doi:10.13866/j.azr.2014.05.14

新疆布尔津林场天然林生态系统服务功能评估①

黄继红[1]， 路兴慧[1]， 郭仲军[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局森林生态环境重点实验室，北京 100091；
2.新疆林业科学院森林生态研究所，新疆 乌鲁木齐 830000）

摘 要：采用涵养水源、保育土壤、固碳释氧、积累营养物质、净化大气环境和生物多样性保护6项功能9个指标，以2009年布尔津林场二类调查数据为基础，评估新疆布尔津林场生态系统服务功能价值。结果表明：新疆布尔津林场天然林生态系统服务价值为1.07×10^{10}元。从不同生态系统服务功能项看，生物多样性保护功能价值量最大，占布尔津林场天然林生态系统服务总价值的43.42%；从不同林分类型看，灌木林生态系统服务功能价值为5.57×10^{9}元，占总价值的52.09%。这说明布尔津林场在生物多样性保护方面发挥着巨大的作用，而且灌木林在布尔津林场天然林生态系统中具有重要的作用。

关键词：天然林；生态效益；森林生态系统；生态系统服务；可持续发展；布尔津；新疆

生态系统服务是指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[1-2]，是人类生存和发展的物质基础和基本条件，是人类所拥有的关键自然资本[3]。生态系统服务不仅为人类提供各种商品，同时在维持生命支持系统和环境动态平衡方面起着不可替代的重要作用[4]。研究表明，区域生态系统服务价值的研究是构建区域绿色GDP经济核算体系的基础，也是实施区域生态补偿的前提，对生态系统的保护和人类自身的可持续发展具有积极的意义[5]。

对森林生态系统价值评估国内外有多种方法[2,6]，但目前尚无统一标准，不同学者对不同区域评估的结果偏差很大[7-9]。国外学者如Westma[10]、Holdren等[11]、Ehrlich等[12]、Daily[1]，国内学者如李文华等[4]、欧阳志云等[13]、赵景柱等[14]，特别是Costanza等[15]对生态系统服务价值评估研究产生了深远影响。近几年，国家林业局综合多种评估方法，针对中国森林资源的实际情况，结合全国森林生态系统野外定位观测站实测数据，也建立了一套评估规范[16]，目前针对不同空间尺度[17-18]、森林类型[19]以及森林生态工程[20]等方面进行了生态系统服务价值评估。该套评估规范不仅适合大尺度森林生态系统服务功能的评估，而且也适用于区域森林生态系统价值评估。

开展天然林生态系统服务价值评估，对于我国天然林保护工程的生态效益评价以及环境保护具有重要意义，有助于促进我国天然林资源的可持续发展。天然林生态系统是森林生态系统最重要的组成部分，是中国森林生态系统的典型代表，蕴藏着最丰富的珍稀物种和珍贵的野生动植物基因资源，具有其他生态系统无法比拟的独特结构和功能。天然林生态系统在涵养水源、保护土壤、固碳释氧、保育生物多样性和防风固沙等方面均发挥着极为重要的作用[21]。科学评估天然林生态系统服务价值，对我国实施天然林保护工程的生态效益进行科学评价以及天然林生态恢复和环境保护都具有重要意义，也有助于促进区域社会经济的可持续发展。

新疆森林面积约为全疆植被面积的2%，但新疆森林在经济、社会和生态效益等方面却发挥着重要的作用[22]。新疆森林是新疆的生态支持系统和生态安全的保障[23]。利用*NDVI*的数据集分析表明，近25 a来，新疆森林面积和蓄积量分别增加5.83×10^{5} hm^2和4.02×10^{7} m^3[22]。基于卫星遥感调查数据的分析也表明，新疆森林资源总体呈上升趋势，但仍存在着天然林稀少、森林覆盖率低、林分年龄结构失调、树种单一等问题[24]。新疆森林整体上向良好的方向发展[22,25-26]。新疆的森林主要由山区天然林、绿洲人工林和荒漠河谷天然林3大部

① **收稿日期：**2013-11-21； **修订日期：**2014-01-18
基金项目：林业公益性行业科研专项项目(201304308)
作者简介：黄继红(1978-)，女，助理研究员，博士，主要从事生物多样性、植被与恢复生态学研究. E-mail:northalluvion@gmail.com

分组成,林业用地总面积 1.04×10^7 hm^2,活立木蓄积量 3.14×10^8 m^3[27]。山区天然林主要分布在天山北坡和阿尔泰山海拔 1 400 ~ 2 800 m 的中山带。20 世纪末以来,新疆的林业发展在生态建设中的主体地位和在可持续发展中的重要地位受到空前关注,林业建设进入了以可持续发展理论为指导,坚持三大效益兼顾、生态效益优先的新阶段[27]。天山、阿尔泰山天然林保护工程的主要任务是通过山区天然林的严格保护、积极培育,促进天然林的修养生息和恢复发展,逐步建立稳定的天然林生态系统。熊黑钢等[28]采用多种经济价值评估方法,初步评估新疆森林生态系统服务功能总价值为 1.13×10^{11} 元;《中国森林生态系统服务功能评估》项目组基于全国第七次森林资源清查和野外生态环境监测数据,采用分布式测算方法和原理,评估出新疆森林生态服务功能总价值为 1.07×10^{11} 元 · a^{-1}[17]。笔者认为,《中国森林生态系统服务功能评估》项目组采用的评估方法是中国林业科学院基于全国森林生态系统基础上创立的,选取的指标类型、采用的基础数据客观、细致,更适用于不同尺度森林生态系统价值评估。阿尔泰山地森林是新疆重要的生态屏障之一。由于 20 世纪过度开发利用森林资源,使阿尔泰林区出现资源锐减、生物多样性减小、森林老化加剧等生态问题。为了保护环境,已在该地区建立了长期森林生态系统动态监测站[29]。但目前尚未见对局域森林生态系统服务功能评价的研究报道。本文以 2009 年为基准年,依据《森林生态系统服务功能评估规范》[16],采用分布式测算方法,结合实证研究、比较研究和文献研究的方法,对阿尔泰林区的主要林场——布尔津林场天然林生态系统服务价值进行了评估,通过数据分析,一方面可基于布尔津林场实施天然林保护以来的天然林生态效益进行评估,为林场二期天然林保护工程方案的调整和走生态可持续发展之路提供决策依据;另一方面也为我国天然林生态系统服务功能评估提供成熟的方法和案例。

