

互花米草群落功率最大化倾向*

王金丽 李卓然 钦 佩**

(南京大学盐生植物实验室, 南京 210093)

摘 要 植物新种进入新区域后,通过扰动或搅局,改变生态系统的结构,形成有特色的自组织生态系统,趋向新条件下的功率最大化. 本文应用能值分析的方法,分别对苏北互花米草生态系统和光滩生态系统进行能值分析和系统评估. 结果表明:互花米草生态系统每年能值产出比光滩生态系统高 $1.52\text{E} + 18 \text{ sej}$. 能值密度是光滩的 4.72 倍,基础能值产出率约为光滩生态系统的 5 倍. 互花米草生态系统能更有效地利用能量,增加系统内部的能值贮存,实现系统内部的功率最大化. 互花米草入侵某区域滩涂后,通过自组织促使整个互花米草生态系统趋于功率最大化,充分发挥生态服务功能,但由于其繁殖扩散过快,导致种群爆发,产生了一系列负面效应,如抑制本土物种、侵占航道、危害贝类养殖等.

关键词 互花米草 能值分析 生态服务 功率最大化

文章编号 1001-9332(2010)04-0843-06 **中图分类号** Q148 **文献标识码** A

Maximizing empower of *Spartina alterniflora* community. WANG Jin-li, LI Zhuo-ran, QIN Pei (Halophyte Research Lab, Nanjing University, Nanjing 210093, China). -Chin. J. A ppl. Ecol., 2010, 21(4): 843–848.

Abstract: When a new plant species is introduced to a new district, its disturbance could alter the structure of original ecosystem, resulting in the formation of a distinctive self-organized ecosystem to develop the maximizing empower under the new situation. In this paper, an emergy analysis method was made on the two ecosystems *Spartina alterniflora* salt marsh and mudflat in North Jiangsu. Compared with the mudflat, *S. alterniflora* ecosystem had a $1.52\text{E} + 18 \text{ sej}$ higher annual total emergy output, 4.72 times of emergy density, and about 5 times of base emergy yield ratio. *S. alterniflora* ecosystem could use the energy more efficiently to increase its emergy storage and to realize it self's empower maximizing. After invading into a tidal flat ecosystem, *S. alterniflora* via self organization could promote the ecosystem to achieve empower maximizing, and to full play its ecological services. However, too fast propagation and spread could induce a series of negative effects, such as inhibiting native plants, trenching on sea-route, and endangering the seashells breeding, etc.

Key words: *Spartina alterniflora*; emergy analysis; ecological service; empower maximizing.

能值分析方法经过 20 多年的应用与发展,目前已成为一种比较成熟的评价体系^[1]. 该方法利用能值转换率对各种生态流价值进行统一的单位转换,实现了不同能质及不同等级能量之间的统一度量^[1]. 近 10 年间,国内外能值分析研究十分活跃,大都集中在对复合系统生态经济的分析与评价上^[1],对于能值分析方法的基本理论“最大功率原则(maximum power principle)”研究则较少. 最大功率原则的思想最早是由 A. J. Lotka 在 1922 年提出,并提议作为热力学第四定律^[1]. H. T. Odum 引用最大

功率概念,并将它扩展为普适的系统假说,成为能值分析方法的基本理论^[1]. 最大功率原理可表达为:具有活力的系统,其设计组织方式必须能从外界获取可利用能量加以有效地转化利用,并能反馈部分能量以获取更多的能量,以应存活之需^[1]. 以最大功率原则设计的系统,由于可获得更多可用能量,并能适应周围环境条件,因此,该类系统更具存活力和竞争力.

依据最大功率原则,新物种进入新区域形成新的生态系统后,即进行自我组织和调整,以期利用新结构、通过新途径,牟取系统最大功率化.

互花米草(*Spartina alterniflora*)是禾本科米草

* 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD03A19)资助.

** 通讯作者. E-mail: qinpei@nju.edu.cn

2009-10-12 收稿,2010-01-27 接受.

