陆性气候区,年平均气温-2.4℃,林区平均无霜期小于100 d,岭西自西南向东北、岭东自东南向西北年平均气温逐渐降低;最高海拔高度为1 199 m,最低为784 m,平均海拔高度为976.5 m,属低山区,有“高寒禁区”之称^[8-10]。降水时间主要集中在5—9月份,占全年降水量的70%以上。内蒙古森工林区特有的土壤有机质和微量元素居全国之首,肥沃且无污染,主要以棕色针叶林土、暗棕壤、黑灰土、草甸图和沼泽土等为主。其森林植被主要以天然林为主,森林面积837.02万hm²。主要树种有落叶松、桦木、栎树、樟子松、柳树、榆树及云杉等。

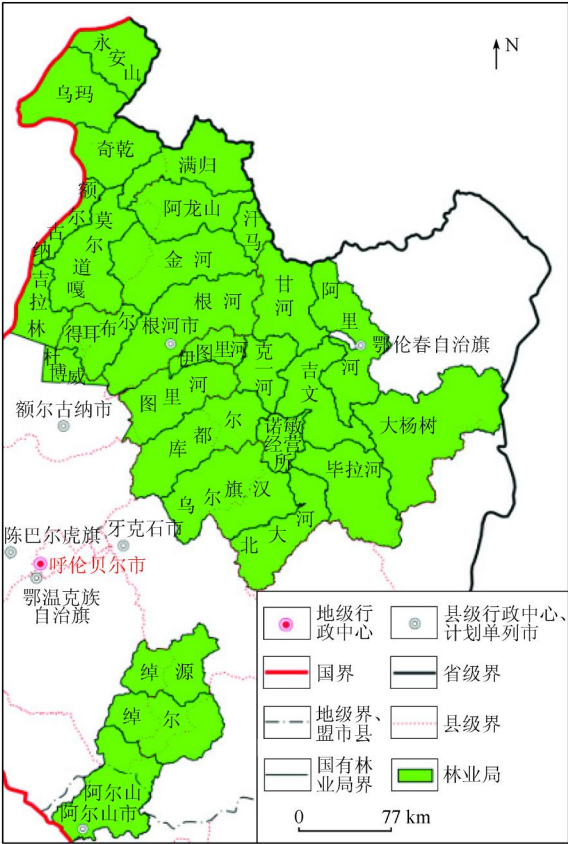


图1 研究区地理位置示意图

Fig.1 Map of the study area

2 研究方法

2.1 森林资源数据来源

本文森林资源数据主要来源于内蒙古森工森林资源二类调查数据(包括各类林地的面积、蓄积,森林资源相关的自然地理环境和生态环境因素等),包含天保工程实施前(1998年)后(2018年)的资源数据。森林生态连清数据集来源于内蒙古森工及周边森林生态站和若干辅助观测点的监测结果;每个林业局按照森林资源统计结果划分为落叶松、栎类、樟子松、白桦、桦木等树种(组)。以各树种(组)为基本单元,分别测算出各林业局的森林生态系统涵养水源和保育土壤功能,进而统计出整个内蒙古森工林区的水土保持生态系统服务功能价值,为相关林业生态经济建设的科学决策和自然资源的合理利用提供依据。

2.2 物质量转换价值量的社会公共数据来源

本文研究物质量转换为价值量时,运用的社会公共数据^[11-15]主要由我国权威机构发布,并参照内蒙古自治区物价局官方网站以及中国森林资源核算研究和全国第九次森林生态系统服务功能评估参数,主要数据如下。

(1)水库库容投资参照中华人民共和国审计署2013年第23号公告中三峡工程总投资,取值为6.89元/m³,贴现至2018年为7.42元/m³;水的净化费用根据大气降水中主要污染物浓度经过森林生态系统净化的浓度,并结合水污染物当量值和应税水污染税额计算得出,取值为0.72元/t。

