

文章编号: 0469-5097(2000)05-0592-06

互花米草生态工程能值分析^{*}

张晟途, 钦 佩, 万树文

(南京大学生物技术研究所, 江苏 南京 210093)

摘 要: 应用能值分析的方法, 分别对江苏省射阳河口的 3 种治理方案(海滨潮间带盐沼湿地(方案 A)、互花米草湿地(方案 B)和互花米草生态工程(方案 C))进行能值计算和评价. 计算结果为能值投入 A: $2.84\text{E}+12 \text{ Sej}^{-1}\text{m}^{-2}$; B: $3.67\text{E}+11 \text{ Sej}^{-1}\text{m}^{-2}$; C: $8.94\text{E}+11 \text{ Sej}^{-1}\text{m}^{-2}$; 能值产出 A: $5.78\text{E}+09 \text{ Sej}^{-1}\text{m}^{-2}$; B: $3.44\text{E}+11 \text{ Sej}^{-1}\text{m}^{-2}$; C: $3.46\text{E}+12 \text{ Sej}^{-1}\text{m}^{-2}$. 从主要能值指标来看, A 需以人类活动的不断投入来维持, B 和 C 较 A 具有明显的优越性, B 为自组织生态系统, C 为生态工程系统, C 的能值产出最大, 生态效益和经济效益突出.

关键词: 互花米草; 能值分析; 生态工程

中图分类号: Q147

文献标识码: A

江苏省射阳县双洋河口位于 33.7°N , 120.2°E , 河口海岸带主要为侵蚀性岸段. 在无人工植被的地段, 中潮位附近基本是光滩, 仅有少量浮游生物及底栖生物. 该地区沿岸海堤受台风及海浪的影响较大, 在台风多发季节, 每年均需花费大量的人力、物力对该地区的海堤进行维修和护理. 互花米草 (*Spartina alterniflora*) 盐沼湿地位于潮间带的中潮带附近. 互花米草是我国海滨地区的一种盐沼湿地资源植物, 70 年代末由美国引种. 互花米草生态工程是指在发挥互花米草的防风消浪的基础上, 应用生态工程的原理, 提取其有效成分, 包括互花米草总黄酮(TFS)等一系列产品的开发和利用, 从而更好地发挥其生态和经济效益的方法. 本文用能值分析的方法对该地区的互花米草生态工程等 3 种治理和利用方式进行评价.

对一个系统中的物流、能流、信息流、价值流进行综合分析时就会遇到一个统一标准的问题. 美国著名生态学家 H. T. Odum 为首创立了能值(Emergy)分析方法^[1,2]. 能值分析将所有形式的能量(资源、燃料、商品、服务等直接或间接使用的能量)都转化为太阳能值来表示, 其基本单位即太阳能焦耳(solar emjoules, 缩写为 sej). 运用能值分析, 把生态环境系统与人类社会经济系统有机联系和统一起来, 定量分析自然与人类经济活动的真实价值. 通过一系列能值指标的比较分析, 帮助决策者选择系统最大功率的技术路线. 显然, 能值分析是目前系统分析中最新而优越的方法. 本文运用能值分析方法对该地区互花米草生态工程等 3 种保滩护堤的治理和利用方式进行定量评价.

1 材料与方法

1.1 3 种治理和利用方式 A. 自然演替及人工维修 即对盐沼湿地不加以利用, 该湿地基

* 收稿日期: 1999-03-19

作者简介: 张晟途, 男, 1975 年生, 理学硕士.

本上为光滩(仅在高潮带有少量的盐蒿等植物存在),中潮带主要为一些浮游生物及底栖生物,总第一性生产较低.侵蚀性岸段每年常遭台风袭击破坏,此后,以水利工程的方法对海堤进行维修.

B. 种植互花米草保滩护堤 按人工米草带的建立方法^[3]种植互花米草,米草带成熟后,可对海堤进行有效的保护,但基本不对植被进行综合利用.

C. 互花米草生态工程 在方案 B 的基础上,进行互花米草分层多级的综合利用,及其绿色食品的系列开发^[4],该方法较方案 B 需一定的能值(资金)投入.

方案 A、B、C 的研究地点主要为江苏省射阳县双洋河以南射阳河以北的海滨区域的盐沼湿地,保滩护堤作用同时与苏北滨海县废黄河口的数据进行对比,C 中的经济指标与苏北大丰市王港的数值进行了比较.