属的多年生草本植物,原产于大西洋沿岸,从加拿大的纽芬兰到美国的佛罗里达中部,直到墨西哥海岸均有分布^[5]. 其茎秆粗壮、坚韧、直立,地下部分由短而细的须根和长而粗的地下茎组成,在茎基部和根茎的节上常有胚芽生长出土,长出新的植株,种子在 10—11 月成熟. 出于保滩护岸、促淤造陆等目的,我国于 20 世纪 80 年代引进互花米草,并推广到广东、福建、浙江、江苏和山东等省的沿海滩涂上种植. 至今,互花米草在我国滩涂上已有广泛的分布,总面积已达 34451 hm²,其中江苏省面积达 18711 hm²,江苏海岸滩涂已形成全国面积最大的互花米草盐沼湿地^[6],极具代表性. 自互花米草引入我国之后,我国学者对互花米草从引种栽培、生物学特征、开发利用、环境影响等方面进行了研究,得出了一系列研究成果^[7-8]. 张晟途等^[9]通过对互花米草生态系统 15 年能值投入产出对比分析,发现该系统发育 5 年后,年能值投入和产出保持稳定并大致相等,说明发育 5 年的互花米草生态系统已达到成熟状态. 近 10 余年来,互花米草群落在部分地区呈现爆发的趋势,对本地物种造成严重威胁,表现出一定的入侵性,成为颇受争议的外来种. 鉴于此,本文以苏北发育成熟的互花米草盐沼和光滩系统为研究对象,利用能值分析方法分析外来物种互花米草生态系统功率最大化的倾向,探究互花米草生态系统的发育状况及种群爆发机制,以期为互花米草生态系统的科学管理提供依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

苏北海滨地区指江苏北部的沿海滩涂地区,地理位置在 120°08'—121°44' E, 32°02'—34°16' N 之间. 该地区处于暖温带和北亚热带的过渡区,又受盛行季风的影响,兼有大陆性和海洋性气候的特点,四季分明. 夏季受西太平洋副热带高压控制,多偏南风,炎热多雨;冬季受西伯利亚冷高压控制,盛行偏北风,寒冷少雨. 光照充足,年平均气温为 13.7 °C ~ 14.6 °C,极端最低气温为 -17.3 °C,极端最高气温为 39 °C (1979 年),≥10 °C 年积温在 4700 °C ~ 5200 °C,年均相对湿度 > 80%. 该区域主要有外来种互花米草和本地种芦苇 (*Phragmites australis*)、獐毛 (*Aeluropus littoralis*) 和碱蓬 (*Suaeda salsa*) 等植被类型.

本研究中的互花米草生态系统位于大丰王港垦区 (33°17' N, 120°45' E). 目前该区域的互花米草

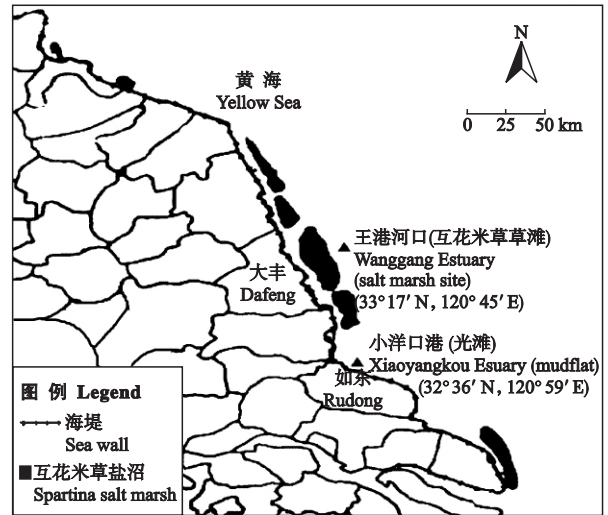


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of the study area.

盐沼为生长接近 5 年的草滩,系统发育已趋于成熟,植被稳定,拥有较高的生物量和沉积速率;光滩生态系统位于南通如东小洋口港 (32°36' N, 120°59' E),没有任何植被,是江苏海滨现存的一块特征明显的光滩. 在两个系统中,各取 50 hm² (沿海方向 1000 m × 向海方向 500 m) 样地进行对比分析 (图 1).

1.2 研究方法

1.2.1 绘制能量系统图 根据系统的主要能量来源、系统内的主要成分及各组分的过程和关系分别绘制能量系统图 (图 2).

