

互花米草海滩生态系统服务功能及其生态经济价值的评估 ——以江苏为例*

李加林^{1,2} 张忍顺¹

(¹ 南京师范大学海洋与滩涂研究所 南京 210097)

(² 宁波大学建筑工程与环境学院 宁波 315211)

提要 以江苏互花米草 (*Spartina alterniflora*) 海滩生态系统为例,探讨了互花米草海滩生态系统的服务功能,并采用能值分析、市场价值和替代价格等多种评价方法对江苏互花米草海滩生态系统各项服务功能的价值进行了评价。结果表明,江苏互花米草海滩生态系统服务价值平均每年为 1.08×10^9 元,其中直接经济价值为 6.11×10^7 元,间接经济价值为 1.02×10^9 元,间接经济价值是直接经济价值的 16.7 倍。

关键词 海滩生态系统,互花米草 (*Spartina alterniflora*),生态系统服务功能,生态服务价值
中图分类号 Q948 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)10-0068-05

生态系统服务是指生态系统在其运行过程中形成的维持人类生存的自然环境条件和效用。它不仅包括各种提供给人类的物质产品,也包括各种非实物形态的服务^[1]。由于对后者的价值缺乏正确认识,常造成自然环境和自然资源的过度开发,并导

* 江苏省农业资源开发局项目。

第一作者:李加林,出生于 1973 年,博士生,讲师,主要从事海岸环境与资源开发研究。E-mail:nbnj2001@163.com

收稿日期:2002-06-18;修回日期:2002-12-17

致生态系统的退化。随着对可持续发展机制研究的深入,生态系统服务功能及其生态经济价值研究已越来越为生态学家和生态经济学家所关注。

互花米草 (*Spartina alterniflora*) 和红树林 (*Rhizophoraceae*) 是广布于我国沿海潮滩的两大重要盐沼植物,以它们为主要成分组建的海滩生态系统是海岸带社会经济可持续发展的重要生态基础。因此,研究互花米草和红树林生态系统的服务价值具有重要的现实意义。韩维栋等已对红树林生态系统进行了初步研究^[2],而广布于辽宁至福建沿海的互花米草海滩生态系统的服务价值却未见报道。本文拟在前人大量工作基础上,结合野外调查结果,对我国沿海分布最广的江苏互花米草海滩生态系统的服务功能及其生态经济价值进行探讨,以期为海岸带的合理开发利用、沿海生态环境保护及可持续发展决策提供参考。

1 互花米草生态系统服务功能的构成

海滩生态系统位于海陆交界地带,是地球上生物量最丰富的生态系统之一。互花米草海滩生态系统的服务功能不仅包括互花米草和底栖动物生物量构成的直接利用价值,而且还包括对人类及其生存环境有益的其它效用,主要有保滩促淤、消浪护岸、固定 CO_2 、释放 O_2 、动物栖息地及生物遗传信息价值、营养物质的积累和净化环境等。

1.1 提供有机生物量

互花米草生态系统提供的有机生物量以互花米草植株为主。其传统利用方式主要包括用作肥料、饲料、燃料、造纸、化工原料等。在绿色工艺下,互花米草还可提取精制生物矿质液 (BMT) 和米草总黄酮 (TFS)^[3]。

美国 Odum 在乔治亚州萨帕娄岛的研究表明,互花米草滩海水中有有机碎屑的 95% 来自互花米草,并为底栖动物所利用。江苏互花米草生态系统提供的底栖生物资源主要有沙蚕 (*Penaeus aibulitensis*)、锯缘青蟹 (*Scylla serrata*)、弹涂鱼 (*Peniophthalmus cantonensis*)、青蛤 (*Cytila sinensis* Gmelin)、四角蛤 (*Mactra veneriformis* Reeve)、笋螺 (*Terebra*)、排拟沼螺 (*Ilyoplax dentinosa* Shen) 等。其中具经济价值的生物资源是沿海群众的重要收入来源。

1.2 保滩促淤

携带泥沙的潮流进入互花米草滩时,受植被的阻挡,能量大量消耗,流速显著降低,大量泥沙沉积于草滩中,使得滩面逐渐淤高。南京大学等单位的促淤试验表明,同为淤长型海岸,互花米草区的促淤速率是

