

昆嵛山自然保护区生态系统服务功能价值评估

王玉涛¹, 郭卫华¹, 刘 建², 王淑军¹, 王 琦³, 王仁卿^{1,*}

(1. 山东大学生命科学院, 济南 250100; 2. 山东大学环境研究院, 济南 250100; 3. 山东省烟台市昆嵛山林场, 烟台 264113)

摘要: 昆嵛山自然保护区是中国的赤松原生地和天然分布中心, 分布有我国面积最大、保护最为完整的天然赤松林生态系统。以昆嵛山自然保护区的自然生态系统为研究对象, 从物质质量与价值量的角度, 采用影子工程法、机会成本法、市场价值法等研究方法, 对其生态系统服务功能的直接价值和间接价值进行了评估。结果表明, 昆嵛山自然保护区的生态系统服务功能价值达 4.99×10^8 元/a, 其单位面积的经济价值为 32351 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 其中直接价值为 0.32×10^8 元/a, 仅占到总服务功能总价值的 6.42%, 而间接价值高达 4.67×10^8 元/a, 两者之比接近 1:15, 间接价值中大小顺序依次为: 涵养水源 > 净化空气 > 维持生物多样性 > 土壤保持 > 固碳释氧 > 娱乐文化价值。昆嵛山自然保护区面积仅占到烟台市牟平区的 9.71%, 但贡献的生态服务价值可相当于牟平区 2003 年 GDP 的 7.00%, 从人均来看, 当地每人每年可获得其生态服务价值达 1039 元。研究结果表明, 昆嵛山自然保护区对维持当地可持续发展具有举足轻重的作用。

关键词: 生态系统服务; 昆嵛山; 自然保护区; 赤松

文章编号: 1000-0933(2009)01-0523-09 中图分类号: Q16, X176 文献标识码: A

Value of ecosystem services of Kunyu Mountain Natural Reserve

WANG Yu-Tao¹, GUO Wei-Hua¹, LIU Jian², WANG Shu-Jun¹, WANG Qi³, WANG Ren-Qing^{1,*}

1 School of Life Sciences, Shandong University, Jinan 250100, China

2 Institute of Environment Research, Shandong University, Jinan 250100, China

3 Kunyu Mountain Forestry Centre, Yantai 264113, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0523 ~ 0531.

Abstract: The Kunyu Mountain Natural Reserve is an original habitat and natural distribution center of *Pinus densiflora* in China, which has the largest area of distribution and the most complete protection of the natural forest ecosystem of *Pinus densiflora*. In this paper we assessed the direct and indirect ecological service values using shadow engineering method, opportunity cost method, market value method and other methods. The ecosystem services value of the natural reserve is 4.99×10^8 yuan/a. The economic value of per unit area is 32351 yuan/ ($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$). The direct value is 0.32×10^8 yuan/a, accounting for only 6.42% of the total. The indirect value is over 4.67×10^8 yuan/a. The ratio of direct value to indirect value is ca. 1:15. The order of indirect value of ecosystem service is: water conservation > air quality purifying > provisioning of habit > erosion control > C fixation and O_2 release > recreation and culture. Despite the Kunyu Mountain Nature Reserve takes only 9.71% in area of the Muping, the ecosystem services value accounts for 7.00% of GDP in Muping District in 2003. For each local individual, the available ecosystem services value can reach 1039 yuan per year. In conclusion, the Kunyu Mountain Nature Reserve plays a decisive role in maintaining the sustainable development for the local society.

Key Words: ecosystem service; Kunyu Mountain; natural reserve; *Pinus densiflora*

基金项目: 山东省科技攻关重点资助项目(2004GG3206005; 2007GG2006004); 山东省环境保护科技计划资助项目(2006049)

收稿日期: 2007-09-10; 修订日期: 2008-04-09

* 通讯作者

E-mail: wrq@sdu.edu.cn; yutao-wang@163.com

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成与维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。生态系统不仅为人类提供了食物、医药及其他工农业生产的原料,更重要的是支撑与维持了地球的生命支持系统,对人类社会具有巨大的服务价值^[1,2]。由于长期以来人类在经济活动决策过程中对生态系统服务价值的忽略,导致自然资源的过度消耗和生态系统的破坏^[3]。伴随着人类社会不断发展,生态系统服务功能的价值逐渐被人们认识到,特别是在 1997 年 Costanza^[4]以货币形式对全球生态系统服务功能价值进行了评估,使得生态价值评估进入一个新阶段,分析与评价生态系统服务功能的价值已成为当前生态学研究的前沿课题。

在我国,生态系统服务功能研究起步相对较晚,但已经进行了大量有意义的探讨^[5-9],但目前关于区域生态系统服务功能内涵、指标体系及评价方法在国内外还没有公认的成熟方法,在价值评估中,大都参考了 Costanza^[4]的方法,尽管其方法存在争议^[10],但还是为开展生态价值评估提供了一种具有参考意义的方法。目前,国内大尺度区域生态系统服务价值评估在现阶段占据主导地位,然而,基于重点流域、自然保护区等自然区域尺度的价值评估研究较少。大尺度评估往往容易使某些局部格局特征或特异现象消失,对于具有阈值和非线性特征的生态过程,这个问题尤为突出^[28]。加强中小尺度生态系统如自然区域层面的重点流域、各类保护区的价值评估是未来的一个重要方向。积极开展具有典型植被特征自然保护区尺度的生态系统服务功能价值评估就显得尤为重要。由此,本文在分析昆崙山自然保护区生态系统结构、过程及服务功能关系的基础上,对以赤松林为典型植被代表的昆崙山自然保护区生态服务价值进行评估。该保护区地处我国对外开放、经济发达的东部沿海地区,研究其生态服务功能,有助于更好的理解在我国经济发达的东部地区森林型自然保护区生态系统服务功能的价值重要性,也对正确保护赤松林资源提供有力支持。赤松是山东省乡土树种,正确认识其生态服务价值,能为开展山东省生态补偿机制研究提供科学可行的数据支持和理论依据。