1.2.2 编制能值分析表 分别选取两个生态系统的可更新资源能值输入、不可更新资源能值输入和系统能值输出 3 部分编制能值分析表 (表 1),能值转换率及计算公式参考文献 [1, 10-11]. 本文所研究的两个生态系统均为自然系统,系统的能值产出主要是米草与底栖动物生长过程中形成的有机物质,以及泥沙沉积在土壤库中的有机质,贮存在系统内形成环境基础能值,另外,互花米草生态系统的大气组分调节、生物多样性保护等生态服务功能产出也是生态系统能值产出的重要部分^[6].

1.2.3 主要能值指标的计算 根据能值分析表,计算能值密度 (emergy density, D_E)、基础能值改变 (Bec) 和基础能值产出率 (Beyr) 3 个指标^[6] (表 2):

$$D_E = \text{总能值使用量} (U) / \text{总面积} (\text{Area})$$

Bec = 非交换能值产出 (Y_{ne}) - 不可更新能值投入 (N)

$$Beyr = \text{Bec} / \text{不可更新资源能值投入} (N)$$

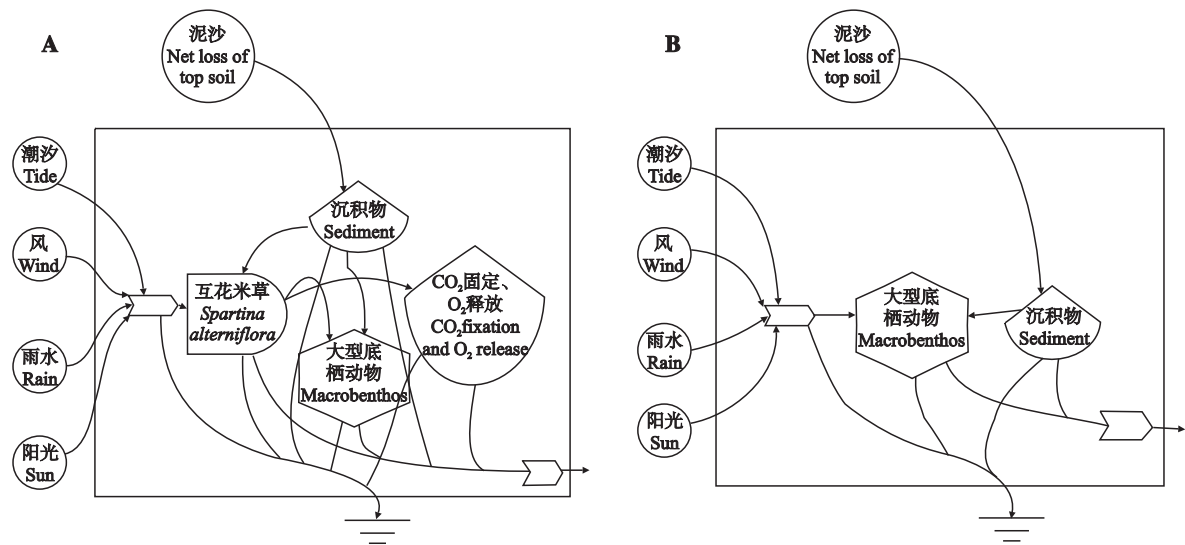


图 2 互花米草生态系统(A)和光滩生态系统(B)能值流动图
Fig.2 Emergy flow diagram of a *Spartina alterniflora* system (A) and mudflat system (B).

对两个系统的主要能值指标进行比较,评价系统对能量的利用与积累程度,从而评估系统功率最大化倾向.

2 结果与分析

2.1 互花米草生态系统的能值产出

由表 1 可以看出,两个生态系统的单位面积能

值输入相同,但总能值产出差异明显,互花米草生态系统的总能值产出为 $1.93\text{E} + 18 \text{ sej} \cdot \text{a}^{-1}$,而光滩生态系统的总能值产出只有 $4.06\text{E} + 17 \text{ sej} \cdot \text{a}^{-1}$. 草滩的总能值产出比光滩多出了 $1.52\text{E} + 18 \text{ sej} \cdot \text{a}^{-1}$. 这意味着互花米草生态系统生产能力高,对系统输入低质能量的改善效率高,因此比光滩具有更高的投入产出比.