无草区的 2~3 倍,种草后促淤量每年可达 5 cm 以上。

1.3 消浪护岸

互花米草消浪护岸功能主要是通过控制高潮位附近的波浪,消耗其波能,降低其对海岸、堤坝的冲刷破坏作用。受 1990 年 5 号台风、1992 年 16 号台风和 1994 年 17 号台风影响,浙江瓯海、苍南、温岭沿海地区高标准海堤损毁明显,而同在该区的堤前有互花米草滩分布的低标准海堤却安然无损。这很好地说明了互花米草的消浪护岸功能。

1.4 固定 CO_2 、释放 O_2

植物的一项重要功能就是吸收 CO_2 ,放出 O_2 。互花米草通过光合作用和呼吸作用与大气进行 CO_2 和 O_2 交换,从而起到维持大气中 O_2 平衡,降低大气温室效应的作用。

1.5 动物栖息地及生物遗传信息

互花米草为多种动物提供生存、繁衍场所。据南京大学生物系调查,草滩区生物密度比无草区增加了 19 倍。大量底栖动物及草籽还引来各种珍禽海鸟前来觅食栖息。以米草海滩生态系统为主的盐城国家级珍禽自然保护区,有国家一类保护鸟类 11 种、二类保护鸟类 36 种,中日候鸟协定保护鸟类 134 种,此外还有数百种鸟类在南徙过程中在此停留栖息^[4]。互花米草生态系统对我国滩涂生物,特别是珍禽海鸟的生物遗传信息保护具有重要的生态经济价值。

1.6 营养物质循环与积累

互花米草作为生态系统中的主要生产者,通过光合作用吸收太阳能,而波浪、潮汐和入海径流主要传递 CO_2 、N、P、K 及其它矿物质养分,这些营养物质和能量进入生态系统后被互花米草吸收,并以植株生物量的形式存储起来。

1.7 减轻污染,净化环境

江苏沿海以粉砂淤泥质海岸为主,粘土和细粉砂很容易形成粉尘进入大气,并成为当地大气污染的重要指标之一,互花米草对这种粉尘具有明显的阻挡、过滤和吸附作用。同时,互花米草也可净化水体和土壤中的汞等重金属元素及农药等污染物质,从而起到减轻污染,净化环境的作用。

2 互花米草生态系统服务功能生态经济价值的评估方法

2.1 有机生物量价值

互花米草生物量价值可用 Odum 的能值分析方法进行估算^[5]。具体方法是互花米草的年净生长量乘

以其能值转化率,转换成太阳能值,然后再除以能值货币比率,即得到其经济价值。底栖动物价值可使用市场价值法,将单位面积上各种经济动物资源的年捕获量乘以单价,再乘以分布面积即可。

2.2 保滩促淤价值

促淤保滩功能主要体现在两方面。首先,互花米草滩上的淤积量在 5 cm/a 以上,有利于提高围垦的起围高程,降低工程的土方量及技术手段方面的要求,使得围垦成本减小。其价值可用专家评估法求算。其次,促淤保滩功能还表现在增加生态系统中的土壤总量方面,可用替代花费法,计算增加土壤的经济价值。

2.3 消浪护岸价值

消浪护岸表现在提高海堤抗潮浪标准,降低台风、风暴潮造成的海堤维修费用。可用降低海堤设计标准所节省的费用或海堤遭受破坏后节省的海堤修理费用来替代。据闵龙佑等 1996 年研究,互花米草带宽度超过 200 m 的消浪效果为 90 % 以上,可使原设计标准为 20 年一遇的海堤安全高度降低 2 m 以上。消浪护岸价值也可用种植互花米草节省的海堤修理净费用来估算^[2],其值可用下式计算:

$$P = (TE - F)M \quad (1)$$

其中 P 为节省的净费用, T 为台风损害系数, E 为环境因子系数, F 为种植互花米草的费用系数, M 为种植 1 hm^2 互花米草节省的修理费用。

2.4 固定 CO_2 释放 O_2 价值

根据植物光合作用和呼吸作用反应式,可推算出植物形成多糖类有机物与吸收 CO_2 释放 O_2 之间的比例关系。即相当于每形成 1 g 干物质,需要吸收 1.62 g CO_2 释放 1.19 g O_2 ,据此可求得互花米草生态系统每年固定的 CO_2 和释放的 O_2 总量。其价值可用碳税法、造林成本法和工业氧价格替代法等计算。

