DOI: 10.13332/j.cnki.jbfu.2015.01.019

新疆布尔津县天然林生态系统服务功能评估

黄继红[1] 路兴慧[1] 郭仲军[2] 王计平[3] 臧润国[1]
(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 2 新疆林业科学院森林生态所
3 国家林业局盐碱地研究中心)

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、生物多样性保护和森林游憩7项功能10个指标,以2001、2006和2011年布尔津县天然林区一类连清数据为基础,评估了新疆布尔津县天然林生态系统服务功能价值。结果表明:新疆布尔津县天然林资源的面积和蓄积量平均值分别为77 047.98 hm^2和1 751.13万m^3,各年森林面积分别为72 927.76、77 872.02和82 816.27 hm^2;蓄积量分别为1 675.55万、1 762.76万和1 815.07万m^3。新疆布尔津县天然林生态系统服务功能价值平均为50.34亿元/a,各年价值分别为41.80亿、51.72亿和57.50亿元。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,平均为35.59%;森林游憩价值增幅最大,2006年森林游憩价值是2001年的35.95倍;不同林分类型生态系统服务价值与其对应的林分面积排序一致。这说明布尔津县在实施天然林保护工程以来,森林面积、蓄积量及其生态系统服务价值都有明显的增加。

关键词: 天保工程; 生态效益; 森林生态系统; 生态系统服务; 可持续发展
中图分类号: S718.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2015)01-0062-08
HUANG Ji-hong[1]; LU Xing-hui[1]; GUO Zhong-jun[2]; WANG Ji-ping[3]; ZANG Run-guo[1]. **Assessment of natural forest ecosystem services in Buerjin County, Xinjiang.** *Journal of Beijing Forestry University* (2015) **37**(1) 62-69 [Ch, 46 ref.]

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, P. R. China;
2 Institute of Forest Ecology, Xinjiang Forestry Academy, Urumqi, 830000, Xinjiang P. R. China;
3 Research Center of Saline and Alkali Land of State Forestry Administration, Beijing, 100091, P. R. China.

We evaluated the value of natural forest ecosystem services, based on seven ecological services (ten indices) of water conservation, soil conservation and fertility maintenance, CO_2 fixation and O_2 generation, nutriment accumulation, air purification, biodiversity protection, and forest recreation, with the use of Type I inventory data of natural forests in Buerjin County of Xinjiang in 2001, 2006, and 2011. Results showed that the average area of natural forests is 77 047.98 ha with 72 927.76 ha in 2001, 77 872.02 ha in 2006, and 82 816.27 ha in 2011. The average volume of natural forests was 17.511 3 million m^3, 16.755 5 million m^3 in 2001, 17.627 6 million m^3 in 2006 and 18.150 7 million m^3 in 2011. The average annual value of natural forest ecosystem services in Buerjin County was 5.034 billion RMB from an estimate of 4.180 billion in 2001 5.172 billion in 2006 and 5.750 billion in 2011. Among the various ecosystem services, the largest value is attributed to biodiversity protection, accounting for 35.59%. In contrast, the greatest increase was in the value from forest recreation, which was 36 times higher in 2006 than in 2001. The values of ecosystem services of various forest types correspond with the size of their areas. This suggests that the area, volume and value of natural forest ecosystem services in Buerjin County have significantly increased after implementing natural forest protection projects.

Key words nature forest protection project; ecological benefit; forest ecosystem; service function of

收稿日期: 2014-07-12 **修回日期:** 2014-09-18
基金项目: 林业公益性行业科研专项(201304308)。
第一作者: 黄继红,博士,助理研究员。主要研究方向:植物多样性保护。Email: northalluvion@gmail.com 地址:100091 北京市颐和园后中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所。
责任作者: 臧润国,研究员,博士生导师。主要研究方向:森林生态学。Email: zangrung@caf.ac.cn 地址:同上。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn; http://journal.bjfu.edu.cn

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

forest ecosystem; sustainable development

生态系统服务是指对人类生存和生活质量有贡献的生态系统产品和服务[1-2]，是人类生存和发展的物质基础和基本条件[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也起到重要作用[4]。天然林生态系统是森林生态系统的典型代表，是我国森林生态系统最重要的组成部分，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[5]。天然林保护工程是我国六大林业工程之一，其主要目的旨在阻止生态环境恶化，保护生物多样性，促进社会经济可持续发展[6-7]。天然林保护工程的一期建设明显地改善了工程区的生态环境状况[8]，但其生态效益价值一直缺乏有效的科学统计数据; 因此，科学评估天然林生态系统服务价值目前尤为迫切，为天保工程二期实施方案的调整和制定合理的生态效益补偿政策及时提供科学依据。

