

论中国海岸带大米草生态工程效益与“生态入侵”

唐廷贵¹, 张万钧²

(1. 南开大学生命科学学院, 天津 300071; 2. 天津市盐碱地生态绿化工程中心, 天津 300457)

[摘要] 1963年以来,我国先后从国外引进3种大米草,分布在18 000 km海岸带上,经过近40年的引种、驯化和栽培,种植面积已达到36 000 hm²。实践证明大米草和互花米草适应于中国海岸带自然环境而正常生长发育,具有明显的促淤造陆、保滩护岸、环境保护等生态功能,并有显著的经济效益,是一种改造滩涂的优良植物,也是一种盐渍土裸地植物群落形成的先锋植物,已作为一个外来种被列入《中国植物志》、《中国高等植物图鉴》和各种地方植物志中。文章认为应客观地评估大米草的功与过。大米草和互花米草繁殖较快的原因是由于富营养化的结果,然而对环境、种群和人并未构成侵害行为,在北方海岸带区域尤未发现任何异常现象,不可认定大米草和互花米草是属于有害的生态入侵种。

[关键词] 海岸带;大米草;生态工程;促淤造陆;保滩护岸

[中图分类号] Q146; X173 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)03-0015-06

大米草属于禾本科大米草属(*Spartina*)植物,约20种^[1],分布于世界各地沿海地区。自1963年以来我国先后从国外引进3种大米草^[2],南京大学仲崇信教授1963年从英国引进大米草*Spartina anglica*,在我国海岸带海滩上引种,栽培,生长良好,形成茂密的草滩。在沿海90多个市、县栽培大米草36 000 hm²,间断分布在北纬40°35'至北纬21°27',即由辽宁省盘山县至广东省电白县,由鸭绿江口至广西合浦县全长15 000 km的海岸带范围内。该种植物耐盐、耐淹能力强,生长繁殖快,生态幅宽,是一种优良的促淤、护堤、保岸和改造滩涂的盐生植物^[3]。

1979年又从美国引进互花米草*Spartina alterniflora*(仅引进南方高秆生态型),植株高达3 m,一般1.5~2.5 m,茎秆粗壮,根系发达,促淤固沙、消浪护堤、抬高滩面的能力尤甚。本种原产北美洲中纬度海岸潮间带,北自加拿大魁北克沿大西洋海岸直达佛罗里达州及得克萨斯州均有分布。

近年南京大学生物技术研究所又从美国特拉华大学海洋研究院盐生生物实验室引进第三种大米草,即狐米草*Spartina patens*,原产北美东海岸、加拿大魁北克至佛罗里达及得克萨斯潮滩高潮带及砂质草地,是一种优良的耐盐植物,也是美国的干草资源。目前我国正在推广应用。

大米草在我国已有近40年的栽培历史,在18 000 km漫长的海岸带上分布非常广泛,在浙江、江苏地区生长尤为繁茂。北方气候寒冷,海水盐度高,生态环境十分恶劣的条件下仍能抗冰凌、耐高盐浓度、耐低温而长盛不衰,在渤海湾淤泥质滩涂上,有史以来第一次出现了绿色的海岸,是一种改造滩涂的优良植物,也是一种盐渍土地上植物群落形成的先锋植物。大米草作为一个外来种已被列入《中国植物志》、《中国高等植物图鉴》和《河北植物志》等各种地方植物志及其他著作中。

经过40年栽培、观察和实验研究已充分证明大米草和互花米草在保护我国海岸带生态环境中具有多方面积极作用,受到周恩来总理等国家领导人

[收稿日期] 2002-11-11

[作者简介] 唐廷贵(1935-),男,贵州遵义市人,南开大学生命科学学院教授

和国内外同行的好评,归纳起来有如下的主要功绩:

1 生物学特性及其生态工程效益

1.1 速生高产

大米草是一种速生快繁产量高的耐盐、耐肥及耐海水淹渍的禾草型高草植物群落,群落生物量极高,植株高达27~40 cm,茎叶生长茂密,根系异常发达,深达1.78 m,地上部分鲜重46 200 kg/hm²;干重13 300 kg/hm²;地下部分鲜重251 600 kg/hm²,干重72 100 kg/hm²[3]。其根系生物量约等于茎叶生物量的6倍。互花米草生物量大于大米草,当年栽培易于成活,三年郁闭,如果环境资源充足将出现持续高产。