(2)挖取土方费用参照内蒙古自治区《人工定额济建标字[2015]1号文》及《中华人民共和国水利部建筑工程预算定额》,取值为42.00元/m³。

(3)磷酸二胺含N量、磷酸二胺含P量、氯化钾含K量参照化肥产品说明,分别取14%、15.01%和50%。

(4)磷酸二胺化肥及氯化钾化肥价格参照内蒙古自治区市物价局官网,分别取值3 050元/t和2 350元/t;有机质价格参照中国供应商网,取值为855元/t。

2.3 指标的选取及计算公式

本文选取涵养水源和保育土壤为监测指标,依据“规范”采用分布式测算的方法^[12-13],将研究区域按照生态功能区、林业局、优势树种组和林龄组,

结合不同的立地条件进行对比观测,确定出相对均质化的生态服务测算单元(图 2)。

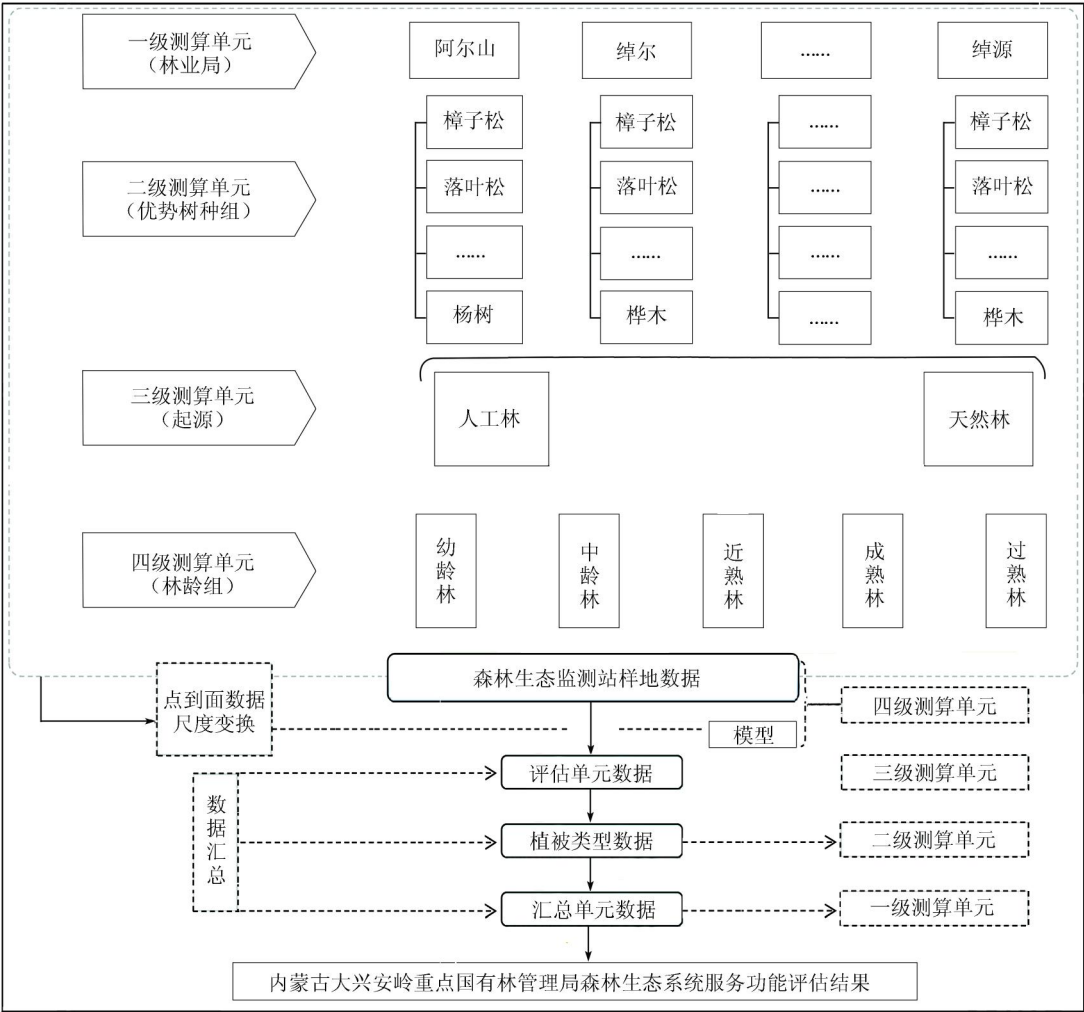


图 2 森林生态系统服务功能评估分布式测算方法

Fig. 2 Distributed estimation method of forest ecosystem service function evaluation

本次对天保工程实施前后涵养水源和保育土壤功能的生态效益进行了归一化研究,最终确定下来的相对均质化生态服务测算单元为 3 790 个。这一评估指标体系最大限度地考虑了研究区森林生态系统在时间和空间上的差异性。具体计算公式见表 1^[13-15]。

表 1 内蒙古森工水土保持评估指标体系及计算公式

Tab. 1 Evaluation index system and calculation formula of water and soil conservation in forest industry region of Inner Mongolia

生态功能	评估指标	计算公式	参数说明
涵养水源	调节水量价值	$G_{\text{调}} = 10A(P - E - R) F$ $U_{\text{调}} = 10C_{\text{库}}A(P - E - R) Fd$	$G_{\text{调}}$ 为调节水量,t/a; $U_{\text{调}}$ 为森林调节水量价值,元/a; $C_{\text{库}}$ 为水库库容造价,元/m ³ ; P 为降水量,mm/a; E 为蒸散量,mm/a; R 为地表径流量,mm/a; A 为林分面积, hm ² ; F 为森林生态功能修正系数; d 为贴现率
	净化水质价值	$G_{\text{调}} = 10A(P - E - R) F$ $U_{\text{水质}} = 10K_{\text{水}}A((P - E - R) Fd$	$G_{\text{调}}$ 为调节水量,t/a; $U_{\text{水质}}$ 为森林净化水质价值,元/a; $K_{\text{水}}$ 为居民用水平均价格,元/t; P 为降水量,mm/a; E 为蒸散量,mm/a; R 为地表径流量,mm/a; A 为林分面积, hm ² ; F 为森林生态功能修正系数; d 为贴现率

(续表)

生态功能	评估指标	计算公式	参数说明
保育土壤	固土价值	$G_{\text{固土}} = A(X_2 - X_1)F$ $U_{\text{固土}} = AC_{\text{库}}(X_2 - X_1)F \cdot \rho^{-1}d$	$G_{\text{固土}}$ 为实测年份固土量, t/a; $U_{\text{固土}}$ 为森林年固土价值, 元/a; X_1 为有林地土壤侵蚀模数, t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); X_2 为无林地土壤侵蚀模数, t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); A 为林分面积, hm^2 ; ρ 为土壤平均密度, t/ m^3 ; F 为森林生态功能修正系数; d 为贴现率
	保肥指标	$G_N = AN(X_2 - X_1)F$ $G_P = AP(X_2 - X_1)F$ $G_K = AK(X_2 - X_1)F$ $G_{\text{有机质}} = AM(X_2 - X_1)F$	G_N 、 G_P 、 G_K 和 $G_{\text{有机质}}$ 为森林生态系统固持土壤而减少的氮、磷、钾和有机质含量流失量, t/a; X_1 为有林地土壤侵蚀模数, t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); X_2 为无林地土壤侵蚀模数, t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); N 、 P 、 K 、 M 分别为森林生态系统土壤氮、磷、钾和有机质的平均含量, %; A 为林分面积, hm^2 ; F 为森林生态功能修正系数
	保肥价值	$U_{\text{肥}} = A(X_2 - X_1)(NC_1/R_1 + PC_1/R_2 + KC_2/R_3 + MC_3)Fd$	$U_{\text{肥}}$ 为实测年份保肥价值, 元/a; X_1 为有林地土壤侵蚀模数, t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); X_2 为无林地土壤侵蚀模数, t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); N 为土壤氮平均含量, %; P 为土壤磷平均含量, %; K 为土壤钾平均含量, %; M 为土壤有机质平均含量, %; R_1 为磷酸二胺含氮量, %; R_2 为磷酸二胺磷含量, %; R_3 为氯化钾钾含量, %; C_1 为磷酸二胺平均价格, 元/t; C_2 为氯化钾平均价格, 元/t; C_3 为有机质平均价格, 元/t; F 为森林生态功能修正系数; d 为贴现率

3 结果与分析

3.1 内蒙古森工涵养水源和保育土壤功能物质质量测算结果

内蒙古森工森林生态系统涵养水源和保育土壤功能物质质量见表 2。

内蒙古森工森林生态系统年涵养水源量为 139.56 亿 m^3 (1998 年)和 170.96 亿 m^3 (2018 年); 2 期涵养水源功能最高的 3 个林业局为根河、莫尔道嘎和乌尔旗汉,分别占总量的 18.84% (1998 年)和 18.12 % (2018 年)。

1998 年和 2018 年固土量分别为 24 833.42 万 t/a 和 33 226.19 万 t/a; 年固氮量分别为 56.04 万 t/a 和 72.25 万 t/a; 20 a 间,内蒙古森工各林业局森林生态系固土和固氮总量分别增加 8 392.77 万 t 和 16.21 万 t,增幅分别为 33.79 % 和 28.93 %; 2 期固土量和固氮量最高的 3 个林业局为根河、莫尔道嘎和乌尔旗汉。1998 年和 2018 年,固磷量分别为