1 研究区域概况

昆崙山自然保护区位于我国最大的半岛——山东半岛东部,地理坐标为东经 121°37'0"~121°51'0",北纬 37°12'20"~37°18'50",总面积 15416.5hm²,保护区气候属暖温带季风型大陆性气候,受太平洋暖湿气流和西伯利亚干冷气流控制,具有四季分明,季风显著,雨热同期,空气湿润,温差较小,光照充足等特点。年均气温 11.9℃,年均降水 984.4mm,年均相对湿度 71%,无霜期 200d 左右。该保护区具有典型的暖温带植物区系成分,是我国及东北亚赤松(*Pinus densiflora*)原生地和天然分布中心,分布有我国面积最大、保护最为完整的天然赤松林生态系统,在世界上也具有很重要的代表性;区内还分布着大面积以赤松为主要建群树种的赤松阔叶混交林,在中国植被区划中,是暖温带落叶阔叶林区域的典型代表,是我国暖温带东部沿海火成岩山区的土壤亚顶级植被类型,也是植被恢复与重建的先锋树种^[13]。

昆崙山 2000 年建立省级自然保护区,2007 年成为国家级自然保护区。根据保护区管理局统计资料^①,区内森林面积 14203.6hm²,森林覆盖率为 92.1%,活立木总蓄积量 508063m³,其中针叶林 396453m³,阔叶林 10898m³,针阔混交林 100712m³,平均年增长率为 6.96%。主要植物群落有:赤松天然林 11546.3hm²;针阔混交林面积为 2308.7hm²;栎类落叶阔叶林 348.6hm²;灌草丛、草甸分布面积 83.6hm²。

2 研究方法

2.1 直接价值

2.1.1 有机物生产

有机物生产是指森林通过光合作用生产有机物质的过程。本文主要计算是指活立木生产。计算公式 $V_0 = \sum S_i \cdot V_i \cdot P_i$ 式中^[11], V_0 为有机物生产价值总量; S_i 为各类森林面积; V_i 为各类有机物单位面积产量; P_i 为各类有机物单价。

2.2 间接使用价值

① 《昆崙山综合科学考察报告》,王仁卿,王家福,2003.

2.2.1 涵养水源

森林植被与土壤具有“海绵效应”,这是它的一个重要功能^[14]。森林涵养水源的估算方法主要有两种:水量平衡法和分类统计法。由于考虑到资料的可获得性,本论文采用分类统计法,按照分类统计法,可以计算出各林分 3 方面的水源涵养量:林冠截流量、凋落物持水量和土壤含水量。涵养水源主要通过林冠截流、林间凋落物持水和土壤持水 3 个方面来实现的。计算公式^[11]: $Fw = \sum n S_i \cdot \rho_i \cdot P_i$, 式中, Fw 为森林水源涵养量; S_i 为各类森林面积; ρ_i 为各类森林单位面积持水量, P_i 为单价。

2.2.2 土壤保持

在评价中,首先对昆崙山自然保护区生态系统土壤保持物质质量进行计量,然后利用影子价格法、机会成本法和替代工程法,将其价值化。生态系统土壤保持量估算方法: $Ac = Ap - Ar$, 其中: $Ap = DM_1$, $Ar = DM_0$, Ac 为土壤保持量(t/a); Ap 为潜在土壤侵蚀量(t/a); Ar 为现实土壤侵蚀量(t/a); D 为区域面积 hm^2 ; M_1 为荒地侵蚀模数($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$); M_1 为当前植被覆盖下的实际侵蚀模数($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$); 生态系统土壤保持价值评估方法:运用影子价格法、机会成本法和影子工程法从保护土壤肥力,减少土地废弃和减轻泥沙淤积灾害 3 个方面来评价生态系统土壤保持经济效益;土壤肥力保持价值估算:由于森林的作用,不仅使林区的土壤侵蚀减少,也保留了土壤中大量的营养物质。这些营养成分主要包括 N、P、K 等。按照价值补偿法,其相当于提供了相当量的化肥。计算公式为: $S_n = \sum n Ac \cdot \mu_i \cdot P_i$, 式中, S_n 为土壤营养物质价值; Ac 为土壤保持量($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$); μ_i 为第 i 类土壤营养物质含量; P_i 为第 i 类营养物质单价。

减少土地废弃价值计算:森林砍伐后,如不合理利用,这些土地将很快退化乃至废弃,但土壤退化是一个逐渐的过程,难以计算每年土地废弃量。本文参照土壤表土平均厚度 0.6m ^[12] 作为森林减少废弃土地的土层厚度来推算因土壤侵蚀而造成的废弃土地面积,再用机会成本法计算得因土地废弃而失去的年经济价值。计算公式为: $Es = AcB/(0.6 \times 10000\rho)$ 式中, Es 为减少土地废弃的经济效益(元/a), Ac 为土壤保持量(t/a), B 为林业年均收益(元/ hm^2), ρ 为土壤容重(t/m^3)

