

水生植物引种的生态安全评价

赵广琦¹, 崔心红^{1*}, 张群¹, 何成新²

(1. 上海市园林科学研究所, 上海 200232; 2. 广西壮族自治区广西植物研究所, 广西 桂林 541006)
中国科学院

摘要: 随着水生植物的大量应用, 水域环境的生态安全越来越受到关注。水生植物入侵具有一定的生物学、区系地理、生态位和生境特征, 对水生植物的生态安全评价可在一定程度上防止水生植物引种的盲目性。该文针对来自水生外来入侵植物的生态安全威胁, 分析了水生外来入侵植物的入侵特征及其危害, 提出了水生植物引种的生态安全评价的内容、程序、指标体系和方法。

关键词: 水生植物引种; 水生外来入侵植物; 生态安全; 评价体系

中图分类号: Q988 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2009)04-0488-05

Ecological security assessment of introducing aquatic macrophytes

ZHAO Guang-Qi¹, CUI Xin-Hong^{1*}, ZHANG Qun¹, HE Cheng-Xin²

(1. *Shanghai Research Institute of Landscape Gardening*, Shanghai 200232, China; 2. *Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences*, Guilin 541006, China)

Abstract: With the using of aquatic macrophytes, ecological security of water environment becomes a research focus. The invasion of aquatic plant has some biological characteristics, floristic geography, niche characteristics, and habitat characteristics. Ecological security assessment of aquatic plant can prevent from blindness in aquatic macrophytes introduction to some extent. Through the analyses of the characteristics and hazard of aquatic invasive alien plants that threaten the ecological security, this paper proposed the content, process, indicator system, and method for the ecological security assessment of aquatic macrophytes introduction.

Key words: aquatic macrophytes introduction; aquatic invasive alien plants; ecological security; assessment system

近年来,随着城市生态园林、湿地公园、风景区和居住区人工水景建设及河道整治等水体工程的迅速发展,水生植物作为一种既有造景作用又有生态治理功能的植物材料,日益得到广泛应用。但由于设计部门和应用单位对水生植物的种类多样性、生长习性、繁育特性、景观价值以及生态安全性认识不够充分,导致水生植物的种植设计和应用存在一定盲目性,特别是一些水生植物在异地引种后变成危害性极高

的入侵种,对当地生态系统健康、生物多样性、经济及社

1 水生外来植物入侵及其危害

1.1 水生外来植物的入侵特征

与陆地环境相比,水环境具有流动性、温度变化

收稿日期: 2007-11-26 修回日期: 2008-06-23

基金项目: 上海市科委科技支撑计划(08DZ1203204); 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字(2007)第1-3号); 上海市绿化管理局科研项目(GZB060201)[Supported by Key Technology R & D Program of Shanghai Scientific and Technological Committee(08DZ1203204); Shanghai Key Task Projects of "Prospering Agriculture by Science and Technology Plan"(1-3, 2007); Shanghai Landscape Administration Bureau Research Project(GZB060201)]

作者简介: 赵广琦(1964-), 男, 陕西渭南人, 高级工程师, 博士, 从事湿地与景观生态学研究。

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: xinhongcui@21cn.com)

平缓、光照强度弱、含氧量少等特点。全世界水生植物计有 87 科 168 属 1 022 种,中国水生维管束植物计有 61 科 145 属 400 余种及变种,具有观赏利用价值的有约 31 科 42 余属 115 余种,广泛分布在海拔 350 m 以下不同纬度的水域中(王伟等,2004)。种种迹象表明,我国目前已存在较大水生外来植物入侵危险和隐患,而且部分物种危害已充分显示。据农业部最新统计数字显示,目前中国已有 380 种入侵植物,其中水生外来入侵植物有 19 种,包括空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、互花米草(*Spartina alterniflora*)、大米草(*S. anglica*)、凤眼莲(水葫芦)(*Eichhornia crassipes*)、豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)等,事实上,已显现出危害的水生入侵植物数量已远高于上述数字(王亚民等,2006)。

