

# 砒砂岩区沙棘人工林生态系统服务功能价值变化研究

王举位<sup>1</sup>, 张 征<sup>2</sup>, 邹 伟<sup>1</sup>, 林积泉<sup>1</sup>, 安宝利<sup>3</sup>

(1. 海南省环境科学研究院, 海口 570206; 2. 北京林业大学

环境科学与工程学院, 北京 100083; 3. 水利部水土保持植物开发管理中心, 北京 100038)

**摘 要:**依据《森林生态系统服务功能评估规范》构建评价指标体系,参照国内权威部门发布的价格参数,运用市场价值法、影子工程法、机会成本法等方法动态评价了我国砒砂岩区沙棘人工林生态系统服务功能价值。结果表明:保育土壤、涵养水源、积累营养物质、生物多样性保护和森林防护的总服务价值在 2010 年、2007 年、2004 年和 2001 年分别为 52.83 亿元、9.34 亿元、3.59 亿元、21.78 亿元和 24.78 亿元,服务价值大小排序为:保育土壤>森林防护>生物多样性保护>涵养水源>积累营养物质;不同地区沙棘人工林生态系统服务功能价值排序为东胜市>准格尔旗>府谷县>伊金霍洛旗>达拉特旗>杭锦旗;不同时间沙棘人工林单位面积生态服务功能价值排序为 2010 年>2007 年>2004 年>2001 年。研究结果可为砒砂岩区生态环境和经济建设可持续发展提供理论依据。

**关键词:**生态系统服务功能; 价值变化; 市场价值法; 沙棘人工林; 砒砂岩区

中图分类号:S718.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)03-0263-06

## Study on Dynamic Change of Ecosystem Service Value of Seabuckthorn Plantation in the Soft Rock Area

WANG Ju-wei<sup>1</sup>, ZHANG Zheng<sup>2</sup>, ZOU Wei<sup>1</sup>, LIN Ji-quan<sup>1</sup>, AN Bao-li<sup>3</sup>

(1. Hainan Research Academy of Environmental Sciences, Haikou 570206, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Administration Center for Soil and Water Conservation Plant Development and Management, Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China)

**Abstract:** An evaluation study was conducted on ecosystem services of seabuckthorn plantation in the soft rock area. According to the frame of ‘specifications for evaluation of forest ecosystem services in China’, we constructed the evaluation index system, and referenced price parameters from authorities in China. Then by applying the method of market value, shadow project, and opportunity cost, we evaluated the seabuckthorn plantation ecosystem service values quantitatively and dynamically in the soft rock area. The results showed that the total ecosystem service value of soil conservation, water conservation, nutrients accumulation, biodiversity conservation and forest protection were  $5.283 \times 10^9$  yuan,  $9.34 \times 10^8$  yuan,  $3.59 \times 10^8$  yuan,  $2.178 \times 10^9$  yuan and  $2.48 \times 10^9$  yuan in the year of 2010, 2007, 2004 and 2001, respectively. The order of seabuckthorn plantation ecosystem service value was soil conservation>forest protection>biodiversity conservation>water conservation>nutrients accumulation. The order of seabuckthorn plantation ecosystem service value in different areas was Dongsheng City>Zhunge'er Banner>Fugu County>Yijinhuoluo Banner>Dalate Banner>Hangjin Banner. The order of unit area of seabuckthorn plantation ecosystem service value in different year was 2010>2007>2004>2001. The study provided a theoretical basis for the sustainable development of ecological environment and economic construction in the soft rock area.

**Key words:** ecosystem services; value change; method of market value; seabuckthorn plantation; soft rock area

生态系统服务功能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,及通过生态系统的功能直接或间接得到的产品和服务<sup>[1]</sup>。生态系统服务是人类生存和发展的物质基

收稿日期:2012-10-31

修回日期:2012-11-24

资助项目:晋陕蒙砒砂岩区沙棘生态工程(水规划[1998]111号)