减轻泥沙淤积灾害:按照我国主要流域的泥沙运动规律,全国土壤侵蚀流失的泥沙有 24%,淤积于水库、江河、湖泊^[12],利用影子工程法,森林生态系统减轻泥沙淤积灾害的生态服务功能价值,可以用泥沙淤积导致水库蓄水量减少而造成的损失来估计。计算公式为: $En = 24\% \times Ac \times C/P$, 其中, En 为减轻泥沙淤积经济效益(元/a); Ac 为土壤保持量(t/a); C 为水库工程费用(元/ m^3); P 为土壤容重(t/m^3)。

2.2.3 固碳释氧

森林通过光合作用,吸收 CO_2 ,释放 O_2 ,通过这一过程,森林能有效控制大气中 CO_2 的浓度,减轻温室效应,增加森林的生物生长量。根据研究区域内植物年净生长量,可算出每年所固定的 CO_2 量、释放 O_2 量。 CO_2 固定量和纯碳量的计量:森林平均每立方米生长量可固定 CO_2 850kg,同时向大气释放 O_2 618.2kg。由于每年枯枝落叶分解所消耗的 O_2 和产生的 CO_2 与其生长过程中所产生的 O_2 和消耗 CO_2 基本相当,故对枝叶的纳碳释氧价值可不予计算,研究区森林年蓄积增长量 35361m^3 ,根据 CO_2 分子式和原子量: $\text{C}/\text{CO}_2 = 0.2729$,即:折合纯碳量 = CO_2 固定量 $\times 0.2729$ 。 CO_2 固定量的价格计算:目前,国际上计算固定 CO_2 价值的方法主要有碳税法和造林成本法。本文采用碳税法来进行核算。按照国际上通用的瑞典碳税率 \$ 150 美元/t(c) (汇率按 1:8.00) 计算森林生态系统固定其经济价值。释放 O_2 量及其价值计算:通过森林年净生长量,计算释放 O_2 量,再通过市场价格法来估算森林释氧功能的价值。

2.2.4 净化空气

SO_2 的净化:评价方法采用的 SO_2 平均治理费用方法^[12],评价昆崙山森林净化 SO_2 的价值。其依据分别是,森林对 SO_2 的吸收能力:阔叶林 $q_1 = 88.65\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$;针叶林 $q_2 = 215.6\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,森林年吸收 SO_2 的总量: $Q = Q_1 + Q_2 = q_1 s_1 + q_2 s_2$, 式中, Q 为森林年吸收 SO_2 的总量; Q_1 、 Q_2 分别为阔、针叶林年吸收 SO_2 的总量; s_1 、 s_2 分别为阔、针叶林面积。按照 SO_2 的投资及处理成本 600 元/t 计算其经济价值;滞尘:森林滞尘的价值,

同样可用削减粉尘的平均单位治理费用来评估^[12],据测定,我国森林的滞尘能力为,阔叶林 $q_1 = 10.1 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,针叶林 $q_2 = 33.2 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。森林滞尘的总量: $K = q_1 s_1 + q_2 s_2$,按照除尘运行成本 170 元/t,计算经济价值。

2.2.5 娱乐文化价值

包括科研文化价值与旅游价值。昆嵛山自然保护区为国内外 20 多处高等院校、科研机构等的科学考察基地,并建有昆嵛山全国青少年科技教育基地等,本文中参考我国单位面积生态系统的平均科研价值^[22]和 Costanza^[4]等人对全球温带森林生态系统科研文化功能价值的平均值 199 元/ hm^2 ,计算其经济价值。

2.2.6 生物多样性的维持价值

昆嵛山自然保护区为野生动物提供了良好的生存环境,现初步记录野生动物(含淡水浮游动物和鱼类)有 10 纲,47 目,225 科,1161 种(含亚种)。其中,国家 I 级保护野生动物 9 种,国家 II 级保护野生动物 40 种,山东省重点保护野生动物 54 种。列于《濒危野生动植物种国际贸易公约》中保护的动物 35 种,其中,列入附录 I 的有 6 种,列入附录 II 的有 19 种,列入附录 III 的有 10 种,如果使用影子工程法将昆嵛山自然保护区视作一个大型动物园,根据价值工程的廉价原则,以 10000 万元为投资额,按 5%^[23]的年利率,计算其作为动物栖息地的经济价值。有资料表明^[24,25],森林采伐造成的游憩及生物多样性的价值损失为 400 美元/ hm^2 ,全球社会对保护我国森林资源的支付意愿为 112 美元/ hm^2 ,计算其维持生物多样性的价值。

3 结果与分析

3.1 直接价值

3.1.1 提供林木、林副产品

依据昆嵛山林场管理局的统计结果(表 1),这里活立木蓄积量达 508063 m^3 ,并且以平均每年 6.96% 的速度增加,年增长量达到 35361 m^3 。按照目前市场上原木 850 元/ m^3 的价格计算,每年产生的市场价值为 3005.69 万元。

表 1 昆嵛山自然保护区各森林类型面积与活立木蓄积量

Table 1 Area and cumulation of different forest types in Kunyu Mountain Natural Reserve

森林类型 Forest type	面积(hm^2) Area	单位面积蓄积(m^3/hm^2) Stand volume per unit	蓄积量(m^3) Cumulation
针叶林 Conifer forest	11546.3	34.34	396453
针阔混交林 Mixed conifer and broad-leaved forest	2308.7	43.62	100712
阔叶林 Broad-leaved forest	348.6	31.26	10898
合计 Total	14203.6	35.77	508063