2.5 动物栖息地的生物遗传信息价值

生物遗传信息价值可通过能值分析法来评估。根据能值理论,生物遗传信息是地质进化的产物,主要体现在生物多样性和珍稀物种两方面。生物多样性的能值用系统生物多样性的 Shannao - weaver 指数 H 的信息量乘以单位信息量的转化率得到,其中 H 可

$$H = \sum_{i=1}^s (N_i / N) \log_2 (N_i / N) \quad (2)$$

用公式

计算, N_i 是指第 i 物种的个体数, N 是 s 个物种的总个体数^[5-7]。而珍稀物种的能值可认为是进化该物种所消耗的地质能值。据 Ager 估计,地球上每个物种的太阳能值为 $1.26 \times 10^{25} \text{J}$,一个具体生态系统中的

珍稀物种能值是这个系统对该物种支持率与 $1.26 \times 10^{25} \text{J}$ 的乘积,支持率 P 也即该系统对该物种生存的贡献,其值可用公式

$$P = mts / 12 MS \quad (3)$$

计算,其中 m 为系统中该物种个体数, M 为地球上该物种总数, t 为该物种 1 年中在该系统中生活的时间(月), s 为该系统的面积, S 为 t 时间内该物种个体的实际活动面积^[5-7]。

2.6 营养物质循环及积累价值

互花米草生态系统所持留的营养物质以植株固定的 N、P 和 K 3 种元素为主,其价值基本上可用这 3 种元素的价值来替代。可先计算固定 3 种元素的总量,然后乘以化肥的平均价格得出。

2.7 减轻污染、净化环境价值

江苏沿海土壤成分多为粉砂、粘土,加上风力较大,大气中的粉尘特别多,据估算,互花米草滞尘能力为 20 t/ hm^2 左右。用单位面积互花米草滞尘的平均值乘以面积,可得到其滞尘总量,再根据削减粉尘的成本,即可得到其总价值。

互花米草治理汞等污染物质的价值可通过计算单位质量互花米草生物量中汞等污染物含量来推算其富集的总量,然后用治理每吨污染物所需要的成本乘以污染物总吨数得到。

2.8 扩展效益

互花米草抗逆性强,其在江苏沿海的扩展速度较快,通过对 1993 年以来部分岸段多时相遥感图像的解译,及 1998 年以来互花米草面积扩展速率的跟踪调查,发现互花米草生态系统在光滩上的年平均扩展速率约为 4.88 %,因而计算互花米草的生态服务功能时还需在以上各种效益的加和基础上乘以扩展速度而得到扩展效益。

3 互花米草生态系统服务价值的估算

3.1 生物量价值估算

钦佩等 1994 年通过研究发现,互花米草群落的总生物量(干质量)可达 3 154.8 g/ m^2 。其能值转换率为 3 800,每克互花米草的能量为 17 250 J^{13} 。江苏沿海互花米草面积为 125 km^2 ,则植被平均净生物量的太阳能值为 $2.58 \times 10^{19} \text{J}$,2000 年江苏的能值货币比率为 $3.02 \times 10^{12} \text{J/元}$,得到互花米草生物量生态经济价值约为 8.56×10^6 元。

底栖动物主要考虑沙蚕、青蟹、弹涂鱼、青蛤、四角蛤等具有经济价值的生物资源。据底栖动物实地调

查资料,及渔民对经济动物资源的采集情况和市场价格的调查,得到底栖动物生物量的经济价值为 4 200 元/ hm^2 ,底栖动物生物量的经济价值约为 5.25×10^7 元。