水生外来植物的生物学特性对其入侵、生存和扩展极为重要。Kolar & Lodge(2001)对入侵成功的水生植物与入侵没有成功的植物的有关特征进行了比较,这些特征包括生活史、生物地理和入侵史等多种信息,其结果是,成功的定居与物种来源有关,入侵史较长、无性繁殖和种子生产变异程度低等特征与成功的入侵呈正相关,入侵者有一些共同的特点,包括 r -选择的生活史对策、利用先锋生境、世代时间短、生育力高、增长率高。

由于人类活动对于植物分布的影响,水生外来入侵植物正进入世界各国的植被环境中,成为各国植物区系的重要组成部分(郭水良,1995)。调查并分析某一特定水域外来杂草的区系、地理成分、原产地等特点,对于该区域的外来种管理有一定的指导价值。国际上已有众多的研究机构和政府部门已在 1990 年前后建立各种入侵物种数据库,如佛罗里达大学的水生和入侵植物中心于 1981 年开始建立的“水生、湿地和入侵植物信息检索系统”(APIRS)(<http://aquatl.ifas.ufl.edu/>)。物种的地理起源会影响其在新生境的入侵性(Reichard & Sarah, 2001),分析入侵植物的地理起源能加深对水生入侵植物来源的认识,为以后的防治提供科学基础。

一些学者应用生态位理论来研究天然植物群落的种间关系(郭水良等,1998)。虽然生态位理论在入侵生态学中的应用还处于起步阶段,但在生物入侵机理研究中,已有人提出“空生态位假说”(Empty niche hypothesis),该假说认为,物种对一个群落的入侵,其成功在于它占据了一个空生态位(徐汝梅等,2003)。国内针对外来水生植物群落的生态位

已开展了研究,如俞建等(2004)对浙江外来入侵植物水盾草(*Cabomba caroliniana*)植物群落研究,认为生态位空缺可能是水盾草成功入侵的主要原因之一;吴海荣等(2004)在对南京市外来杂草进行群落调查的基础上,对所有外来杂草进行生态位宽度比较分析,从而筛选出对环境适应性很强的几种水生外来杂草。基于生态位理论在揭示群落物种间关系的重要性,对水生外来杂草、本地杂草生态位的研究可以作为对入侵机理的一个尝试性探讨。

生境的可入侵性和物种的入侵性是一对作用于事物的两个方面(黄建辉等,2003)。近年来,大量生活污水排入江河湖塘,加上农田化肥、农药施用量的增加,使得水质富营养化加剧。2004 年废水排放量为 482.4 亿吨,其中工业废水排放量为 221.1 亿吨,生活污水排放量为 261.3 亿吨(中国环境状况公报,2004)。我国湖泊目前已有 65% 左右呈现富营养化状态,还有 29% 正转向富营养化状态,其营养水平基本上都在引起植物强烈反应的范围内。水中氮、磷等营养成分和有机物提供了水生入侵植物生长繁殖的必要条件。对自然生境中凤眼莲的研究发现,营养水平的升高将刺激植物的生长繁殖,凤眼莲的生长繁殖速率与水体营养水平呈明显的正相关,尤其对水体中 P 水平的变化非常敏感(Pinto-Coelho 等,1999;Sharma 等,1991)。在一定的范围内,水体的氮、磷水平升高导致凤眼莲累积,生物量的明显增加(Reddy 等,1989,1990)。

1.2 水生外来入侵植物的危害

水生外来植物一旦入侵成功,将对当地水生物种的种类、种群结构、食物链结构、生物多样性等产生一系列的影响,威胁渔业生产、经济和生态安全。首先,水生外来入侵种通过竞争或占据本地物种生态位而排挤乡土种,或与乡土种竞争食物,或直接扼杀乡土种,或分泌化学物质抑制其它物种的生长繁殖,使当地物种的种类和数量减少,甚至导致物种濒危或灭绝(宋启示,2000;Bush 等,1995;Crowder, 1984)。如 20 世纪,在美国灭绝的鱼类中有 68% 与生物入侵有关(Pimentel,2000)。水生外来入侵种的适应能力比较强,排挤其它物种的同时往往形成单优势种群,间接使依赖于原有本地物种生存的其它物种种类和数量减少,最后导致生态系统的单一和退化,改变或破坏了当地的自然景观(彭少麟等,1999)。同时,由于水生植物群落的改变相应地引起生态过程的变化,如正常水循环周期的改变,水资源