1　研究地区与研究方法

1.1　研究区概况

布尔津林场地处我国干旱区,隶属新疆布尔津县,地理坐标 86°51′ ~ 87°59′E, 48°08′ ~ 48°52′N,东西宽 85.5 km,南北长 87 km,地处阿尔泰山脉西段,阿尔泰山分水岭南坡,东与阿勒泰市毗邻,南至布尔津县中部低山丘陵地带,西与哈巴河县相连,西北与喀纳斯自然保护区交界,北与蒙古人民共和国接壤。最高海拔 3 258 m,最低海拔 730 m。北部地势陡峭,南部平坦开阔。属温带高寒山地气候类型,平均气温 -3.7 ℃左右,年降水量 300 ~ 600 mm。林场经营区总面积 3.77×10^5 hm^2,包括 7 个营林区,分别为哈拉斯、柯姆、河东、河西、海留滩、苏木河、乔巴特营林区。布尔津林场是全国天然林保护工程首批实施的重要区域之一。其森林植被类型主要由山地针叶林和温带落叶阔叶林组成。这里的山地针叶林实际上是北方针叶林地带的西伯利亚山地南泰加林的南延,是楔入草原地带的北方针叶林的代表[30],包括新疆落叶松林、新疆冷杉林、新疆云杉林和新疆五针松(又称西伯利亚红松)林。落叶阔叶林主要包括疣枝桦林和欧洲山杨林。该林场以新疆落叶松林占优势,新疆云杉、新疆冷杉、新疆五针松等树种混生,并有疣枝桦、山杨次生林[31]。

1.2　评估方法和数据来源

采用《森林生态系统服务功能评估规范》[16],对布尔津林场天然林生态系统服务价值进行评估。依据规范选取符合天然林生态系统服务功能的 6 项、9 个指标进行服务价值的计算。数据和参数来源包括 3 个方面,一是新疆布尔津林场 2009 年二类森林资源调查数据;二是森林生态系统定位研究站长期定位观测数据(主要来源于公开发表的研究成果及网络共享数据库);三是《森林生态系统服务功能评估规范》[16]中提供的我国权威机构公布的社会公共数据。

1.2.1　*涵养水源价值*　涵养水源包括调节水量和净化水质 2 个指标。

调节水量价值采用公式:

$$U_{调}=10C_{库}A(P-E-C) \tag{1}$$

式中:$U_{调}$为林分年调节水量价值,单位:元 · a^{-1};$C_{库}$ 为水库建设单位库容造价,单位:元 · m^{-3};P 为降水量,单位:mm · a^{-1};E 为林分蒸散量,单位:mm · a^{-1};C 为地表径流深,单位:mm · a^{-1};A 为林分面积,单位:hm^2。$C_{库}$取 6.11 元 · m^{-3}[16];A 根据二类森林资源调查数据按林分类型统计得到;P 和 E 分别根据 Worldclim 数据源(http://www.worldclim.org/)和 Atlas of the Biosphere 数据源(http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps.php?datasetid=58&includerelatedlinks=1&dataset=58)按林分类

型进行空间分析,求得均值;C 根据相关研究表明,云杉林内形成的地表径流量仅占降水量的 1.1%(http://www.xjxnw.gov.cn/zx/qxfw/qxzs/xjqxsc/03/433956.shtml),按此标准计算了各类林分的地表径流量。不同林分类型的 A、P、E、C 见表 1。

年净化水质价值公式为:

$$U_{水质} = 10KA(P - E - C) \quad (2)$$

式中:K 为水的净化费用,取 2.09 元·t^{-1}[16]。不同林分类型的 A、P、E、C 见表 1。

1.2.2 保育土壤价值 保育土壤包括固定土壤和保持土壤肥力 2 个指标。林分固定土壤价值公式为:

$$U_{固土} = AC_{\pm}(X_2 - X_1)/\rho \quad (3)$$

式中:$U_{固土}$为林分年固土价值,单位:元·a^{-1};X_1 为林地土壤侵蚀模数,单位:t·hm^{-2}·a^{-1};X_2 为无林地土壤侵蚀模数,单位:t·hm^{-2}·a^{-1};$C_{\pm}$为挖取和运输单位体积土方所需费用,单位:元·m^{-3};ρ 为土壤容重,单位:t·m^{-3};A 为林分面积,单位:hm^2。X_1、X_2 分别取 3.47 t·hm^{-2}·a^{-1}和 8.12 t·hm^{-2}·a^{-1}[32];$C_{\pm}$按 12.6 元·m^{-3}计算[33];ρ 为 1.25 t·m^{-3}[34];不同林分类型面积 A 见表 1。