作者简介:王举位(1985—),男,海南澄迈人,工程师,硕士研究生,主要研究方向为生态环境评价。E-mail:wjw0836@163.com

通信作者:张征(1957—),男,黑龙江哈尔滨人,教授,博士生导师,主要研究方向为污染预测与环境评价。E-mail:zhzhang624@163.com

础和基本条件,是人类拥有的关键资本<sup>[2-3]</sup>。随着全球气候变化、自然灾害频发、土地退化、生物多样性下降等环境问题所导致的生态系统服务功能的减弱和损失,不仅阻碍了社会经济的发展,而且威胁到人类的生存。生态系统服务研究能更好地解决自然资源在不同利用目的之间的分配,采用经济学手段来干预人类对自然生态系统的开发和利用,可以有效地保护现有的自然生态系统,最终实现资源—生态—社会—经济系统可持续发展,因此,生态系统服务及其价值评价已成为当前生态学的研究热点之一<sup>[4-5]</sup>。1997 年 Daily<sup>[6]</sup> 和 Costanza 等<sup>[1]</sup> 开展了对全球生物圈生态系统服务价值的估算,为生态系统服务价值的深入研究奠定了基础。20 世纪 90 年代,我国生态学者基于森林资源二类调查资料,开始系统地进行生态系统服务功能及其价值评价的研究工作<sup>[7-8]</sup>。然而,针对我国生态环境脆弱的干旱半干旱区典型植被的生态系统服务价值评价研究工作目前还较少,使我国干旱半干旱区生态环境建设还较缺乏针对性的生态经济理论支持<sup>[9-10]</sup>。

沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.) 是胡颓子科灌木或小乔木,具有耐旱、耐寒、耐瘠薄的特点,是干旱、半干旱区的先锋树种和关键树种,具有保育土壤、涵养水源、保护生物多样性等多种生态服务功能。位于晋陕蒙交界的砒砂岩区水蚀比较活跃,是我国水土流失严重地区,1998 年国家发改委和水利部共同实施的“晋陕蒙砒砂岩区沙棘生态工程”表明,种植沙棘是治理裸露砒砂岩的关键性措施<sup>[11]</sup>。本文以沙棘人工林开始产生生态效益的 2001 年为起始年,3 a 为间隔尺度,分别对 2001—2010 年砒砂岩区沙棘人工林生态系统服务功能价值进行动态研究,以便直观地掌握沙棘生态建设工程产生的效益,从价值角度探寻沙棘生态环境系统与社会经济系统的相互关系,为砒砂岩区的生态环境建设和经济建设提供理论依据。

# 1 研究区域概况

砒砂岩区位于晋陕蒙接壤地带,其分布区域东到黄河,西达杭锦旗的毛布拉孔兑,沿毛乌素沙地西北缘分布,南至陕西省神木县,北抵库布齐沙漠南缘,位于北纬 38°10′—40°10′,东经 108°45′—111°31′。根据地表覆盖物质,砒砂岩区可划分为裸露砒砂岩区、盖沙砒砂岩区、盖土砒砂岩区 3 个类型区,面积约 3.2 万 km<sup>2</sup>。本区属暖温带北缘半干旱大陆性气候,年平均气温 6~9℃,年平均降水量 280~400 mm,年平均蒸发量 2 200~2 600 mm,年平均风速 2~4 m/s。风蚀、水蚀现象严重,植被稀疏,天然植被以禾本科

(*Poaceae*)、菊科(*Compositae*)、豆科(*Leguminosae*) 植物等为主,人工植被主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)、杨树(*Populus* sp.) 为主的水土保持乔木林,沙棘、柠条(*Caragana korshinskii*) 为主的水土保持灌木林,人工草地以沙打旺(*Astragalus adsurgens*) 和紫花苜蓿(*Medicago sativa*) 为主。

# 2 研究方法

## 2.1 评价指标体系

依据《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008)并结合专家咨询,根据沙棘特性选取 5 个准则、7 个要素对沙棘人工林生态系统服务功能价值进行评价,具体如表 1 所示。

表 1 砒砂岩区沙棘人工林生态服务功能价值评估指标体系

指标类别	评价指标
保育土壤	固土、保肥
涵养水源	调节水量、净化水质
生物多样性保护	物种保育
营养物质积累	林木积累营养
森林防护	林木防护

## 2.2 数据来源及处理

采用实地调查结合 GIS 技术,参考研究区对应年份的土地利用特征及 Landsat-TM 影像数据(空间分辨率为 30 m×30 m),利用研究区 1:10 万地形图进行几何精度校正,采用 ArcGIS 9.3 对影像数据进行分析,从而获得研究区沙棘人工林斑块面积。选取砒砂岩 6 个典型区进行研究,根据分析结果得到发挥生态效益的沙棘人工林面积(表 2)。评价数据参数来源如下:平均降雨量引自 2001—2010 年《鄂尔多斯市统计年鉴》、《榆林市统计年鉴》中对应年份研究区的平均降雨量值,水库单位建设库容费用由 2001—2010 年《中国水利年鉴》中对应年份平均水库库容造价乘以价格指数得到。化肥价格、居民用水价格分别引自 2001—2010 年《中国化肥工业年鉴》、《中国城市供水统计年鉴》对应年份的平均价格;土壤 N、P、K 含量、土壤有机质含量、土壤容重根据《土壤环境监测技术规范》中的测定方法对土壤样品进行测定分析得到;林木 N、P、K 含量分别采用凯氏定氮法、钒钼黄比色法、火焰光度计法测定得到<sup>[12]</sup>;林分净生产力、沙棘林年均收益、侵蚀模数、主导风向垂直沙棘林长度、保护农田免遭危害效益值通过实地调查得到;Shannon-Wiener 指数价格参照《森林生态系统服务功能评估规范》中的分级标准价格,各参数价格均为当年市场价格(表 3)。