1.2 促淤造陆

促淤是指大米草、互花米草的庞大根系,能固定滨海松软流动的受潮水间断浸渍的淤泥质土壤,当其发育形成密集的植物群落后,便具有消浪、缓流、拦截潮水带来的泥沙,促进滩面淤积和增高,进而为滨海光滩裸地植树种草或农田垦殖创造新的环境,发挥促淤造陆的功能。该类植物促淤造陆的生态过程十分迅速,据测定[3],辽宁锦西促淤测位测定10年总淤积量(土壤厚度)为29 cm,年淤积量为2.9 cm。河北黄骅2年总淤积量达8.2 cm,年淤积量为4.1 cm,群落盖度达90%。河北柏各庄,8年总淤积量达40 cm,年淤积量5 cm。山东省寿光县羊角沟,4年总淤积量74 cm,年淤积量18.5 cm。江苏省射阳县,1年总淤积量20 cm,形成密集的草丛。江苏省启东县兴垦农场,4年总淤积量高达90 cm,年淤积量22.5 cm。浙江省镇海县新碇乡,1年淤积量达11.6~44.10 cm。浙江省温岭县东片海滩,1年淤积量10~14.6 cm。浙江省温岭县东方乡,4年总淤积量66~68 cm,年淤积量17.0 cm。福建省泉州市,1年总淤积量5 cm,年淤积量5 cm[3]。温岭互花米草每年促淤21.5 cm。天津开发区海挡护堤互花米草4年总淤积量约40 cm,年淤积量为10 cm,群落盖度95%,生长健壮,逐年发展,不断扩大,促淤效果十分明显。据报道:我国平均年促淤量为10~44 cm,两种大米草促淤量均高于英国和美国[3],我国促淤量以每年厘米计,英、美则以每百年厘米计,英国大米草每百年淤高11~65 cm,但地面沉降百年10.5 cm。美国麻省互花米草滩490年中每

百年淤高仅61 cm,扣除地面沉降30 cm,实际31 cm。

促淤目的在于造陆,抬高滩面,恢复或重建植被,提高滩涂裸地开发利用价值。例如荷兰曾种植大米草促淤造陆,造出世界第一块新陆约460 hm²[3],受益颇大。对于土地稀少的海岸来说,将是十分有效的造陆举措。1973年我国第一块新陆在浙江省围成面积为340 hm²,得耕地332.8 hm²,仅用了18年的时间(荷兰用了24年),投资仅96.39万元,但总产值达1 336.378万元^①[3]。除了围垦农用地之外,可成为水禽水鸟及海洋生物的栖息地、生物多样性保护园区,以及旅游、观光、科学研究、文化教育基地。更深远的意义还在于能抵御因温室效应引起的海平面上升,海水淹没海岸带的灾害。此外它的生态功能还表现在以下两方面:

1) 土壤脱盐作用 大米草是一种强泌盐植物,生长在潮间带滩涂中,每天应有潮水浸渍7~8小时,其根系大量吸收盐分,经过泌盐细胞分泌体外。据浙江温岭县团结塘报道,滩地土壤盐分脱盐资料:围垦5年后脱盐率为68.01%,土壤含盐量由1.216%下降至0.389%[3]。

2) 提高土壤肥力 大米草残落物是滩涂土壤有机质的主要来源,江苏省启东县对土壤有机质的测量,4年生植物的地下部分重约15 kg/m²,即150 000 kg/hm²,江苏射阳新洋试验站潮滩盐土有机质含量6年后为1.30%,而天然杂草植物盐土10年后有机质含量仅为0.87%。同时氮含量比其它为高。此外,可以提高盐土的团粒含量、孔隙度、透水性和空气含量,而容重则低于光滩。例如在浙江团结塘土壤理化性状分析资料中总孔隙度在大米草滩中为52.4%,而光滩则为48.4%;其团聚体含量为30%,光滩则为13.8%;容重仅有1.26 g/cm³,小于光滩地(1.38 g/cm³)^[3]。

1.3 保滩护岸

大米草、互花米草能促进海涂淤积,抬高滩面,同时以其庞大密集的根系固结土粒以减小波浪的冲击;并且有抗冰凌的能力;粗壮的茎秆和浓密的叶冠层,能减小风力的侵蚀,具有防风、消浪功能。例如在浙江镇海棉花良种场,1971年台风摧毁了毗邻的海堤,但该场有大米草群落带的保护却