1.2 能值分析计算基本方法 在能值分析表中列出编号、项目名称、原始数据、每平方米数据、能值转换率、能值和宏观经济价值.分别求出可更新资源的流入和不可更新资源的流入、系统的总第一性生产力和其他经济产出能量或货币量,通过下式计算太阳能值:

$$\text{太阳能值(sej)} = \text{原始数据(J, \$)} \times \text{能值转换率}$$

通过下式求出每项的宏观经济价值:

$$\text{宏观经济价值(\$)} = \text{太阳能值(sej)} \times \text{能值货币转换率(\$ / sej)}$$

可更新资源的原始数据计算方法为^[1,2,5,6]:

$$\text{太阳光能 } E1 = \text{面积} \times (1 - \text{反射率}) \times \text{辐射量}$$

$$\text{风能 } E2 = \text{面积} \times \text{空气层平均高度} \times \text{空气密度} \times \text{空气比热} \times \text{水平温度梯度} \times \text{平均风速}$$

$$\text{雨水势能 } E3 = \text{水密度} \times \text{雨量} \times \text{面积} \times \text{平均高度} \times \text{加速度}$$

$$\text{雨水化学能 } E4 = \text{水吉布斯自由能} \times \text{雨量} \times \text{面积}$$

$$\text{径流能 } E5 = \text{当地径流平均值} \times \text{面积} \times \text{水吉布斯自由能}$$

$$\text{潮汐能 } E6 = \int_0^H mgd h = 0.5 \times \text{海水密度} \times \text{加速度} \times (\text{平均浪高})^2$$

$$\text{经济投入与产出 } Em = \text{货币量} \times \text{能值货币比率}$$

1.3 编制主要能值指标表和能值的 15 年预测 将以下几个主要能值指标列入能值指标表^[1,2]:

$$\text{能值投资比率} = \text{经济系统反馈能值} \div \text{可更新资源的投入};$$

$$\text{净能值效益} = \text{产出能值} - (\text{可更新资源能值} + \text{反馈能值});$$

$$\text{净效益} = \text{产出能值} - \text{反馈能值};$$

$$\text{净能值产出率} = \text{产出能值} \div \text{反馈能值}.$$

通过对 3 种方案的主要能值指标进行判断和比较,从而对 3 种方案的优劣进行评判.

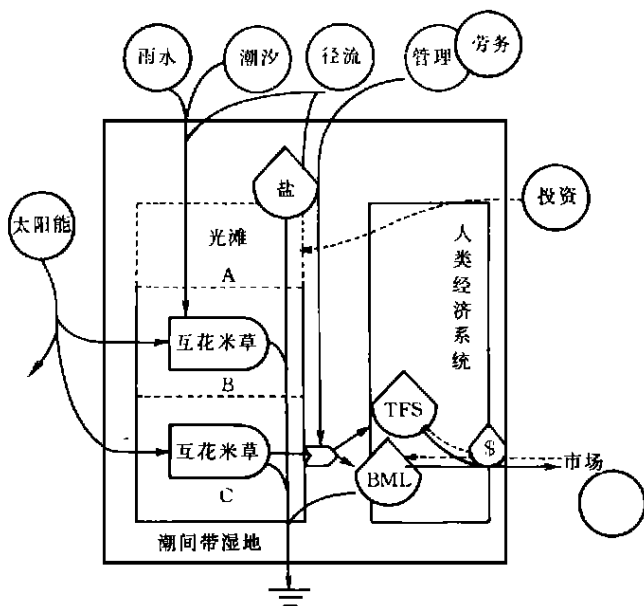
在系统成熟后的 15 年内,分别计算出 3 种方案的能值投入和能值产出,从而对方案的稳定性和适用性进行评判.

2 试验结果

2.1 能值分析 通过综合归纳,3 种方案的能量系统图如图 1 所示,而通过有关计算,能值分析结果如表 1.

2.2 主要能值指标 通过对能值分析表中的每个项目的投入和产出的计算,得出系统中的总的能值投入、产出,从而得出各主要能值指标,如表 2.

2.3 能值 15 年预计 在本项试验中,互花米草栽种后至互花米草生态系统发育成熟的 5



(实线表示能流路径,虚线表示货币流)

图 1 射阳河口滩涂生态系统 3 种不同利用方式的能量系统简图

Fig. 1 The energy system diagram of the 3 utilization ways for the tidal ecosystems at Sheyang Estuary

案C 的能值产出在前 5 年呈递增态势,并趋于稳定,其能值产出同时会受到市场和经营状况的影响.