表 2 砒砂岩区沙棘人工林发挥生态效益面积

							km <sup>2</sup>
年份	达拉特旗	杭锦旗	伊金霍洛旗	准格尔旗	东胜市	府谷县	合计
2010	204.46	62.26	248.00	287.56	401.84	268.10	1472.22
2007	92.25	11.64	125.99	179.38	265.38	190.94	865.58
2004	22.73	0	23.74	53.28	117.53	31.27	248.55
2001	8.66	0	0.60	13.10	30.47	0	52.83

表 3 沙棘人工林生态系统服务功能评价参数

功能类别	评价参数	2010	2007	2004	2001
保育土壤	沙棘人工林年均收益/(元·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	94090	72940	47050	26510
	沙棘人工林地土壤侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	5150	7820	9520	14300
	无林地土壤侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	30000	30000	30000	30000
	土壤容重/(t·m <sup>-3</sup> )	1.176	1.264	1.409	1.639
	土壤 N 含量/%	0.04	0.036	0.029	0.019
	土壤 P 含量/%	0.09	0.083	0.074	0.063
	土壤 K 含量/%	1.37	1.25	1.16	1.05
	土壤有机质含量/%	0.65	0.59	0.51	0.42
	磷酸二铵价格/(元·t <sup>-1</sup> )	2800	2400	2140	1880
	氯化钾价格/(元·t <sup>-1</sup> )	2500	2200	1510	1300
	有机质价格/(元·t <sup>-1</sup> )	440	320	220	150
涵养水源	水库单位建设库容费用/(元·t <sup>-1</sup> )	7.06	6.50	6.10	6.02
	平均降雨量/mm	317.3	369.6	388.2	361.4
	居民用水平均价格/(元·m <sup>-3</sup> )	2.89	2.09	1.76	1.21
积累营养物质	林木 N 含量/%	1.44	1.35	1.24	1.13
	林木 P 含量/%	0.11	0.09	0.07	0.04
	林木 K 含量/%	0.42	0.37	0.31	0.24
	林分净生产力/(t·km <sup>-2</sup> )	415	375	325	275
生物多样性保护	Shannon-Wiener 指数价值量/(元·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	10000	10000	5000	3000
森林防护	与主风方向垂直的沙棘人工林长度/km	300	250	200	150
	沙棘保护农田免遭风沙危害的效益值/(元·km <sup>-2</sup> )	894953	780605	634310	483448

2.3 评价方法

基于现场调查并结合国内相关森林生态服务功能的研究成果,参考《森林生态系统服务功能评估规范》及相关学者的评价方法,综合运用生态学、经济学理论,采用市场价值法、影子工程法、机会成本法等评价方法,对砒砂岩区沙棘人工林生态系统保育土壤、涵养水源、积累营养物质、生物多样性保护和森林防护 5 项主要服务功能进行动态价值变化研究。

3 评价与分析

3.1 保育土壤价值

3.1.1 固土价值 采用机会成本法,将流失土壤的机会成本作为固土价值,其计算公式如下<sup>[13]</sup>:

$$V_{\text{固土}}=Y_1\times S\times(X_2-X_1)/(\rho\times h)\times 10^{-4}\quad(1)$$

式中: $V_{\text{固土}}$ ——沙棘人工林年固土价值(元); $Y_1$ ——单位沙棘人工林年均收益[元/(km<sup>2</sup>·a)]; $S$ ——发挥生态效益的沙棘人工林面积; $X_1$ ——沙棘人工林土壤侵蚀模数[t/(km<sup>2</sup>·a)]; $X_2$ ——无林地土壤侵

蚀模数[t/(km<sup>2</sup>·a)]; $\rho$ ——土壤容重(t/m<sup>3</sup>); $h$ ——林地耕作层的平均厚度,取 0.6 m。