消耗的加剧,土壤贫瘠化的加重等(彭少麟等,1999;唐季林等,1995)。

其次,水生外来入侵植物对生物多样性的影响,主要表现在物种、遗传及生态系统三个层次:(1)物种多样性水平上,水生外来种成功入侵而竞争取代土著植物,导致其土著生物多样性的降低,最终的结果可能是少数几个入侵能力强的物种取代大多数其他的物种(向言词等,2002);(2)遗传多样性水平上,水生外来植物与土著植物杂交而造成土著植物基因型的丧失,或者产生比亲本具有更强入侵性的杂种,从而导致严重的生态和进化后果(Mooney & Cleland,2001);(3)生态系统水平上,水生入侵植物改变了入侵地植物物种多样,从而影响了当地生态系统的群落组成,本地动物丧失食物和栖息地,从而群落的生物多样性减少,生态系统的结构和功能发生变化(陈中义等,2004)。例如,凤眼莲原产南美,大约于20世纪30年代作为畜禽饲料引入我国推广种植,后逸为野生。云南滇池约有10余平方公里的水面被凤眼莲所覆盖,盖度达100%,群落多样性几乎为0。由于凤眼莲的排挤,滇池原有的十多种水生植物已相继灭绝,而原有水生植物的灭绝又影响了水生动物的生存,水生动物由20世纪60年代以前的68种减少了一半,鱼类从15种降至5种(丁建清等,1995),此地生态系统明显退化。

水生外来入侵种还对人类健康、社会文化和经济发展造成深远的影响。据统计,美国每年因水生外来种入侵造成的经济损失超过了1500亿美元,仅怪柳(*Tamarix ramosissima*)入侵美国西部河岸,造成水资源等的价值损失累计已达70~160亿美元(Zavaleta,2000);印度每年的水资源损失为1300亿美元;非洲七国用于凤眼莲的治理每年要花费2000~5000万美元(Pimentel等,2000);而我国因为外来物种入侵造成的直接和间接损失每年达到1198.76亿元,占到国内生产总值1.36%(李振宇等,2002),仅用于打捞凤眼莲的费用就超过1亿元(万方浩等,2002)。

2 水生植物引种的生态安全评价

面对越来越严重的水域生态安全威胁,许多生态专家呼吁,我国应建立健全相关法规,加强对无意和有意引进水生外来植物的安全管理(王亚民等,2006);还有的学者建议,国家应开展全国范围的水

生外来入侵植物详细调查,以查明我国水生外来入侵植物的种类、数量、分布和作用,建立水生外来植物数据库,分析它们对我国生态系统和物种的影响,建立对水生生态系统、生态环境或物种构成威胁的外来物种风险评价指标体系、风险评价方法和风险管理程序等(姚成芸等,2004)。水生植物的生态安全性评价无疑对于预防水生外来植物入侵是十分重要的一项措施。

2.1 生态安全评价的层次

生态安全性评价有多方面的层次结构,一般可从区域、行业、国家水平3个层次进行:(1)区域的生态安全评价。主要对一个区域内生物活动对生态环境、社会经济、人体健康的影响以及人类的活动对生物和环境的影响进行评价分析;(2)行业生态安全评价。例如某些外来植物或昆虫对农业种植业的影响,某些水生生物对水产养殖业的影响,某些病菌、病毒对食品生产和人类健康的影响等;(3)国家水平的评价。是某些重大的生态安全问题影响到全国范围的生态环境、国民健康和经济发展,需要对此进行评价。区域性的、行业性的生态安全问题发展扩大也可能变成全国性的问题(付在毅等,2001)。

2.2 生态安全评价的内容和程序

综合其他学者的研究结果,水生外来植物的生态安全评价的内容应包括:现状评价、影响预测、建立预警系统、决策实施等几部分(朱琳等,2003;向言词等,2002;韩丽等,2001)。现状评价是对当前的生态安全状态进行调查的评估;影响预测是根据现状评价和人类活动对生态安全的影响预测未来的生态安全情况;建立预警系统是建立在现状评价和影响预测基础上的保护生态安全的不可缺少的重要手段;有关部门根据预警系统提供的信息进行决策,采取相应的措施,保护生态安全。评价程序如图1。