① 王明鉴、颜传夫通信,1987

安然无恙^[4]。1976年7月发生特大风暴潮对连云港市修筑的海堤均有不同程度的破坏,唯有在堤前方种植大米草的海堤却毫无影响。1978年江苏灌云县燕尾港大米草区,当年栽植遭潮水袭击翌年滩无恙,1980年扩种,1981年开始淤高,1984年开始种互花米草,至1989年已淤高1.55 cm并继续向海延伸。同年19号台风冲塌东龙港海堤3100 m,但有大米草保护的滩面安全无损^[4]。1977年江苏启东县在堤坡上种植大米草,两周后即遭台风袭击,堤坡受损极大,但有大米草的堤坡却完整无损。1987年福建罗源县在潮滩上围堤养殖鱼虾,对光滩土堤及鱼虾塘均被海浪冲毁,而种有大米草的堤坝及鱼虾塘都无损如初。1990年5号台风在浙南区海县登陆,长23.8 km的海堤(高程7.2 m)全线进水,多处被冲毁,灵昆镇93.3 hm²的对虾塘荡然无存,而在5 km之外,高程仅6.5 m的灵昆海堤却未进水,堤内200 hm²对虾塘完好无损,其原因是在潮滩上有200~500 m宽的互花米草群落带发挥了消浪作用,减少了经济损失。1957年山东惠民地区筑堤工人数万,突遭一夜海啸使数千人丧生;1987年,石质和水泥质桩西防潮大堤,长37 km,耗资亿元,3年后堤基损坏严重,出现空洞,抗风能力下降^[4]。1990年东营市与胜利油田协作,用米草生态工程保护桩西海堤均获成功,发挥了抗灾减灾的功能作用。天津海岸线长仅有153 km,但潮间带滩涂面积为370 km²;坡降为1:10 000~6:10 000,地势低平,常受海潮、风暴潮、海水倒灌的袭击。虽建有泥质或石质海挡堤,但抵挡不了长期的海水侵蚀,而在种植大米草的地方明显发挥了保堤护岸作用^[5]。无数事实证明大米草在防灾、减灾中的生态功能是巨大的,特别是在消浪促淤、保滩护岸方面的效果更为明显。据报道:国外互花米草可消浪能92%,消浪高71%^[4]。

1.4 防治污染

中国海岸带的环境污染与治理问题越来越引起人们的重视,陆地上大量废渣、废水、废气等污染物仍然经过海岸带向海洋倾倒排放,近海水域均受到不同程度的污染,河口区域尤为严重,富营养化赤潮现象常有发生,大型藻类及鱼、虾、贝等海洋生物因受污染而大量死亡甚至灭绝,生物多样性锐减^[6]。如何治理?目前尚无良策。然而大米草、互花米草则是耐污、耐肥的植物,例如在南皮县用污水灌溉大米草仍能正常生长^[4]。大米草还能大

量吸收水中氮、磷元素,并在植冠的荫底下抑制蓝藻等藻类过剩繁殖,从而防止富营养化发生。大米草不仅能耐高盐浓度海水的浸渍,还能忍受强碱海水的伤害,例如在天津开发区海滨堆积了一座巨大的“碱渣山”,它是天津碱厂排放的废渣,经雨水长期淋洗,大量碱渣废液倾泻入海,海水碱化,潮间带几乎呈无生命带。然而在附近的互花米草却依然旺盛生长,并引来了多种区域性软体动物和水鸟,使潮间带恢复生机^[5]。

1.5 经济价值

大米草和互花米草,是一种经济价值很高的植物,用途广泛如:

- 1) 可制造绿肥 据浙江温岭县报道:每100 kg鲜草相当于2.5 kg硫酸铵或1 kg尿素的肥力。施于稻田,可使晚稻增产33.2%,优于栏肥或硫酸铵。连云港施用鲜草作绿肥使水稻增产20.03%。浙江镇海施用于棉田,使棉花增产28.98%^[3]。
- 2) 可用做饲料 各地用作饲料喂养骡、马、驴、羊、猪、兔、鹅等,发现多种家禽家畜喜食大米草。山东海阳喂鹅,2月后鹅体重由1 kg增至3 kg。浙江玉环添加30%的大米草喂养奶山羊,多增重13%,多产奶7.3%^[3]。证明大米草的营养丰富,适口性强,产量高。
- 3) 可用做饵料 江苏、浙江、福建等沿海市县曾用做饵料养鱼,证明效果良好。认为大米草养鱼的优点是鱼生长快,发病少,成本低,纯利增加,每40~50 kg草料可使鱼增重1 kg^[3]。
- 4) 可用做燃料 沿海农村燃料紧缺的地方,常收割大米草做燃料,有的地方还用作沼气原料,收到良好的效果。
- 5) 可作造纸原料 浙江温岭一民办造纸厂曾用大米草造出黄板纸^[3],其纸质韧度大,质地优良,价便宜,成本低于任何造纸原料,回收率高于稻草75%以上,最适合用于做包装纸,与其他原料配合将造出韧性更强的纸浆。
- 6) 大米草资源的深度开发 除了上述贡献之外,对米草资源的深度开发又获得了新的进展。由南京大学生物技术研究所研制成功的生物矿质液(BML)和米草总黄酮(TFS),对心血管疾病都具有防治和保健的作用。提取后的残渣还可作为食用菌的培养基;饲料和肥料。总之大米草的经济价值大,资源潜力更大,具有广阔的应用前景,有待进一步开发利用。