3 讨论

从各主要能值指标来看,方案 A 具有最高的能值投资比率和最低的净能值产出率,说明该方法是低效的,同时其净能值效益和净效益均为较大的负值,说明该系统的持续性必须以人类较大的经济投入来维持.方案 B 具有最低的能值投资比率(5%),该系统中的能值流入主要为可更新资源的流入(95%),同时说明该方案的人为干扰较少,属于自组织生态系统,人类的生产活动主要局限

于最初的人工种植,故该系统基本符合自组织系统的规律,即 $Em_p = Em_s + Em_f$, 净能值效益 $-2.35E+10$ sej, $Em_p = 3.44E+11$ sej. 该方案的最大能值产出率说明了引种互花米草,特别对于台风多发地段是非常有益的.在方案 C 中,能值投资比率为 157%,而净能值产出率 634%,为自然资源投入的 9.94 倍,为总能值投入的 3.87 倍. $Em_p > Em_s + Em_f$, 这是因为该系统中, Em_r 占的比例较大,该系统中有适量的人为参与和辅助设计,同时产品的经济

年内,该系统的能值投入和产出及互花米草生物量可从图 2 看出.

图 2 为试验数据,图中,能值投入为 5 年内的累计投入,能值产出为 S 型增长并逐步接近年均能值投入.在 15 年的能值预测中,互花米草生态系统成为一个较为成熟的生态系统,以后的 10 年内其生物量和能值投入产出是较为稳定的.

图 3 为 3 种方案 15 年的能值投入和产出对比,从图中可以看出,B 和 C 方案的能值投入在第一年均较高,而后逐步稳定.从方案 B 的能值投入和产出图中可以看出,该方案的年能值投入和产出在 5 年后产出和投入保持稳定并大致相等,说明互花米草生态系统已发展成为成熟的自组织系统.方

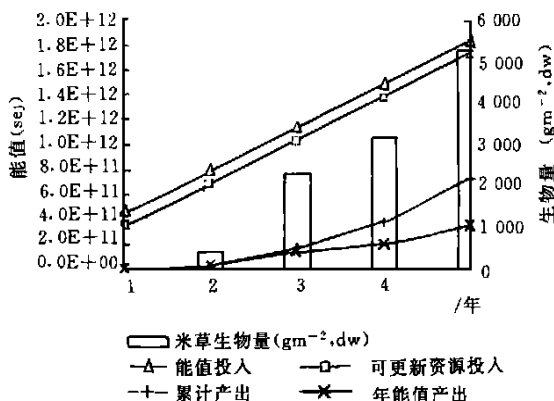


图 2 互花米草 5 年内增长的生物量和能值变化

Fig. 2 The amount variations for biomass and emery of *Spartina* during 1984-1988

表 1 3 种治理方式能值分析表
Table 1 Emergy analysis for the 3 utilization ways

编号与项目	原始数据	每平方米数据	能值转换率 (sej/unit)	太阳能值 (sej)
<u>可更新资源流入</u>				
1 太阳光	5.19E+15 J	3.46E+09 J	1	1.73E+12
2 风能	1.88E+11 J	1.25E+05 J	1496	1.87E+08
3 雨水势能	1.37E+13 J	9.16E+06 J	10 488	4.8E+13
4 雨水化学能	7.91E+12 J	5.28E+06 J	18 200	4.8E+13
5 径流 1.48E+12	9.88E+05 J	41 100 J		4.06E+10
6 潮汐 1.37E+12	9.17E+05 J	30 550 J		2.8E+10
合计				3.48E+11
<u>方案 A</u>				
<u>不可更新资源投入</u>				
7 投资	1.60E+06 \$	2.87E-01 \$	8.70E+12	2.49E+12
8 劳务与管理	0 \$			0
<u>输出 Output</u>				
9 总第一性生产力 GPP		3.04E+05 J	1.90E+04	5.78E+09
<u>方案 B</u>				
11 投资	4.00E+02 \$	2.15E-03 \$	8.70E+12	1.87E+10
12 劳务与管理	0 \$			0
<u>输出 Output</u>				
13 总第一性生产力	5241 J	9.04E+07 J	3.80E+03	3.44E+11
<u>方案 C</u>				
14 投资	2.50E+05 \$	4.48E-02 \$	8.70E+12	3.90E+11
15 劳务与管理	1.00E+05 \$	1.79E-02 \$	8.70E+12	1.56E+11
<u>输出 Output</u>				
16 总第一性生产力	5 241 J	9.04E+07 J	3.80E+03	3.44E+11
17 经济产出	2.00E+06 \$	3.58E-01 \$	8.70E+12	3.12E+12
能值/货币比率 Emergy/\$	8.70E+12 sej/\$ (1988)			

说明:反馈能值在 1988 年的条件下,栽种互花米草的费用以每公顷 400 元计算,在估算中,以 5 年为一个周期进行计算.

