

利用传统生物防治控制外来杂草的入侵

马瑞燕^{1,2}, 王 韧^{1*}, 丁建清¹

(1. 中国农业科学院生物防治研究所, 北京 100081; 2. 山西农业大学昆虫系, 太谷 030801)

摘要:随着国际贸易的日益频繁,外来有害植物入侵,严重威胁我国的自然环境和生物多样性。利用从原产地引入食性较专一的天敌来控制外来杂草是杂草生物防治的主要方式之一,有保护环境一劳永逸的效果。简要介绍了国际生物防治概况,统计表明全世界至少有 133 种目标杂草进行生物防治,主要分布在菊科、仙人掌科和含羞草科,63 科 369 种无脊椎动物和真菌作为杂草生物防治的天敌,利用最多的天敌是鞘翅目象甲科和叶甲科昆虫,其中大多数项目是治理外来杂草的。杂草生物防治最活跃的国家依次为美国、澳大利亚、南非、加拿大和新西兰。重点论述了利用传统生物防治方法防治外来杂草的经典项目、国内外研究概况,以及目前面临的问题和应用前景。我国杂草生物防治起步晚,传统杂草生防的目标杂草有 4 种,紫茎泽兰、空心莲子草、豚草和水葫芦,其中,空心莲子草的生物防治获得成功。共引进天敌 14 种,输出天敌 23 种,与世界上生物防治先进的国家比尚有距离。中国应充分借鉴国际成功经验,对外来杂草开展生物防治。中国的生物多样性在世界上占有十分独特的地位,将在生物多样性保护中发挥重要作用。

关键词:生物防治; 外来杂草; 入侵物种; 生物多样性

Classical biological control of exotic weeds

MA Rui-Yan^{1,2}, WANG Ren¹, DING Jian-Qing¹ (1. *Institute of Biological Control, CAAS, Beijing, 100081, China*; 2. *Department of Entomology Shanxi Agricultural University, Taigu, 030801, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2677~2688.

Abstract: Biological invasion has become a serious ecological and economic concern in the international community as well as in China. Invasive exotic plants have caused vast damage to the biodiversity and the economy in China. Classical biological control of weed aims to suppress and achieve long term regulation of weed populations by introducing host-specific natural enemies from the native range of the weed. It is a self-sustainable and self-regulating management approach widely used in the world, while being systematically explored in China since the 1980's. This paper reviews the current status, main challenges and prospect of classical biological control of weeds in the world, highlighting some important and successful cases, and discusses the priorities, recent development and successes, and main challenges in China. More than 70 countries have developed weed biological control programs. The U. S. A., Australia, South Africa, Canada and New Zealand have actively been using more agent species against target weeds

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39970510)

收稿日期:2003-02-27; 修订日期:2003-08-02

作者简介:马瑞燕(1968~)女,汉族,博士,副教授,主要从事生物防治及昆虫生态学研究。

* 通信作者 Author for correspondence, E-mail: r. wang@cgiar.org

致谢:邱式邦院士、澳大利亚 Julien、美国 Buckingham、加拿大高颖新、中国农业科学院生物防治研究所陈长风、农业部陈志群等先生馈赠宝贵资料,在此深表谢忱

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(No. 39970510)

Received date: 2003-02-27; **Accepted date:** 2003-08-02

Biography: 马瑞燕, Ph. D., Associate professor, main research field: biological control and invasive species. E-mail: maruiyan2002@hotmail.com

than the other countries. There have been at least 63 families 369 species of invertebrates and fungi utilized against 133 species of target weeds belonging mainly to the plant families of Astereae, Cactaceae and Mimosaceae.

One case reviewed in the paper has demonstrated to be successful for more than 100 years in biological control of weed history. And more successful cases are recognized as examples in controlling exotic weeds by classical biological control, such as *Opuntia inermis* & *O. stricta*, *Hypericum perforatum*, *Alternanthera philoxeroides*, *Salvinia molesta*, *Hydrilla verticilla*, *Chondrilla juncea* etc.. Biological control of *Eichhornia crassipes* remains the most difficult and important program in the world.

Classical biological control of weeds began to be systematically studied and practiced since the mid 1980's in China, although there had been attempts and even community campaigns of using fungus as bioherbicides in the 1960's. So far, 14 species of biocontrol agents have been introduced to control 4 species of target weeds, viz. *Eupatorium adenophorum*, *Alternanthera philoxeroides*, *Ambrosia* spp. and *Eichhornia crassipes*. The introduction of *Agasicles hygrophila* from USDA to control *Alternanthera philoxeroides* has been by far the most successful in China. Through collaboration with USA and Canada by the Chinese Academy of Agricultural Sciences, 23 species of insects and fungi were found in China and exported to North America for the control of *Euphorbia esula*, *Tamarix* spp., *Cirsium arvense*, *Myriophyllum spicatum*, *Hydrilla verticillata*, *Trapa natans*, *Polygonum perfoliatum*. Introducing *Agasicles hygrophila* to control *Alternanthera philoxeroides* is by far the most successful case in China. Classical biological control as a promising approach for the long-term control of invasive exotic weeds is faced with many challenges in China, such as the development of the science, research in host specificity testing, biosafety issues, funding for the long-term programs, just to name a few. With its rich and unique biodiversity, China needs to develop and implement a sound management system to conserve and protect the biodiversity. Classical biological control against invasive exotic weeds will, if given a priority and support, play a promising and important role in the protection and utilization of the biodiversity.