表 1 互花米草和光滩生态系统能值分析
Tab.1 Emergy analysis of *Spartina alterniflora* system and mudflat system

项目	指标 Index	原始数据 Raw data	能值转化率 Emergy transformity (sej · unit ⁻¹)	太阳能值 Solar emergy (sej)	宏观经济价值 <i>E_m</i> (2000 US \$)
可更新资源输入 Renewable natural resources	太阳能 Solar radiation	1.75E + 15 J [2]	1 [1]	1.75E + 15	3.55E + 02
	风能 Wind	3.88E + 11 J [2]	1496 [1]	5.80E + 14	1.18E + 02
	雨水势能 Geopotential of rain	1.01E + 10 J [2]	10488 [1]	1.06E + 14	2.15E + 01
	雨水化学能 Chemical energy of rain	2.42E + 12 J [2]	18199 [1]	4.40E + 16	8.93E + 03
	潮汐能 Tide power	4.58E + 11 J [2]	16842 [1]	7.71E + 15	1.57E + 03
不可更新资源输入 Nonrenewable resources	表层土损失 Net loss of topsoil	4.27E + 11 J [3]	6.25E + 04 [1]	2.67E + 16	5.42E + 03
互花米草生态系统 能值输出 Output of <i>S. alterniflora</i> ecosystem	植被 Vegetation	1.69E + 12 J [4]	3800 [1]	6.42E + 15	1.30E + 03
	大型底栖动物多样性 Macroenthos biodiversity	6.55E + 10 J [4]	1.50E + 06 [1]	9.83E + 16	2.00E + 04
	有机质 SOC	2.94E + 12 J [5]	7.40E + 04 [1]	2.18E + 17	4.43E + 04
	总磷 TP	4.28E + 07 g [5]	1.78E + 10 [1]	7.62E + 17	1.57E + 05
	总氮 TN	1.13E + 07 g [5]	4.60E + 09 [1]	5.20E + 16	1.06E + 04
	CO ₂ 吸收 CO ₂ fixation	1.30E + 0 5 \$ [4]	4.94E + 12 [1]	6.42E + 17	1.30E + 05
	O ₂ 释放 O ₂ release	3.04E + 04 \$ [4]	4.94E + 12 [1]	1.50E + 17	3.05E + 04
	合计 Total			1.93E + 18	3.94E + 05
光滩生态系统 能值输出 Output of the mudflat system	大型底栖动物多样性 Macroenthos biodiversity	6.80E + 10 J [4]	1.50E + 06 [1]	1.02E + 17	2.07E + 04
	有机质 SOC	5.85E + 11 J [5]	7.40E + 04 [1]	4.33E + 16	8.79E + 03
	总氮 TN	2.09E + 06 g [5]	4.60E + 09 [1]	9.60E + 15	1.94E + 03
	总磷 TP	1.41E + 07 g [5]	1.78E + 10 [1]	2.51E + 17	5.10E + 04
	合计 Total			4.06E + 17	8.24E + 04

表 2 互花米草和光滩生态系统主要能值指标计算结果
Tab.2 Major energy index of *Spartina alterniflora* system and mudflat system

指标 Index	表达式 Formula	草 滩 <i>S. alterniflora</i>	光 滩 Mudflat
面 积 Area (hm ²)	<i>A</i>	50	50
不可更新资源消耗 Nonrenewable energy (sej ·	<i>N</i>	2. 67E + 16	2. 67E + 16
能值使用量 Total used energy (sej · a ⁻¹)	<i>U</i>	1. 93E + 18	4. 06E + 17
能值密度 Energy density (sej · hm ⁻² · a ⁻¹)	<i>U/A</i>	3. 86E + 16	8. 12E + 15
基础能值改变 Base energy change (sej · a ⁻¹)	<i>Yne - N</i>	1. 90E + 18	3. 79E + 17
基础能值产出率 Base energy yield ratio	<i>Bec/N</i>	71. 16	14. 19

2.2 互花米草生态系统能值密度

能值密度可以反映一个系统能值使用的集约情况^[6]. 在本研究的两个条件类似的自然系统中, 能值使用量以系统总能值输出表示, 因此能值密度愈大, 说明对能值使用效率愈高. 由表 2 可以看出, 互花米草生态系统的能值密度约为光滩的 4. 72 倍, 说明互花米草生态系统能更有效地利用未被光滩生态系统利用的能量.

2.3 互花米草生态系统基础能值改变

基础能值改变 (Bec) 反映了系统投入一定不可更新资源时获得的环境资源积累, 可以评价系统的自组织对生产多环境不可更新资源积累的贡献^[7]. 互花米草生态系统的 Bec 为 1. 90E + 18 sej · a⁻¹, 而光滩只有 3. 79E + 17 sej · a⁻¹, 可见互花米草生态系统的基础能值改变量更大, 对不可更新资源积累效率高; 较高的基础能值改变保证了系统被持续利用的能力以及可持续开发潜力.