林分保持土壤肥力公式为:

$$U_{肥} = A(X_2 - X_1)(NC_1/R_1 + PC_1/R_2 + KC_2/R_3 + MC_3) \quad (4)$$

式中:$U_{肥}$为林分年保肥价值,单位:元·a^{-1};N 为林分土壤含氮量,单位:%;P 为林分土壤含磷量,单位:%;K 为林分土壤含钾量,单位:%;M 为林分土壤有机质含量,单位:%;R_1 为磷酸二胺化肥含氮量,单位:%;R_2 为磷酸二胺化肥含磷量,单位:%;R_3 为氯化钾化肥含钾量,单位:%;C_1 为磷酸二胺化肥价格,单位:元·t^{-1};C_2 为氯化钾化肥价格,单位:元·t^{-1};C_3 为有机质价格,单位:元·t^{-1};A 为林分面积,单位:hm^2。N、P、K 分别为 0.69%、0.03% 和 0.48%[34];M 为 1.39%[33];R_1、R_2 和 R_3 的值分别为 14.00%、15.01% 和 50.00%[16];C_1、C_2 和 C_3 分别为 2 400、2 200 元·t^{-1}和 320 元·t^{-1}[33];不同林分类型面积 A 见表 1。

1.2.3 固碳释氧价值 固碳价值采用公式:

$$U_{碳} = AC_{碳}(1.63R_{碳}B_{年} + F_{土壤碳}) \quad (5)$$

式中:$U_{碳}$为植被年固碳价值,单位:元·a^{-1};$B_{年}$为林分净生产力,单位:t·hm^{-2}·a^{-1};$F_{土壤碳}$为单位面积林分土壤年固碳量,单位:t·hm^{-2}·a^{-1};$C_{碳}$为固碳价格,单位:元·t^{-1};$R_{碳}$为 CO_2 中碳的含量,为 27.27%;A 为林分面积,单位:hm^2。$B_{年}$根据样木胸径,参考国家农林部立木材积表标准[35]及相关手册[36],依据林分面积换算得到各林分蓄积量,参考蓄积量与碳储量之间的变化关系[34,37]求得,乔木和灌木的生物量和碳储量之间利用 0.5 的转换系数[38];$F_{土壤碳}$按森林植被碳储量的 2.5 倍计算[18];$C_{碳}$为 1 200 元·t^{-1}[16]。各林分类型 A、$B_{年}$ 和 $F_{土壤碳}$ 见表 1。

释氧价值计算公式:

$$U_{氧} = 1.19C_{氧}AB_{年} \quad (6)$$

式中:$U_{氧}$为林分年释氧价值,单位:元·a^{-1};$C_{氧}$为氧气价格,取 1 000 元·a^{-1}[16]。

1.2.4 积累营养物质价值 积累营养物质价值采用公式为:

$$U_{营养} = AB_{年}(N_{营养}C_1/R_1 + P_{营养}C_1/R_2 + K_{营养}C_2/R_3) \quad (7)$$

式中:$U_{营养}$为林分年营养物质积累价值,单位:元·a^{-1};$N_{营养}$为林木含氮量,单位:%;$P_{营养}$为林木含磷量,单位:%;$K_{营养}$为林木含钾量,单位:%;R_1 为磷酸二胺化肥含氮量,单位:%;R_2 为磷酸二胺化肥含磷量,单位:%;R_3 为氯化钾含钾量,单位:%;C_1 为磷酸二胺化肥价格,单位:元·t^{-1};C_2 为氯化钾化肥价格,单位:元·t^{-1};$B_{年}$为林分净生产力,单位:t·hm^{-2}·a^{-1};A 为林分面积,单位:hm^2。$N_{营养}$、$P_{营养}$和 $K_{营养}$分别参考相关研究成果整理获得[39];各林分类型对应值见表 1。

1.2.5 净化大气环境价值 由于在天然林区,较少涉及有害气体和粉尘,因此,主要选取提供负离子价值为指标,反映森林净化大气环境的功能。

采用公式:$U_{负离子} = 5.256 \times 10^{15} \times AHK_{负离子}(Q_{负离子} - 600)/L$ (8)

式中:$U_{负离子}$为林分年提供负离子价值,单位:元·a^{-1};$K_{负离子}$为负离子生产费用,单位:元·个$^{-1}$;$Q_{负离子}$为林分负离子浓度,单位:个·cm^{-3};L 为负离子寿命,单位:min;H 为林分高度,单位:m;A 为林分

表 1　新疆布尔津林场天然林不同林分类型面积及相关生态参数

Tab. 1　Areas and ecological parameters of natural forests with different stands in Burqin Forestry Farm, Xinjiang

林分类型	林分面积/hm^2	蒸发量/mm	降水量/mm	地表径流深/mm	林分年净生产力/($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	单位面积林分土壤年固碳量/($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	林分氮元素含量/%	林分磷元素含量/%	林分钾元素含量/%	林分负离子浓度/(个$\cdot cm^{-3}$)	林分高度/m
云杉	7 873.64	155.19	250.06	2.75	1.49	3.73	1.36	0.08	0.90	1 800.00	13.12
冷杉	2 785.64	151.57	253.14	2.78	1.57	3.93	1.36	0.08	0.90	1 800.00	14.70
杨树	331.10	155.65	253.13	2.78	2.12	5.31	0.48	0.35	1.02	617.00	14.96
桦木	19 175.58	142.66	247.15	2.72	14.19	35.47	0.52	0.34	0.15	617.00	12.09
灌木	115 283.16	130.21	253.29	2.79	2.67	6.68	1.10	0.24	0.48	730.00	1.50
红松	204.82	145.50	235.00	2.59	10.16	25.41	1.36	0.08	0.90	1 800.00	10.61
落叶松	56 037.09	141.31	267.31	2.94	2.53	6.34	1.36	0.08	0.90	1 800.00	19.34