Key words: biological control; exotic weeds; invasive species; biodiversity

文章编号:1000-0933(2003)12-2677-12 中图分类号:Q948 文献标识码:A

近年来,随着经济、贸易、旅游等全球化的日益发展,外来物种入侵对生态系统的影响已上升为一个重要问题。在联合国大会上,“生物多样性与外来入侵物种管理”已被确定为新世纪第一个“国际生物多样性日”的主题。生物多样性是人类赖以生存和发展的物质基础,地球上的生物多样性每年为人类创造约 33 亿美元的价值^[1],外来物种入侵成为引起生物多样性丧失的重要原因之一,在全世界濒危物种名录的植物中,大约有 35%~46%植物的处境是部分或完全由外来物种入侵引起的^[2]。据保守估计:在美国,异国入侵的植物种类达 4 000 种,每年造成的损失达 1 230 亿美元^[3]。我国因外来物种入侵造成的损失也相当惊人,每年仅几种主要外来入侵物种造成的经济损失就达 574 亿元人民币^[4]。在 IUCN 不久前公布的世界 100 种危害最大的入侵物种中约有一半已入侵了中国^[2]。据不完全统计,我国目前至少有 23 科的 108 种外来入侵植物,其中 62 种外来杂草是作为牧草、饲料、蔬菜、观赏植物、药用植物、绿化植物等有意引进的,占杂草总数的 58%^[5-6]。国家环境保护局最近公布的首批 16 种重要入侵物种中,植物有 9 种,分别为紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum*、薇甘菊 *Mikania microantha*、空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides*、豚草 *Ambrosia* spp.、毒麦 *Lolium temulentum*、互花米草 *Spartina alterniflora*、飞机草 *Eupatorium odoratum*、凤眼莲(水葫芦) *Eichhornia crassipes*、假高粱 *Sorghum halepense*^[7]。

一种植物被引进另一个国家或地区,由于摆脱了原生态自然因素的控制,而新环境又极适合其生长,会很快蔓延成害草、牧、渔业的害草。外来物种已给我生态环境、生物多样性和社会经济造成巨大危害。主要体现在:对生态系统的破坏具有不可逆性,生物多样性的丧失与食物网络结构的崩溃,本地物种的

灭绝与消失,高额的防治费用和威胁人类健康^[8~10]。传统的杂草生物防治是从目标杂草的原产地引进和释放寄主范围较为专一的天敌,以求得在新的生态环境中的永久定殖,对目标杂草的种群形成长期的控制。一般工作程序包括:在原产地考察、采集天敌;天敌的安全性评价;引入与检疫;天敌的生物生态学特性研究;天敌的释放与效果评价。完成这样一个项目一般需要 10a 左右时间,因此较适用于多年生杂草和非农耕田的外来杂草治理^[11]。传统生物防治在杂草生物防治中一直占有重要地位,利用传统生物防治对入侵外来杂草进行治理是保护生物多样性的重要内容。

1 国外杂草生物防治

1.1 世界杂草生物防治概况

杂草生物防治是指利用寄主范围较为专一的植食性动物或植物病原菌微生物,将影响人类经济活动的杂草种群控制在经济上、生态上或从生态环境角度考虑可以容许的水平^[11~14]。“成功的”杂草生物防治一般是指:①十分成功,在天敌建立种群的地方无须使用其它防治方法;②比较成功,以应用天敌为主,目标杂草种群仍然需要用其它方法配合,但可以明显减少,如减少除草剂用量或使用频率;③部分成功,尽管天敌存在,但控制目标杂草仍需其它方法^[15,16]。在 100 多年的传统杂草生防史中,41 种杂草利用引进昆虫和真菌、3 种利用本地真菌的生物防治获得十分成功^[12]。生物防治杂草项目成功率达 1/3,达到满意的成功率大约为 1/6^[17]。

目前,全世界已有 70 多个国家开展了杂草生物防治,最活跃的 5 个国家为美国、澳大利亚、南非、加拿大和新西兰(表 1)。其它展开杂草生物防治的国家亚洲有马来西亚、泰国、印度、印度尼西亚、越南、巴布亚新几内亚、中国、日本等;非洲有乌干达、赞比亚、坦桑尼亚、肯尼亚、加纳、科特迪瓦和贝宁等;南美洲有阿根廷和智利等^[15,18]。随着杂草生物防治工作的进一步发展,研究涉及的目标杂草和控草天敌的种类数逐年上升^[18,19]。截止 1998 年,共有 39 个科 133 种杂草作为生物防治的目标杂草(表 2)。

表 1 杂草生物防治最活跃的 5 个国家

Table 1 The Most active 5 countries in biological control of weeds

国家 Countries	释放天敌种数 Agent species released	目标杂草种数 Target weed species
美国 USA	168	57
澳大利亚 Australia	162	52
南非 South Africa	73	34
加拿大 Canada	74	18
新西兰 New Zealand	30	16

表 2 杂草生物防治的天敌及其目标杂草的发展

Table 2 The development of biological control agents and target weeds

截止时间 End date	目标杂草(种类) Target weeds (species)	释放的天敌(种次) No. of agents released
19 世纪后期		
~1980	82	499
1985	93	599
1990	117	729
1998	133	949