2.3 生态安全评价的指标体系

水生外来植物生态安全性的评价指标可以从对物种多样性、生态系统稳定性、人类健康和社会经济的影响等方面来确定(朱琳等,2003)。综合其观点,评价指标体系如图2。

2.4 生态安全评价方法

2.4.1 综合指数法 方法简明扼要,其过程:分析研究评价生态安全因子的影响与变化规律;建立表征各安全因子特性的指标体系;确定评价标准;建立评价函数曲线,将安全因子的现状值和预测值转换为无量纲的生物安全性质量指标,用0-1表示,0表示

安全性最差,1表示安全性最高;根据各个评价因子的相对重要性赋予其权重;将各个因子的变化值综



图1 水生外来植物生态安全评价的内容和程序
Fig. 1 Content and program of ecological security assessment of aquatic alien plants

价的最终目的。根据水生外来植物入侵的生态安全评价,不同水生生态系统类型的生态安全强度是不同的。针对不同级别的生态风险区,进一步提出降低水生外来植物入侵风险的生态安全管理对策。对水生外来植物生态安全的保障能力要从经济支持能力、科技支持能力、政策法规支持能力和资源支撑能力等方面进行综合评价,要充分反映动态变化性,并与国际有关协定相一致。

我国的环境影响评价已开展多年,其内容侧重于环境污染评价,近年来水生生态系统安全的评价已经日益受到重视。水域环境生态安全性评价是生态系统安全评价的一个组成部分,也应当作为水环境影响评价的一个重要内容列入其中。凡是包含引进外来水生植物的项目,都应当进行生态安全性评价。根据评价结果决定是否引进,并加强对外来水生植物的监测与监督管理,以保障我国的水域生态

合,得出综合的影响评价价值(杨京平,2002)。

2.4.2 景观生态学方法 主要用于土地-植物生态系统安全的评价,借助空间结构分析及功能与稳定性分析来进行(欧健等,2006)。空间结构分析认为景观由拼块、模地和廊道组成,模地是区域景观的背景地块,拼块的表征:一是多样性指数,二是优势度指数。景观的功能和稳定性分析包括组成因子的生态适宜性分析、生物的恢复能力分析、系统的抗干扰或抗退化能力分析,种群源的持久性和可达性分析(能流是否畅通无阻,物流是否畅通和循环)。

2.4.3 层次分析法(AHP法) 又称多层次权重分析决策法(杨京平,2002),具体过程:确定评价范围、对象和评价因子;建立层次结构,一般分目标层、指标层和策略层3个层次;构建判断矩阵,在每一层次上,按照上一层次的对应准则要求,对该层次的指标进行逐对比较,依照规定的标度量化后,写成矩阵形式,即为判断矩阵;对判断矩阵还要进行一致性检验;通过上述步骤确定区域生物安全综合评价体系层次结构和各层次间的比重,对生物安全状态进行分级评价,I级为理想状态,II级为良好状态,III级为一般状态,IV级为较差状态,V级为恶化状态。

2.5 生态安全的保障能力评价

生态安全保障能力是依据生态安全性评价的结果,结合其他标准(经济、法律和社会),制定防止或减少环境危害的措施(朱琳等,2003),是生态安全评安全,减少和避免由于水生外来植物入侵造成的对生态环境、人体健康和社会经济等方面的重大损失。

3 结语

水生外来植物引种的生态安全评价是生态环境影响评价的深入和发展,其目的是定性和定量评价水生外来植物入侵发生的概率及其对生态系统造成的危害。做好水生外来植物生态安全评价,可把风险降到可接受的水平,尽可能避免损失,完成生态安全管理的目标和任务,促进生态环境-经济的协调发展。

水生外来植物入侵生态安全评价是利用环境学、生态学、地理学、生物学等多学科的综合知识,采用数学、概率论等风险分析手段以及遥感、GIS等先进的空间分析技术来预测、分析和评价水生植物入侵对生态系统及其组分可能造成的损伤。与其它生态风险评价相比,水生外来植物入侵生态安全评价