18.50 万 t/a 和 24.11 万 t/a; 固钾量分别为 467.72 万 t/a 和 640.86 万 t/a; 固有机质量分别为 1 111.87 万 t/a 和 1 262.95 万 t/a; 固磷量、固钾量和固定有机质量均有不同程度的增加; 总物质量分别增加了 5.61 万 t、173.14 万 t 和 151.08 万 t,增幅分别为 30.32 %、37.02 % 和 13.59 %; 1998 年固磷量、固钾量和固定有机质量最高的 3 个林业局为根河、莫尔道嘎和乌尔旗汉; 2018 年固磷量最高的 3 个林业局是根河、金河、莫尔道嘎和乌尔旗汉(并列), 固钾量最高的 3 个林业局是根河、金河和莫尔道嘎,固定有机质量最高的 3 个林业局是根河、莫尔道嘎和乌尔旗汉。

结果显示,内蒙古森工森林生态系统固土作用较强,在减少水土流失方面发挥着重要的作用。主要原因除了这几个地区森林面积较大之外,还有植被丰富、森林质量相对较高、森林植被能够有效地减轻土壤侵蚀并降低对环境的破坏作用等因素,从而维护并提高了森林生态系统的生态效益,促进了区域社会稳定发展以及社会经济的发展。

表 2 内蒙古森工涵养水源和保育土壤功能物质质量

Tab.2 Amount of substance of soil and water conversation of forest industry region in Inner Mongolia

林业局	$G_{\text{调水}}/$ ($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)		保育土壤/($\text{万 t} \cdot \text{a}^{-1}$)									
			$G_{\text{固土}}$		$G_{\text{固N}}$		$G_{\text{固P}}$		$G_{\text{固K}}$		$G_{\text{固有机质}}$	
	1998	2018	1998	2018	1998	2018	1998	2018	1998	2018	1998	2018
阿尔山	6.52	7.42	1 234.25	1 563.54	2.24	2.93	0.83	0.98	22.76	28.34	51.27	58.24
绰尔	5.81	7.16	1 062.23	1 382.63	2.42	3.04	0.79	1.02	20.03	25.24	47.64	51.36
绰源	4.32	5.24	768.73	1 008.05	1.75	2.13	0.57	0.73	14.50	17.84	34.48	37.98
乌尔旗汉	8.09	9.88	1 437.89	1 853.34	3.27	3.91	1.07	1.39	27.12	35.57	64.49	71.58
库都尔	7.29	8.46	1 293.04	1 657.83	2.95	3.70	0.97	1.23	24.43	31.24	58.08	62.45
图里河	5.25	6.39	935.79	1 231.27	2.12	2.61	0.70	0.86	17.58	22.75	41.81	46.11
伊图里河	2.26	2.64	402.77	519.76	0.92	1.07	0.30	0.38	7.60	10.27	18.06	20.29
克一河	3.36	4.16	596.12	748.97	1.36	1.68	0.45	0.53	11.24	15.43	26.74	29.31
甘河	5.51	6.47	979.16	1 227.58	2.23	2.72	0.73	0.89	18.47	23.45	43.91	50.48
吉文	5.29	6.44	942.48	1 235.41	2.14	2.46	0.70	0.86	17.71	25.04	42.11	45.99
阿里河	6.57	7.95	1 164.98	1 542.82	2.65	3.35	0.87	1.01	21.97	28.84	52.25	58.67
根河	9.21	11.36	1 636.68	2 193.74	3.72	4.82	1.22	1.67	30.86	44.68	73.38	84.55
金河	7.73	9.45	1 373.15	1 837.49	3.12	4.09	1.03	1.42	25.90	38.17	61.59	69.76
阿龙山	5.72	7.08	1 020.73	1 338.79	2.32	2.93	0.76	0.97	19.25	24.36	45.78	51.08
满归	6.29	7.59	1 117.70	1 460.57	2.54	3.19	0.84	1.09	21.08	27.68	50.13	57.02
得耳布尔	3.84	4.36	684.78	906.87	1.56	1.98	0.51	0.64	12.92	17.54	30.71	33.24
莫尔道嘎	9.00	9.74	1 511.83	1 696.81	3.55	4.09	1.17	1.39	28.37	37.49	72.29	76.61
大杨树	6.92	7.12	1 233.87	1 627.49	2.81	3.57	0.92	1.15	23.30	29.03	55.39	60.28
毕拉河	5.42	6.63	971.18	1 286.17	2.21	3.01	0.73	0.95	18.32	25.13	41.33	49.45
北大河	6.32	7.73	1 122.74	1 486.83	2.55	3.19	0.84	1.08	21.18	26.11	50.35	54.68
乌玛	5.93	7.21	1 053.40	1 395.06	2.40	3.05	0.79	0.97	19.87	26.89	47.24	51.09
永安山	4.49	5.31	796.59	1 055.27	1.81	2.27	0.60	0.73	15.05	21.17	35.78	36.55
奇乾	4.52	5.36	802.27	1 064.82	1.83	2.31	0.60	0.74	15.17	21.68	36.06	37.88
诺敏经营所	2.21	2.69	392.12	522.85	0.89	1.14	0.29	0.37	7.40	10.02	17.59	18.47
汗马	1.69	2.04	298.94	395.90	0.68	0.86	0.22	0.27	5.64	7.68	13.41	15.03
额尔古纳		2.34		453.35		0.99		0.34		8.88		17.21
吉林拉林		1.89		366.70		0.81		0.29		7.11		11.28
杜博威		0.85		166.28		0.35		0.16		3.23		6.31
总计	139.56	170.96	24 833.42	33 226.19	56.04	72.25	18.50	24.11	467.72	640.86	1 111.87	1 262.95

注： $G_{\text{调}}$ 为涵养水源， $10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ； $G_{\text{固土}}$ 为固土物质量， 10^4 t/a ； $G_{\text{固N}}$ 为固氮物质量， 10^4 t/a ； $G_{\text{固P}}$ 为固磷物质量， 10^4 t/a ； $G_{\text{固K}}$ 为固钾物质量， 10^4 t/a ； $G_{\text{固有机质}}$ 为固有机质物质量， 10^4 t/a ；空白处表示未测值。

3.2 内蒙古森工涵养水源和保育土壤功能物质空间格局特征

1998 年和 2018 年,内蒙古森工森林生态系统涵养水源物质量分别为 1.69 亿~9.21 亿 m^3 和 0.85 亿~11.36 亿 m^3 ,固土量分别为 298.94 万~1 636.68 万 t/a 和 166.28 万~2 193.74 万 t/a ,森林固氮量分别为 0.68 万~3.72 万 t/a 和 0.35 万~4.82 万 t/a ,森林固磷量分别为 0.22 万~1.22 万 t/a 和 0.16 万~1.67 万 t/a ,森林固钾量分别为 5.64 万~30.86 万 t/a 和 3.23 万~44.68 万 t/a ,森林固有机