对生态系统价值评估国内外有多种评估体系和方法[1-2, 9-11]，不同学者对不同区域评估出的结果偏差大，目前尚无统一标准[12]，其中一些方法直接被用到森林生态系统价值评估研究当中[13-14]。就我国森林效益的定量评价来看，主要有 3 种方法: 1) 运用经济学理论把森林的综合效益转换为经济价值[15-16]; 2) 以生态学理论出发，研究森林生态系统整体功能对环境的影响[17]; 3) 综合运用生态学、水土保持学和经济学等理论，以遥感、地理信息系统、过程机理模型等为工具建立的评估方法[18]。在天然林保护工程实施效果评价研究中，最重要的也是评价指标体系的建立，研究者们针对研究区域[19]、尺度[20]和森林类型[21]的不同分别建立了不同的效益评价体系，目前还没有形成一套能够被广泛接受的科学评价指标体系[8]。由此，也造成不同研究结果缺乏可比性。但就森林生态系统服务功能评估而言，以上第 3 种综合方法发展的较为成熟，且已经形成林业行业标准[22]，在森林生态系统服务功能价值评估中已经得到较为广泛的应用，已有的研究涉及不同空间尺度[18, 23-24]、森林类型[25]和林业生态工程[26]等方面。笔者认为该方法更适合区域森林生态系统价值评估，且已经形成行业规范，其评估结果具有同行业的可比性，因此具有重要的参考价值。

本文以 2001、2006、2011 年新疆布尔津县天然林森林资源一类清查数据为基础，综合运用生态学、水土保持学、经济学等学科理论，以及地理信息系统、过程模型等工具，采用分布式测算方法[27]，结合文献研究的方法，对新疆布尔津县天然林生态系统服务价值进行了评估。通过该项工作的研究，一方面可基于布尔津县实施天然林保护以来的天然林生态效益进行评估，为该县二期天保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　研究区概况

布尔津县位于新疆维吾尔自治区北部，阿尔泰山脉西南麓，准噶尔盆地北沿，地势北高南低，由东北向西南倾斜，境内有 24 条河流，全长 932 km。该县属于北温带大陆性寒冷气候区，由于该县地貌分层明显，其气候也随地形变化明显。北部高中山区，海拔 1 300 m 以上，气候寒冷湿润，年均温 1 ~ 4 ℃，年降水量 400 ~ 600 mm，没有明显的无霜期; 中部丘陵盆地区，海拔 650 ~ 1 300 m，气候冷凉半干旱，年均温 1 ~ 3 ℃，年降水量 200 ~ 400 mm，无霜期 70 ~ 140 d; 平原区，海拔 454 ~ 650 m，气候温凉干旱，年均温 4 ℃，年降水量 120 ~ 200 mm，无霜期 142 ~ 153 d; 南部干旱区，海拔 470 ~ 1 588 m，年均温 3 ~ 4 ℃，年降水量 200 mm 以下，无霜期 130 ~ 140 d。山地土壤呈明显垂直带状分布，从高海拔到低海拔依次为冰沼土、草甸土、黑钙土、栗钙土、淡棕钙土，平原区主要为淡棕钙土和风沙土。据最新的新疆森林资源调查数据显示[28]，布尔津县林地面积为 181 789.2 hm^2，占土地面积的 38.43%，森林覆盖率 15.87%，森林资源以天然林分为主，占 89.91%; 地域性分布明显，乔木主要分布在额尔齐斯河和布尔津河两岸。

2　评估方法和数据来源

本文采用综合评估的理论和方法[27]，依据森林生态系统服务功能评估规范[22]进行具体操作，对布尔津县天然林生态系统服务价值进行评估。本研究选取符合天然林生态系统服务功能的 7 项，10 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，1) 新疆布尔津县天然林区域 2001、2006 和 2011 年一类森林资源连清数据; 2) 森林生态系统定位研究站长期定位观测研究数据(主要来源于公开发表学术期刊中同类研究成果及网络共享数据库) ; 3) 森林生态系统服务功能评估规范[22]中提供的我国权威机构公布的社会公共数据。