林分氮元素含量中针叶树种林分类型(包括云杉、冷杉、红松和落叶松)的值参考太岳山地区侧柏的值[39],桦木和杨树分别参考对应树种白桦和山杨的含量[39];灌木的含量取太岳林区所有树种的均值求得。从现有的文献资料收集到的数据来看,江西大岗山有灌木林的含量报道[40];但从地理空间上看,该地区与新疆阿尔泰林区不论从气候还是物种组成上差别太大,但该地的研究表明,灌木的林分氮元素含量与其他乔木林分相当,甚至远高于其他林分值。参考该信息,本文采用太岳山乔木树种的均值作为灌木林分的氮元素含量。林分磷元素和钾元素采取类似的近似取值方法。

面积,单位:hm^2。$K_{负离子}$为 5.82 元 · 10^{-18} · 个$^{-1}$;$Q_{负离子}$根据相关研究成果整理获得[41];L 为 10 min;H 根据二类资源数据求得各林分高的均值;各林分类型对应值见表 1。

1.2.6　*生物多样性保护价值*　由于动物物种名录及分布数据积累不足,在此主要计算了植物多样性的保护效益。采用引入物种濒危指数和特有种指数的 Shannon-Wiener 指数法[42]计算,公式为:

$$U_{总} = (1 + \sum_{m=1}^{x} E_m \times 0.1 + \sum_{n=1}^{y} B_n \times 0.1) S_{生} A \quad (9)$$

式中:$U_{总}$为林分年物种保育价值,单位:元 · a^{-1};E_m 为评估林分(或区域)内物种 m 的濒危等级;B_n 为评估林分(或区域)内物种 n 的特有种等级;x 为计算濒危指数物种数量;y 为计算特有种指数物种数量;$S_{生}$ 为单位面积物种多样性保育价值量,单位:元 · $hm^{-2} \cdot a^{-1}$;A 为林分面积,单位:hm^2。本计算中主要采用布尔津县植物物种名录进行计算(布尔津县植物物种分布数据库依据中国数字植物标本馆(http://www.cvh.org.cn/cms/)、中国特有植物名录[43]以及中国野生濒危保护植物名录[44]整理)。参考《森林生态系统服务功能评估规范》[16]中的分级标准,$S_{生}$为 5 000 元 · $hm^{-2} \cdot a^{-1}$。林分面积为 2.02×10^5 hm^2。

1.2.7　*生态系统服务功能总价值*　布尔津林场天然林生态系统服务功能总价值为上述 9 个指标之和,公式为:

$$U = \sum_{i=1}^{9} U_i \quad (10)$$

式中:U 为布尔津林场天然林生态系统服务功能总价值,单位:元 · a^{-1};U_i 为布尔津林场天然林生态系统服务功能各指标年价值,单位:元 · a^{-1}。

2　结果与分析

2.1　生态系统服务功能总价值量

经计算,2009 年新疆布尔津林场天然林生态系统服务功能总价值为 1.07×10^{10}元,其中,灌木林生态效益价值为 5.57×10^9元,占布尔津林场森林生态系统服务功能总价值的 52.09%。森林年提供的价值平均为 5.30×10^4 元 · hm^{-2},其中灌木林年提供的价值平均为 4.83×10^4 元 · hm^{-2}(表 2)。

由表 3 可见,生物多样性保护价值量最大(4.64×10^9 元 · a^{-1}),占总价值的 43.42%;净化大气环境价值量最小(5×10^6 元 · a^{-1}),仅占总价值的 0.04%。

2.2　生态系统服务功能价值量分布格局

布尔津林场各营林区天然林生态系统服务功能价值量及其比例见表 3,空间分布见图 1,各营林区的价值量 $4.49 \times 10^8 \sim 2.59 \times 10^9$元 · a^{-1},其排序为:柯姆营林区 > 苏木河营林区 > 乔巴特营林区 > 河东营林区 > 河西营林区 > 哈拉斯营林区 > 海留滩营林区。

2.3　不同林分类型生态系统服务功能价值量

新疆布尔津林场不同林分类型生态系统服务功能总价值量及其比例见表 4。各林分类型涵养水源功能价值量为$1 \times 10^6 \sim 1.14 \times 10^9$ 元 · a^{-1},其顺序

表 2 新疆布尔津林场天然林生态系统各功能价值量及比例

Tab. 2 Values and proportions of the different services of natural forest ecosystem in Burqin Forestry Farm, Xinjiang

功能类型	功能项		指标项	
	价值量/(10^8 元·a^{-1})	价值量比例/%	指标类型	价值量/(10^8 元·a^{-1})
涵养水源	19.49	18.24	年调节水	14.52
			年净化水	4.97
保育土壤	4.28	4.01	固 土	0.09
			保 肥	4.19
固碳释氧	35.01	32.76	固 碳	26.19
			释 氧	8.82
积累营养物质	1.63	1.53	积累营养物质	1.63
净化大气环境	0.05	0.04	提供负离子价值	0.05
生物多样性保护	46.39	43.42	植物物种保育价值	46.39

为:灌木林 > 落叶松林 > 桦木林 > 云杉林 > 冷杉林 > 杨树林 > 红松林;保育土壤功能价值量为 $4.35\times10^5\sim2.45\times10^8$ 元·a^{-1},其顺序为:灌木林 > 落叶松林 > 桦木林 > 云杉林 > 冷杉林 > 杨树林 > 红松林;固碳释氧功能价值量为 $3\times10^6\sim1.46\times10^9$ 元·a^{-1},其顺序为:灌木林 > 桦木林 > 落叶松林 > 云杉林 > 冷杉林 > 红松林 > 杨树林;积累营养物质功能