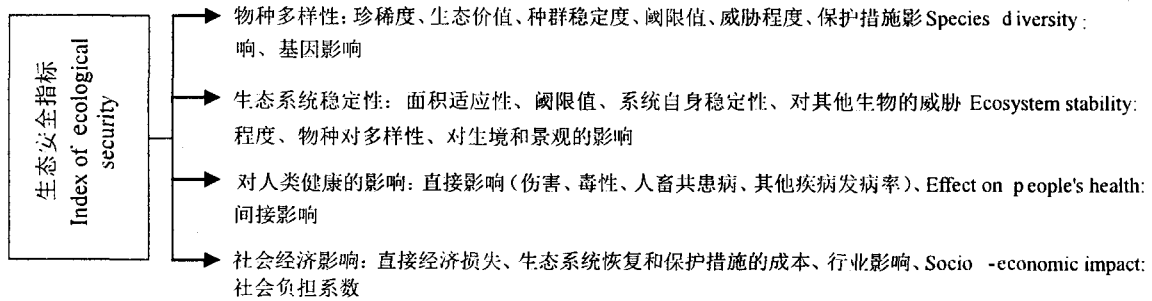


图 2 水生外来植物的生态安全评价指标体系

Fig. 2 Index system of ecological security assessment of aquatic alien plants

受植物的特性、环境的异质性和随机效应等因素的影响,这就使其更具复杂性。该评价在国内基本处于探索阶段,评价的理论和技术的还很不完善,有待于深入研究。因此,加强评价的理论研究与实践探索,完善评价技术和方法,建立实用性和预测性都很强的模型,是当前开展水生入侵植物生态安全性评价研究的重点。

参考文献:

- 丁建清,王韧,范中南,等. 1995. 恶性水生杂草水葫芦在我国的发生、危害及其防治策略[J]. 杂草学报,9(2):49-52
- 王荷生. 1992. 植物区系地理[M]. 北京:科学出版社,105
- 李振宇,解众. 2002. 中国外来入侵种[M]. 北京:中国林业出版社,98-188
- 杨京平. 2002. 生态安全的系统分析[M]. 北京:化学工业出版社环境科学与工程出版中心,79
- 徐汝梅,叶万辉. 2003. 生物入侵—理论与实践[M]. 北京:科学出版社,5
- Bush DE, Smith SD. 1995. Mechanism associated with decline of woody species in riparian ecosystems of the southwestern US[J]. *Ecol Monographs*, 65:347-370
- Cai XA(蔡锡安), Zhou HC(周厚诚), Peng SL(彭少麟), et al. 2002. The impacts of non-native species on biodiversity and its control(外来种对生物多样性的影响及控制)[J]. *Guihaia*(广西植物), 22(5):425-432
- Chen ZY(陈中义), Li B(李博), Chen JK(陈家宽). 2004. Ecological consequences and management of *Spartina* spp. invasions in coastal ecosystems(米草属植物入侵的生态后果及管理对策)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), 12(2):280-289
- Crowder LB. 1984. Character displacement and habit shift in a native cisco in southeastern lake Michigan: evidence for competition? [J]. *Copeia*, 56:878-883
- Elton CS. 1958. The Ecology of Invasions by Animals and Plants [M]. London: Methuen, 181
- Fu ZY(付在毅), Xu XG(许学工). 2001. Regional ecological risk assessment(区域生态风险评价)[J]. *Advances in Earth Science*(地球科学进展), 16(2):267-271
- Guo SL(郭水良). 1995. Study on the origination, spread and biogeological characteristics of exotic weeds(外域杂草的产生、传播及生物与生态学特性的分析)[J]. *Guihaia*(广西植物), 15(1):89-95
- Guo SL(郭水良), Li YH(李扬汉), Zhao TQ(赵铁桥). 1998. Weed species niche in wheat fields in Jinhua, Zhejiang Province (浙江金华地区小麦—杂草群落中杂草生态位的研究)[J]. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), 22(1):76-84