2.1　涵养水源价值

涵养水源功能项包括调节水量和净化水质 2 个

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

指标。

调节水量价值计算公式为:

$$U_{调} = 10C_{库}A(P - E - C) \quad (1)$$

式中: $U_{调}$为林分年调节水量价值,元/a; $C_{库}$为水库建设单位库容造价,元/m^3; A 为林分面积,hm^2; P、E、C 分别为降水量、林分蒸散量、地表径流量,mm。$C_{库}$取 6.11 元/m^3 [22]; 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[29] 和 Atlas of the Biosphere 数据源[30] 按林分类型进行空间分析,求得均值; C 为根据相关研究表明云杉(*Picea* spp.)林内形成的地表径流量仅占降水量的 1.1% [31],我们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:

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

式中: K 为水的净化费用,取 2.09 元/t [22]。

2.2 保育土壤价值

保育土壤功能项包括固定土壤和保持土壤肥力 2 个指标。

林分固定土壤价值计算公式:

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

式中: $U_{固土}$为林分年固土价值,元/a; X_1、X_2分别为有林地土壤侵蚀模数、无林地土壤侵蚀模数,t/(hm^2·a); $C_{土}$为挖取和运输单位体积土方所需费用,元/m^3; ρ 为土壤密度,t/m^3。X_1、X_2分别取 3.47 和 8.12 t/(hm^2·a) [32]; $C_{土}$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,元/a; N、P、K 分别为林分土壤含氮、磷、钾量,%; M 为林分土壤有机质含量,%; R_1为磷酸二胺化肥含氮量,%; R_2为磷酸二胺化肥含磷量,%; R_3为氯化钾化肥含钾量,%; C_1、C_2、C_3分别为磷酸二胺化肥、氯化钾化肥、有机质的价格,元/t。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% [22]; C_1、C_2 和 C_3 分别为 2 400、2 200 和 320 元/t [33]; 不同林分类型面积 A 见表 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,元/a; $C_{碳}$为固碳价格,元/t; $R_{碳}$为 CO_2中碳的含量,为 27.27%; $B_{年}$为林分年净生产力,t/(hm^2·a); $F_{土壤碳}$为单位面积林分土壤年固碳量,t/(hm^2·a)。$B_{年}$根据样木胸径,参考国家农林部门立木材积表标准[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前的变化关系求得[31,37],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[23]; $C_{碳}$为 1 200 元/t [22]。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,元/a; $C_{氧}$为氧气价格,本研究取 1 000 元/a [22]。

2.4 积累营养物质价值

积累营养物质价值计算公式:

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

式中: $U_{营养}$为林分年营养物质积累价值,元/a; $N_{营养}$为林木含氮量,%; $P_{营养}$为林木含磷量,%; $K_{营养}$为林木含钾量,%。$N_{营养}$、$P_{营养}$和 $K_{营养}$分别参考相关研究发表的数据整理[39]; 各林分类型对应值见表 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。

计算公式:

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

式中: $U_{负离子}$为林分年提供负离子价值,元/a; H 为林分高度,m; $K_{负离子}$为负离子生产费用,元/个; $Q_{负离子}$为林分负离子浓度,个/cm^3; L 为负离子寿命,min。$K_{负离子}$为 5.82 元/(10^{18}·个); $Q_{负离子}$根据相关研究成果整理[40]; 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。

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,我们在此主要计算了植物多样性的保护效益。采用涉及物种濒危及特有种指数的 Shannon-Wiener 指数法[41] 计算

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

式中: $U_{总}$为林分年物种保育价值,元/a; 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、y 分别为计算濒危指数、特有种指数的物种数量; $S_{生}$为物种多样性保育价值量,元/(hm^2·a)。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

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　新疆布尔津县天然林不同林分类型面积及相关生态参数

Tab. 1　Area and associated ecological parameters in different stand types of natural forest in Buerjin County, Xinjiang