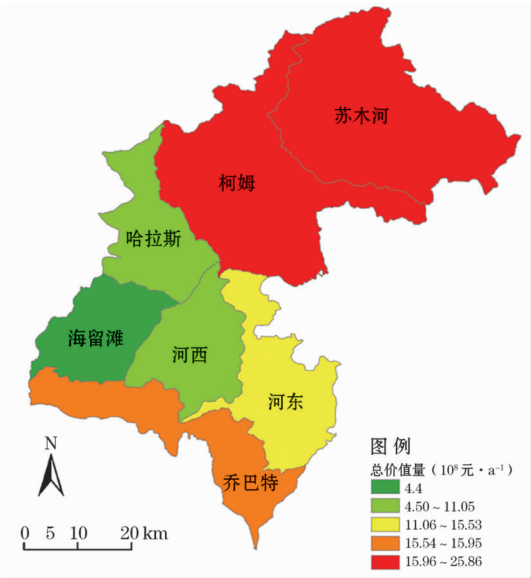

图 1 新疆布尔津林场各营林区生态系统服务功能总价值量的分布

Fig. 1 Distribution of the total values of services of natural forest ecosystem in different forest regions of Burqin Forestry Farm, Xinjiang

表 3 新疆布尔津林场各营林区天然林生态系统服务功能价值量及其比例

Tab. 3 Values and proportions of the different services of natural forest ecosystem in different forest regions of Burqin Forestry Farm, Xinjiang

营林区	涵养水源	保育土壤	固碳释氧	积累营养物质	净化大气环境	生物多样性保护	总价值	比例/%
	/(10^8 元·a^{-1})							
乔巴特	3.22	0.69	4.30	0.22	0.00	7.52	15.95	14.93
哈拉斯	1.80	0.39	3.60	0.16	0.01	4.28	10.24	9.59
柯姆	4.18	0.94	10.08	0.42	0.01	10.23	25.86	24.21
河东	3.04	0.65	4.52	0.23	0.01	7.08	15.53	14.53
河西	1.84	0.41	4.23	0.18	0.01	4.40	11.05	10.34
海留滩	0.93	0.20	1.11	0.07	0.01	2.17	4.49	4.20
苏木河	4.48	0.99	7.17	0.35	0.01	10.71	23.72	22.20
合 计	19.49	4.28	35.00	1.63	0.05	46.39	106.84	100.00

表 4 新疆布尔津林场各林分类型生态系统服务功能价值量及其比例

Tab. 4 Values and proportions of the different services of natural forest ecosystem with different stands in Burqin Forestry Farm, Xinjiang

林分类型	面积/hm^2	面积比例/%	价值量/(10^8 元·a^{-1})	单位面积价值量/(10^4 元·hm^{-2}·a^{-1})	价值量比例/%
云杉林	7 873.64	3.90	3.16	4.01	2.96
冷杉林	2 785.64	1.38	1.15	4.13	1.07
杨树林	331.10	0.16	0.14	4.23	0.13
桦木林	19 175.58	9.51	19.68	10.26	18.42
灌木林	115 283.16	57.16	55.65	4.83	52.09
红松林	204.82	0.10	0.17	8.30	0.16
落叶松林	56 037.09	27.78	26.89	4.80	25.16
合 计	201 691.03	100.00	106.84	5.30	100.00

价值量为 $1.28\times10^5\sim7.64\times10^7$ 元·a^{-1},其顺序为:灌木林>桦木林>落叶松林>云杉林>冷杉林>红松林>杨树林;净化大气环境功能价值量为 $300\sim3.98\times10^6$ 元·a^{-1},其顺序为:落叶松林>云杉林>冷杉林>灌木林>桦木林>红松林>杨树林;生物多样性保护功能价值量为 $5\times10^6\sim2.65\times10^9$ 元·a^{-1},其顺序为:灌木林>落叶松林>桦木林>云杉林>冷杉林>杨树林>红松林。不同林分类型生态系统服务功能单位面积价值量排序为:桦木林> 红松林>灌木林>落叶松林>杨树林>冷杉林>云杉林。

3　结论与讨论

本文以 2009 年为基准年,采用国家林业局发布的 LY/T 1721 - 2008 评估规范,计算出新疆布尔津林场天然林生态系统服务功能价值为 1.07×10^{10} 元,其中,灌木林生态系统服务功能价值为 5.57×10^9 元,占布尔津林场天然林生态系统服务总价值的 52.09%。可见,在布尔津林场,灌木林在生态系统服务功能方面发挥着巨大的作用。此外,布尔津林场的灌木林是天然乔木林和平原农田区的重要隔离屏障,有效阻止了农田区作业对天然林区的影响。另一方面灌木林中以锦鸡儿和蔷薇等带刺植物为主要物种,也大大降低了人和牲畜随意进入天然乔木林区的频率,对天然乔木林区的植被自然恢复起到有效的保护作用。因此,在布尔津林场的森林经营和管护方面,应更加重视灌木林。相关部门已经认识到灌木林的作用,正在实施天然林保护工程,新疆大部分灌木林已划入天然林保护的范畴。

研究表明,不同类别生态服务价值为:生物多样性保护>固碳释氧>涵养水源>保育土壤>积累营养物质>净化大气环境,其中生物多样性保护所占比例为 43.42%。与《中国森林生态服务功能评估》项目组[17]采用同样评估方法计算出的重庆市、贵州省和陕西省有类似的结果,且均在各项生态系统服务功能中价值最大。布尔津林场地处落叶松与泰加林混生的茂密山地森林,且草原植被强度发育,形成森林草原过渡带[31],孕育了丰富的物种多样性,是新疆物种多样性最丰富的地区之一。在森林经营及管护方面应加强生物多样性保育。