另外,根据保护区统计数据,当地副业收入 50 万元,种植业收入 146 万元。

则保护区年提供林木、林副产品总价值达 3201.69 万元。

3.2 间接价值

3.2.1 涵养水源功能评价

不同类型的森林,林冠截流率相差较大^[15]:温带针叶林的林冠截流率为 21.16%,温带落叶阔叶林的林冠截流率为 17.85%,针阔混交林的林冠截流率为 28.92%,灌木林的林冠截流率为 3.92%。经计算,则研究区域内林冠截流量总计 31268205.11 m^3 ,按照我国近年水库工程成本费 5.714 元/ m^3 ^[16]计算,其经济价值为 17866.65 万元。森林枯枝落叶层在森林涵养水源中也起到了重要作用,针叶林枯落物干重为 2.96 t/hm^2 、针阔混交林枯落物干重为 3.84 t/hm^2 、落叶阔叶林枯落物干重为 6.79 t/hm^2 、灌木林枯落物干重为 7.45 t/hm^2 ^[15],吸水率分别为 2.2342、2.3876、3.774、3.9159,其枯枝落叶层蓄水量为 108897.35 m^3 ,其经济价值为 62.22 万元。森林土壤层的蓄水能力大小取决于土壤孔隙度,尤其是非毛管孔隙度,增强了土壤的入渗性能和贮水能力,从而提高了林地土壤的贮水量,很好地起到了蓄水作用^[17]。研究区域内土壤以棕壤为主,局部有少量山

顶草甸土。土壤质地多为砂壤质, 结构疏松, 层次明显, 腐殖质层厚度变化很大, 有机质及养分含量较高, PH 值在 4.5 ~ 5.5 之间, 呈酸性或微酸性。研究区内棕壤的成土年龄较长, 具有明显的剖面发育, 以棕色为主, 质地多为轻壤土, 次为砂壤或中壤土, 土厚多为 1m 左右, 也有中 (30 ~ 60cm)、厚 (60 ~ 100cm) 层土, 呈微酸性反应, 盐基饱和度较高, 淀积层明显。据保护区所在地 30 个典型剖面理化诊断和机械分析结果, 取平均值, 土壤容重为 $1.45\text{g}/\text{cm}^3$, 孔隙度为 44.38%, 毛管孔隙度 32.07%, 非毛管孔隙度 12.33%。林地土壤层蓄水量按以下公式计算^[15]: 森林土壤层增加的枯水期总水量 = 森林土壤非毛管孔隙度 $\times$ 森林土层厚度 (m) $\times 10^4 \times$ 林区有林地面积 (hm^2) = $12.33\% \times 1 \times 10000 \times 14287.2 = 17616117.6\text{m}^3$, 其经济价值为 10065.85 万元。则 3 项合计, 研究区年涵养水源量 48993220m^3 , 经济价值 27944.72 万元。

3.2.2 土壤保持功能评价

森林具有保护土地资源、减少土地资源损失、防止泥沙滞留和淤积、保育土壤肥力、减少风沙灾害和减少土体崩塌泻流等效用。降雨时非林地输出大量泥沙, 这些泥沙带走了土壤中大量的 N、P、K 和有机质, 造成土层变薄, 土壤肥力降低, 并使河流和水库淤积, 对农业生产和水库的利用造成极大危害。而由于森林的作用, 一方面, 由于林冠的截流作用, 使到达地面的降水的动能明显减小; 另一方面, 森林涵养水源的作用使坡面水流强度明显降低, 坡面侵蚀明显减轻。

(1) 生态系统土壤保持量

根据我国土壤侵蚀的研究成果, 无林地的土壤中等程度的侵蚀深度为 15 ~ 35mm/a, 侵蚀模数为 150 ~ 350t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)。本研究分别以侵蚀模数的低限 192t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 高限 447.7t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) 和平均值 319.8t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) 来估计^[18]。根据该侵蚀模数, 估算出昆崙山自然保护区潜在年均土壤侵蚀总量, 最低为 $272.71 \times 10^4\text{t}$, 最高 $635.90 \times 10^4\text{t}$, 平均为 $454.23 \times 10^4\text{t}$ 。而经计算, 保护区实际土壤侵蚀量为 99860.02t。根据上面所估算的保护区潜在土壤侵蚀量和实际土壤侵蚀量的对比, 可得到每年保护区最低减少土壤损失 $262.72 \times 10^4\text{t}$, 最高减少 $625.91 \times 10^4\text{t}$, 平均减少 $444.25 \times 10^4\text{t}$ 。

(2) 生态系统土壤保持价值

土壤肥力保持价值估算: 土壤侵蚀带走的大量土壤物质中含有丰富的土壤有机质。主要是 N、P、K 等营养成分, 研究区土壤容重 $1.45\text{g}/\text{cm}^3$, 土壤以棕壤为主, 有机质平均含量 0.64%, 全氮 0.047833%, 全磷 0.056267%。经计算, 研究区年保持全氮 2125t, 全磷 2500t 折成商品尿素 4620t, 过磷酸钙 10204t。按尿素 1400 元/t, 过磷酸钙 550 元/t 计算, 则其经济价值为 1208.02 万元; 研究区年保持有机质 28432t, 依据薪材转变成有机质的比例 2:1 和薪材机会成本价格 0.0543 元/kg^[19], 则土壤有机质的单价为 0.1086 元/kg, 则其经济价值为 308.77 万元, 则研究区内保肥效益总计为 1516.79 万元; 减少土地废弃价值估算: 经计算每年可减少土地废弃 510.63hm^2 , 根据国家统计局的资料: 林业生产的年平均收益 282.17 元/ hm^2 , 则其减少土地废弃经济价值为 14.41 万元; 减轻泥沙淤积灾害: 利用影子工程法, 则研究区内年减轻泥沙淤积经济效益为 420.16 万元。则合计 3 项, 昆崙山自然保护区生态系统土壤保持价值为 2289.39 万元。