林分类型 Stand type	林分面积 Stand area/hm^2			蒸散量 Evapotranspiration/mm	降水量 Precipitation/mm	地表径流量 Surface runoff/mm	林分年净生产力 Annual net productivity of a stand/($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	单位面积林分土壤年固碳量 Amount of fixed carbon in soil of stand per unit area/($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	林分氮元素含量 Content of nitrogen in a stand/%	林分磷元素含量 Content of phosphorus in a stand/%	林分钾元素含量 Content of potassium in a stand/%	林分负离子浓度 Concentration of anion in a stand/(个·cm^{-3})	林分高度 Height of stand/m		
	2001 年 In 2001	2006 年 In 2006	2011 年 In 2011										2001年 In 2001	2006年 In 2006	2011年 In 2011
落叶松 Larch	33 373.72	39 554.04	38 317.98	133.67	274.48	3.02	2.53	6.34	1.36	0.08	0.90	1 800.00	19.34	19.52	19.90
桦木 Birch	13 596.70	12 360.64	14 832.77	152.18	249.45	2.74	14.19	35.47	0.52	0.34	0.15	617.00	12.09	12.32	12.68
冷杉 Fir	12 360.64	12 360.64	12 360.64	148.20	254.80	2.80	1.57	3.93	1.36	0.08	0.90	1 800.00	14.70	14.38	14.90
云杉 Spruce	8 652.45	8 652.45	8 652.45	153.43	271.71	2.99	1.49	3.73	1.36	0.08	0.90	1 800.00	13.12	13.14	13.66
杨树 Poplar	3 708.19	3 708.19	7 416.38	168.00	232.00	2.55	2.12	5.31	0.48	0.35	1.02	617.00	14.96	14.62	15.11
红松 Siberian pine	1 236.06	1 236.06	1 236.06	177.00	222.00	2.44	10.16	25.41	1.36	0.08	0.90	1 800.00	10.61	10.19	10.53

分布数据库依据中国数字植物标本馆[42]、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[22]中的分级标准,$S_{生}$为 5 000 元/($hm^2 \cdot a$)。林分面积为 201 691.03 hm^2。

2.7　森林游憩价值

森林游憩功能项包括直接价值和间接价值[22]。由于间接价值的计算方法尚不成熟,且数据资料收集尚不全面,所以本文中直接采用森林旅游门票收入作为反映森林游憩效益的指标。需要说明的是如此反映的森林游憩效益受人为因素的影响比较大,但目前要给出更合理有效的方法和指标尚待深入研究。通过文献资料查阅,相关研究提供了布尔津县自 2003 年至 2010 年连续 8 年的森林旅游门票收入[45],其中接近 2001、2006 和 2011 年 3 期森林资源清查的时间分别为 2003、2006 和 2011 年,这 3 年对应的森林旅游门票合计分别为 0.25 亿、8.98 亿和 10.78 亿元[45]。

2.8　布尔津县天然林生态系统服务功能总价值

布尔津县天然林生态系统服务功能总价值为上述 10 个指标之和,公式为:

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

式中: U 为布尔津县天然林生态系统服务功能总价值,元/a; U_i为布尔津县天然林生态系统服务功能各指标年价值,元/a。

3　结果与分析

3.1　布尔津县天然林资源动态

3 次清查期间,新疆布尔津县天然林区域森林资源的面积和蓄积量平均值分别为 77 047.98 hm^2 和 1 751.13 万 m^3。从 3 次清查结果综合来看,森林资源面积和蓄积量均逐渐增加。3 次清查森林资源面积分别为 72 927.76、77 872.02 和 82 816.27 hm^2; 蓄积量分别为 1 675.55 万、1 762.76 万和 1 815.07 万 m^3。

新疆布尔津县天然林保护工程区域森林乔木优势树种为落叶松(*Larix sibirica*)、西伯利亚冷杉(*Abies sibirica*)、桦木(*Betula* spp.)、云杉(*Picea* spp.)、杨树(*Populus* spp.)和西伯利亚红松(*Pinus sibirica*)。优势乔木树种面积从大到小的排序为落叶松 > 桦木 > 冷杉 > 云杉 > 杨树 > 红松; 优势乔木树种蓄积量从大到小的排序为落叶松 > 冷杉 > 桦木 > 云杉 > 杨树 > 红松。单位面积蓄积量为红松 > 落叶松 > 冷杉 > 杨树 > 云杉 > 桦木。

自天然林保护工程实施以来,布尔津县天然林区的冷杉、云杉和红松林面积保持不变,落叶松林、桦木林和杨树林面积有所增加。落叶松林面积 2006 年较 2001 年增多,2011 年较 2006 年略微减少; 桦木林面积 2006 年较 2001 年减少,2011 年有所增加,且超过 2001 年总面积; 杨树林面积 2001 年至 2006 年没有变化,2011 年增加。