不同林分类型生态系统服务总价值为:灌木林>落叶松林>桦木林>云杉林>冷杉林>杨树林>红松林。但不同生态系统服务功能项各林分类型的服务功能贡献比例并不相同。从生物多样性保护、涵养水源和保育土壤功能上看,灌木林均居首位,其次为落叶松林和桦木林。这与 3 种林分类型的覆盖面积排序一致(表 4)。这说明林分覆盖面积是影响这 3 项生态系统服务功能的重要因素。通过不同林分类型单位面积生态系统服务功能价值量的对比发现,尽管灌木林单位面积价值量并不是最大的,但由于其面积占绝对优势,因此,整体上发挥着更为突出的作用。桦木林虽然单位面积价值量最大,但由于其林分面积不足 10%,对于整个林场的生态系统服务价值贡献不及以面积占优势的灌木林和落叶松林。

研究中社会公共数据采用的是《森林生态系统服务功能评估规范》[16]中公布的数据,因此,该价值量评估并非符合实时的价值,仅与同类研究有一定的可比性,而不适用于其他评估结果的比较。虽然在本研究区域附近已经建立了森林生态定位研究站,但由于具体工作尚未准备就绪,目前无法获取第一手实测数据。因此,计算结果可能存在偏差。针对林场生态系统服务功能精确的评估还有待于全面细致野外生态参数实测的基础上,结合当前市场价格系统,进一步进行修正和完善。

参考文献(References):

〔1〕 Daily G. Natures Services:Societal Dependence on Natural Ecosystems〔M〕. Washington D C:Island Press,1997.

〔2〕 Costanza R,Cumberland J H,Daly H,et al. An Introduction to Ecological Economics〔M〕. Florida:St Lucie Press,1997.

〔3〕 王宗明,张柏,张树清. 吉林省生态系统服务价值变化研究〔J〕. 自然资源学报,2004,19(1):55 - 61.〔Wang Zongming,Zhang Bai,Zhang Shuqing. Study on the effects of land use change on ecosystem service values of Jiliin Province〔J〕. Journal of Natural Resources,2004,19(1):55 - 61.〕

〔4〕 李文华,欧阳志云,赵景柱. 生态系统服务功能研究〔M〕. 北京:气象出版社,2002.〔Li Wenhua,Ouyang Zhiyun,Zhao Jingzhu. Studies on Ecosysstem Services〔M〕. Beijing:China Meteorological Press,2002.〕

〔5〕 张乐勤,许信旺,荣慧芳,等. 安徽省石台县森林生态系统服务价值研究〔J〕. 农业技术经济,2010(11):122 - 127.〔Zhang Leqin,Xu Xinwang,Rong Huifang,et al. Studies on forest ecosystem service values of Shitai County in Anhui Province〔J〕. Agriculture Technology Econoic,2010(11):122 - 127.〕

〔6〕 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法〔J〕. 自然资源学报,2008,23(5):911 - 919.〔Xie Gaodi,Zhen Lin,Lu Chunxia,et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China〔J〕. Journal of Natural Resources,2008,23(5):911 - 919.〕

〔7〕 余新晓,秦永胜,陈丽华,等.北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究〔J〕.生态学报,2002,22(5):783 - 786.〔Yu Xinxiao,Qin Yongsheng,Chen Lihua,et al. The forest ecosyestem services and their valuation of Beijing mountain areas〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2002,22(5):783 - 786.〕

〔8〕 许信旺,朱诚.皖南山区山地生态系统经济价值损失估算方法〔J〕.山地学报,2004,22(6):735 - 741.〔Xu Xinwang,Zhu Cheng. Estimation methods of the economical loss of ecological destruction in mountainous regions of south Anhui〔J〕. Journal of Mountain Research,2004,22(6):735 - 741.〕

〔9〕 许信旺.安徽省森林生态系统服务价值评估〔J〕.资源开发与市场,2005,21(2):96.〔Xu Xinwang. Assessment on value of forest ecosystem services in Anhui Province〔J〕. Resource Development & Market,2005,21(2):96.〕

〔10〕 Westman W E. How much are nature's services worth?〔J〕. Science,1977,197(4 307):960 - 964.

〔11〕 Holdren J P,Ehrlich P R. Human population and the global environment〔J〕. American Scientist,1974,62:282 - 297.

〔12〕 Ehrlich P R,Ehrlich A H. The value of biodiversity〔J〕. Ambio,1992,21:219 - 226.

〔13〕 欧阳志云,王如松,赵景柱.生态系统服务功能及其生态经济价值评价〔J〕.应用生态学报,1999,10(5):635 - 640.〔Ouyang Zhiyun,Wang Rusong,Zhao Jingzhu. Ecosystem services and their economic valuation〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,1999,10(5):635 - 640.〕

〔14〕 赵景柱,肖寒,吴刚.生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析〔J〕.应用生态学报,2000,11(2):290 - 292.〔Zhao Jingzhu,Xiao Han,Wu Gang. Comparison analysis on physical and value assessment methods for ecosystems services〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2000,11(2):290 - 292.〕

〔15〕 Costanza R,d'Arge R,Groot R d,et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital〔J〕. Nature,1997,387(6 630):253 - 260.