- Guo SL(郭水良). 2005. *Solidago canadensis* and influences of its invasion on plant communities(加拿大一枝黄花的生态位及其入侵对植物群落的影响)[J]. *J Biomath*(生物数学学报), 28(2):201-205
- Han L(韩丽), Dai ZJ(戴志军). 2001. Study on ecological risk assessment(生态风险评价研究)[J]. *Environ Sustainable Development*(环境与可持续发展), (3):7-10
- Huang JH(黄建辉), Guo XG(韩兴国), Yang QE(杨亲二), et al. 2003. Fundamentals of invasive species biology and ecology(外来种入侵的生物学与生态学基础的若干问题)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), 11(3):240-247
- Kolar CS, Lodge DM. 2001. Progress in invasion biology: Predicting invaders[J]. *Trends Ecol Evolution*, 16:199-204
- Mooney HA, Cleland EE. 2001. The evolutionary impacts of invasive species[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98:5446-5451
- Ou J(欧健), Lu CY(卢昌义). 2006. The research of alien plants risk assessment system in Xiamen Municipality(厦门市外来植物入侵风险评价体系的研究)[J]. *J Xiamen Univ*(Nat Sci)(厦门大学学报·自然科学版), 45(6):884-888
- Peng SL(彭少麟), Xiang YC(向言词). 1999. The invasion of exotic plants and effects of ecosystems(植物外来种入侵及其对生态系统的影响)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 19:560-568
- Pimentel D, Lach L, Zuniga R. 2000. Environmental and economic costs of non-indigenous species in the United States[J]. *Bioscience*, 50:53-65
- Pinto-Coelho RM, Greco MKB. 1999. The contribution of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and zooplankton to the internal cycling of phosphorus in the eutrophic Pampulha Reservoir, Brazil [J]. *Hydrobiologia*, 411:115-127
- Reddy KR, 1989. Agami M, Tucker JC. Influence of nitrogen supply rates on growth and nutrient storage by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) plants[J]. *Aquat Bot*, 36:33-43
- Reddy KR, Agami M, Tucker JC. 1990. Influence of phosphorus on growth and nutrient storage by water hyacinth *Eichhornia*