自天然林保护工程实施以来,布尔津县不同森林类型中,除桦木林外,所有类型的森林蓄积量都有所增加。

3.2　布尔津县天然林生态系统服务功能总价值动态

第六次、第七次和第八次全国森林资源清查期间,新疆布尔津县 3 次清查的时间分别为 2001、2006 和 2011 年,其辖区天然林生态系统服务功能

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的价值量评估结果见表2，总价值量平均为50.34亿元/a。布尔津县天然林生态系统年调节水价值量平均为5.50亿元/a，年净化水价值量平均为1.88亿元/a；年固土价值平均为365.00万元/a，年保肥价值平均为1.62亿元/a；年固碳价值平均为12.09亿元/a；年释氧价值平均为4.07亿元/a；年积累营养物质价值平均为7 055.00万元/a；年提供负离子价值平均为381.44万元/a；年生物多样性保护价值平均为17.72亿元/a；年森林游憩价值平均为6.67亿元/a。

表2 新疆布尔津县天然林各生态系统功能项不同年份价值量及其百分比

Tab. 2 Value and percentage of the different natural forest ecosystem services for each year in Buerjin County, Xinjiang

服务类型 Service type	指标 Index of value	2001年 In 2001 价值/(亿元·a^{-1}) Value/(a hundred millin RMB yuan·a^{-1})	2001年 In 2001 比例 Percentage/%	2006年 In 2006 价值/(亿元·a^{-1}) Value/(a hundred millin RMB yuan·a^{-1})	2006年 In 2006 比例 Percentage/%	2011年 In 2011 价值/(亿元·a^{-1}) Value/(a hundred millin RMB yuan·a^{-1})	2011年 In 2011 比例 Percentage/%
涵养水源 Water conservation	调节水量价值 Regulating water flow	5.16	12.34	5.58	10.80	5.76	10.02
	净化水质价值 Purifying water quality	1.77	4.22	1.91	3.69	1.97	3.43
保育土壤 Soil conservation	固土价值 Fixing soil	0.03	0.08	0.04	0.07	0.04	0.07
	保肥价值 Conservation of fertilizer	1.51	3.62	1.62	3.12	1.72	2.99
固碳释氧 Carbon fixation and oxygen release	固碳价值 Fixing carbon	11.67	27.91	11.60	22.43	13.01	22.62
	释氧价值 Releasing oxygen	3.93	9.40	3.91	7.56	4.38	7.62
积累营养物质 Cumulative nutrients	积累营养物质价值 Accumulating nutrients	0.67	1.61	0.69	1.34	0.75	1.30
净化大气环境 Atmospheric environment purification	提供负离子价值 Supplying anions	0.04	0.08	0.04	0.08	0.04	0.07
生物多样性保护 Biodiversity conservation	植物物种保育价值 Conservation of plants species	16.77	40.12	17.34	33.53	19.05	33.12
森林游憩 Tourism in forest	旅游门票收入 Earning from tickets of tourism	0.25	0.60	8.99	17.38	10.78	18.75
合计 Total		41.80	100.00	51.72	100.00	57.50	100.00

2001、2006和2011年3次森林资源清查数据统计布尔津县天然林各生态系统服务功能占总价值量比例见表2。总体看来，生物多样性保护价值最大(平均为17.72亿元/a)，占总价值的35.59%；固碳释氧价值次之(平均为16.17亿元/a)，占总价值的32.52%；涵养水源价值位于第3位(平均为7.38亿元/a)，占总价值的14.84%；森林游憩价值量处于第4位(平均为6.67亿元/a)，占总价值的12.24%；保育土壤价值列第5位(平均为1.65亿元/a)，占总价值的3.32%；积累营养物质价值位列第6位(平均为0.71亿元/a)，占总价值的1.42%；净化大气环境价值最小(0.04亿元/a)，仅占总价值的0.08%。

综合来看，除固碳释氧价值量在天保工程实施的前期有降低外，生态系统服务其他各功能项均表现随着天保工程实施年份的增加，其价值量均呈现或多或少增加。其中森林游憩价值增加幅度最大，2006年森林游憩价值是2001年的35.95倍，2011年是2006年的1.2倍。

3.3 布尔津县天然林不同林分类型生态系统服务功能价值量动态

本文中的林分类型是依据《国家森林资源连续清查技术规定》的乔木林优势树种，结合每个清查样地中样木调查的情况，新疆布尔津县天然林优势

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

乔木树种主要包括落叶松、冷杉、桦木、云杉、杨树和红松 6 类。由于生物多样性保护价值和森林游憩价值均是针对布尔津县整个天保工程区进行计算,因此,每种林分类型的生物多样性保护价值和森林游憩价值在此依据不同林分类型所占森林面积的百分比,赋予相应的生物多样性保护价值和森林游憩价值。