3.2 促淤保滩价值估算

取促淤作用为 5 cm/a ,江苏互花米草分布岸段的长度为 210 km,海堤底部宽度一般在 50 m 以上,其促淤作用可以为围垦工程节省 525 000 m^3 土,江苏沿海围垦工程每 m^3 土的单价约为 6.2 元,其节省的资金为 3.26×10^6 元。互花米草在保滩促淤中增加的土壤总量为 $6.25 \times 10^6 \text{ m}^3$,以我国耕作土壤的平均厚度 0.5 m 作为互花米草生态系统中的土层厚度,则每年江苏互花米草生态系统在促淤或防止土壤侵蚀方面的贡献可认为是增加土地面积大约为 1 250 hm^2 ,采用土地的机会成本来估算其价值,2000 年江苏农业生产的平均收益为 6 000 元/ hm^2 ^[8],因而其经济价值为 7.50×10^6 元。

3.3 消浪护岸价值估算

江苏互花米草海滩生态系统的平均宽度约为 600 m,保护着江苏沿海 210 km 的海堤,取互花米草消浪护岸效果为使原设计标准为 20 年一遇的海堤安全高度降低 2 m,海堤宽度以 15 m 计,则互花米草生态群落的存在使得江苏沿海海堤建设节省土方量 $6.30 \times 10^6 \text{ m}^3$,每 m^3 土价格为 6.2 元计算,互花米草的消浪护岸功能价值为 3.91×10^7 元。如用互花米草种植节省的海堤修理净费用来估算,取 T 为 0.5, E 为 0.5, F 为 0.1, M 为 10 000 元^[3],可得互花米草消浪护岸的价值为 1.88×10^7 元。取两者的平均值为 2.90×10^7 元。

3.4 固定 CO_2 释放 O_2 价值估算

根据化学反应方程式及每平方米的互花米草生物量,可以估算江苏互花米草生态系统每年固定的 CO_2 总量为 $6.39 \times 10^5 \text{ t}$,释放的 O_2 为 $4.69 \times 10^5 \text{ t}$ 。根据中国的造林成本 C 为 251.40 元/ t ,固定 CO_2 的生态经济价值为 68.56 元/ t ,估算江苏互花米草生态系统每年固定 CO_2 的价值为 4.38×10^7 元。根据瑞典碳税率法,碳税为 0.15 美分/ kg ,换算成 CO_2 为 40.94 美元/ t ,可估算每年固定 CO_2 的价值为 2.16×10^8 元,取两者的平均值为 1.30×10^8 元。按造林成本法可把释放 O_2 的价值折合为 352.93 元/ t ,总计为 1.66×10^8 元。以工业制氧价格法估算,工业氧的价格为 0.4 元/ kg ,该价值为 1.88×10^8 元,取平均值 1.77×10^8

元。

3.5 生物遗传信息价值估算

江苏互花米草在生物遗传信息方面的价值主要体现在盐城海滩珍禽自然保护区内保护的各种珍禽海鸟的遗传信息。朱洪光等利用能值分析方法,得出其经济价值为 5.24×10^8 元^[6]。

3.6 营养物质循环及积累价值估算

1988 年钦佩等通过研究发现,互花米草植株中 N , P , K 的质量分数分别为 1.358%, 0.142% 和 0.5436%。根据江苏互花米草生态系统中植物的年平均净生物量,可计算固定的 N , P , K 分别为 5 355.27 t, 559.98 t 和 2 143.69 t。以我国当前化肥 1 000 元/ t 计算,每年固定营养物质的价值为 8.06×10^6 元。

3.7 减轻污染,净化环境价值估算

据互花米草的滞尘能力和面积,可计算出滞尘总量为 $2.5 \times 10^5 \text{ t}$,而削减粉尘的成本为 170 元/ t ,可得滞尘功能的潜在经济价值为 4.25×10^7 元。

互花米草具有富集汞等多种重金属元素和降解农药的作用,据仲崇信等 1983 年的研究成果,每 1 g 互花米草植株生物量富集汞的能力约为 $4.43 \times 10^{-5} \text{ g}$ 。可得江苏沿海互花米草每年对汞的富集量约为 17.5 t,以当前主要污染业削减率为 0.9 时的全国平均边际削减费用 12 725.34 元/ t (小规模)计^[9],互花米草富集汞的经济效益为 2.23×10^5 元,据专家评估法,互花米草富集汞的经济效益约为减轻土壤和水体污染,净化环境效益的 5%,则江苏互花米草海滩生态系统治理土壤和水体污染的效益为 4.45×10^7 元。