2 正确评估大米草和互花米草的功与过

我国著名的植物生态学家仲崇信教授,远渡重洋,为祖国带回了宝贵的植物种质资源,在我国植物王国中增添了新的贵族物种——两种大米草。它不仅丰富了我国的生物多样性,更重要的是开发了大米草的资源价值,成功地在滨海重盐渍土上种植了大米草、互花米草达 36 000 hm²。昔日寸草不生的滩涂、盐漠荒滩变成了绿色长城和海洋绿洲,实现了促淤造陆、保滩护岸、改善环境、发展经济的宏伟工程。近 40 年的实践,充分证明大米草、互花米草的引种驯化是成功的。正如时为国家科委副主任蒋南翔在 1978 年大米草现场会议上所说:我国是亚洲引种大米草成功的唯一国家;依靠“科学、生产、使用”和“领导、专家、群众”两个“三结合”使我们推广大米草能够取得很大的成绩。

2.1 引种与生态入侵

从海外引进大米草和互花米草并获得成功,这绝不是偶然的、盲目的和无意识的携带入关,它的成功说明“引种”不等于“入侵”!引种(introduced)具有严格的科学理论基础,它遵循生态学和引种学原理。按照“气候相似性原则”,和环境适应性规律,将一个物种从异地迁入、介入,或引入,如黄瓜、西瓜、苦瓜、南瓜、马铃薯、番茄等都是从国外引进的外来种,经人工驯化后已成为我国优良的蔬菜品种;原产亚洲的小麦现在已成为美国的主要粮食作物并出口世界。互花米草原产北美大西洋海岸,大米草原产英国南部海岸,与我国海岸带东部纬度带相同,其水、热条件基本一致,因而引种后在人工的驯化、管理下已成为我国的归化种。

生态入侵(ecological invasion)则是侵略、入侵之意。常常是有意或无意的^[7]、随机的侵入异地。入侵者将侵占环境,繁殖迅猛,以压倒优势的种群数量伤害甚至杀灭其他物种,危害人、畜健康,如某些有害动物、害虫和恶性杂草。英国动物生态学家埃尔顿(Elton, 1958)^[8]在其专著中列举了大量的生态入侵案例,表明入侵者都具有繁殖快,种间竞争、寄生、捕食能力强,危害性大,难于人工控制的特点。而大米草和互花米草除了繁殖快的特点之外,对生态环境无害,其种间关系表现为互利共生。

2.2 繁殖速度是生物学特性

最近,大米草、互花米草被贴上了“生态入侵”的标签,列举了许多条“罪状”。诸如破坏生态平衡,四处疯长,繁殖过快、泛滥成灾,危害养殖,导致虾病、诱发赤潮、绞杀其他植物、洋草成了灾星、造成重大经济损失等等,把大米草、互花米草说得一无是处、十恶不赦!其实,只要认真调查分析一下就不难看出其真伪,例如说:“互花米草、大米草是危害海带、紫菜生产的害草”云云。庶人皆知,大米草、互花米草是生长在浅海边的湿生植物,每天潮水仅能淹没其下部约 7~8 h,能沉水到深水去危害海带、紫菜吗?其它的“罪状”都是根据不足,难以置信。现仅以繁殖过快治罪于大米草、互花米草,谈谈我们的意见。

每一种生物的繁殖速度是固有的生物学特性,繁殖过快只有在营养过剩的条件下才可能发生,甚至在资源无限的条件下会出现种群暴发(无限增长)。近代我国海岸带一些河口湾水域或老年湖泊,如江苏、浙江等省海岸、河口、海滩、泥滩上的大米草和互花米草;昆明滇池草海中的凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)以及陆地上被有机污染的沟渠池塘中的水生或湿生植物都出现了种群数量快速增长的势头,在持续高温和暖冬的影响下,促进植物快速增长。然而也不是千篇一律,有的地方则不然,如我国北方的大米草和互花米草仍然和过去一样正常生长发育;辽宁大洼地区人工培养的凤眼莲一直是优良高产的饲料作物,从南美洲引进我国已有一百多年历史;大米草、互花米草已有 40 年的种植历史,从未有过繁殖过快、生态入侵的报道,为何当今会给大米草、凤眼莲等水生、湿生植物戴上“生态入侵”的帽子呢?