3.2.3 固碳释氧功能评价

CO₂ 固定量和纯碳量的计量: 由于枯枝落叶分解所消耗的 O₂ 和产生的 CO₂ 与其生长过程中所产生的 O₂ 和消耗 CO₂ 相当^[10], 故对枝叶的纳碳释氧价值可不予计算, 研究区森林年蓄积增长量 35362m^3 , 经计算, 研究区内 CO₂ 固定量 30056.85t, 折合为纯碳, 计算结果, 本林区折合纯碳量为 8202.514t/a。则固定 CO₂ 的经济价值为 984.30 万元。释放 O₂ 量 21860.17t, 采用工业成本法, 取工业制氧的现价 0.4 元/kg^[21], 则其价值为 874.41 万元。则合计得到固定 CO₂ 释放 O₂ 价值为 1858.71 万元。

3.2.4 净化空气功能评价

SO₂ 的净化: 研究区内年固定 SO₂ 量 2769.16t, 其间接经济价值为 166.15 万元; 滞尘: 研究区内年固定 SO₂ 量 436841.375t, 其间接经济价值为 7426.30 万元。综合以上计算结果, 得到我国森林吸收 SO₂ 和滞尘两种功能的价值总和为 7592.45 万元

3.2.5 娱乐文化价值

经计算,昆崙山自然保护区科研文化价值为 282.65 万元。另根据昆崙山林场管理局旅游年收入的统计资料,生态旅游每年直接收入 215 万元,带动其他收入 510 万元。

3.2.6 生物多样性的维持价值

经计算得出昆崙山自然保护区每年提供动物栖息地的价值 500 万元,增加生物多样性的价值为 5817.79 万元。

表 2 昆崙山自然保护区生态系统服务功能价值评估结果

Table 2 Results of ecological services assessment in Kunyu Mountain Natural Reserve ecosystem

	生态服务类型 Ecosystem services	生态服务效益 Ecosystem function	生态服务价值 Ecosystem service value		
			物质质量 Physical	价值量 Value($\times 10^4$ yuan)	小计 Sum($\times 10^4$ yuan)
直接价值	木材产品 Timber		35361m ³	3005.69	3201.69
Direct value	林副产品 Other products			196	
间接价值	水分调节 Water regulation	涵养水源 Water conservation	48993220m ³	27944.72	27944.72
Indirect value	土壤保持 Erosion control	土壤肥力保持 Soil fertility conservation	444.25 $\times 10^4$ t	1516.79	1951.36
		减少土地废弃 Reduced soil area	510.63hm ²	14.41	
		减轻泥沙淤积 Reduced soil silt		420.16	
	固碳释氧 C fixation and O ₂ release	CO ₂ 固定 CO ₂ fixation	30056.85t	984.30	1858.71
		释放 O ₂ O ₂ release	21860.17t	874.41	
	净化空气	SO ₂ 的净化 SO ₂ absorbing	2769.16t	166.15	7592.45
	Air quality purifying	滞尘 Dust absorbing	436841.375t	7426.30	
	娱乐文化价值	科研文化 Scientific		282.65	1007.65
	Recreation and culture	旅游 Tour		725	
	维持生物多样性	动物栖息地 Animal habitat		500	6317.79
	Provisioning of habit	增加生物多样性 Increasing biodiversity		5817.79	
合计 Total					49874.37

4 讨论

生态服务功能评估研究是进行绿色 GDP 核算、生态补偿机制研究及生态省建设机制的重要基础^[4,26,27]。本研究结果显示,昆崙山自然保护区生态系统服务功能经济价值为 49874.37 万元,其单位面积的经济价值为 2157 元/666.7m²,而我国财政部 2002 年颁布的《退耕还林工程现金补助资金管理办法》中,对每亩退耕还林地每年仅补助 20 元,两者相差甚远。昆崙山自然保护区面积占到烟台市牟平区的 9.71%,但贡献的生态价值可相当于牟平区 2003 年 GDP 的 7.00%,与已有的研究成果相比^[25],该值略显偏低,本文认为这主要是由于牟平区位于东部沿海经济发达地区,经济发展水平较高所致,尽管如此,昆崙山自然保护区对维持当地可持续发展具有举足轻重的作用。从人均来看,假设其服务价值可完全由当地居民获得,则根据 2004 年烟台市统计年鉴,牟平区每人每年可从昆崙山自然保护区获得生态服务价值达 1039 元。

目前关于自然保护区级的生态系统服务功能价值评估研究已经成为当前的研究热点^[28],尽管在具体的指标、参数上存在差距,但基本上都参考了 Costanza 等人^[4]的研究方法。本文将昆崙山自然保护区结果与其他 9 个森林自然保护区研究结果作对比研究(表 3),昆崙山自然保护区直接价值为 3201.69 万元,仅占到保护区服务功能总价值的 6.42%,而间接价值高达 46672.28 万元,两者之比为 1:14.58,这与现有的大部分研究结果相似^[5-7,20,25]。这说明木材及其林副产品生产不是昆崙山生态系统服务价值的主体,因此只有综合重视其他生态功能,才能为科学、合理开发其生态资源、发挥其最大效用提供保障。在单位价值上,昆崙山以 32351 元/hm²排在九连山、庐山、南昆山之后。在间接价值中,水分调节功能价值在昆崙山中所占比例最高,占到总生态价值的 56.03%,这与目前关于我国北方已有的大部分研究结果一致^[6,16,20],而南方的研究成果