3.1.2 保肥价值 与有林地相比,无林地每年随土壤侵蚀不仅会使大量表土以及表土中的大量营养物质流失,如 N、P、K、有机质,而且会带走下层土壤中的营养物质,导致土壤肥力下降。本文保肥价值采用侵蚀土壤中的 N、P、K 物质折合成磷酸二铵和氯化钾的价值来进行评价,应用市场价值法来确定保肥价值<sup>[14]</sup>:

$$V_{\text{保肥}}=S\times(X_2-X_1)\times(N\times C_1/R_1+P\times C_1/R_2+K\times C_2/R_3+M\times C_3)\quad(2)$$

式中: $V_{\text{保肥}}$ ——沙棘人工林年保持营养元素价值(元); $N,P,K,M$ ——土壤 N、P、K、有机质平均含量(%); $R_1$ ——磷酸二铵 N 含量,14.0%; $R_2$ ——磷酸二铵含 P 量,15.0%; $R_3$ ——氯化钾 K 含量,50.0%; $C_1,C_2,C_3$ ——磷酸二铵、氯化钾和有机质市场平均价格(元/t)。

保育土壤价值结果(表 4)表明,2001—2010 年,固土量、固土价值、保肥价值和固土保肥价值逐年增

加。2010 年固土价值和保肥价值分别为 487.85 万元和 35.18 亿元,2001 年分别为 2.24 亿元和 0.318 3 亿元,即 2010 年沙棘人工林固土价值、保肥价值分别是 2001 年的 217.8 倍和 110.5 倍,固土价值变化程度明显大于保肥价值,固土保肥价值主要取决于保肥价值。

表 4 砭砂岩区沙棘人工林保育土壤价值				
年份	固土量/ (万 t·a <sup>-1</sup> )	固土价值/ (万元·a <sup>-1</sup> )	保肥价值/ (万元·a <sup>-1</sup> )	固土保肥价值/ (亿元·a <sup>-1</sup> )
2010	3658.47	487.85	351798.16	35.23
2007	1919.86	184.64	146560.74	14.67
2004	509.03	28.33	26033.95	2.61
2001	82.94	2.24	3183.14	0.32

### 3.2 涵养水源价值

沙棘人工林涵养水源包括调节水量和净化水质两方面,其价值采用影子工程法计算<sup>[15-16]</sup>:

$$V_{\text{调节}} = 10 \times C_{\text{水库}} \times S \times J \times R;$$
$$V_{\text{水质}} = 10 \times K_{\text{水价}} \times S \times J \times R; J = J_0 \times K \quad (3)$$

式中: $V_{\text{调节}}$ ——沙棘人工林年调节水量价值(元); $V_{\text{水质}}$ ——沙棘人工林年净化水质价值(元); $C_{\text{水库}}$ ——水库库容造价(元/m<sup>3</sup>); $J$ ——多年平均产流降雨量(mm); $J_0$ ——年平均降雨量(mm); $K$ ——产流降雨量与降雨总量的比值,北方地区一般取 0.4%<sup>[17]</sup>;  $K_{\text{水价}}$ ——居民用水平均价格(元/m<sup>3</sup>); $R$ ——与裸地相比,沙棘林减少径流的效益系数,取 0.28<sup>[18]</sup>。涵养水源价值结果(表 5)显示,2001—2010 年,调节水量、调节水量价值、净化水质价值和涵养水源价值呈逐年增加的趋势。2010 年调节水量价值、净化水质价值分别为 3.83 亿元和 1.67 亿元,2001 年分别为 0.13 亿元和 0.03 亿元,即 2010 年沙棘人工林调节水量价值、净化水质价值分别是 2001 年的 29.5 倍和 55.7 倍,涵养水源价值主要取决于调节水量价值。

表 5 砭砂岩区沙棘人工林涵养水源价值				
年份	调节水量/ (万 t·a <sup>-1</sup> )	调节水量 价值/ (亿元·a <sup>-1</sup> )	净化水质 价值/ (亿元·a <sup>-1</sup> )	涵养水源 价值/ (亿元·a <sup>-1</sup> )
2010	6265.77	3.83	1.67	5.50
2007	3583.09	2.33	0.75	3.08
2004	1080.66	0.66	0.19	0.85
2001	213.84	0.13	0.03	0.15

### 3.3 积累营养物质价值

沙棘人工林在生长过程中从周围环境中吸收 N、P、K 贮存在各器官中的功能价值,应用市场价值法计算<sup>[15]</sup>:

$$V_{\text{营养}} = S \times B_{\text{年}} \times (N_{\text{营养}} \times C_1/R_1 + P_{\text{营养}} \times C_1/R_2 + K_{\text{营养}} \times C_2/R_3) \quad (4)$$