2001、2006 和 2011 年新疆布尔津县森林资源 3 次清查中,各林分类型生态系统服务功能年总价值和所占比例见表 3。各林分类型的生态系统服务功能总价值位于 0.99 ~ 23.78 亿元/a 之间,其排列顺序为: 落叶松林 > 桦木林 > 冷杉林 > 云杉林 > 杨树林 > 红松林。

表 3　新疆布尔津县天然林各林分类型生态系统服务功能不同年份价值量及其百分比

Tab. 3　Value and percentage of the natural forest ecosystem services for different stand type for each year in Buerjin County, Xinjiang

林分类型 Stand type	2001 年 In 2001		2006 年 In 2006		2011 年 In 2011	
	价值/(亿元·a^{-1}) Value/(a hundred million RMB yuan·a^{-1})	比例 Percentage/%	价值/(亿元·a^{-1}) Value/(a hundred million RMB yuan·a^{-1})	比例 Percentage/%	价值/(亿元·a^{-1}) Value/(a hundred million RMB yuan·a^{-1})	比例 Percentage/%
落叶松 Larch	16.53	42.89	23.60	59.01	23.78	54.37
桦木 Birch	13.92	36.11	13.93	34.82	17.04	38.96
冷杉 Fir	5.18	13.44	6.52	16.30	6.75	15.43
云杉 Spruce	3.67	9.53	4.59	11.48	4.77	10.90
杨树 Poplar	1.52	3.94	1.91	4.76	4.00	9.15
红松 Siberian pine	0.99	2.56	1.17	2.93	1.17	2.68

4　结论与讨论

本文以 2001、2006 和 2011 年的一类森林资源连清数据为基础,分别统计了新疆布尔津县天然林森林资源面积及蓄积量的变化,从统计结果来看,天然林保护工程实施以来,布尔津县天然林总覆盖面积和森林蓄积量都明显增加。说明天然林保护工程的实施实现了该县天然林区森林资源“双增”的目标。从不同林分类型的统计结果来看,冷杉、云杉和红松林面积保持不变,落叶松林、桦木林和杨树林都有所增加; 就森林蓄积量来看,除桦木林外,其他所有林分类型均有增加。冷杉、云杉和红松林林分面积不变,而蓄积量有所增加,可能是由于这些树种天然更新能力低下所致。

本文采用综合评估的理论和方法,按照国家林业局发布的规范[22]进行操作,计算出新疆布尔津县天然林生态系统服务功能的平均价值为 50.34 亿元/a,各年价值分别为 41.80 亿、51.72 亿和 57.50 亿元。由此可见,自天然林保护工程实施后,布尔津县天然林生态系统服务功能价值是在逐年增加的。

本研究结果表明,不同生态服务功能项价值从大到小依次为生物多样性保护、固碳释氧、涵养水源、森林游憩、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 35.59%。与同样评估方法[18]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。布尔津县地处落叶松与“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[46]; 因此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。此外森林游憩功能项为布尔津的发展带来巨大的经济效益,2006 年森林游憩价值是 2001 年的 35.95 倍,使得森林游憩所占的比例由 2001 年的 0.60% 增加到 2006 年的 17.38%; 因此在森林经营及管护方面应加强生物多样性保育的重视,同时也需要更加重视森林旅游的合理规划和布局,实现布尔津县天然林资源的可持续发展[45]。

不同林分类型生态系统服务总价值顺序为落叶松林 > 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价值与其对应的林分面积排序一致,这说明林分面积是影响不同林分类型生态系统服务功能价值的重要因素。

本文社会公共数据采用森林生态系统服务功能评估规范[22]中公布的数据,因此,价值量评估并非实时价值,只与同类研究存在可比性。由于不同的研究存在研究区域和时间上的差异,引用这些数据的针对性还有待深入探讨。此外由于可获取资源有限,一些林分类型参数采用相近地区同类型或近缘林分类型值直接替代,因此计算结果可能存在偏差,精确研究还有待进一步修正和完善。

参　考　文　献

[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

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[J]. 自然资源学报，2004，19(1)：55-61.
WANG Z M，ZAHNG B，ZHANG S Q. Study on the effects of land use change on ecosystem service values of Jilin 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 W H，OU Y Z Y，ZHAO J Z. Study on ecosystem services function [M]. Beijing：China Meteorological Press，2002.