据不完全统计,133 种目标杂草生长于农、林、牧、渔及水旱各个栖境,其中 52.6% 的杂草分布在菊科 Asteraceae(33 种)、仙人掌科 Cactaceae(23 种)、含羞草科 Mimosaceae(14 种)。共有 63 科 369 种无脊椎动物和真菌作为杂草生物防治的天敌,其中包括 344 种昆虫、6 种螨类、1 种线虫和 18 种真菌(表 3)。利用真菌进行杂草生防的有 4 个属 18 个种,其中夏孢锈菌 Uredinales 11 种,腔孢菌 Coelomycetes 4 种,丝孢菌 Hyphomycetes 2 种,黑粉菌 Ustilaginales 1 种。仅有一种线虫作为杂草生物防治的天敌,苦菜亚鳃线虫 *Subanguina picridis* 被引进用来控制一种外来植物矢车菊 *Centaurea diffusa*^[12,19,21]。因此,昆虫在杂草生物防治中是主要的天敌,占主要地位。

在作为杂草生物防治的天敌中,鞘翅目昆虫最多,有 161 种,占所利用无脊椎动物和真菌的 43.6%,其中象甲科 Curculionidae 61 种,叶甲科 Chrysomelidae 55 种,二者占到被利用天敌总数的近三分之一;其次为鳞翅目 105 种,占所利用种的 28.5%;双翅目 46 种,排第 3 位,占所利用种的 12.5%(表 3)。此外,人们还利用脊椎动物进行生物防治。许多家畜如牛、羊、鹅等用来控制牧场、陆地的杂草,鱼、鸭、蜗牛、海牛等用来控制水生杂草。常用于控制水生杂草的鱼类有鲤科 Cyprinidae 4 种,丽鱼科 Cichlidae 6 种,丝足鱼科

Osphronemidae 1 种^[12,18,20,22]。

1.2 生物防治外来杂草

杂草生物防治经典的成功项目几乎都是针对外来杂草进行的。最成功的事例为 1920~1933 年,澳大利亚成功地利用天敌穿孔螟 *Cactoblastis cactorum* 和 *Dactylopius* spp. 控制了仙人掌 *Opuntia inermis* 和 *Opuntia stricta*, 使 2400 万 hm^2 的土地恢复了农业利用。这两种天敌又传到毛里求斯、新喀里多尼亚、印度尼西亚、留尼汪、南非和印度西部, 成为杂草生防史上最经典的事例^[11,23]。

表 3 已利用的杂草生物防治天敌的分布概况

Table 3 A summary of the historical record as agents employed

目 Order	科 Families	种 Species
鞘翅目 Coleoptera	8	161
鳞翅目 Lepidoptera	25	105
双翅目 Diptera	6	46
同翅目和半翅目 Homoptera & Hemiptera	10	22
膜翅目 Hymenoptera	3	5
缨翅目 Thysanoptera	2	4
直翅目 Orthoptera	1	1
蛛螨目 Acarina	3	6
真菌 Fungi	4	18
线虫 Nemanodes	1	1
合计 Overall	63	369

表 4 杂草生防天敌利用最多的 10 个科昆虫

Table 4 Number of insect families used for weed biocontrol

科 Family	种数 No. of species
象甲科 Coleoptera: Curculionidae	61
叶甲科 Coleoptera: Chrysomelidae	55
螟蛾科 Lepidoptera: Pyralidae	25
实蝇科 Diptera: Tephritidae	25
天牛科 Coleoptera: Cerambycidae	16
豆象科 Coleoptera: Bruchidae	13
卷蛾科 Lepidoptera: Tortricidae	13
夜蛾科 Lepidoptera: Noctuidae	12
小象虫科 Coleoptera: Apionidae	11
透翅蛾科 Lepidoptera: Sesiidae	7
合计 Total	238

水生杂草的生物防治也取得一系列的成功, 如水葫芦^[15~17]、槐叶萍 *Salvinia molesta*^[24,25]、“水浮莲” *Pistia stratiotes*^[26]、黑藻 *Hydrilla verticillata*^[27,28], 尤其是空心莲子草的生物防治在大多数国家都获得成功^[18,29~34]。

1963 年, 空心莲子草已成为美国从德克萨斯到北卡罗里纳 8 个州约 162400 hm^2 面积的恶性杂草。美国陆军工程局从巴拉圭的西南部和阿根廷的北部共找到 53 种天敌, 经筛选研究后, 释放了 3 种, 较为突出的是莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila*, 很快在南卡罗里纳、佛罗里达、密西西比、乔治亚、德克萨斯、阿拉巴马和路易斯安纳取得巨大成功, 以后又传到澳大利亚、新西兰、泰国、中国等, 成为第一个生物防治水生杂草成功的项目^[27~35]。

槐叶萍起源于巴西, 20 世纪早期作为一种养鱼和植物观赏珍品植物引进赤道许多国家, 很快逸为野生, 成为世界两大恶性杂草之一^[24,36]。1980 年, 澳大利亚在巴布亚新几内亚释放了从巴西引进的象甲 *Cyrtobagous salviniae*, 经过 14 个月, Mondarra 湖上 200 hm^2 的槐叶萍被消灭; 释放 1a 多后的时间内, 覆盖在 250 km^2 湖面上的槐叶萍被消灭。以后, 印度、纳米比亚、斯里兰卡、南非、马来西亚、赞比亚、肯尼亚、斐济和津巴布韦先后引进这一天敌, 均取得良好的防效, 投入收效比达 1:1673^[18,24,37~39]。