式中: $V_{\text{营养}}$ ——沙棘林年积累营养物质价值(元); $B_{\text{年}}$ ——沙棘林年净生产力(t/km<sup>2</sup>), $N_{\text{营养}}$ 、 $P_{\text{营养}}$ 、 $K_{\text{营养}}$ ——林木的 N、P、K 含量(%)。

积累营养物质价值结果如表 6 所示,2001—2010 年,积累 N、P、K 价值和积累营养物质总价值逐年增加。2010 年积累 N、P、K 价值及积累营养物质总价值分别为 17 595.97 万元、1 254.53 万元、1 283.04 万元和 2.02 亿元,2001 年积累 N、P、K 价值及积累营养物质总价值分别为 220.46 万元、7.28 万元、9.07 万元和 0.03 亿元,即 2010 年沙棘人工林积累的 N、P、K 价值分别是 2001 年的 79.8 倍、172.3 倍、141.5 倍和 101 倍,其中积累 N 价值增加较为明显,积累营养物质价值取决于积累 N 的价值。

表 6 砭砂岩区沙棘人工林营养物质积累价值				
年份	积累 N、P、K 价值/(万元·a <sup>-1</sup> )			积累营养物质价 值/(亿元·a <sup>-1</sup> )
	N	P	K	
2010	17595.97	1254.53	1283.04	2.02
2007	7512.00	467.41	528.44	0.85
2004	1531.10	80.67	75.63	0.17
2001	220.46	7.28	9.07	0.03

### 3.4 生物多样性保护及森林防护价值

生物多样性保护采用恢复和保护费用法,其计算公式如下<sup>[16]</sup>:

$$V_{\text{生物}} = S_{\text{生}} \times S \quad (5)$$

式中: $S_{\text{生}}$ ——单位面积沙棘人工林年物种保育价值[元/(km<sup>2</sup>·a)],本文采用 Shannon—Wiener 指数计算物种保育价值<sup>[19]</sup>。沙棘人工林防护价值主要表现在减少风蚀和作物增产方面,防护价值采用机会成本法,按防风固沙林价值计算<sup>[16]</sup>:

$$V_{\text{防护}} = Q_{\text{防风}} \times S \quad (6)$$

式中: $V_{\text{防护}}$ ——沙棘人工林年防护价值(元); $Q_{\text{防风}}$ ——单位沙棘人工林年防护价值。单位沙棘人工林防护价值计算公式如下<sup>[20]</sup>:

$$Q_{\text{防风}} = \sum_{k=1}^n I \times V_k / 666 \times (n-k) (Q_k \times P_k - Z_k) / S \quad (7)$$

式中: $Q_{\text{防风}}$ ——单位沙棘人工林年减少沙压农田、牧场效益的防护价值; $I$ ——与主风向垂直的沙棘林长度(km); $V_k$ ——第  $k$  年流沙移动的距离(km); $Q_k$ ——第  $k$  年农田单产值(元/km<sup>2</sup>); $P_k$ ——第  $k$  年农产品收购价(元); $Z_k$ ——第  $k$  年农作物生产成本(元/km<sup>2</sup>); $n$ ——主伐年龄; $k$ ——1,2,3,⋯,m。

生物多样性保护价值及森林防护价值结果(表 7)表明,2001—2010 年,生物多样性保护价值及森林防护价值呈逐年增加的趋势。2010 年生物多样性保护价值为 14.72 亿元,占生物多样性总保护价值的

59.4%，2001 年为 0.16 亿元，占生物多样性总保护价值的 0.65%，2010 年生物多样性保护价值是 2001 年的 92 倍。2010 年森林防护价值为 13.18 亿元，占森林防护总价值的 60.5%，2001 年为 0.26 亿元，仅为森林防护总价值的 1.2%，2010 年森林防护价值是 2001 年的 50.7 倍，由此可知，沙棘人工林的种植明显提高了砒砂岩区生物多样性及森林防护的作用，保护了当地的生态环境。

表 7 沙棘人工林生物多样性保护及森林防护价值 亿元/a

年份	功能价值	达拉特旗	杭锦旗	伊金霍洛旗	准格尔旗	东胜市	府谷县	合计
2010	生物多样性保护价值	2.04	0.62	2.48	2.88	4.02	2.68	14.72
	防护价值	1.83	0.56	2.22	2.57	3.60	2.40	13.18
2007	生物多样性保护价值	0.92	0.12	1.26	1.79	2.65	1.91	8.66
	防护价值	0.72	0.09	0.98	1.40	2.07	1.49	6.76
2004	生物多样性保护价值	0.11	0.00	0.12	0.27	0.59	0.16	1.24
	防护价值	0.14	0.00	0.15	0.34	0.75	0.20	1.58
2001	生物多样性保护价值	0.03	0.00	0.00	0.04	0.09	0.00	0.16
	防护价值	0.04	0.00	0.00	0.06	0.15	0.00	0.26