2.3 富营养化是罪魁祸首

近代由于工、农业有机废物、城市生活污水和化肥残留物以及鱼、虾、蟹等养殖池塘中的肥水、塘泥等大量倾泻注入大米草和互花米草群落,水体中氮、磷元素严重超标,以至藻类繁殖过剩,水体缺氧,引发“赤潮”,水生生物死亡,产生富营养化^[9]。而大米草耐污、耐肥、耐盐,具有吸收过多氮、磷元素的能力,并在植冠覆盖下抑制藻类繁殖,从而防治富营养化的发生。因此大米草、互花米草繁殖过快并不等于生态入侵。繁殖过快是富营养化污染的结果,而不是生态入侵。它们对环境、种群和人畜并未构成伤害行为,相反,有利而无

害。同样,滇池中的凤眼莲“泛滥成灾”也是富营养化污染的结果,其罪魁祸首应该是富营养化污染。

美国生态学家奥德姆(E.P.Odum)在他的著作《生态学基础》一书中写道:河口湾是营养物质的收集器,形成有机物质聚集和碎屑,通过微生物的还原作用又为植物根部和掘穴动物大量吸收,形成自我富养循环系统,这种系统易于遭受污染,但有利于各种生产者类型在全年内进行光合作用并为消费者提供营养,其中大型水生植物(macrophytes)互花米草(*Spartina alterniflora*)是主要的生产者;河口海湾富营养化系统,藻类的大量繁殖,形成“赤潮”,尤其在近海造成生物大量死亡。同时河口湾接纳江河冲刷从陆地带来大量“肥料”,使得营养物质和有机碎屑物增加并输出或外溢到大海中去^[10]。由此可见在美国海岸河口湾富营养区互花米草的原产地也有类似的情况。

互花米草不仅仅引种中国,同时也从美国引种到英国及世界各地。引种到英国的表现更为奇特,当互花米草引入英国诸岛时便与当地的欧洲米草(*Spartina maritima*)杂交,产生一个新的多倍体大米草(*Spartina townsendii*),该种大米草只生长在以前是荒芜的没有给本地种占领过的潮汐泥地^[10]。可见互花大米草在英国也不是生态入侵种,而是群落形成初期的首先进入滩涂裸地的先锋植物。

2.4 北方的大米草

互花米草和米草引入中国北方海岸带环渤海区域生长发育一直良好,视大米草为保护环境、改造滩涂、减灾防灾的珍贵植物,它们的生态功能和经济价值十分显著,如果没有它,渤海湾滨海将仍然是一片裸露的盐荒滩;风暴潮将袭击海堤、摧毁农田与城市。北方的大米草已有近40年的栽培经营历史,在北方海岸带区域,如辽宁省、天津市、河北省、山东省均有成片的生长;在天津经济技术开发区东海岸淤泥质盐渍土上,还建成了(白蜡 *Fraxinus velutina*) + (怪柳 *Tamarix chinensis*) + (互花米草 *Spartina alterniflora*)海堤海防林^[5],为减轻风暴潮袭击,避免海水倒灌,保护和重建生态环境作出了重大的贡献。这些地区并未发现任何生态入侵现象,对环境、种群和人、畜没

有产生侵害行为,不能视为“生态入侵”。相反在渤海湾潮间带尚有广阔发展的空间,还需大力发展。

总的来说,我国引种驯化大米草和互花米草是成功的,它们的功劳是肯定的,无容置疑。但是,被驯化的物种要能长期适应当地的自然环境,达到生态系统水平上的适应,尚需有目的的调节,否则有长远目标的驯化就会失败。驯化给人类造成最大的难题是它们“逃回”自然(逸为野生),并且成为主要的敌害。所以,我们必须对整个海滩、海湾、河口的大米草生态系统进行研究、监测、管理,把它们分成地带,并且从整体出发,调整人们对它的开发利用。否则也将遭到“野生化”的危害^[10]。