起源于亚洲的沉水植物黑藻, 根在水下一般 9m 长, 有时可达 15m, 茎枝伸到水表面, 形成一个浓厚草垫, 使水流、航道、娱乐旅游以及本地植物动物的活动都严重受阻。1982~1992 年, 美国引进 13 种昆虫, 释放了 3 种。其中, 1987~1995 年, 分别从印度、巴基斯坦、中国北部引进印度黑藻潜叶蝇 *Hydrellia pakistanae* 释放取得了明显的控制效果, 沉水型水生杂草生物防治首次获得成功^[27,28,40,41]。

近 10 多年来, 毛里求斯、马来西亚对 *Cordia curassavica* 的防治^[45], 澳大利亚对 1 年生加拿大苍耳 *Xanthium occidentale* 和仙人掌 *Eriocereus martinii* 的防治^[46], 澳大利亚、巴布亚新几内亚等对巴西含羞草 *Mimosa invisa* 的控制, 马里亚纳和北苏门答腊对 1 年生灌木飞机草 *Chromolaena odorata* 的控制^[47], 夏威夷对 *Ageratum* 和贯叶金丝桃 *Hypericum perforatum* 的控制都获得成功^[16,18]。1985~1996 年, 澳大利亚、美国、南非、津巴布韦、波斯瓦纳、赞比亚、加纳、塞内加尔和贝宁利用象甲 *Neohydronomus affinis* 的

效地控制了水浮莲 *Pistia stratiotes*^[18,26]。

水葫芦,原产南美,目前广布于南北纬 40°之间,是世界上危害最严重的多年生水生杂草,也是世界十大入侵植物之一。1884 年水葫芦作为观赏植物引进美国,后逸为野生。1901 年引入中国。从 20 世纪 60 年代初期到 1996 年,在乌拉圭、特立尼达、阿根廷、佛罗里达、印度、巴西等地共发现 70 多种取食水葫芦的节肢动物和 3 种螨类以及其它脊椎动物、海牛、草鱼和真菌。其中起主要作用的为两种象甲 *Neochetina bruchi* 和 *Neochetina eichhorniae*,共有 31 个国家引进并释放了 6 种昆虫,1 种病原菌。水葫芦是目前世界上危害最重,范围最广,影响最大,难度最大的杂草生防项目^[18,48~51],成为全世界的研究焦点。

表 5 生物防治外来杂草史例之最

Table 5 The significant program of biocontrol exotic weeds in the history

杂草 Target weeds	天敌 Agents	国家 Countries	时间 Date	备注 Note	文献 Reference
柳穿鱼 <i>Linaria vulgaris</i>		美国	1855	最早记录以虫制草的建议	20
霸王树仙人掌 <i>Opuntia vulgaris</i>	胭脂虫 <i>Dactylopius ceylonicus</i>	印度	1836	最早记录有意识进行生物防治	20
马樱丹 <i>Lantana camara</i>	31 种	美国等 33 个	1902~现在	持续时间最长,涉及国家最多,引种释放天敌种类最多;	18
仙人掌 <i>Opuntia inermis</i> & <i>O. stricta</i>	穿孔螟 <i>Cactoblastis cactorum</i> & <i>Dactylopius</i> spp.	澳大利亚	1920~1933	杂草生防史上最著名的项目	11,23
贯叶金丝桃 <i>Hypericum perforatum</i>	双金叶甲 <i>Chrysolina quadrigemina</i>	澳大利亚、美国、加拿大、南非、新西兰	1920~1953	种植者立碑纪念的杂草天敌	42;
空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	莲草直胸跳甲 <i>Agasicles hygrophila</i>	美国	1964	首次防治水生杂草	29
灯心草粉苞苣 <i>Chondrilla juncea</i>	柄锈菌 <i>Puccinia chondrillina</i> 植食性螨类 <i>Eriophyes chondrillne</i>	澳大利亚	1960 后期	首次利用植物病原菌;首次生物防治农田杂草;首次利用植食性螨类	43,44
槐叶萍 <i>Salvinia molesta</i>	象甲 <i>Cytobagous salviniae</i>	澳大利亚	1980	最大投资收效比	18,24,39
水葫芦 <i>Eichhornia crassipes</i>	两种象甲 <i>Neochetina bruchi</i> & <i>N. eichhorniae</i>	31 个国家	1960s~今	目前世界危害最严重、影响最大的项目	18
黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>	黑藻潜叶蝇 <i>Hydrellia pakistanae</i>	美国	1987~1995	首例生物防治水下杂草	27,28

2 国内生物防治外来杂草

我国利用传统生物防治的目标杂草有 4 种,引进天敌 14 种(表 6),输出天敌 23 种(表 7)。与其它国家相比,我国的杂草生物防治,无论从历史、成就,还是目前研究利用的项目规模,以及政府、社会的重视程度,都与世界许多发达和发展中国家有相当的距离。