3.5 不同服务功能价值比较分析

从各生态服务功能价值来看(表 8)，2010 年、2004 年和 2001 年各生态服务功能价值排序为:保育土壤>生物多样性>森林防护>涵养水源>积累营养物质,2007 年各生态服务功能价值排序为:保育土壤>森林防护>生物多样性>涵养水源>积累营养物质,保育土壤、生物多样性保护和森林防护价值三者在各年生态系统服务功能价值中最高,2010 年、2007 年、2004 年、2001 年这三者的价值在各生态服务功能价值中所占比例分别为 89%，88.45%，84.21%，80.42%，即这三者所占的比例是逐年增加的,凸显了沙棘人工林在保育土壤、生物多样性保护、森林防护方面的重要作用。

表 8 砒砂岩区沙棘生态服务功能价值

年份	类别/功能	保育土壤	涵养水源	积累营养物质	生物多样性保护	森林防护	合计
2010	价值/(亿元·a <sup>-1</sup> )	35.23	5.26	2.55	13.18	14.72	70.93
	比例/%	49.67	7.41	3.59	20.75	18.58	100
2007	价值/(亿元·a <sup>-1</sup> )	14.67	3.08	0.85	6.76	8.66	34.02
	比例/%	43.14	9.05	2.50	19.86	25.45	100
2004	价值/(亿元·a <sup>-1</sup> )	2.61	0.85	0.17	1.58	1.24	6.44
	比例/%	40.45	13.18	2.62	24.47	19.29	100
2001	价值/(亿元·a <sup>-1</sup> )	0.32	0.15	0.02	0.26	0.16	0.91
	比例/%	34.98	16.98	2.60	28.04	17.40	100

3.6 不同地区服务功能价值比较分析

从沙棘人工林生态系统服务功能价值量空间分布上看(表 9)，东胜市、准格尔旗、府谷县的沙棘人工林生态系统服务功能价值较高,分别占总服务价值的 29.60%，20.31%，18.88%，即三者之和占总服务价值的 68.79%，而杭锦旗的沙棘人工林生态系统服务功能价值最低,仅占总服务价值的 3.06%，这与不同地区沙棘人工林发挥生态效益的面积有较为密切的关系<sup>[21]</sup>。2001—2010 年,东胜市、准格尔旗、府谷县和杭锦旗沙棘人工林发挥生态效益的面积分别为 815.22,533.32,490.31,73.9 km<sup>2</sup>,分别占沙棘人工林发挥生态效益总面积的 30.89%，20.21%，18.58%，2.80%。可以看出沙棘人工林发挥生态效益价值比例与发挥生态效益面积比例基本一致。不同地区服务功能价值排序为东胜市>准格尔旗>府谷县>伊金霍洛旗>达拉特旗>杭锦旗。

表 9 不同地区沙棘人工林生态系统总服务功能价值 亿元/a

年份	达拉特旗	杭锦旗	伊金霍洛旗	准格尔旗	东胜市	府谷县
2010	9.79	2.98	11.88	14.15	19.24	12.90
2007	3.63	0.46	4.95	7.05	10.43	7.50
2004	0.59	0	0.62	1.38	3.05	0.81
2001	0.15	0	0.0103	0.23	0.53	0
合计	14.16	3.44	17.46	22.81	33.25	21.21

### 3.7 不同时间服务功能价值比较分析

从砒砂岩区沙棘人工林生态系统服务功能价值量时间分布来看,沙棘人工林单位面积生态服务功能价值呈逐年上升的变化趋势。2001年、2004年、2007年和2010年沙棘人工林单位面积生态服务功能价值分别为172.39万元/km<sup>2</sup>、259.25万元/km<sup>2</sup>、392.98万元/km<sup>2</sup>和481.38万元/km<sup>2</sup>,不同时间单位面积服务功能价值排序为2010年>2007年>2004年>2001年。其中2010年沙棘人工林单位面积生态服务功能价值是2001年的2.79倍,可见随着时间推移,沙棘人工林生态系统服务功能价值有较明显的提高。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