质量分别为 13.41 万~73.38 万 t/a 和 6.31 万~84.55 万 t/a 。

内蒙古森工森林生态系统涵养水源、固土量、固氮量、固磷量、固钾量和固有机质量在各林业局空间分布上均呈中部>南部>北部(图 3)的趋势。根河、金河和乌尔旗汉的森林生态系统的涵养水源、固土量、固氮量、固磷量、固钾量和固有机质量均位于前 3 位,而额尔古纳、汗马和伊图里河 3 个林业局的森林生态系统各物质量则均列后 3 位。

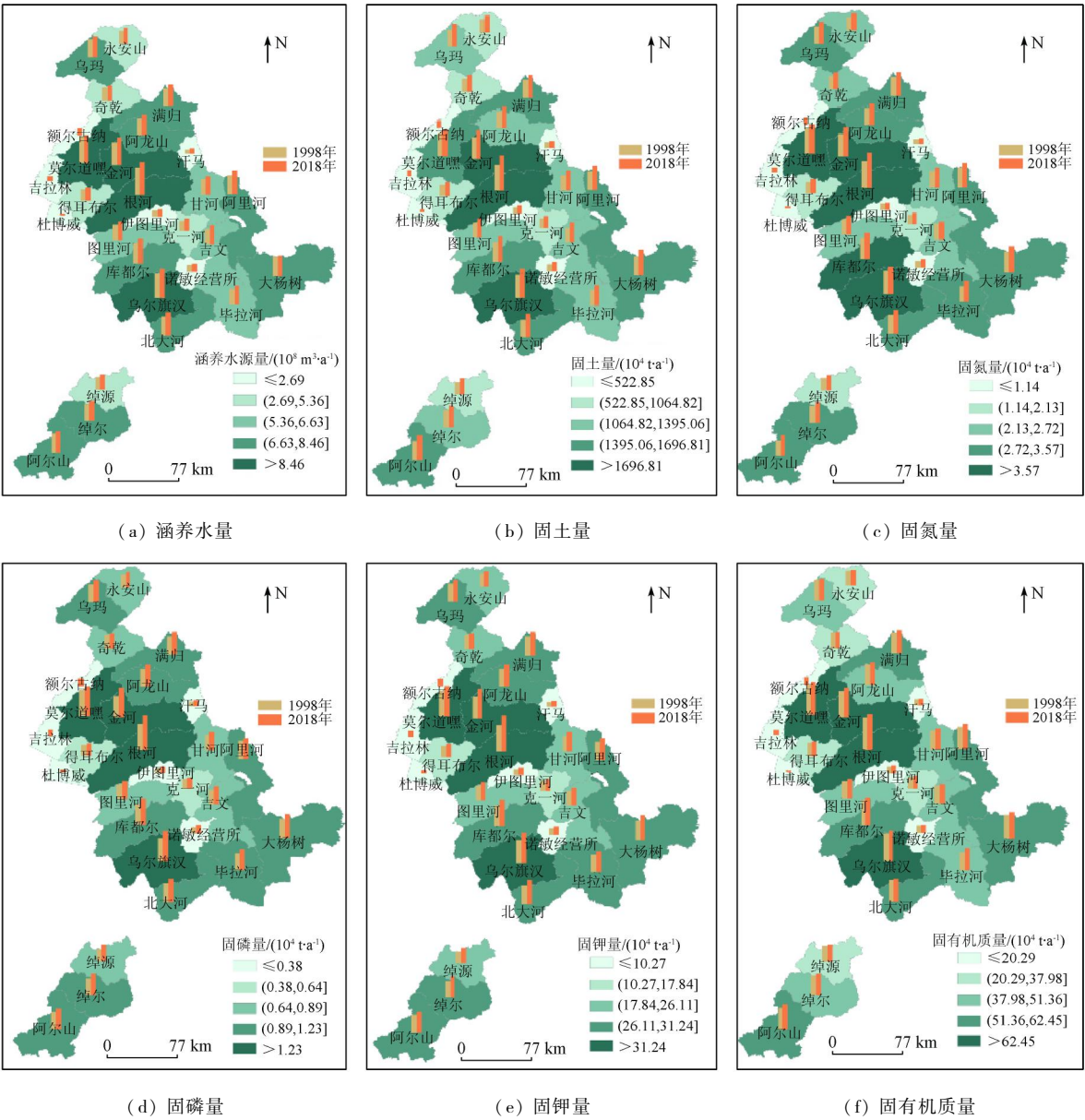


图3 涵养水源与保育土壤物质质量空间分布格局

Fig. 3 Spatial distribution for water and soil conservation for different bureaus

3.3 内蒙古森工涵养水源和保育土壤功能价值量测算结果

依据图3和表3的测算结果,1998年和2018年,内蒙古森工各林业局森林生态系统涵养水源功能的价值量分别为950.16亿元和1341.32亿元,保育土壤功能的总价值量分别为563.49亿元和760.11亿元。其中固土价值量为165.66亿元和225.16亿元,固氮价值量为120.15亿元和157.29亿元,固磷价值量为37.01亿元和48.95亿元,固钾价值量为216.47亿元和300.82亿元,固有机质价值量为24.19亿元和27.90亿元。20a间,

内蒙古森工各林业局涵养水源总价值量和保育土壤总价值量及各项分价值量均有不同程度的增加。

与1998年相比,2018年涵养水源总价值量增长了391.16亿元,增幅为29.16%;经分析,1998年和2018年涵养水源功能价值量最高的4个林业局均为根河、莫尔道嘎、金河和乌尔旗汉,占全局涵养水源总价值量分别为23.65%和24.38%。1998年涵养水源价值量最低的3个林业局为汗马、诺敏森林经营所和伊图里河,共占总价值量的4.41%;2018年价值量最低的3个林业局为汗马、额尔古纳

和伊图里河,共占总价值量的 4.11% (杜博威、吉拉林林业局除外,因为其 2018 年已划归为地方林业局)。与 1998 年相比,2018 年保育土壤总价值量增加了 196.62 亿元,增幅 25.87%,其中增加量最多的林业局是根河林业局,增加 13.13 亿元,增幅为 26.42%。

表 3 内蒙古森工涵养水源和保育土壤功能价值量
Tab.3 Values of water and soil conversation in forest industry region of Inner Mongolia