2.1 引进杂草天敌

我国引进天敌,先后开展了紫茎泽兰、空心莲子草、豚草和水葫芦的生物防治(表 6)。

(1)紫茎泽兰的生物防治 1845 年美国从墨西哥引泽兰实蝇到夏威夷,取得较好的效果。1984 年,中国科学院昆明生态研究所从西藏聂拉木县樟木区找到泽兰实蝇,对 63 种植物进行了食性安全性测定、大量繁殖和控制效果研究^[52~54]。1985、1988 年从美国、澳大利亚引进泽兰尾孢菌,但未取得良好进展。此外云南微生物所在当地分离 6 种寄生在紫茎泽兰的病原菌,其中发现了飞机草菌绒孢菌 *Mycovellosiella*

eupatoriio-odorati 对紫茎泽兰致病力较强,但未形成田间实际应用^[55];目前,南京农业大学正研究链格孢菌对紫茎泽兰的致病力^[56],四川凉山等地区从云南引进泽兰实蝇,防治效果不明显,有待于进一步突破。

表 6 我国引进杂草天敌的状况

Table 6 The status of agents introduced for biocontrol weed in China

目标杂草 Target weeds	天敌 Agents	国家 Countries	时间 Date
紫茎泽兰 <i>Eupatorium adenophorum</i>	泽兰实蝇 <i>Procecidochares utilis</i>	美国	1985
	泽兰尾孢菌 <i>Cercospora eupatorii</i>	澳大利亚	1988
空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	莲草直胸跳甲 <i>Agasicles hygrophila</i>	美国 澳大利亚	1986
豚草 <i>Ambrosia</i> spp.	豚草条纹叶甲 <i>Zygogramma suturalis</i>	加拿大 前苏联	1987
	豚草卷蛾 <i>Epiblema strenuana</i>	澳大利亚	1990
	豚草实蝇 <i>Euaresta bella-E. festiva</i>	加拿大	1991
	豚草夜蛾 <i>Tarachidia candefacta</i>	加拿大	1991
	豚草象甲 (未定名)	加拿大	1992
	豚草蓟马 <i>Liothrips</i> sp.	加拿大	1992
水葫芦 <i>Eichhornia crassipes</i>	水葫芦象甲 <i>Neochetina bruchi</i> & <i>N. eichhorniae</i>	美国 美国	1994 1996
	水葫芦盲蝽 <i>Eccritotarsus catariensis</i>	南非	2000

(2)空心莲子草生物防治 1964年,美国昆虫学家 Vogt 在阿根廷发现莲草直胸跳甲,引入美国防治水生型的空心莲子草,取得良好效果。1986年中国农科院生防所从美国引进莲草直胸跳甲,1987年对我国具有重要经济价值的 21 个科 39 种植物进行了食性专一性测定,详细研究了生物学特性和生态学特性,认为其可在我国安全利用,随后进行了大量饲养与释放以及控制效果评价,已在湖南、四川、福建、云南、江西、广西等地建立种群,在水域上取得显著成效^[32,34,57]。1999~2000年,调查研究了空心莲子草至少在我国南方 18 个省市自治区自然发生,莲草直胸跳甲已分布扩散于我国 14 个省市自治区;通过对低温适应性以及对寄主植物化蛹的适应性,提出了莲草直胸跳甲在我国的应用范围,指出旱生型和高纬度地区的空心莲子草仍是生物防治的难点^[58]。空心莲子草的生物防治是我国首次利用国外引进的天敌昆虫防治外来杂草,也是目前我国最成功的杂草生物防治项目^②。

(3)豚草的生物防治 美国、加拿大和前苏联 20 世纪 60 年代开始研究豚草的生物防治,在原产地找到 400 多种天敌,并筛选出优势种:豚草条纹叶甲和豚草卷蛾。中国农业科学院生物防治研究所 1987 年自国外引进 6 种天敌,引进并释放了这两种天敌,系统研究了豚草条纹叶甲的生物学、生态学、食性专一性及控制效果,取得了一定的效果^[59~62]。湖南省农业科学院调查了豚草上的几种病原菌,但致病性测验结果都不理想^[63]。目前我国的豚草生防还不能达到立竿见影的效果,需进一步进行田间生态评价或引进新的天敌。

(4)水葫芦生物防治 中国农业科学研究院生物防治研究所 1994 年引进两种象甲,2000 年引进一种盲蝽,进行生物防治。主要研究了象甲的生物生态学特性和食性安全性、饲养、释放技术,监测了田间种群扩散和控制效果^[64~66]。生物防治和综合治理在浙江、福建进行了小范围实验,取得较好效果,但应用面积和力度仍然不够。通过研究象甲与水葫芦及其它生物和非生物因子的互作关系,提出了以生防为主,辅以化学、机械和物理等其它措施的综合治理技术体系^[61,66~69]。

2.2 输出杂草天敌

1988 年以来,中国农业科学院生物防治研究所与美国和加拿大农业部合作,在中国广泛调查天敌昆虫

万方数据

② Ma R Y. Biological adaptation of the introduced biocontrol agent, *Agasicles hygrophila*, for alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides*, in China. The dissertation of Chinese Academy of Agricultural Sciences. 2001,132.