(下转第 509 页 Continue on page 509)

产品的核心竞争力。此外,无籽罗汉果植株的叶片、藤蔓均具有形态上的巨大性,增加了其有效成分的利用;因此无籽罗汉果在提取加工行业应用前景十分可观,对整个产业具有重要的推动作用。

参考文献:

- 中华人民共和国药典委员会. 2005. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京:化学工业出版社
- Ai JG(艾建国), Gao SL(高山林). 2003. Induction and identification of autotetraploid of *Salvia miltiorrhiza* Bunge and determination of effective constituents in autotetraploid(丹参同源四倍体的诱导、鉴定及有效成分的含量测定)[J]. *Pharm Biotechnology*(药物生物技术), 10(6): 372-376
- An W(安巍), Li YX(李云翔), Jiao EN(焦恩宁), et al. 1998. Breeding of triploid seedless variety of wolfberry(*Lycium barbarum*)(三倍体无籽枸杞新品种的选育研究)[J]. *J Ningxia Agric Coll*(宁夏农学院学报), 19(3): 41-44
- Chen BJ(陈柏君), Gao SL(高山林), Bian YY(卞云云). 2000. The inducing of autotetraploid of *Scutellaria baicalensis* by tissue culture(黄芩组织培养同源四倍体的诱导)[J]. *Plant Res Environ*(植物资源与环境学报), 9(1): 9-11
- Gao SL(高山林), Liu J(刘峻), Xie XQ(谢小群). 2002. Determination of baicalin content in polyploid lines of *Scutellaria baicalensis* by MEKC method(高效毛细管电泳法测定黄芩多倍体株系中黄芩苷的含量)[J]. *Pharm Biotechnology*(药物生物技术), 9(6): 349-352
- Gao SL(高山林), Xu DR(徐德然), Cai CH(蔡朝晖), et al. 1992. Studies on the breeding of autotetraploid of *Salvia miltiorrhiza*(丹参同源四倍体新物种的培育)[J]. *J China Pharm Univ*(中国药科大学学报), 12(4): 38-42
- Liu XM(刘选明), Zhou PH(周朴华), He LZ(何立珍), et al. 1996. Studies on the induction of autotetraploid of lily "Nongya Baihuo" by cell engineering technique(应用细胞工程技术选育四倍体龙牙百合的研究)[J]. *Chin J Biotechnology*(生物工程学报), 12(增刊): 197-200
- Mo HP(莫海萍). 2004. The induction of autotetraploid of *Siraitia grosvenorii* via tissue culture(利用组织培养诱导罗汉果同源四倍体)[D]. 中国优秀硕士学位论文全文数据库
- Zhang SS(张穗生). 2002. Studies on induction of Polyploid in *Siraitia grosvenorii*(罗汉果多倍体诱导的研究)[D]. 中国优秀硕士学位论文全文数据库
- Reichard, Sarah H. 2001. Horticultural Introductions of Invasive Plant Species: A North American Perspective[M]//McNeely JA (ed). *The Great Reshuffling: Human Dimensions of Alien Invasive Species* IUCN, Switzerland, Gland, 224
- Shaima BM, Oshode OO. 1991. Effect of nutrients on the biomass of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)[J]. *Hydrobiologia*, 38: 401-408
- Song QS(宋启示), Fu J(付俊), Tang JW(唐建维), et al. 2000. Allelopathic potential of eupatorium adenophorum(紫茎泽兰的化学互感潜力)[J]. *Acta Phytocool Sin*(植物生态学报), 24(3): 362-365
- Tang JL(唐季林), Ou GG(欧国管). 1995. Influence of fire on soil property under the canopy of Yunnan Pine(林火对云南松林土壤性质的影响)[J]. *J Beijing Fore Univ*(北京林业大学学报), 19(2): 44-49
- Wang B(王斌), Liang YB(梁玉波). 2001. Alien marine species and their impacts in China(中国外来海洋生物及其影响)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), 4: 458-465
- Wang FH(万方浩), Guo JY(郭建英), Wang DH(王德辉). 2002. Alien invasive species in China: their damages and management strategies(中国外来入侵生物的危害与管理对策)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), 10(1): 119-125
- Wang W(王伟), Lu JJ(陆健健). 2004. Aquatic vascular plants and their flora characteristics in Shanghai area(上海地区湿地水生维管束植物及其区系特征)[J]. *Wetland Sci*(湿地科学), 2(3): 171-175
- Wang YM(王亚民), Cao WX(曹文宣). 2006. The strategies of aquatic invasive alien species (IAS) in China(中国水生外来入侵物种对策研究)[J]. *J Agro-Environ Sci*(农业环境科学学报), 25(1): 7-13
- Wu HR(吴海荣), Qiang S(强胜), Lin JC(林金成). 2004. Quantitative survey on spring exotic weeds and the niche characteristics of dominant species in Nanjing(南京市春季外来杂草调查及生态位研究)[J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*(西北植物学报), 24(11): 2061-2068
- Yao CY(姚成芸), Zhao HR(赵华荣), Xia BC(夏北成). 2004. Invasion by alien species in China and ecological safety in China(我国外来生物入侵现状与生态安全)[J]. *Acta Univ Sun-Yatseni (Sci Nat)*(中山大学学报·自然科学版), 43(增刊1): 221-224
- Yu J(俞建), Ding BY(丁炳扬), Yu MJ(于明坚), et al. 2004. The seasonal dynamics of the submerged plant communities invaded by *Cabomba caroliniana* gray(水盾草入侵沉水植物群落的季节动态)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 24(10): 2149-2156
- Zavaleta E. 2000. Valuing ecosystem services lost to Tamarix invasion in the United States[M]//Mooney HA, Hobbs RJ(eds). *Invasive Species in a Changing World*. Washington. O. C; Island Press, 117
- Zhu L(朱琳), Tong YJ(佟玉洁). 2003. Case research and issue discussion of ecological risk assessment(中国生态风险评估应用探讨)[J]. *J Safety Environ*(安全与环境学报), 3(3): 22-24

(上接第 492 页 Continue from page 492)