3.8 扩展效益估算

如前文所述,近些年来江苏互花米草的扩展速率为 4.88%,因此在目前情况下,江苏互花米草生态系统的扩展效益为以上各项价值之和的 4.88%,共计 5.01×10^7 元。

4 结论与讨论

江苏互花米草海滩生态系统服务的总价值为 1.08×10^9 元,其中直接经济价值为 6.11×10^7 元,间接经济价值为 1.02×10^9 元,间接经济价值是直接经济价值的 16.7 倍。互花米草海滩生态系统所产生的生态经济价值远远超出了其实物产出的价值。由于生态系统服务的多价值性,本研究仅是对当前社会经济条件下主要服务价值的估算,远不能包含系统的所有服务价值。如美国学者 Davis, Lewis 和 Dunstan 等人的

研究表明互花米草可在红树林不能生长的滩面上生长,并为红树的侵入创造条件,是红树林的先锋植被,对红树林的恢复具有重大意义。本文的目的是通过对互花米草生态服务价值的评估,加深人们对互花米草海滩生态系统服务功能的认识,以保护海岸带的生态环境,促进海岸带的持续发展。

至于因与滩涂养殖业争地、导致沿海河口航道淤积、干扰其它盐沼生态系统而把互花米草称为“毒草”是缺乏科学依据的,造成这种后果的主要原因是人为的不当引种,与草本身并无关系。因而,今后有必要进一步加强互花米草海滩生态系统服务功能及环境影响评价研究,以合理开发利用我国沿海分布最广的生物海岸生态系统。

致谢: 文稿初成后,承蒙南京大学仲崇信先生提出建设性修改补充意见,谨表谢忱。

参考文献

1 Costanza R, d'Arge R, Rudolf de Groot, et al, The value of

the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387:253 - 260

- 2 韩维栋,高秀梅,卢昌义,等.中国红树林生态系统生态服务价值评估. *生态科学*,2000,19(1):40 - 46
- 3 钦佩,安树青,颜就松. *生态工程学*.南京:南京大学出版社,1999.3
- 4 沈永明.江苏沿海互花米草盐沼湿地的经济功能. *生态经济*,2001,9(9):72 - 73
- 5 Odum H T. *Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making*. New York: John Wiley, 1996.
- 6 朱洪光,钦佩,万树文,等.江苏海涂两种水生利用模式的能值分析. *生态学杂志*,2001,20(1):38 - 44
- 7 张晟途,钦佩,万树文.从能值效益角度研究互花米草生态工程资源配置. *生态学报*,2000,20(6):1 045 - 1 049
- 8 江苏省统计局. *江苏统计年鉴*.北京:中国统计出版社,2000.
- 9 曹东,王金南. *中国污染工业经济学*.北京:中国环境科学出版社,1999.

FUNCTION OF *Spartina alterniflora* SALT MARSH ECOSYSTEM SERVICES AND EVALUATION OF THEIR ECOLOGICAL AND ECONICAL VALUE ——A CASE OF JIANGSU PROVINCE

LI Jia Lin^{1,2} ZHANG Ren Shun¹

(¹ Institute of Ocean and Coastal Wetland, Nanjing Normal University, Nanjing, 210097)

(² Faculty of Architectural, Civil Engineering and Environment, Ningbo University, Ningbo, 315211)

Received: Jun., 18, 2002

Key Words: Salt marsh ecosystem, *Spartina alterniflora*, Services of ecosystem, Ecological value

Abstract

Based on a case study of Jiangsu province, function of the services of *Spartina alterniflora* tidal ecosystem was analyzed. The methods of energy analysis, market valuation and substitute expense were used to estimate the ecological and economical value of the ecosystem services. The results show that mean annual value of Jiangsu *Spartina alterniflora* tidal ecosystem is up to 1.08×10^9 million RMB yuan, in which, the material value is about 6.11×10^7 yuan, the indicated value about 1.02×10^9 yuan, and the indicated value is 16.7 times that of the material value.

(本文编辑:刘珊珊)