2.4 互花米草生态系统基础能值产出率

生态系统基础能值产出率 (Beyr) 反映了系统自组织作用对环境资源积累的工作效率, 高的 Beyr 说明对环境资源积累效率高. 互花米草 Beyr 为 71. 16, 是光滩 Beyr 的 5 倍. 可见, 互花米草生态系统比光滩更能有效利用环境资源, 增加系统内部的能值贮存.

3 讨 论

3.1 互花米草生态系统能值功率趋向最大化

对比互花米草生态系统和光滩生态系统能值分析指标发现, 互花米草生态系统在能值产出 (Y_E)、能值密度 (D_E)、基础能值改变 (Bec) 和基础能值产

出率 (Beyr) 均比光滩有很大提高, Y_E 和 D_E 的提高反映了系统对输入能值利用效率的提高, 说明互花米草生态系统更能有效地利用未被光滩利用的能量. 其主要原因在于互花米草植株粗壮高大、地上高度一般可达 1. 0 ~ 3. 0 m, 具有很高的初级生产力; 另一方面, 互花米草生态系统具有促淤造陆、调节大气组分等生态服务功能, 扩大了系统的能值产出; Bec 和 Beyr 是评判系统的能值贮存水平和系统被持续利用能力的指标. Bec 和 Beyr 的提高主要是因为互花米草茎秆密集粗壮, 地下根系发达, 能够促进泥沙的快速沉降和淤积^[8], 将泥沙中的有机质转化为系统内部的贮存能值, 用以维持系统自身有序发展. 对比两个系统能值流量分析图发现, 互花米草生态系统的层级结构更多, 最显著的差异表现在生产者这一重要层级上, 互花米草生态系统的储存库也多于光滩, 因而互花米草生态系统转换网络结构更为复杂, 系统稳定性更好. 综合可见, 互花米草进入新区域, 经过长时间演替发育成熟, 形成生物量稳定的单种群落, 能更有效地使用能量维持较高且稳定的能值输出, 最终形成一个能量转换的层级结构, 能值功率趋于最大.

3.2 互花米草生态系统的最大功率化与生态服务功能的关系

互花米草生态系统的生态服务功能主要有: 促淤造陆、抗风防浪、固定 CO₂、释放 O₂、为野生动物提供栖息地、营养物质积累、控制污染净化水质等^[9-20]. 在本研究中, 主要考虑促淤造陆、固定 CO₂ 和释放 O₂ 3 项, 其中促淤造陆一项由土壤库能值产出表示.

对比两个系统的主要能值输出发现, 互花米草生态系统生态服务能值输出部分占其总能值输出的 94. 5%, 是光滩的 6 倍, 其宏观经济价值可达 3. 72E + 05 \$. 其中土壤库产出占 56. 58%, CO₂ 吸收部分占 35. 2%, O₂ 释放部分占 8. 22%. 除大型底栖动物多样性一项外, 其他各项能值输出互花米草生态系统均高于光滩. 主要原因在于发育成熟的互花米草生态系统植被繁茂, 每年植被的净能值产出可达 6. 42E + 15 sej; 同时, 植被固定的 CO₂ 和释放的 O₂ 也极大地提高了互花米草生态系统的能值产出, 对减少全球温室气体排放和遏制全球气候变化也具有重大贡献. 另一项差异体现在土壤库能值产出, 草滩土壤库的能值产出是光滩的 3. 4 倍, 主要原

因在于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,沉积物中含有丰富的有机质,这部分能量转化为贮存能值保留在土壤库中。Chung 等^[1]对江苏东台互花米草盐沼调查发现,互花米草生态工程在 11~13 年间已成功地围垦出 29 km² 可耕作土地,其沉积速率高达 15.32 cm·a⁻¹;王爱军等^[2]研究结果显示,互花米草草滩的沉积速率可以达到光滩的 3 倍以上;虽然光滩上底栖动物的数量、生物量都要高于草滩,但差异并不明显,未对两个系统总的能值输出造成显著影响。所以,与光滩相比,互花米草生态系统的功率最大化倾向能够促使生态系统生态服务功能的充分发挥。