致谢:本文得到南京大学仲崇信教授亲笔审改、注释和提供大量资料,在此表示衷心感谢。

参考文献

- [1] 贺士元,王金维,汪劲武,等.河北植物志·三卷[M]. 1991, 343
- [2] Henry A Gleason, Arthur Cronquist. Manual of Vascular Plants of Northeastern United States and Adjacent Canada [M]. New York Botanical Garden 1991. 794~795
- [3] 赵大昌,刘昉勋,陈树培,等.中国海岸带植被[M]. 北京:海洋出版社,1996. 214~221
- [4] 仲崇信.采用米草生态工程开发黄河三角洲[A].盐碱地造林绿化研讨会.盐碱地造林绿化与综合开发文集[C].北京:中国环境科学出版社,1992. 107~108
- [5] 张万钧,唐廷贵,郭育文,等.盐渍土绿化[M].北京:中国环境科学出版社,1999. 27~31
- [6] 天津市海岸带和海涂资源综合调查综合组.天津市海岸带和海涂资源综合调查报告[M].北京:海洋出版社,1987. 118~119
- [7] 孙儒泳.动物生态学原理[M].北京:北京师范大学出版社,1987. 280~282
- [8] Elton C. The Ecology of Invasions by Animals and Plants[M]. Methuen and Co. LTD. London, 1958
- [9] 曲仲湘,吴玉树,王焕校,等.植物生态学[M].北京:高等教育出版社,1983. 92~93
- [10] E. P. Odum. 生态学基础[M]. 孙儒泳等译.北京:人民教育出版社,1981, 352~357, 235~238

A Discussion of Ecological Engineering Benefits of *Spartina* spp and Its Ecological Invasion

Tang Tinggui¹, Zhang Wanjun²

(1. College of Life Sciences, Nankai University, Tianjin 300071, China;

2. Tianjin Salina Eco-afforesting Engineering Center, Tianjin 300457, China)

[Abstract] China had introduced three species plants of *Spartina* genera from Britain and America since 1963, namely *Spartina anglica*, *S. alterniflora* and *S. patens*. Now the 3 species of *Spartina* plants are widely distributed throughout coast zone of 18 000 km, and growing area reaches to 36 000 hm² along seabeach of China. The facts have proved that *Spartina* adapt itself to the natural seabeach environment of China and grows well. *Spartina* is a valuable plant for reforming seabeach land, e. g. the ecological functions of creating land with silt, protecting seacoast, as well as its economic benefit. On the other hand, it is a pioneer plant for the formation of plant community in seabeach. *Spartina* as a foreign plant species has been listed in the books of Flora Chinensis, Iconographia Cormophytorum Sinicorum and Flora Hebeiensis, etc. *Spartina*'s benefits and faults ought to be objectively evaluated. Because of the eutrophication in its waterbody, the *Spartina*'s rate of reproduction is very high. However, there are no injuries to environment, population and humanity. And up to now no abnormal phenomena have been observed in the coast zone of North China. Therefore *Spartina alterniflora* and *S. anglica* are not ecological invasion species.

[Key words] coastal zone; *spartina*; ecological engineering; created land with silt; protecting seacoast

《中国工程科学》2003 年第 5 卷第 4 期要目预告

百年留学潮对中国科技事业的影响	宋 健	宁德志等
论狭义相对论的理论发展和实验检验	黄志洵	图像边缘检测二维小波算法研究与实现
大西线南水北调虚拟仿真方法论	李伯衡	张红岩等
太阳能技术对我国未来减排 CO ₂ 的贡献	赵玉文	基于神经网络的虚拟企业跟踪评价系统
21 世纪伊始铝电解工业的新进展	邱竹贤	王 硕等
让人们穿得更好		丙酸睾酮治疗不稳定型心绞痛临床研究
——21 世纪纺织科学与工程学科前沿	姚 穆	马建芳等
OCDMA 系统二维 2D-OOSC 方阵码的参数优化和性能分析	李传起等	钢纤维混凝土厚承台承载力影响因素试验分析
室内装饰材料的标准房间/墙角火实验研究进展	杨 昀等	孙成访等
基于可拓学理论的设计方案进化推理方法	赵燕伟等	建立以人才为本的激励机制 加快应用研究的市场化发展进程
正交直墙前直立圆柱振荡问题的研究		刘良炎等
		确定性疲劳累积损伤理论进展
		杨晓华等
		从矿物直接提取技术的工业化看资源材料一体化的发展前景
		邱冠周等