资源,通过食性安全性测定和控制效果研究,筛选可用于控制国外的杂草的生防作用物。先后开展了乳浆大戟 *Euphorbia esula*、柽柳 *Tamarix* spp.、加拿大蓟 *Cirsium arvense*、穗状狐尾藻 *Myriophyllum spicatum*、黑藻、欧洲菱 *Trapa natans*、杠板归 *Polygonum perfoliatum* 的生物防治(表 7)。

表 7 我国杂草天敌输出状况

Table 7 The status of agents exported for biocontrol weed in China

目标杂草 Target weeds	天敌 Agents	国家 Countries	时间 Date
乳浆大戟草 <i>Euphorbia esula</i>	乳浆大戟锈菌 <i>Euromyces</i> sp.	美国	1987
	乳浆大戟锈菌 <i>Eudophyllum</i> sp.	美国	1987
	乳浆大戟锈菌 <i>Euphabia esula</i>	美国	1990
	乳浆大戟锈菌 <i>Puccinia</i> spp.	美国	1992
	乳浆大戟真菌 <i>Leaty spurge</i>	美国	1996
	乳浆大戟茎蛾 <i>Chamaesphacia</i> sp.	美国	1987
	乳浆大戟天牛 <i>Oberea</i> sp.	美国	1987
	乳浆大戟天蛾 <i>Hyles</i> sp.	美国	1987
	乳浆大戟跳甲 <i>Aphthona chinchili</i>	美国	1987
柽柳 <i>Tamarix</i> sp.	柽柳叶甲 <i>Diorhaabda elongata</i>	美国	1993
	黑藻潜叶蝇 <i>Hydrellia pakistanae</i>	美国	1987~1995
黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>	黑藻象鼻虫 <i>Bagous</i> sp.	美国	1993
	黑藻锈菌 <i>Mycoleptodiscus terrestris</i>	美国	1994
	加拿大蓟 <i>Cirsium arvense</i>	加拿大	1993
加拿大蓟 <i>Cirsium arvense</i>	蓟象甲 <i>Lixus</i> sp.	加拿大	1993
	蓟茎甲 <i>Cleonas</i> sp.	加拿大	1994
	蓟象甲 <i>Thammrgus</i> spp.	加拿大	1995
	蓟跳甲 <i>Aleica carduorum</i>	加拿大	1996
	俄罗斯蓟真菌 <i>Mornigglory</i> sp.	美国	1996
	田族范真菌(待定)	美国	1996
穗状狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>	狐尾藻象鼻虫 <i>Euhrychius</i> sp.	美国	1994
	狐尾藻象鼻虫 <i>Phytobius</i> sp.	美国	1994
	杠板归 <i>Polygonum perfoliatum</i>	美国	1997
杠板归 <i>Polygonum perfoliatum</i>	链格孢属菌 <i>Alternaria</i> spp.	美国	1997
	<i>Polygonuom pertoheitun</i> L.	美国	1997
	红边紫线尺蛾 <i>Tirand griseata petersen</i>	美国	1998

目前主要与美国合作杠板归的生物防治。在我国近 20 个省采集杠板归天敌昆虫共 76 种,分属于 6 个目 27 个科,鞘翅目 40 种,半翅目 21 种,鳞翅目 11 种,膜翅目、同翅目、革翅目各 1 种;食叶类占 80% 以上,少数种类可取食花、果实种子、钻蛀茎杆,未发现取食根部的种类;其中红边紫线尺蛾 *Timandra griseata* 杠板归象甲 *Homorosoma chinensis* 和宽棘缘蝽 *Cletus schmidt* 被认为是潜在的杠板归的生防作用物^[70]。

3 传统的杂草生物防治面临的问题与展望

3.1 天敌攻击非目标杂草 传统的杂草生物防治已历经 100 多年的历史,引进天敌控制杂草在取得成就的同时,也向杂草生物防治提出了一个新的挑战。天敌 *Cactoblastis cactorum* 由于控制仙人掌 *Opuntia* spp. 获得巨大成功,世界各国纷纷引进,南非、西印度等均成功地控制了目标杂草,并继续向北部和西部扩散。直到 1989 年,在美国的佛罗里达发现,该虫威胁当地的一种花卉植物仙人掌,成为一种严重的害虫,并继续向美国西部和墨西哥蔓延^[16,23,71~73]。目前,至少有 10 例天敌攻击非目标植物,尽管多数未造成严重的经济和环境损害^[74~76],但已受到国际的关注,安全性仍然是传统杂草生物防治的一个重要话题^[76~79]。

3.2 项目研究资金投入不足 传统的生物防治项目的研究是一个长期而艰苦的工作,从立项、实施到见效,一般十年,多则百年,需要政府与全社会乃至世界范围内的广泛重视与投资。目前,尤其国内“短、平、快”的思想往往阻碍了这种工作的研究。杂草生物防治的资金总是流向当前危害最严重的项目,而并非资助潜在危害严重的数据,即重“治”轻“防”。当一个潜在的植物变成了恶性杂草时,往往已经失去了它的最佳控制时期,已经给生态和环境带来了严重的后果。

3.3 项目实施 通常从释放天敌到获得明显的控制效果一般需要几年甚至更长的时间,因此对于那些要求在短时期内彻底清除的入侵,传统的生物防治难以发挥良好的效果。生物防治本来是有害生物综合治理的核心,实施应优先于其它防治方法。而目前大多项目是在其它防治方法无效时才采用生物防治方法,加大了传统的杂草生物防治的压力^[16,17,78,80]。