林业局	$U_{\text{调水}}$ / (亿元)		保育土壤/(亿元)											
			$U_{\text{固土}}$		$U_{\text{固N}}$		$U_{\text{固P}}$		$U_{\text{固K}}$		$U_{\text{固有机质}}$		$U_{\text{总}}$	
	1998	2018	1998	2018	1998	2018	1998	2018	1998	2018	1998	2018	1998	2018
阿尔山	44.39	58.21	8.72	11.26	5.09	6.79	1.76	2.12	11.15	14.16	1.18	1.37	27.89	35.69
绰尔	39.56	56.17	7.07	9.52	5.18	6.73	1.58	2.11	9.25	12.06	1.03	1.15	24.10	31.57
绰源	29.41	41.11	5.12	7.09	3.75	4.82	1.14	1.54	6.69	8.70	0.75	0.87	17.44	23.02
乌尔旗汉	55.08	77.52	9.57	12.62	7.00	8.56	2.14	2.84	12.52	16.81	1.40	1.59	32.62	42.42
库都尔	49.63	66.37	8.59	11.24	6.30	8.07	1.93	2.50	11.26	14.70	1.26	1.38	29.34	37.90
图里河	35.74	50.13	6.24	8.54	4.55	5.82	1.40	1.79	8.13	10.94	0.91	1.04	21.23	28.13
伊图里河	15.39	20.71	2.68	3.52	1.97	2.33	0.60	0.77	3.50	4.83	0.39	0.45	9.14	11.91
克一河	22.88	32.64	3.96	4.92	2.91	3.55	0.90	1.04	5.18	7.03	0.58	0.63	13.53	17.17
甘河	37.51	50.76	6.51	8.31	4.77	5.92	1.46	1.81	8.52	11.01	0.95	1.11	22.22	28.16
吉文	36.02	50.53	6.28	8.37	4.59	5.36	1.40	1.75	8.19	11.77	0.92	1.02	21.38	28.26
阿里河	44.73	62.37	7.75	10.64	5.67	7.43	1.74	2.09	10.14	13.80	1.13	1.32	26.43	35.27
根河	62.70	89.13	10.89	14.47	7.96	10.22	2.44	3.30	14.25	20.45	1.59	1.82	37.13	50.26
金河	52.63	74.14	9.13	11.98	6.67	8.58	2.06	2.78	11.95	17.27	1.34	1.48	31.15	42.10
阿龙山	38.94	55.55	6.79	9.25	4.97	6.51	1.52	2.01	8.89	11.68	0.99	1.15	23.16	30.60
满归	42.82	59.55	7.43	9.93	5.43	6.97	1.68	2.22	9.73	13.05	1.09	1.26	25.36	33.44
得耳布尔	26.14	34.21	4.55	6.14	3.34	4.31	1.02	1.30	5.96	8.24	0.67	0.73	15.54	20.72
莫尔道嘎	61.27	76.42	9.98	10.59	7.54	8.21	2.32	2.60	13.00	16.23	1.56	1.56	34.40	39.19
大杨树	47.11	55.86	8.20	11.34	6.01	8.00	1.83	2.40	10.75	14.03	1.20	1.37	28.00	37.15
毕拉河	36.90	52.04	6.46	8.52	4.73	6.41	1.46	1.89	8.45	11.55	0.90	1.07	21.99	29.45
北大河	43.03	60.65	7.47	10.45	5.46	7.21	1.68	2.28	9.78	12.73	1.09	1.25	25.47	33.92
乌玛	40.37	56.57	7.00	9.46	5.13	6.65	1.58	1.97	9.17	12.65	1.02	1.13	23.90	31.87
永安山	30.57	41.66	5.29	7.07	3.87	4.89	1.20	1.47	6.94	9.85	0.78	0.80	18.08	24.08
奇乾	30.78	42.05	5.33	7.08	3.91	4.94	1.20	1.48	6.99	10.01	0.78	0.82	18.20	24.33
诺敏经营所	15.05	21.10	2.61	3.55	1.91	2.49	0.58	0.75	3.42	4.72	0.38	0.41	8.90	11.93
汗马	11.51	16.01	2.02	2.69	1.48	1.88	0.45	0.55	2.65	3.61	0.30	0.33	6.90	9.06
额尔古纳		18.36		3.04		2.14		0.68		4.13		0.38		10.37
吉拉林		14.83		2.46		1.74		0.58		3.30		0.25		8.33
杜博威		6.68		1.11		0.75		0.32		1.49		0.14		3.80
总计	950.16	1 341.32	165.66	225.16	120.15	157.29	37.01	48.95	216.47	300.82	24.19	27.90	563.49	760.11

注： $U_{\text{调水}}$ 为涵养水源价值量； $U_{\text{固土}}$ 为固土价值量； U_{N} 为固氮价值量； U_{P} 为固磷价值量； U_{K} 为固钾价值量； $U_{\text{有机质}}$ 为固有机质价值量； $U_{\text{总}}$ 为保育土壤总价值量；空白处表示未测值。

3.4 内蒙古森工涵养水源和保育土壤功能价值量
空间格局特征

在内蒙古森工涵养水源和保育土壤功能价值量中,1998 年根河林业局最高为 37.13 亿元,其次是莫尔道嘎林业局 34.40 亿元,年森林生态系统水土保持功能价值最低为汗马林业局 6.9 亿元。2018 年根河林业局最高,为 50.26 亿元,其次是乌尔旗汉林业局 42.42 亿元,年森林生态系统水土保持功能价值最低为汗马林业局 9.06 亿元。1998 年,额尔古纳林业局隶属于莫尔道嘎林业局,因此 1998

年莫尔道嘎林业局所产生的生态效益价值较高。

从图 4 中可以分析得出,内蒙古森工森林生态系统涵养水源、固土量、固氮量、固磷量、固钾量和固定有机质价值量在各林业局的空间分布上总体趋势均为中部→南部→北部依次降低。根河、金河、乌尔旗汉的森林生态系统的涵养水源、固土量、固氮量、固磷量、固钾量和固定有机质功能价值量均分别位列于前 3 位,而额尔古纳、汗马和伊图里河 3 个林业局的森林生态系统各项服务物质质量则均分别列后 3 位。