3.3 互花米草生态系统最大功率化对种群爆发的影响

互花米草根茎含有大量的输导组织,可为植物提供更多的氧气,加之植株尤其是叶可以泌盐,使其成为既耐淹又耐盐的广适种^[3]。同时,苏北适宜的温度与淤泥质滩涂有利于互花米草种群的扩张。因此,互花米草种群进入适宜的环境后,通过不断分蘖进行无性繁殖,同时伴以种子繁殖,在光滩上迅速成丛,单株植株通过增加植株高度与茎杆的粗壮程度来摄取更多的太阳光能和潮汐能等低质能质,增强其单种群落的竞争力,使得其他单种群落在竞争中处于劣势,并逐渐衰退,以牟取自身的功率最大化。但在部分地区,这一过程导致的种群爆发也产生了一系列负面影响,如抑制本土物种芦苇(*Phragmites australis*)、镥草(*Scirpus trqueter*)、碱蓬(*Suaeda salsa*)等的发展、侵占航道、危害贝类养殖等^[4-25],对社会经济效益和原生态环境产生重大的影响。

4 结 论

互花米草经过长时间的演替,不断调整系统结构,从泥沙淤积的光滩发展为成熟稳定的系统,并能高效地摄取太阳光能以及沉积物、河道和潮汐等低能质能量,并反馈为系统所储存的高能质能量,强化外界环境,使自身与周围环境在能量转换过程中实现新形势下的功率最大化。

互花米草生态系统是一个高度自组织的系统,能值收益高,但经济收益低,主要是因为系统在牟取功率最大化的过程中,并没有引起人们对该系统经济利益的高度关注^[6]。从长远角度来看,一个系统

长期稳定生存发展,必须在自然亚系统和经济亚系统实现双赢。既要维持一定面积的米草植被,确保其抗风防浪、促淤造陆等生态服务功能正常发挥,又要加大对互花米草的开发力度,以实现其生态经济价值。

参考文献

- [1] Lan S-F (蓝盛芳), Qin P (钦 佩). Emergy analysis of ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2001, 12(1): 129-131 (in Chinese)
- [2] Cao M-L (曹明兰), Li Y-D (李亚东). Ecological security assessment of Tangshan City based on emergy analysis. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, 20(9): 2214-2218 (in Chinese)
- [3] Sui C-H (隋春花), Lu H-F (陆宏芳), Zheng F-Y (郑凤英). Integrative study of Guangdong ecological-economic system based on emergy analysis. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, 17(11): 2147-2152 (in Chinese)
- [4] Lan S-F (蓝盛芳), Qin P (钦 佩), Lu H-F (陆宏芳). Emergy Evaluation of Ecological Economic Systems. Beijing: Chemical Industry Press, 2002 (in Chinese)
- [5] Qin P (钦 佩), An S-Q (安树青), Yan J-S (颜京松). Science of Ecological Engineering. Nanjing: Nanjing University Press, 2008 (in Chinese)
- [6] Liu C-Y (刘春悦), Zhang S-Q (张树青), Jiang H-X (江红星), et al. Spatiotemporal dynamics and landscape pattern of alien species *Spartina alterniflora* in Yancheng coastal wetlands of Jiangsu Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, 20(4): 901-908 (in Chinese)
- [7] Cai M (蔡 鸣), Qin P (钦 佩), Zhang K-X (张康宣), et al. Effect of TFS and BML on blood glucose in mice. *Marine Sciences* (海洋科学), 1996, 34(1): 12-13 (in Chinese)
- [8] Liu J-E (刘金娥), Qin P (钦 佩), Zhou H-X (周虹霞), et al. Emergy analysis on an added loop in *Spartina alterniflora* ecological engineering. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, 15(4): 673-677 (in Chinese)
- [9] Zhang S-T (张晟途), Qin P (钦 佩), Wan S-W (万树文). Emergy analysis of *Spartina alterniflora* ecological engineering. *Journal of Nanjing University* (Nature Science) (南京大学学报·自然科学版), 2000, 36(5): 592-597 (in Chinese)
- [10] Liu H (刘 浩), Wang Q (王 青), Li X-J (李秀娟), et al. Emergy analysis of ecological-economic sys-