每年每平方米投入费用:Cost=400/5/3.72(汇率)=2.15E-03(US \$ 1988)

每年每平方米反馈能值:2.15E-03×8.70E+12=1.87E+10 sej

生物量:5 600 gm⁻²

能值转换率:互花米草太阳能焦耳/热值=3.67E+11 sej a⁻¹m⁻²)/(23E+06 cal/m²×4.2 J/cal)=3 799 sej/J

能值货币比率来源于资料[2,5].

表 2 主要能值指标表
Table 2 The main emergy indices

	A	B	C
自然资源能值投入(sej)	3.48E+11	3.48E+11	3.48E+11
人类经济能值投入(sej)	2.49E+12	1.87E+10	3.90E+11
能值产出(sej)	5.78E+09	3.44E+11	3.46E+12
净能值效益(sej)	-2.84E+12	-2.35E+10	2.57E+12
净效益(sej)	-2.49E+12	3.25E+11	2.92E+12
能值投资比率	716%	5%	157%
净能值产出率	0.232%	1 836%	634%

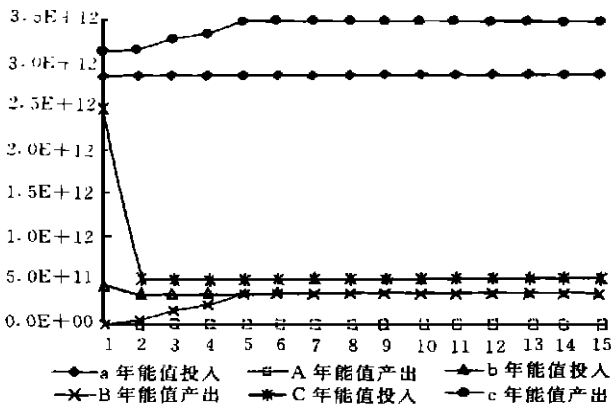


图 3 3 种方案的 15 年能值情况

Fig. 3 Emergy of the 3 utilization ways in 15 years

投入和最低的能值产出,而方案 B 的经济投入在互花米草栽种后的 5 年内逐年减少,在互花米草生态系统成熟以后基本保持较低的水平,系统中的能值投入主要为可更新资源的投入,说明以互花米草植被的建立为特征的方案 B 保滩护堤比方案 A 更经济实惠.互花米草是一种多年生的禾本科植物,在自然环境中,互花米草的地上部分可生长至 2~3m,而它的地下茎及根系极为发达,地下部与地上部生物量比大于 1,这就是米草保滩海堤的主要原因.互花米草的保滩护堤作用同样在浙江苍南县东塘海堤得到证实.

在每年台风季节过去后(10—12 月)^[7,8],不失时机地合理采收互花米草地上部分,对其有效成分 BML 和 TFS 进行生产加工,开发一系列具保健功能的绿色食品,使互花米草具有更大的生态效益和经济效益.在能值 15 年预计图中,方案 C 的能值在前 5 年呈较快的增长趋势,在互花米草生态系统成熟以后,能值投入维持在一个较低的水平,远远小于方案 A 的能值投入,略高于方案 B 的能值投入,而能值输出达到了最大 3.46E+12 sej.互花米草生态工程同样有利于资源的保护和持续利用.互花米草是多年生海滩盐沼植物^[9],每年秋季,台风和风暴潮的主要季节过去,地上部分逐步黄熟,走向枯萎.如年复一年让其自生自灭,可能造成米草种群的矮化和退化.而在秋冬季对互花米草地上部分加以利用,不会对其地下部分造成丝毫损害,从而不会对其来年的生长有负面影响,是保护和持续利用该物种的最佳选

输出能值较高,说明产品的输出蕴含了潜在的商业利润.从以上能值指标来看,该方案是合理并具有活力的.由于该方案是在方案 B 的基础上通过加环来实现资源的分层多级地利用,其能值产出是高效的(能值产出为方案 B 的 10 倍以上).通过以上分析,我们可以认为,BML 及 TFS 系列产品的开发和应用,将有助于互花米草资源的利用,从而获得较好的生态效益和经济效益.