3.4 生物防治理论的完善 生态学理论是生物防治的基础,强调生态系统的健康、有序,强调系统各因子的协调平衡,利用生物因素抑制某种有害生物的失衡发展,从而完善食物链,保护生态系统健康。在有害杂草的起源地,多种生物共存,各种因子互作,构成复杂的食物网,共同维持生态系统的平衡。美国康奈尔大学的科学家研究了 473 种原产于欧洲后又传播到美国的植物,检查了它们被真菌、病毒感染的情况。结果发现,平均每种植物在新栖息地感染的真菌比在原产地要少 84%,病毒感染少 24%^[81],而引进的动物体内的寄生虫却少了一半^[82]。传统的杂草生物防治强调生防天敌的专一性,限制了天敌的选择范围,同时有限天敌的选择只能完善部分食物链,却不能完善生态系中的食物网,防治效果往往具一定的局限性。因此,传统的生物防治应与现代科学技术手段相结合,并尝试多虫(多菌)治草,虫菌合治,此外,应严格检疫,结合其他防治手段综合进行综合治理。

3.5 展望

3.5.1 充分利用国内国际成功经验 世界上在 100 多年的传统杂草生防史中,41 种杂草利用引进昆虫和真菌获得十分成功^[17]。目前我国开展的仅仅 4 种,可以充分借鉴国内、国际成功经验,对我国的危害严重的外来杂草进行生物防治,如对空心莲子草、水葫芦、大米草、飞机草、水浮莲、微甘菊、马樱丹、矢车菊 *Centaurea cyanus* 等的治理。

3.5.2 到外来杂草原产地收寻天敌资源 根据目前我国发生严重的外来杂草,到原产地进行天敌筛选,进行国际合作,这项工作耗时较长,需要长期合作与经费支持。

3.5.3 开展国内、国际间天敌交流 我国幅员辽阔,自然条件复杂,是世界上唯一跨越两大动物地理区域的国家,也是世界生物多样性最为丰富的国家之一。至 2002 年底,全国自然保护区达 1757 个,总面积为 13295 万 hm^2 ,占全国国土面积的 13.2%。其中国家级自然保护区总数 188 个,面积为 6042 万 hm^2 ,全国有 31 类天然湿地和 9 类人工湿地,占世界湿地的 10%,居亚洲第 1 位,世界第 4 位^[83]。我国至少有脊椎动物 6437 多种,其中兽类 499 种,鸟类 1244 种,爬行类 376 种,两栖类 279 种,鱼类 3862 种;高等植物有 30,000 多种(特有种 17300 种)。我国还是世界上昆虫种类最多的国家之一,占世界种类的 1/10。世界已定名的昆虫种类为 100 万种,我国定名的昆虫应在 10 万种左右,估计应有昆虫资源 30~100 万种。从生物多样性的角度来说,中国是世界上富饶的国家之一,可充分利用我国丰富而又独具特色的生物多样性,开展国内、国际杂草生物防治,保护人类共同的家园。

References:

- [1] Costanza R, Arge R Groot R, *et al.* The Value of the world's ecosystems services and nature capital. *Nature*, 1997, **387**: 253~260.
- [2] Invasive specialist Group (ISSG). Global invasive species database. *Global invasive species program (GISP)*, on 1st September, 2001.
- [3] Pimentel D, Lach L, Zuniga R, *et al.* Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience*, 2000, **50**, 53~65.
- [4] State environmental protection administration of China. *The briefing of biodiversity*, 2002, (4).
- [5] Qiang S, Cao X Z. Survey and analysis of exotic weeds in China. *Journal of Plant Resource and Environment*, 2000, **9**(4): 34~38.
- [6] Qiang S, Cao X Z. Harmfulness of exotic weeds in China and for their management. *Biodiversity Science*, 2001, **9**(2): 188~195.
- [7] State environmental protection administration of China. The announcement about the first list of invasive species in China. *万方数据* 2003.
- [8] Wan F H, Guo J Y, Wang D H. Alien invasive species in China; their damages and management strategies.