- tem in Liaoning Province. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(3): 627 – 633 (in Chinese)
- [1] Liu JE, Zhou HX, Qin P, *et al.* Comparisons of ecosystem services among three conversion systems in Yancheng Nature Reserve. *Ecological Engineering*, 2009, **35**: 609 – 629
- [2] Lu HF, Campbell DE, Chen J, *et al.* Conservation and economic viability of nature reserves: An emergy evaluation of the Yancheng Biosphere Reserve. *Biological Conservation*, 2007, **139**: 415 – 438
- [3] Sun D-L (孙东林), Liu S (刘 圣), Yao C (姚成), *et al.* Improving the computation of bio-capacity by emergy theory: A case study of *Spartina alterniflora* ecosystem in Northern Jiangsu. *Journal of Nanjing University* (Nature Science) (南京大学学报·自然科学版), 2007, **43**(5): 501 – 508 (in Chinese)
- [4] Zhou HX, Liu JE, Qin P. Impacts of an alien species (*Spartina alterniflora*) on the macrobenthos community of Jiangsu coastal inter-tidal ecosystem. *Ecological Engineering*, 2009, **35**: 521 – 528
- [5] Zhou HX, Liu JE, Zhou J. Effect of an alien species *Spartina alterniflora* Loisel on biogeochemical processes of intertidal ecosystem in the Jiangsu coastal region, China. *Pedosphere*, 2008, **18**(1): 77 – 85
- [6] Ren L-Y (任丽燕), Wu C-F (吴次芳), Yue W-Z (岳文泽). Emergy analysis of ecological economic system of Xixi National Wetland Park. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, **29**(3): 1285 – 1291 (in Chinese)
- [7] Wan S-W (万树文), Qin P (钦 佩), Zhu H-G (朱洪光), *et al.* Evaluation of two artificial wetlands in Yancheng Natural Reserve, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2000, **20**(5): 759 – 765 (in Chinese)
- [8] Chen Z-Y (陈中义), Li B (李 博), Chen J-K (陈家宽). Ecological consequences and management of *Spartina* spp. invasions in coastal ecosystems. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2004, **12**(2): 280 – 289 (in Chinese)
- [9] Li J-L (李加林), Xu J-Q (许继琴), Zhang D-F (张殿发), *et al.* Function of *Spartina alterniflora* salt marsh and its eco-economic value in south coast of Hangzhou Bay. *Areal Research and Development* (地域研究与开发), 2005, **24**(5): 58 – 62 (in Chinese)
- [20] Li J-L (李加林), Zhang R-S (张忍顺). Function of *Spartina alterniflora* salt marsh and evaluation of their ecological and economical value – A case of Jiangsu Province. *Marine Sciences* (海洋科学), 2003, **27**(10): 68 – 72 (in Chinese)
- [21] Chung CH, Zhuo RZ, Xu GW. Creation of *Spartina* plantations for reclaiming Dongtai, China, tidal flats and offshore sands. *Ecological Engineering*, 2004, **23**: 135 – 150
- [22] Wang A-J (王爱军), Gao S (高 抒), Jia J-J (贾建军). Impact of *Spartina alterniflora* on sedimentary and morphological evolution of tidal marshes of Jiangsu, China. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), 2006, **28**(1): 92 – 99 (in Chinese)
- [23] Wang G, Qin P, Wan SW, *et al.* Ecological control and integral utilization of *Spartina alterniflora*. *Ecological Engineering*, 2008, **32**: 249 – 255
- [24] Yan M-H (闫茂华), Xue H-J (薛华杰), Lu C-M (陆长梅), *et al.* The advantages and disadvantages of ecological engineering of *Spartina* in China. *Journal of Biology* (生物学杂志), 2006, **23**(5): 5 – 8 (in Chinese)
- [25] Lin R-Q (林如求). Studies on the harm and control of *Spartina alterniflora* and *Spartina angelia* in Sandu Bay. *Fujian Geography* (福建地理), 1997, **12**(1): 16 – 19 (in Chinese)
- [26] Campbell DE, Lu HF, Knox GA, *et al.* Maximizing emergy on a human-dominated planet: The role of exotic *Spartina*. *Ecological Engineering*, 2009, **35**: 463 – 486

作者简介 王金丽,女,1985年生,硕士研究生.主要从事海滨系统生态学的研究. E-mail: jinliw2009@gmail.com

责任编辑 李凤琴