[5] 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 R G，CHENG K W，LI J Q，et al. Biodiversity conservation and restoration of natural forest [M]. Beijing：Science and Technology of China Press，2005.

[6] 周生贤. 中国林业的历史性转变 [M]. 北京：中国林业出版社，2002.
ZHOU S X. Historical transitions in China's forestry [M]. Beijing：China Forestry Publishing House，2002.

[7] 张志达. 天保工程的实施背景、进展及对策 [J]. 林业经济，2002(1)：6-39.
ZHANG Z D. Implementation background，progress and countermeasures of natural forest protection program [J]. Forestry Economics，2002 (1)：6-39.

[8] 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 effect of natural forest protection program implementation phase-I in China [J]. China Forestry Science and Technology，2012，26(6)：5-8.

[9] 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 G D，ZHEN L，RU C X，et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China [J]. Journal of Natural Resources，2008，23(5)：911-919.

[10] 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.
OU Y Z Y，WANG R S，ZHAO J Z. Ecosystem services and their economic valuation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology，1999，10(5)：635-640.

[11] 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 J Z，XIAO H，WU G. Comparison analysis on physical and value assessment methods for ecosystems services [J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2000，11(2)：290-292.

[12] 许信旺，朱诚. 皖南山区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 X W，ZHU C. 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.

[13] 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 X W. Value of forest eco-system services in Anhui Province [J]. Resource Development & Market，2005，21(2)：96.

[14] 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 X X，QIN Y S，CHEN L H，et al. The forest ecosystem services and their valuation of Beijing mountain areas [J]. Acta Ecologica Sinica，2002，22(5)：783-786.

[15] 刘璨，孟庆华，李育明，等. 我国天然林保护工程对区域经济与生态效益的影响：以四川省峨边县和盐边县为例 [J]. 生态学报，2005，25(3)：428-434.
LIU CAN，MENG Q H，LI Y M，et al. A case study on ecological and socioeconomic benefit evaluation of Sichuan Provincial natural forest protective project [J]. Acta Ecologica Sinica，2005，25(3)：428-434.

[16] 赖亚飞，朱清科，张宇清，等. 吴旗县退耕还林生态效益价值评估 [J]. 水土保持学报，2006，20(3)：83-87.
LAI Y F，ZHU Q K，ZHANG Y Q，et al. Valuing ecological effects of land conversion project in Wuqi County [J]. Journal of Soil and Water Conservation，2006，20(3)：83-87.

[17] 张勇，李有华，杜轶，等. 区域退耕还林(草)工程综合效益评价研究 [J]. 水土保持通报，2007，27(6)：108-111.
ZHANG Y，LI Y H，DU Y，et al. Research on indicators to evaluate efficiency of converting farmland to forest or grassland [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2007，27(6)：108-111.

[18] 《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 Group of "Assessment of Forest Ecological Services in China". Assessment of forest ecological services in China [M]. Beijing：China Forestry Publishing House，2009.

[19] 李世荣，李文忠，李福源，等. 青海省大通县退耕还林生态功能综合评价 [J]. 水土保持通报，2006，26(2)：65-68.
LI S R，LI W Z，LI F Y，et al. Evaluation of ecological functions in returning farmland to afforestation project area in Datong County of Qinghai Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2006，26(2)：65-68.

[20] 康玲玲，王云璋，王霞. 小流域水土保持综合治理效益指标体系及其应用 [J]. 土壤与环境，2002，12(3)：274-278.
KANG L L，WANG Y Z，WANG X. Comprehensive harnessing indicator system and benefit estimation for soil and water conservation in small watershed [J]. Soil and Environmental Sciences，2002，12(3)：274-278.

[21] 宋富强，杨改河，冯永忠. 黄土高原不同生态类型区退耕还林(草)综合效益评价指标体系构建研究 [J]. 干旱地区农业研究，2007，25(3)：169-174.
SONG F Q，YANG G H，FENG Y Z. Research and establishment of the multi-effect assessment farmland to forest project in different ecological index zones system of the returning of Loess Plateau [J]. Agricultural Research in the Arid Areas，2007，25(3)：169-174.

[22] 国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范 [G]. 北京：国家林业局，2008.
State Forestry Administration of the People's Republic of China. Specifications for assessment of forest ecosystem services in China [G]. Beijing：State Forestry Administration of the People's Republic of China，2008.