2008年国家林业局发布了《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008),首次规范了我国森林生态系统服务功能评价的数据源、指标体系、评价方法等工作流程,标志着我国在森林生态系统服务功能评价领域形成了较为完整的评价体系。本文在评价过程中部分参考了《森林生态系统服务功能评估规范》中推荐的评价方法,一些学者应用了该规范中的方法对森林以及单一树种的服务功能价值进行评价,并取得了较为客观的评价结果<sup>[22-23]</sup>。由于生态系统服务功能及其价值量通常会随着系统本身演替而变化,评价过程中还未综合考虑各方面的因素,如林龄、林木发育状况、气候条件影响等,引用的参数数据还未能精确地反映沙棘人工林生态系统服务功能的真实状况<sup>[24]</sup>。因此,对沙棘人工林生态系统各项服务功能及其价值的评价也只是粗略、保守的估计,评价方法还有待于进一步完善。此外,本文仅对砒砂岩区6个旗县沙棘人工林生态系统服务功能中的5项进行评价,所得砒砂岩区沙棘人工林生态系统服务功能价值是偏小的。尽管如此,评价结果表明,砒砂岩区沙棘人工林的生态系统服务功能价值是巨大的。

### 4.2 结论

(1)对沙棘人工林生态系统服务功能价值研究的结果表明,保育土壤、涵养水源、积累营养物质、生物多样性保护和森林防护总服务价值在2010年、2007年、2004年和2001年分别为52.83亿元、9.34亿元、3.59亿元、21.78亿元、24.78亿元,其中保育土壤、生物多样性保护和森林防护价值在2010年、2007年、2004年、2001年分别占总服务功能价值的89%、88.45%、84.21%、80.42%,凸显了沙棘人工林在保育土壤、生物多样性保护、森林防护方面的重要

作用。

(2)不同地区沙棘人工林生态系统服务功能价值结果显示,东胜市、准格尔旗、府谷县三个地区沙棘人工林具有较明显的生态系统服务功能,其价值比例分别为29.60%、20.31%、18.88%,占沙棘人工林生态系统服务功能总价值的68.79%,不同地区沙棘人工林生态系统服务功能价值排序为东胜市>准格尔旗>府谷县>伊金霍洛旗>达拉特旗>杭锦旗。

(3)2001年、2004年、2007年和2010年沙棘人工林单位面积生态系统服务功能价值分别为172.39万元/km<sup>2</sup>、259.25万元/km<sup>2</sup>、392.98万元/km<sup>2</sup>和481.38万元/km<sup>2</sup>,即不同时间沙棘人工林单位面积生态服务功能价值排序为2010年>2007年>2004年>2001年。

### 参考文献:

- [1] Costanza R, d'Arger R, Rudolf de Groot, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [2] 谢高地, 张德铨, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(4): 47-53.
- [3] 赵军, 韦莉, 陈姗. 石羊河流域上游生态系统服务价值的变化研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(1): 38-40.
- [4] Daily G C, Söderqvist T, Aniyar S, et al. The value of nature and the nature of value[J]. *Science*, 2000, 289(5478): 395-396.
- [5] 李惠梅, 张安录. 生态系统服务研究的问题与展望[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(10): 1562-1568.
- [6] Daily G C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* [M]. Washington: Island Press, 1997.
- [7] 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[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(8): 1395-1402.
- [8] 乔丽芳, 齐安国, 张毅川. 河南省森林公园生态系统服务功能价值评估[J]. *西北林学院学报*, 2008, 23(4): 189-195.
- [9] 张岑, 任志远, 高孟绪, 等. 甘肃省森林生态服务功能及价值评估[J]. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(8): 147-151.
- [10] 申建秀, 王秀红, 刘羽, 等. 退耕还林前后甘肃正宁县生态系统服务价值的时空变化特征[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(4): 59-64.
- [11] 胡建忠. 砒砂岩沟谷种植沙棘林防止土壤重力侵蚀的实践[J]. *中国水土保持*, 2011, 10(5): 36-39.
- [12] 张香凝, 崔令军, 王保平, 等. 土壤干旱胁迫对 *Larrea tridentata* 叶片矿质营养元素含量的影响[J]. *生态环境*, 2008, 17(6): 2387-2390.