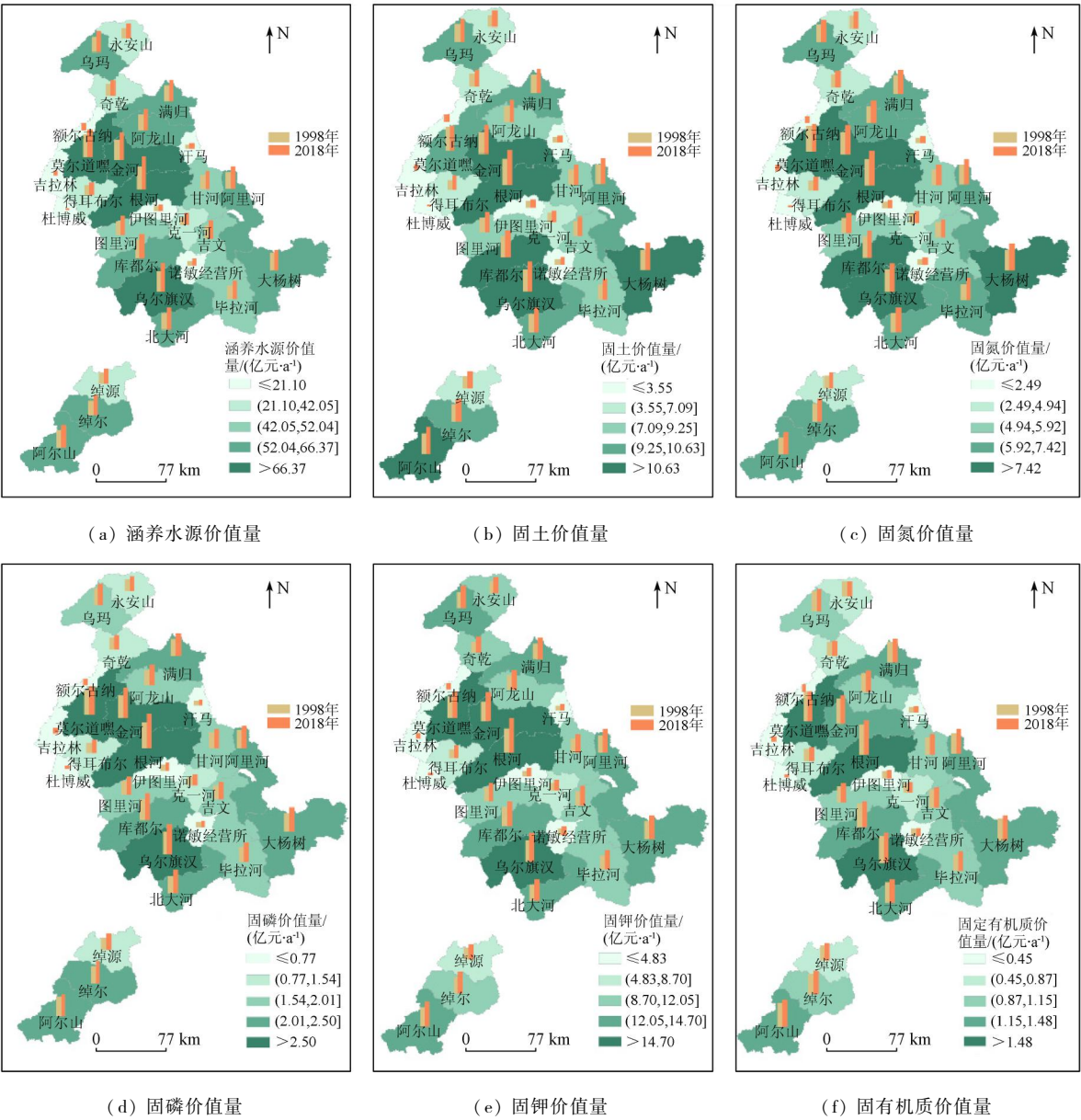


图4 涵养水源与保育土壤价值量空间分布格局

Fig. 4 Spatial distribution of values of water and soil conservation for different bureaus

4 讨论

内蒙古森工森林生态系统涵养水源和保育土壤功能的空间格局与内蒙古森工各局森林资源自身的属性和所处地理位置有直接关系。

4.1 与林业政策有关

政策措施是森林发展和经营的指引,良好的政策支持能够为林业发展及经营管理提供标准和方向。

4.1.1 停伐减产政策

2000年12月1日,国家林业局、国家纪委、财政部、劳动和社会保障部同时印发了《东北、内蒙古等重点国有林区天然林资源保护工程实施方案》,对内蒙古等重点国有林区实施停伐减产政策^[16]。该政策可直接减少大量森林资源的消耗,保证天然林在自然状态下正常生长^[17];同时,可增加林下覆盖物的厚度、地表粗糙度、入渗强度以及延长径流入渗时间;同时,通过改善地下部分土壤物理化学性质,最终实现对水源的涵养功能,从而产生巨大的生态价值。

4.1.2 森林抚育政策

2009 年 5 月,国家林业局发布《森林抚育规程(GB/T 15781—2009)》。在“十一五”期间,内蒙古森工累计完成森林抚育 701.17 万 hm^2 ,依据“规范”计算得出其涵养水源物质量为 31.04 亿 m^3 ,保育土壤物质量为 229.35 万 t。内蒙古森工天保工程 2 期森林抚育面积累计 152 万 hm^2 ,其中包括人工造林 6.67 万 hm^2 ,补植补造 52.67 万 hm^2 ,依据“规范”计算,森林抚育创造总价值为 894.03 亿元,其中,涵养水源和保育土壤功能所产生的生态价值分别为 219.22 亿元和 124.23 亿元。森林抚育可加快林木生长,改善天保工程区的生态环境,有利于加速土壤养分循环,改善土壤结构,发挥涵养水源和固土保肥能力的功效^[17]。实施森林抚育政策是天然林质量提高和生态功能快速修复的重要保障。

4.1.3 森林管护政策

天保工程一期,森林防火通过理念创新,使森林火灾发生率、森林受害面积和蓄积量环比下降 70%。天保工程二期,内蒙古森工的森林管护面积 966.49 万 hm^2 ,森林护理费 72.49 亿元。2018 年内蒙古森工林区涵养水源和保育土壤功能产生的生态价值为 2 101.43 亿元,是森林管护费的 28.99 倍。该制度的建立能够防治人畜破坏天然林资源,完善森林管护体系,是保障天保工程森林生态价值充分发挥的重要举措。

4.2 与社会经济因素有关

人口数量、密度以及社会经济的发展水平是制约森林资源消长的重要因素。农民收入水平提高,会减少农民的生存压力,从而降低了毁林开荒的可能性,同时减弱了农民对森林资源的过度依赖性,大大地缓解了森林资源的压力。

4.2.1 富余职工安置

内蒙古森工林区全力推进了绿色种苗、林特产品、碳汇基地、森林旅游等项目,解决了富余职工的工作问题^[18]。通过天保工程的实施,在岗职工工资由 3 906 元(1997 年)提高到 17 873 元(2010 年);2015 年,内蒙古森工又设定了职工人均工资达到 4 万元的新指标。按照 4 万元标准计算,2018 年产生的生态价值是 525 万人的工资,可使富余职工得到安置,居民收入稳步提升,可促使内蒙古森工经济实力显著增强。