中,森林固碳释氧的功能价值则占据了较大比例^[7],这可能主要与气候、植被类型有关,南方热带、亚热带植被雨水充足,植物具有较高的净生产力,因而其固碳量相对较高。昆崙山自然保护区的其他生态系统服务价值分别为:净化空气>维持生物多样性>土壤保持>固碳释氧>娱乐文化价值。水分调节、净化空气、维持生物多样性三项功能合计占总服务价值的 83.92%,娱乐文化价值仅占到 2.02%,与庐山、武夷山等相比差距较大,这一方面说明当地旅游业发展尚不成熟;另一方面,可能与本研究中对于其科研文化价值参数选择相对保守有关。实际上该地区旅游资源丰富,又地处沿海发达地区,存在较大的旅游潜力尚待合理开发。

表 3 不同自然保护区生态服务价值对比分析

Table 3 Comparative analysis of ecological services value of different nature reserve

地点 Place	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i	49874	58293	223507	30273	261085	176466	133400	7316	243000
ii	15416.5	12000	13411.6	14247	30200	196465	56527	4726	2653000
iii	32351	48577	166652	21249	86452	8982	23599	15480	916
A	27945	21403	1044	1513	1369	69741	22800	471	93000
iii	18127	17836	779	1062	453	3550	4033	997	351
iv	56.03	36.72	0.47	5.00	0.52	39.52	17.09	6.43	38.27
B	7592	109	69898	10543	5408	1585	17600	—	74100
iii	4925	91	52118	7400	1791	81	3114	—	279
iv	15.12	0.19	31.27	34.83	2.07	0.9	13.19	—	30.49
C	6318	296	79665	—	102	—	—	2240	15100
iii	4098	247	59400	—	34	—	—	4740	57
iv	12.67	0.51	35.64	—	0.04	—	—	30.62	5.21
D	1951	712	7809	3464	6679	6646	7600	819	56400
iii	1266	593	5823	2431	2211	338	1344	1732	213
iv	3.91	1.22	3.49	11.44	2.56	3.77	5.70	11.19	23.21
E	1859	23716	12342	12625	85923	87717	22000	928	2692
iii	1206	19763	9202	8862	28451	0.4	3891	1963	10
iv	3.73	40.68	5.52	41.70	32.91	49.71	16.49	12.68	1.11
F	1008	458	2401	700	160838	—	63400	500	1688
iii	654	382	1790	491	53257	—	11216	1058	6
iv	2.02	0.79	1.07	2.31	61.60	—	47.53	6.83	0.69
G	3202	12600	35828	14278	767	10777	—	—	10830
iii	2077	10500	26714	1002	254	549	—	—	41
iv	6.42	21.62	16.03	4.72	0.29	6.11	—	—	4.46

1.4. 461. 昆崙山 Kunyushan; 2. 南崙山^[29] Nankunshan; 3. 九连山^[30] Jiulianshan; 4. 雾灵山^[38] Wulingshan; 5. 庐山^[31] Lushan; 6. 长白山^[33] Changbaishan; 7. 武夷山^[34] Wuyishan; 8. 崂山^[35] Laoshan; 9. 祁连山^[36] Qilianshan; i. 总价值 Total value(10⁴yuan); ii. 总面积 Total area (hm²); iii. 单位价值 Unit value(yuan/hm²); iv. 占其总价值比例 Proportion of total value(%); A. 水分调节 Water regulation(10⁴yuan); B. 净化空气 Air quality purifying(10⁴yuan); C. 维持生物多样性 Provisioning of habit(10⁴yuan); D. 土壤保持 Erosion control(10⁴yuan); E. 固碳释氧 C fixation and O₂ release(10⁴yuan); F. 娱乐文化 Recreation and culture(10⁴yuan); G. 林木产品 Timber products(10⁴yuan)

本研究仍是不完全的保守估计,生态系统所具有的服务功能很多,如防止噪音、有毒有害物质降解、基因库等。限于目前评估手段尚不完善及资料的局限性,这些生态服务功能在本研究中没有进行价值评估。再如科研文化价值等借鉴了相关研究成果,参数选择相对保守,因此昆崙山自然保护区的实际生态服务价值应远大于计算结果。实际上,该地区生态系统完整、物种资源丰富,特别是其典型的赤松天然林与赤松针阔混交林,对于研究暖温带动植物地带性分布与自然更替过程具有重要意义,其目前是国内外 20 多所高等院校、科研单位等科研基地,下一步考虑使用 CVM 等方法对自然保护区的科研文化价值及生物多样性价值等进行研究,以期得出更为准确的研究结果。目前国内外还没有能真正实现以生态系统服务功能的价值评估作为生态

补偿标准的依据^[32,37],因此,今后应继续开展生态价值评估研究,进一步改进研究方法 with 评估手段,科学分析各类生态系统的服务功能,并把评估结果与生态补偿机制研究紧密结合,为进行生态补偿机制研究提供科学的依据和标准。

References:

- [1] Daily G C. Nature's Services; Societal Dependence on Natural Ecosystems Washington D. C. : Island Press, 1997.
- [2] Ouyang Z Y, Wang R S. A primary study on the indirect value of biodiversity in China. In: Wang R S ed. Focuses in Current Ecology. Beijing: China Science and Technology Press, 1996. 409—421.
- [3] Xie G D, Lu C X, Cheng S K. Progress in evaluating the global ecosystem services. Resources Science, 2001, 23 (6): 5—9.
- [4] Costanza R, Rudolf de Groot. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253—260.
- [5] Ouyang Z Y, Zhao T Q, Zhao J Z, *et al.* Ecological regulation services of Hainan Island ecosystem and their valuation. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15 (8): 1395—1402.
- [6] Wu G, Xiao H, Zhao J Z, *et al.* Forest ecosystem services in Changbai Mountain. Science in China (Series C), 2001, 31 (5): 471—480.
- [7] Yu X X, Lu S W, Jin F, *et al.* The assessment of the forest ecosystem services evaluation in China. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (8): 783—786.
- [8] Zhao J Z, Xiao H, *et al.* Comparison analysis on physical and assessment methods for ecosystem's services. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11 (2): 290—292.
- [9] Zhao J, Yan G K, Tai J, *et al.* Willingness to Pay for Ecosystem Services of Urban River in Shanghai. Environmental Science, 2005, 26 (2): 5—10.
- [10] Serafy S E. Pricing the invaluable: the value of the world; ecosystem services and natural capital. Ecological Economics, 1998, 25: 25—27.
- [11] Xiao H, Ouyang Z Y, Zhao J Z, *et al.* Forest ecosystem services and their ecological valuation — A case study of Tropical Forest in Jianfengling of Hainan Island. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11 (4): 481—484.
- [12] Editorial committee of state report on biodiversity of China committee. State report on biodiversity of China. Beijing: China Science Environmental Press, 1997.
- [13] Wang R Q, Zhou G Y. Shandong Vegetation. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2000.
- [14] BWG/CCICED. Restoring China's Degraded Environment. The Role Natural Vegetation. Beijing: China Forestry Press, 2001.
- [15] Wen Y G, Liu S R. Quantitative analysis of the characteristics of rainfall interception of main forest ecosystems in China. Scientia Silvae Sinicae, 1995, 31 (4): 289—297.
- [16] Yu X X, Qin Y S, Chen L H, *et al.* The forest ecosystem services and their valuation of Beijing mountain areas. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22 (5): 783—786.
- [17] Li H Y, Yang J H, Xia J, *et al.* Evaluation of water conservation function of forest in south mountainous area of Jinan city. Journal of Soil Water Conservation, 2004, 18 (1): 89—92.
- [18] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. Research on the Chinese terrestrial ecosystem services and its ecological value. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19 (5): 607—613.
- [19] Wang Y, Zhao S D. Biomass and net productivity of *Picea schrenkiana* var *tianshanica* forest. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10 (4): 389—391.
- [20] Li H T, Xu X G, Xiao D N. Service value of forest ecosystem at middle section on northern slope of Tianshan Mountain. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24 (5): 488—492.
- [21] Pan Y J, Kang W X, Tian D L. Forest ecosystem services and their valuation of Wulingyuan Natural Reserve. Hunan Forestry Science and Technology, 2005, 32 (1): 29—32.
- [22] Wu L L, Lu J J, Tong C F, *et al.* Valuation of wetland ecosystem services in the Yangtze River estuary. Resources and Environment in the Yantze Basin, 2003, 12 (5): 411—415.
- [23] Han W D, Gao X M, Lu C Y, *et al.* The assessment on ecological value of mangrove ecosystem in China. Ecologic Science, 2000, 19 (1): 41—46.
- [24] The International Cooperation Committee of Chinese Environment and Development. The Pricing Research on Chinese Natural Resource. Beijing: China Environmental Science Press, 1997.
- [25] Yang L W, He B Y, Huang P Y, *et al.* Assessment of ecological service values for native *Populus euphratica* forest in Khotan watershed. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26 (3): 681—689.
- [26] Zeng G Q, Hong S Q, Zhang X Z, *et al.* Research on Establishing Ecological Compensation System in Yunnan. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1997.
- [27] Zhang X S. The flow of natural assets function and green tax. Wang J N, Zhuang G. Ecological compensation mechanism and its policy design. Beijing: China Science Environmental Press, 2006.
- [28] Zhao J, Yang K. Valuation of ecosystem services: characteristics, issues and prospects. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (1): 346—356.

- [29] Xu Z H, Ding D S. Evaluation of the eco-economy benefit in Nankun Mountain Nature Reserve. *Economic Geography*, 2006, 26 (4):677—680.
- [30] Li H. Valuation of the ecosystem service functions of Jiangxi Jiulianshan National Nature Reserve. *Forest Resources Management*, 2006, 4:70—73.
- [31] Hu H S. Evaluation of the service value of the forest ecosystem in Lushan Mountain Nature Reserve. *Resources Science*, 2007, 29 (5):28—36.
- [32] Yang G M, Min Q W, Li W H, *et al.* Scientific issues of ecological compensation research in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (10):4289—4300.
- [33] Xue D Y, Bao H S, Li W H. A valuation study on the indirect values of forest ecosystem in Changbaishan Mountain Biosphere Reserve of China. *China Environmental Science*, 1999, 19 (3):247—252.
- [34] Xu J Q, Zhong Q L. The Evaluation on the values of forest ecosystem service function of Wuyishan Nature Reserve. *Forest Inventory and Planning*, 2006, 31 (6):58—61.
- [35] Sun L, Li J T, Geng X W, *et al.* The Evaluation on the values of forest ecosystem service function of Laoshan. *Protection Forest Science and Technology*, 2006, 3:93—95.
- [36] Qin W X, Lin Y, Xiong K S. Value evaluation of forest ecosystem services of Qilian Mountain Nature Reserve. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 2000, 25 (3):30—31.
- [37] Mao F, Zeng X. The mechanisms and principles of ecological compensation. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (11):3841—3846.
- [38] Mao F L, Guo Y R, Liu Y X. Evaluation of forest ecosystem services of Wuling Mountain Nature Reserve. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2005, 20(3):220—223.