从能值分析的 15 年预计图中可以看出,方案 A 始终具有最高的能值

择.因此,该生态工程对环境和物种都有益,不失为海滩生态系统持续发展和利用的一项重要对策,也是我国沿海地区台风多发地段的一项重要选择.

[参 考 文 献]

- [1] Odum H T. Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making [M]. New York: John Wiley & Sons, 1996. 182~203.
- [2] Odum H T. 能量、环境与经济 [M]. 蓝盛芳. 北京: 东方出版社, 1992. 50~75.
- [3] Qin Pei, Xie Min, Jiang Yunshen, et al. Estimation of the ecological benefits of two *Spartina alterniflora* plantation in North Jiangsu, China [J]. Ecol Engin, 1997, 8; 5~17.
- [4] Qin P, Xie M. *S. alterniflora* green food ecological engineering [J]. Ecol Engin, 1998, 11(4): 147~156.
- [5] 蓝盛芳. 生态—经济系统能值分析. 当代生态学博论 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 266~286.
- [6] 丁 冰. 当代西方经济学原理 [M]. 北京: 北京经济学院出版社, 1993. 84~88.
- [7] 江苏省海岸带和海涂资源综合考察队. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查报告 [R]. 南京: 江苏科技出版社, 1985. 303~323.
- [8] 王时福. 苏浙沪海岸带的自然环境与资源. 苏浙沪海洋开发基地研究 [M]. 南京大学出版社, 1996. 233~280.
- [9] 钦 佩, 谢 民, 王长永, 等. 互花米草初级生产中的贮能动态. 米草的应用研究 [M]. 海洋出版社, 1992. 42~45.

EMERGY ANALYSIS OF *SPARTINA ALTERNIFLORA* ECOLOGICAL ENGINEERING

ZHANG Cheng-tu, QIN Pei, WAN Shu-wen

(Institute of Bio-technology, Nanjing University, Nanjing, 210093, China)

Abstract: The estuary of the Shuangyang River, Jiangsu Province, was selected for this study. In history, the seawall in this area was often eroded by typhoons and storms, and a large amount of money was spent repairing the seawall annually. Since 1985, *Spartina alterniflora* was planted on seashore to find a better way in protecting the seawall.

Three ways involving Plan A—repairing without plantation, Plan B—Plantation of *S. alterniflora* without uses, Plan C—*S. alterniflora* Ecological Engineering (SAEE) have been practiced. This paper describes the Emery Analysis for the three ways. A science-based evaluation of a system is now available to represent both the environmental values and the economic values by using a common measure of Emery. Emery, a measure for real wealth, is the work previously required to generate a product or service. In an environmental-economic system, there are 4 different flows; material flow, energy flow, currency flow and information flow. These flows can for the first time be measured on Emery as a common evaluating standard, so Emery analysis method provides a quantitative way to find what policies and patterns for humanity and nature are sustainable with fewer trials and errors, because they tend to anticipate self-organization for maximum benefit and prosperity.

The Emery Analysis for 3 approaches results as following:

Emery inflows, A: $2.84\text{E}+12 \text{ sej}^{-1}\text{m}^{-2}$; B: $3.67\text{E}+11 \text{ sej}^{-1}\text{m}^{-2}$; C: $8.94\text{E}+11 \text{ sej}^{-1}\text{m}^{-2}$.

Emery export, A: $5.78\text{E}+09 \text{ sej}^{-1}\text{m}^{-2}$; B: $3.44\text{E}+11 \text{ sej}^{-1}\text{m}^{-2}$; C: $3.46\text{E}+12 \text{ sej}^{-1}\text{m}^{-2}$.

These data indicate that Plan C—SAEE is the most beneficial option, with a net benefit of $2.57\text{E}+12 \text{ sej}^{-1}\text{m}^{-2}$. It is calculated to be $\$0.295 \text{ a}^{-1}\text{m}^{-2}$ based on the macroeconomics values in 1988. Then, in the practical area of 150 m^2 the total macroeconomics values are $\$443\,000(1988)$. Plan A is not a maintainable system. It needs most of economic input every year.

The results showed that alternative C is a better management strategy than the other two for the salt marsh wetland with eroded seawall in Southeast China. SAEE embodies the principles of ecological engineering.

Key words: *Spartina alterniflora*; Emery analysis; ecological engineering