4.2.2 科技发展水平

天保工程的实施提高了林下经济发展的科技化水平,促进了内蒙古森工林区经济转型。如野生榛子驯化及繁育技术解决了丹迪榛子平茬、栽植密度、施肥及花期防寒问题^[19],为榛子研究提出新思路,提升了经济林产业科技创新力度。科技发展水平的提高,可提高科技成果的转化率,不仅可以促进职工增收致富,还可以为林区可持续发展贡献科技力量,进而提高了林区森林生态系统的生态价值。

4.3 与自然环境因素有关

自然环境因素是森林生长的基础,良好的自然环境可以有效促进森林群落植被的生长、能量流动及养分循环,从而增加其生态效益,恶劣的自然生态环境会限制森林群落植被的生长,严重的自然灾害环境甚至会摧毁林分,从而减少其生态效益。

4.3.1 降水量对森林生态系统生态效益的影响

平均降水量是影响内蒙古森工林区森林生态效益的主要驱动因素。在额尔古纳市境内,东部和北部林区降水较多,西南、南部地区偏少,结合森林生态价值量结果,单位面积产生的生态价值由东北部向西南部呈现递减的趋势;在根河市境内年平均降水量为 437.4 mm,由于降水量在地区上分布不均匀,从上游到下游递减,结合森林生态价值量核算结果对比发现根河市境内生态价值量也呈自东北向西南递减的趋势,降雨量作为参数被用于森林涵养水源的计算,与涵养水源生态效益呈正相关关系^[20]。另一方面,降水量的大小还会影响生物量的高低,进而影响到水土保持功能^[21]。

4.3.2 气候条件对森林生态系统生态效益的影响

由于独特的气候条件和地貌特征,大兴安岭东南坡夏季受海洋季风影响,雨水较多,西北坡较干旱,成为森林与草原的分界线^[22]。结合生态效益的核算结果得出在内蒙古森工林区各林业局单位面积森林生态效益的变化趋势也是东南坡高于西北坡。相关研究发现,在湿度和温度均较低时,土壤呼吸速率会减慢。水热条件通过影响林木生长,进而对森林生态系统服务功能产生影响,在一定范围内,温度越高,林木生长越快,则其生态系统服务也越强^[23]。主要原因有 2 个:①温度越高,植物的蒸腾速率也就越大,体内就会积累更多的养分元素,进而增加生物量的积累;②在温度高且水分充足的前提下,蒸腾速率加快,而此时植物叶片气孔

处于完全打开的状态,这样就会增强植物的呼吸作用,为光合作用提供充足的二氧化碳,温度可以通过控制叶片中淀粉的降解和运转以及糖分与蛋白质之间的转化,进而起到控制叶片光合速率的作用^[24-25]。

5 结论

本文依托森林生态定位观测研究站,依据“规范”,结合内蒙古森工森林资源二类调查数据和国家权威部门公布的社会公共数据,从涵养水源、保育土壤2项生态服务功能对内蒙古森工森林生态系统水土保持功能空间格局进行研究,主要得出以下结论。

(1)内蒙古森工水土保持功能总价值为1 513.65亿元(1998年)和2 101.43亿元(2018年);1998年和2018年各项服务功能价值量大小顺序均表现为涵养水源→固钾→固土→固氧→固磷→固有机质,表明内蒙古森工森林生态系统水土保持功能主要以涵养水源为主。

(2)内蒙古森工森林生态系统服务功能空间格局存在异质性,森林生态服务功能较弱的林业局应抓住内蒙古森工生态建设政策实施的契机,努力提升自身生态服务功能,进而使得内蒙古森工各局森林生态系统服务功能相协调。

(3)基于内蒙古森工涵养水源和保育土壤功能现有的时间和空间分布格局,并结合内蒙古森工的森林资源,认为在今后的森林生态建设中应加强林业政策的贯彻,扩大适生乡土树种的覆盖面积,以增强水土保持功能;同时在一些平原区适宜种植经济林树种,不仅可以提高森林生态系统水土保持功能,也可以相应地增加当地农民的经济收入。

综上所述,天保工程的实施可影响内蒙古森工水土保持功能的时空格局变化。研究结果能够为内蒙古森工生态建设和林业政策的制定提供理论依据,使得森林生态系统发挥更大的生态效益。

参考文献(References):

[1] 崔秋华,黄传响,孙永玉.天然林保护工程的成效及对策研究[J].四川林业科技,2019,40(2):19-22.
Cui Q H,Huang C X,Sun Y Y. Researches on the effectiveness and countermeasure of natural forest protection project[J]. J Sichuan For Sci Technol,2019,40(2):19-22.

[2] 曾雪梅.天保工程对于加强生态建设的重要作用[J].农技服务,2016,33(9):158,138.
Zeng X M. The importance of natural forest protection project for strengthening ecological construction [J]. Agric Technol Serv, 2016,33(9):158,138.

[3] 韩文艳,陈兴鹏,张子龙.基于POET模型的重庆市水资源利用影响因素分析[J].生态学杂志,2018,37(3):929-936.
Han W Y,Chen X P,Zhang Z L. Assessment for factors affecting urban water resource utilization in Chongqing based on POET model[J]. Chin J Ecol,2018,37(3):929-936.

[4] 宋庆丰,王兵,牛香.吉林省森林生态系统涵养水源功能时空变化特征[J].北京大学学报(自然科学版),2019,20(4):524-529.
Song Q F,Wang B,Niu X. Temporal and spatial patterns of water conservation function of forest ecosystem in Jilin province [J]. J Beihua Univ (Nat Sci),2019,20(4):524-529.

[5] 李巍.大兴安岭地区土壤侵蚀动态研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2014.
Li W. Dynamic study of soil erosion in Greater Khingan forest [D]. Harbin:Northeast Forestry University,2014.

[6] 张小峰,许全喜,裴莹.流域产流产沙BP网络预报模型的初步研究[J].水科学进展,2001,12(1):17-22.
Zhang X F,Xu Q X,Pei Y. Preliminary research on the BP networks forecasting model of watershed runoff and sediment yielding[J]. Adv Water Sci,2001,12(1):17-22.

[7] 屈红军,朱颖,张忠林,等.我国天然林保护工程一期实施效果概述[J].林业科技开发,2012,26(6):5-8.
Qu H J,Zhu Y,Zhang Z L,et al. Summary of implementation effect of the first phase of natural forest protection project in China[J]. China For Sci Technol,2012,26(6):5-8.

[8] 董素梅.内蒙古大兴安岭林区生态旅游可持续发展探讨[J].内蒙古林业调查设计,2014,37(5):85-86.
Dong S M. Discussion on sustainable development of ecotourism in Daxing'anling forest region of Inner Mongolia [J]. Inner Mongolia For Invest Des,2014,37(5):85-86.