参考文献:

- [3] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展. *资源科学*, 2001, 23 (6):5~9.
- [5] 欧阳志云, 赵同谦, 赵景柱, 等. 海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究. *应用生态学报*, 2004, 15 (8):1395~1402.
- [6] 吴钢, 肖寒, 赵景柱, 等. 长白山森林生态系统服务功能. *中国科学(C辑)*, 2001, 31 (5):471~480.
- [7] 余新晓, 鲁绍伟, 靳芳, 等. 中国森林生态系统服务功能价值评估. *生态学报*, 2005, 25 (8):2096~2102.
- [8] 赵景柱, 肖寒, 吴钢. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析. *应用生态学报*, 2000, 11 (2):290~292.
- [9] 赵军, 杨凯, 邵俊, 等. 上海城市河流生态系统服务的支付意愿. *环境科学*, 2005, 26 (2):5~10.
- [11] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例. *应用生态学报*, 2000, 11 (4):481~484.
- [12] 中国生物多样性国情研究报告编写组. 中国生物多样性国情研究报告. 北京:中国环境科学出版社, 1997.
- [13] 王仁卿, 周光裕. 山东植被. 济南:山东科学技术出版社, 2000.
- [14] 中国环境与发展国际合作委员会生物多样性工作组. 利用天然植被改善中国退化环境. 北京:中国林业出版社, 2001.
- [15] 温远光, 刘世荣. 我国主要森林系统类型降水截流规律的数量分析. *林业科学*, 1995, 31 (4):289~297.
- [16] 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. *生态学报*, 2002, 22 (5):783~786.
- [17] 李红云, 杨吉华, 夏江宝, 等. 济南市南部山区森林涵养水源功能的价值评价. *水土保持学报*, 2004, 18 (1):89~92.
- [18] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19 (5):607~613.
- [19] 王燕, 赵士洞. 天山云杉林生物量和生产力的研究. *应用生态学报*, 1999, 10 (4):389~391.
- [20] 李海涛, 许学工, 肖笃宁. 天山北坡中段自然生态系统服务功能价值研究. *生态学杂志*, 2005, 24 (5):488~492.
- [21] 潘勇军, 康文星, 田大伦. 武陵源森林生态系统服务功能及其效益评估. *湖南林业科技*, 2005, 32 (1):29~32.
- [22] 吴玲玲, 陆健健, 童春富, 等. 长江口湿地生态系统服务功能价值的评估. *长江流域资源与环境*, 2003 (12):411~415.
- [23] 韩维栋, 高秀梅, 卢昌义, 等. 中国红树林生态系统生态价值评估. *生态科学*, 2000, 19 (1):41~46.
- [24] 中国环境与发展国际合作委员会. 中国自然资源定价研究. 北京:中国环境科学出版社, 1997.
- [25] 杨丽雯, 何秉宇, 黄培祐, 等. 和田河流域天然胡杨林的生态服务价值评估. *生态学报*, 2006, 26 (3):681~689.
- [26] 曾光权, 洪尚群, 张星梓, 等. 建立云南省生态补偿机制的研究. 云南科技出版社, 2006.
- [27] 张新时. 自然资源功能流与绿色赋税. 王金南, 庄国泰. 生态补偿机制与政策设计. 中国环境科学出版社, 2006.
- [28] 赵军, 杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展. *生态学报*, 2007, 27 (1):346~356.
- [29] 许志晖, 丁登山. 南昆山自然保护区生态系统服务功能价值评估. *经济地理*, 2006, 26 (4):677~680.
- [30] 李晖. 江西九连山国家级自然保护区生态系统服务功能价值估算. *林业资源管理*, 2006, 4:70~73.
- [31] 胡海胜. 庐山自然保护区森林生态系统服务价值评估. *资源科学*, 2007, 29 (5):28~36.
- [32] 杨光梅, 闵庆文, 李文华, 等. 我国生态补偿研究中的科学问题. *生态学报*, 2007, 27 (10):4289~4300.
- [33] 薛达元, 包浩生, 李文华. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估. *中国环境科学*, 1999, 19 (3):247~252.
- [34] 许纪泉, 钟全林. 武夷山自然保护区森林生态系统服务功能价值评估. *林业调查规划*, 2006, 31 (6):58~61.
- [35] 孙龙, 李俊涛, 耿叙武, 等. 崂山风景区森林生态系统服务功能及价值评估. *防护林科技*, 2006, 3:93~95.
- [36] 秦万象, 林毅, 熊奎山. 祁连山自然保护区森林生态系统功能经济价值评估. *甘肃林业科技*, 2000, 25 (3):30~31.
- [37] 毛锋, 曾香. 生态补偿的机理与准则. *生态学报*, 2006, 26 (11):3841~3846.
- [38] 毛富玲, 郭雅儒, 刘雅欣. 雾灵山自然保护区森林生态系统服务功能价值评估. *河北林果研究*, 2005, 20 (3):220~223.