〔16〕 国家林业局.森林生态系统服务功能评估规范〔M〕.北京:国家林业局,2008.〔State Forestry Administration. Specifications for Assessment of Forest Ecosystem Services in China〔M〕. Beijing: State Forestry Administration,2008.〕

〔17〕《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,2009.〔Project team of Assessment of Forest Ecological Services in China. Assessment of Forest Ecological Services in China〔M〕. Beijing:China Forest Press,2009.〕

〔18〕 李福强,王兴华,陈士刚,等.吉林市森林固碳释氧生态效益评价〔J〕.吉林林业科技,2011,40(2):10 - 12.〔Li Fuqiang,Wang Xinhua,Chen Shigang,et al. Estimation of ecological benefit of forest on carbon sequestration and oxygen release in Jilin City〔J〕. Journal of Jilin Forestry Science and Technology,2011,40(2):10 - 12.〕

〔19〕 王兵,鲁绍伟.中国经济林生态系统服务价值评估〔J〕.应用生态学报,2009,20(2):417 - 425.〔Wang Bin,Lu Shaowei. Evaluation of economic forest ecosystem services in China〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2009,20(2):417 - 425.〕

〔20〕 刘勇,王玉杰,王云琦,等.重庆缙云山森林生态系统服务功能价值评估〔J〕.北京林业大学学报,2013,35(3):46 - 55.〔Liu Yong,Wang Yujie,Wang Yunqi,et al. Value assessment on service function of forest ecosystem in Jinyun Mountain,Chongqing City of southwestern China〔J〕. Journal of Beijing Forestry University,2013,35(3):46 - 55.〕

〔21〕 臧润国,成克武,李俊清,等.天然林生物多样性保育与恢复〔M〕.北京:中国科学技术出版社,2005.〔Zang Runguo,Chen Kewu,Li Junqing,et al. Biodiversity Conservation and Restoration of Natural forests〔M〕. Beijing: China Science and Technology Press,2005.〕

〔22〕 石雷.近25年来新疆森林的动态变化〔J〕.干旱区研究,2011,28(1):17 - 24.〔Shi Lei. Dynamic change of forests in Xinjiang in recent 25 year〔J〕. Arid Zone Research,2011,28(1):17 - 24.〕

〔23〕 任兰增.新疆森林的生态安全保障作用与建设〔J〕.新疆林业,2003(6):8.〔Ren Lanzeng. Ecological security and construction of forest in Xinjiang〔J〕. Forestry of Xinjiang,2003(6):8.〕

〔24〕 李虎,吕巡贤,陈蜀疆,等.新疆森林资源动态分析:基于RS与GIS的森林资源动态研究〔J〕.地理学报,2003,58(1):133 - 138.〔Li Hu,Lv Xunxian,Chen Shujiang,et al. Dynamic analysis and evaluation of Xinjiang forest resources:Based on remote sensing and GIS〔J〕. Acta Geographica Sinica,2003,58(1):133 - 138.〕

〔25〕 师庆东,肖继东,潘晓玲,等.近20 a来新疆植被覆盖变化特征研究〔J〕.干旱区研究,2004,21(4):389 - 394.〔Shi Qingdong,Xiao Jidong,Pan Xiaoling,et al. Study on the change of vegetation coverage in Xinjiang since recent 20 years〔J〕. Arid Zone Research,2004,21(4):389 - 394.〕

〔26〕 郭铌,王小平,蔡迪花,等.近20多年来西北绿洲植被指数的变化及其成因〔J〕.干旱区研究,2010,27(1):75 - 82.〔Guo Ni,Wang Xiaoping,Cai Dihua,et al. Analysis on the vegetation index variation and its formation causes in the oases in northwest China in recent 22 years〔J〕. Arid Zone Research,2010,27(1):75 - 82.〕

〔27〕 赵兵武.新疆森林生态体系发展现状与对策〔J〕.新疆林业,2009(3):6 - 10.〔Zhao Bingwu. Development status and strategies of forest ecosystem in Xinjiang〔J〕. Forestry of Xinjiang,2009(3):6 - 10.〕

〔28〕 熊黑钢,秦珊.新疆森林生态系统服务功能经济价值估算〔J〕.干旱区资源与环境,2006,20(6):146 - 151.〔Xiong Heigang,Qin Shan. Estimating the economic values of the forest ecosystem service function in Xinjiang〔J〕. Jounrnal of Arid Land Resources and Environment,2006,20(6):146 - 151.〕

〔29〕 白志强,刘华,郭仲军,等.中国新疆阿尔泰林区生态环境监测〔C〕//中国林学会.第二届中国林业学术大会:S10 林业与气候变化论文集,2009:261 - 265.〔Bai Zhiqiang,Liu Hua,Guo Zhongjun,et al. Ecological monitoring in Altai forest areas,Xinjiang,China〔C〕//Chinese Society of Forestry. The Second Session of the China Forestry Academic Conference:S10 Proceedings of Forestry and Climate Change,2009:261 - 265.〕

〔30〕 中国科学院新疆综合考察队,中国科学院植物研究所.新疆植被及其利用〔M〕.北京:科学出版社,1978.〔Xinjiang Comprehensive Expedition of Chinese Academy of Science,Institute of Botany,Chinese Academy of Science. Vegetation and Its Utilization in Xinjiang〔M〕. Beijing:Science Press,1978.〕

〔31〕《新疆森林》编辑委员会.新疆森林〔M〕.乌鲁木齐/北京:新疆人民出版社/中国林业出版社,1989.〔Editorial Committee of Xinjiang Forest. Xinjiang Forest〔M〕. Urumqi/Beijing: Xinjiang People Press/China Forest Press,1989.〕

〔32〕 陈亚宁,刘兴文.GIS技术在土壤侵蚀量模拟计算中的应用:以

新疆头屯河山区流域为例〔J〕. 土壤侵蚀与水土保持学报,1995,1(1):73 - 78.〔Chen Yaning, Liu Xingwen. Use of information geography system technology in simulated calculation of soil erosion volume-taking Toutunhe River Basin of Xinjiang〔J〕. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation,1995,1(1):73 - 78.〕