[9] 赵博生,连俊文.内蒙古大兴安岭大型经济真菌研究[C]//2003年内蒙古自治区自然科学学术年会论文集.呼和浩特:内蒙古自治区科学技术学会,2003:76-77.
Zhao B S,Lian J W. Study on macroeconomic fungi in Daxing'anling, Inner Mongolia [C]//Proceeding of Inner Mongolia Science and Technology Conference. Hohhot: Inner Mongolia Society of Science and Technology,2003:76-77.

[10] 王华.亚热带区域几种典型人工林生态系统服务功能研究[D].长沙:湖南农业大学,2007.
Wang H. Ecosystem services of several typical plantation forest ecosystems in subtropical region [D]. Changsha: Hunan Agricultural University,2007.

[11] 国家林业局.2014退耕还林工程生态效益监测国家报告[M].北京:中国林业出版社,2015.
State Forestry Bureau. National report on monitoring ecological benefits of grain for green project [M]. Beijing: China Forestry

- Publishing House, 2015.
- [12] "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.
- China Forest Resources Accounting Research Project Team. China's forest resources accounting in the context of ecocivilization institutional development [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2015.
- [13] 周鸿升, 敖安强, 李保玉, 等. 退耕还林工程重点监测省份生态效益评估[J]. 林业经济, 2014, 36(5): 37–41.
- Zhou H S, Ao A Q, Li B Y, et al. Evaluation of ecological effects of the project of conversion of cropland to forestland [J]. For Econ, 2014, 36(5): 37–41.
- [14] "中国森林生态服务功能评估"项目组. 中国森林生态服务功能评估[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- Project Team of Assessment of Forest Ecological Services in China. Assessment of forest ecological services in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2010.
- [15] 宋庆丰, 王雪松, 王晓燕, 等. 基于生物量的森林生态功能修正系数的应用——以辽宁省退耕还林工程为例[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(3): 111–116.
- Song Q F, Wang X S, Wang X Y, et al. Application of forest ecological function correction coefficient based on biomass: a case study of conversion of cropland to forest in Liaoning province [J]. Sci Soil Water Conserv, 2015, 13(3): 111–116.
- [16] 李京华. 内蒙古国有林区贫困问题研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- Li J H. Research on the poverty problem of state-owned forest region in Inner Mongolia [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016.
- [17] 黄龙生, 王兵, 牛香, 等. 大兴安岭林业集团天然林资源保护工程生态产能价值分析[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(1): 141–148.
- Huang L S, Wang B, Niu X, et al. Evaluation of eco-production value from Natural Forest Protection Program in Da Hinggan Mountains Forestry Group [J]. Sci Soil Water Conserv, 2018, 16(1): 141–148.
- [18] 张子彬. 林业发展短期靠政策, 长远靠市场[J]. 绿色环保建材, 2015(3): 84–85.
- Zhang Z B. Forestry development rely on policies in the short term and markets in the long term [J]. Green Environ Prot Build Mater, 2015(3): 84–85.
- [19] 杨祥伟, 张本明. 内蒙古森工集团经济转型发展中存在的问题及建议[J]. 内蒙古金融研究, 2014(5): 27–29.
- Yang X W, Zhang B M. The problems and suggestions in the economic transformation and development of Inner Mongolia Forest Industry Group [J]. Inner Mongolia Financ Res, 2014(5): 27–29.
- [20] 宋庆丰. 中国近 40 年森林资源变迁动态对生态功能的影响研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015.
- Song Q F. Study on impact of forest resource dynamic change on forest ecological function in recent 40 years in China [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2015.
- [21] 牛香, 王兵. 基于分布式测算方法的福建省森林生态系统服务功能评估[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(2): 36–43.
- Niu X, Wang B. Evaluation on forest ecosystem services in Fujian Province based on distributions measurement methodology [J]. Sci Soil Water Conserv, 2012, 10(2): 36–43.
- [22] 冯瑞, 曹允庚. 黑龙江省大兴安岭地区土地资源合理利用与区域经济发展研究[J]. 绥化学院学报, 2009, 29(2): 25–27.
- Feng R, Cao Y G. Research on rational utilization of land resources and regional economic development in Daxing'anling region of Heilongjiang province [J]. J Suihua Univ, 2009, 29(2): 25–27.
- [23] 丛日征. 陕西省森林生态系统治污减霾功能及其价值评估[D]. 保定: 河北农业大学, 2017.
- Cong R Z. Function and value evaluation of pollution abatement and haze reduction of forest ecosystem in Shaanxi [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2017.
- [24] 金爱武, 郑炳松, 陶金星, 等. 雷竹光合速率日变化及其影响因子[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(3): 271–275.
- Jin A W, Zheng B S, Tao J X, et al. Diurnal change of photosynthetic speed and its influential factors on Lei bamboo [J]. J Zhejiang For Coll, 2000, 17(3): 271–275.
- [25] 佟艳, 樊良新, 曹连海. 渭河流域水环境问题辨识[J]. 中国资源综合利用, 2012, 30(7): 43–45.
- Tong Y, Fan L X, Cao L H. Identification of water environment in Wei River Basin [J]. China Resour Compr Util, 2012, 30(7): 43–45.

Impact of NFCP on water and soil conservation of forest ecosystem: A case study of forest industry region in Inner Mongolia

LIU Run^{1,2}, NIU Xiang^{1,2}, WANG Bing^{1,2}

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China; 2. Dagangshan National Key Field Observation and Research Station for Forest Ecosystem, Jiangxi Xinyu 336600, China)

Abstract: In order to intuitively reflect the impact of the Nature Forest Conservation Project (NFCP) on the con-

servation of water and soil function in forest ecosystems and present the ecological benefit , according to the assessment standards of the People ’ s Republic of China (GB/T 38582 – 2020 Specifications for assessment of forest ecosystem service in China) , the researchers in this paper have taken the key state – owned forest districts in Inner Mongolia Area of China as examples to quantitatively analyze the conservation of water and soil function in forest ecosystems of two stages , including Before NFCP (1988) and After NFCP (2018) . The results show that the forest ecosystem in key state – owned forest districts in Inner Mongolia Area of China has an annual value of 950.16×10^8 yuan in 1998 and $1\,341.32 \times 10^8$ yuan in 2018 for water conversation , 563.49×10^8 yuan in 1998 and 760.11×10^8 yuan in 2018 for soil conversation . The top three forest bureaus with highest values of forest water conversation before and after NFCP are Genhe , Moerdaoga and Wuerqihan , while the top three forest bureaus with highest values of soil conversation are Genhe , Wuerqihan and Jinhe . The spatial pattern distribution of these two conversation values generally decreased from middle and northern parts to southern part .

Keywords: nature forest conservation project ; forest industry region in Inner Mongolia ; water and soil conservation ; spatial pattern

(责任编辑: 常艳)