期受益。实际应用时可以根据不同的应用目的,采取不同的铺设方式,如农业种植对土壤要求较高,可以采取浅密式布管形式,园林绿化由于树种大部分根系深且不要求均一土壤,可以适当增大间距和埋深。这方面的实施措施有待进一步研究,以期更有效地探讨暗管排盐技术在改良盐碱地和改善生态环境质量方面的作用。

#### 参考文献:

- [1] 刘建红. 盐碱地开发治理研究进展[J]. 山西农业科学, 2008,36(12):51-53.
  - [2] 彭成山,杨玉珍,郑存虎,等. 黄河三角洲暗管改碱工程技术实验与研究[M]. 河南:黄河水利出版社,2006.
  - [3] 张建锋. 盐碱地的生态修复研究[J]. 水土保持研究, 2008,15(4):74-78.
  - [4] Qadir M, Ghafoor A, Murtaza G. Amelioration strategies for saline soils: a review[J]. Land Degradation and Development, 2000,11(6):501-521.
  - [5] 马凤娇,谭莉梅,刘慧涛,等. 河北滨海盐碱区暗管改碱技术的降雨有效性评价[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2):409-414.
  - [6] Ritzema H P, Nijland H J, Croon F W. Subsurface drainage practices: from manual installation to large-scale implementation[J]. Agricultural Water Management, 2006,86(1/2):60-71.
  - [7] 李凯,窦森,张庆联,等. 暗管排水技术及其在苏打盐碱土改良上的应用[J]. 吉林农业科学, 2012,37(1):41-43.
  - [8] 刘玉涛,董智,李红丽,等. 不同隔盐措施对滨海盐碱地白蜡光合作用日变化的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3):126-130.
  - [9] 袁磊,雷国平,张小虎. 大庆油田区土地生态安全评价[J]. 水土保持研究, 2009,16(1):216-221.
  - [10] 高志昊,宋戈,张远景. 石油城市经济转型背景下土地利用模式研究:以黑龙江省大庆市为例[J]. 水土保持研究, 2011,18(3):162-167.
  - [11] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.
  - [12] 张金龙,张清,王振宇,等. 排水暗管间距对滨海盐土淋洗脱盐效果的影响[J]. 农业工程学报, 2012,28(9):85-89.
  - [13] Chahar B R, Vadodaria G P. Steady subsurface drainage of homogeneous soils by ditches[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management, 2008,161(6):303-311.
  - [14] Youngs E G, Leeds-Harrison P B. Improving efficiency of desalinization with subsurface drainage[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2000, 126(6):375-380.
  - [15] 刘永,王为木,周详. 滨海盐土暗管排水降渍脱盐效果研究[J]. 土壤, 2011,43(6):1004-1008.
  - [16] 李凤霞,王学琴,郭永忠,等. 不同改良措施对银川平原盐碱地土壤性质及酶活性的影响[J]. 水土保持研究, 2012,19(6):13-18.
  - [17] 刘小京,李向军,陈丽娜,等. 盐碱区适应性农作制度与技术探讨:以河北省滨海平原盐碱区为例[J]. 中国生态农业学报, 2010,18(4):911-913.
  - [18] 刘慧涛,谭莉梅,于淑会,等. 河北滨海盐碱区暗管埋设下土壤水盐变化响应研究[J]. 中国生态农业学报, 2012,20(12):1693-1699.
- .....
- (上接第268页)
- [13] 秦伟,朱清科,刘中奇,等. 基于GIS和RS的退耕还林工程土壤保育价值评估[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(2):54-62.
  - [14] 韩素芸,田大伦,闫文德,等. 湖南省主要森林类型生态服务功能价值评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(6):6-13.
  - [15] 江源,高清竹,何立环,等. 基于Landsat-TM数据的农牧交错带景观结构研究:以内蒙古自治区兴和县为例[J]. 应用生态学报, 2002,13(4):403-408.
  - [16] 王兵,杨锋伟,郭浩,等. 森林生态系统服务功能评估规范(LY/T1721-2008)[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
  - [17] 彭文英,张科利,江忠善,等. 黄土高原坡耕地退耕还草的水沙变化特征[J]. 地理科学, 2002,22(4):397-402.
  - [18] 赵同谦,欧阳志云,郑华,等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004,19(4):480-497.
  - [19] 王兵,郑秋红,郭浩. 基于Shannon-Wiener指数的中国森林物种多样性保育价值评估方法[J]. 林业科学研究, 2008,21(2):268-274.
  - [20] 孙宝平. 荒漠化防治工程学[M]. 北京:中国林业出版社,2000.
  - [21] 胡建忠. 砒砂岩区种植沙棘后景观生态格局综合评价[J]. 水土保持研究, 2011,18(5):247-252.
  - [22] 王兵,魏江生,胡文. 中国灌木林—经济林—竹林的生态系统服务功能评估[J]. 生态学报, 2011,31(7):1936-1945.
  - [23] 赵忠宝,李克国,曾广娟. 秦皇岛市森林生态系统服务功能评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012,26(2):31-36.
  - [24] 刘梅娟,温作民. 森林自然资本会计计量体系及方法[J]. 林业科学, 2011,47(3):161-168.