〔33〕全国土壤普查办公室编. 中国土壤〔M〕. 北京:中国农业出版社,1998.〔National Soil Survey Office. Soil of China〔M〕. Beijing: China Agriculture Press,1998.〕

〔34〕赵玲,冯建军,王永平,等. 新疆国家级公益林综合效益评估〔J〕. 林业实用技术,2013(4):10 - 13.〔Zhao Ling, Feng Jianjun, Wang Yongping, et al. Estimation of ecological benefit of national public welfare forest in Xinjiang〔J〕. Practical Forestry Technology,2013(4):10 - 13.〕

〔35〕中华人民共和国农林部. 立木材积表 LY 208 - 77〔M〕. 北京:中华人民共和国农林部,1978.〔Ministry of Agriculture and Forestry of the People's Republic of China. Tree Volume Table LY 208 - 77〔M〕. Beijing: Ministry of Agriculture and Forestry of the People's Republic of China,1978.〕

〔36〕黑龙江省森林工业总局森林资源调查管理局. 黑龙江省国有林区根径立木材积手册〔M〕. 北京:中国林业出版社,1990.〔Forest Resources Survey Bureau attached to Forest Industry Bureau of Heilongjiang Province. Root Diameter Volume Manual of State-owned Forest in Heilongjiang Province〔M〕. Beijing: China Forestry Press,1990.〕

〔37〕方精云,刘国华,徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量〔J〕. 生态学报,1996,16(5):497 - 508.〔Fang Jingyun, Liu Guohua, Xu Songling. Biomass and net production of forest vegetation in China〔J〕. Acta Ecologica Sinica,1996,16(5):497 - 508.〕

〔38〕刘国华,傅伯杰,方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献〔J〕. 生态学报,2000,20(5):733 - 740.〔Liu Guohua, Fu Bojie, Fang Jingyun. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2000,20(5):733 - 740.〕

〔39〕乌吉斯古楞. 太岳山森林生态系统服务功能价值评价研究〔D〕. 北京:北京林业大学,2012.〔WJS Guleng. The Research on the Value Assessment of Forest Ecosystem Services of Taiyue Mountain〔D〕. Beijing: Beijing Forestry University,2012.〕

〔40〕肖玲. 江西大岗山主要森林生态效益价值量的评价研究〔D〕. 北京:北京林业大学,2009.〔Xiao Ling. Study on Evaluating the Main Value of Forest Ecosystems in the Dagangshan Mountain in Jiangxi Province〔D〕. Beijing: Beijing Forestry Universtiy,2009.〕

〔41〕李翔,张毓涛. 天山雪岭云杉(*Pinaceae. schrenkiana*)林空气负离子资源初析〔J〕. 安徽农学通报,2012,18(19):116 - 118.〔Li Xiang, Zhang Yutao. Analysis of aeroanion resources in Tianshan forest of *Pinaceae schrenkiana*〔J〕. Anhui Agriculture Science Bulletin,2012,18(19):116 - 118.〕

〔42〕王兵,宋庆丰. 森林生态系统物种多样性保育价值评估方法〔J〕. 北京林业大学学报,2012,34(2):155 - 160.〔Wang Bin, Song Qingfeng. Value assessing methods of species diversity conservation in forest ecosystem〔J〕. Journal of Beijing Forestry Universtiy,2012,34(2):155 - 160.〕

〔43〕Huang J, Chen J, Ying J, et al. Features and distribution patterns of Chinese endemic seed plant species〔J〕. Journal of Systematics and Evolution,2011,49(2):81 - 94.

〔44〕张殷波. 国家重点保护野生植物的保护生物地理学研究〔D〕. 北京:中国科学院植物研究所,2008.〔Zhang Yinbo. Conservation Biogeography of National Key Protected Wild Plants in China〔D〕. Beijing: Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, 2008.〕

Service Functions of the Natural Forest Ecosystem in Burqin Forest Farm, Xinjiang

HUANG Ji-hong[1], LU Xing-hui[1], GUO Zhong-jun[2]

(1. *Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration*, *Institute of Forest Ecology, Environmental and Protection*, *Chinese Academy of Forestry*, *Beijing* 100091, *China*;
2. *Institute of Forest Ecology*, *Xinjiang Academy of Forestry*, *Urumqi* 830000, *China*)

Abstract: Locates in Xinjiang, an arid region in China, Burqin Forest Farm is a typical montane forest. Burqin Forest Farm is one of the forest farms where the Nature Forest Protection Project was firstly begun to implement. The values of service functions of natural forest ecosystem in Burqin Forest Farm were assessed based on 6 ecological service functions (9 indices) including water conservation, soil conservation and fertilization, CO_2 fixation and O_2 generation, nutrient accumulation, air purification, biodiversity conservation and forest inventory data Type Ⅱ in 2009. Results showed that the annual service value of natural forest ecosystem in Burqin Forest Farm was 1.07×10^{10} yuan RMB. For different ecosystem services, the value of biodiversity protection function was the highest and accounted for 43.42% of the total; for the forest with different stands, the value of shrubbery ecosystem service was 5.57×10^9 yuan and accounted for 52.09% of the total. These suggested that the biodiversity conservation played a very important role, and the shrubbery contributed an important function in the natural forest ecosystem in Burqin Forest Farm. The study provided an important reference for assessing the ecological benefits of Nature Forest Protection Project at forest farm level.

Key words: Nature Forest Protection Project; ecological benefit; forest ecosystem; ecological service function; sustainable development; Burqin; Xinjiang