[23] 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 F Q，WANG X H，CHEN S G，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.

[24] 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 L Q，XU X W，RONG H F，et al. Study on forest ecosystem services value in Shitai County，Anhui Province [J]. Journal of Agrotechnical，2010 (11)：122-127.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[25] 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 B，RU S W. Evaluation of economic forest ecosystem services in China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2009，20(2): 417-425.

[26] 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 Y，WANG Y J，WANG Y Q，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.

[27] NIU X，WANG B，LIU S R，et al. Economical assessment of forest ecosystem services in China: characteristics and implications [J]. Ecological Complexity，2012，11: 1-11.

[28] 新疆维吾尔自治区林业厅. 新疆维吾尔自治区森林资源调查报告 [R]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区林业厅，2007.
Forestry Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Report on investigation of forest resources in Xinjiang Uygur Autonomous Region [R]. Urumqi: Forestry Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region，2007.

[29] HIJMANS R J，CAMERON S，PARRA J. WorldClim: global climate data [EB/OL]. (2005-01-20) [2013-05-28]. http://www.worldclim.org/.

[30] WILLMOTT C J，MATSUURA K. Terrestrial water budget data archive: monthly time series (1950-1999) [EB/OL]. (2001-05-06) [2013-06-11]. http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps.php? datasetid=58&includerelatedlinks=1&dataset=58.

[31] 新疆维吾尔自治区人民政府. 新疆新农网 [EB/OL]. (2011-03-18) [2013-05-24]. http://www.xjxnw.gov.cn/zx/qxfw/qxzs/xjqxsc/03/433956.shtml.
The People's Government of the Xinjiang Uygur Autonomous Region. Xinjiang website of revitalization of the farmers [EB/OL]. (2011-03-18) [2013-05-24]. http://www.xjxnw.gov.cn/zx/qxfw/qxzs/xjqxsc/03/433956.shtml.

[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): 73-78.
CHEN Y N，LIU X W. Use of information geography system technology in simulated calculation of soil erosion volume: taking Toutunhe River Basin of Xingiang [J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation，1995 (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 Compiled. China soil [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 L，FENG J J，WANG Y P，et al. Evaluation on comprehensive performance of national public welfare forests in Xinjiang Province [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 [G]. 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 [G]. 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 and Administration Bureau of Forestry Industry Headquarters in Heilongjiang Province. Foot diameter volume manual of state-owned forestry region in Heilongjiang Province [M]. Beijing: China Forestry Publishing House，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 J Y，LIU G H，XU H L. 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 G H，FU B J，FANG J Y. 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.
WU J S G L. The research on the value assessment of forest ecosystem services of Taiyue Mountain [D]. Beijing: Beijing Forestry University，2012.

[40] 李翔，张毓涛. 天山雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)林空气负离子资源初析 [J]. 安徽农学通报，2012，18(19): 116-118.
LI X，ZHANG Y T. Analysis of aeroanion resources in Tianshan forest of *Picea schrenkiana* [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin，2012，18(19): 116-118.

[41] 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 B，SONG Q F. Value assessing methods of species diversity conservation in forest ecosystem [J]. Journal of Beijing Forestry University，2012，34(2): 155-160.

[42] 中国科学院成都生物研究所，中国科学院武汉植物园，中国科学院植物研究所. 中国数字植物标本馆 [EB/OL]. (2009-02-12) [2013-06-01]. http://www.cvh.org.cn.
Chengdu Institute of Biology，Chinese Academy of Sciences，Wuhan Botanical Garden，Chinese Academy of Sciences，Institute of Botany，the Chinese Academy of Sciences. Chinese virtual herbarium [EB/OL]. (2009-02-12) [2013-06-01]. http://www.cvh.org.cn.

[43] HUANG J H，CHEN J H，YING J S，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 Y B. Study on conservation biogeography of national key protected wild plants [D]. Beijing: Institute of Botany，the Chinese Academy of Sciences，2008.

[45] 郭丽敏. 布尔津县生态旅游开发现状 [J]. 北方经贸，2011(6): 140-143.
GUO L M. The present situation of ecological tourism development in Buerjin County [J]. Northern Economy and Trade，2011(6): 140-143.

[46] 《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.
Edit Committee of "Xinjiang Forests". Xinjiang forests [M]. Urumqi/Beijing: Xinjiang People's Publishing House/China Forestry Publishing House，1989.

(责任编辑　赵　勃
责任编委　李俊清)

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net