- Biodiversity Science*, 2002, **10**(1):119~125.
- [9] Xiang Y C, Peng S L, Zhou H C, *et al.* The impacts of non-native species on biodiversity and its control. *Guangxi Plant*, 2002, **22**(5):425~432.
- [10] Yang Q H, Ye W H, Deng X, *et al.* Characteristics of exotic plant invasion and their damages in China. *Ecologic Science*, 2002, **21**(3):269~274.
- [11] Harley K L S & Forno I W. *Biological Control of Weeds, a Handbook for Practitioners and Students*. Inkata Press, Melbourne, Australia, 1992. 74.
- [12] Wilson F. The biological control of weeds. *Annual Review of Entomology*, 1964, **9**: 225~244.
- [13] Harris P. Classical biocontrol of weeds; its definition, selection of effective agents, and administrative political problems. *Canadian Entomologist*, 1991, **123**: 827~849.
- [14] Wang R. Current status and perspectives of biological control weed in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 1986, **2**(4):173~177.
- [15] Hoffmann J H. Biological control of weeds; the way forward, a South African perspective. *Proceedings. BCPC Symposium: Weeds in a Changing World*. Farnham: Crop Protection. Council, 1995. 77~89.
- [16] McFadyen R C. Biological control of weeds. *Annual Review of Entomology*, 1998, **43**: 369~393.
- [17] McFadyen R C. Success in biological of weeds. *Proceedings 10th International Symposium on Biological Control of Weed*. Bozeman, Montana, USA, 1999. 23.
- [18] Julien M H & Griffiths M W. *Biological control of weeds; a world catalogue of agents and their target weeds*. 4th edition. CABI publishing, Wallingford, 1998. 223.
- [19] Julien M H. *Biological Control of Weeds: A Worldwide catalogue of Agents and Their Target weeds*. Third edition CAB International. Wallingford, 1992. 186.
- [20] Van Driesche R G & Bellows T S. *Biological Control*. Chapman & An international Thomson publishing company, 1997. 447.
- [21] Parker A, Holdern A N G, Tomley A J. Host specificity testing and assessment of the pathogenicity of the rust, *Puccinia abrupta* var. *Partheniicola*, as a biological control agent of Parthenium weed (*Parthenium hysterophorus*). *Plant Pathology*, 1994, **43**:1~16.
- [22] Andres L A & Bennett F D. Biological control of aquatic weeds. *Annual Review of Entomology*, 1975, **20**:31~46.
- [23] Julien M H & White G. Biological control of weeds; theory and practical application. *ACIAR Monograph*, No. 49, 1997. 192.
- [24] Room P M, Harley K L S, Formo I W, *et al.* Successful biological control of the floating weed salvinia. *Nature*, 1981, **294**:78~80.
- [25] Thomas P A, Room P M. Towards biological control of salvinia in Papua New Guinea. *Proceedings of the 6th International Symposium on Biological Control of Weeds*. Ottawa: Agriculture Canada, 1985. 567~574.
- [26] Harley K L S, Kassulke R C S, Sands D P A, *et al.* Biological control of water lettuce *Pistia Entomophaga*, 1990, **35**:363~374.
- [27] Buckingham G R. Chapter 22. Biological control of aquatic weeds. In: Rosen D, *et al.* eds. *Pest management in the subtropics; biological control the Florida experience*. Intercept Ltd. , Andover, Hampshire, United Kingdom, 1994. 413~479.
- [28] Cofrancesco A F, Center T D, Grodowitz M J. The first use of insect biological control agents to manage a submersed aquatic plant (*Hydrilla verticillata*). *Proceedings 9th International Symposium on Biological Control of Weeds*. Stellenbosch: University. Cape Town Press, 1996. 417.
- [29] Coulson J R. Biological control of alligatorweed, 1959~1972: A review and evaluation. U. S. , Department of Agriculture Technical Bulletin 1547, 1977. 98.
- [30] Julien M H. Control of aquatic *Alternanthera philoxeroides* in Australia; another success for *Agasicles hygrophila*. *Proceedings of the 5th International Symposium of Biological Control of Weeds*, 1981. 583~588.
- [31] Roberts L I N, Sutherl O R W, Galbreath R A. *Alternanthera philoxeroides*, alligator weed (Amaranthaceae). In: Cameron, P. J. , Hill, R. L. , & Thomas, W. P. eds. *A Review of Biological Control of Invertebrate Pests and Weeds in New Zealand* 1974~1978. CAB International Institute of Biological Control, 1989. 325~330.
- [32] Wang R. Biological control of weeds in China; A status report. In: *Proceedings 7th International Symposium on*

- Biological Control of Weeds*, 1989, 689~693.
- [33] Vogt G B, Quimby P C Jr, Kay S H. Effects of weather on the biological control of alligatorweed in the lower Mississippi Valley region, 1973~1983. *USDA Tech. Bull.*, 1766, 1992. 143.
- [34] Li H K, Wang R. Biological control of alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides*, in central China by inoculative release of *Agasicles hygrophila* [Col: Chrysomelidae] with artificial overwintering protection. *Chinese Journal of Biological Control*, 1994, **10**(1): 11~14.
- [35] Goeden R D. A capsule history of biological control of weeds. *Biocontrol News and Information*, 1988, **9**: 55~61.
- [36] Mitchell D S, Petr T, Viner A B. The water-fern *Salvinia molesta* in the Sepik River, Papua New Guinea. *Environmental Conservation*, 1980, **7**: 115~122.
- [37] Tisdell C A, Auld B A, Menz K M. On assessing the value of biological control of weeds. *Protection Ecology*, 1984, **6**: 169~179.
- [38] Tisdell C. Economic evaluation of biological weed control. *Plant Protection Quarterly*, 1987, **2**: 10~12.
- [39] Thomas P A, Habeck D H. Taxonomy and control of *Salvinia molesta*. *Nature*, 1989, **320**: 581~584.
- [40] Center T D. Release and field colonization of new biological control agents of *Hydrilla verticillata*. *Proceedings of the 26th Annual Meeting Aquatic Plant Control Research Program*, 1992. 205~221.
- [41] Center T D, Grodowitz M J, Cofrancesco A F. Establishment of *Hydrellia pakistanae* (Diptera: Ephydriidae) for the biological control of submersed aquatic plant *Hydrilla verticillata*. (Hydrocharitaceae) in the southeastern United States. *Biological Control*, 1997, **8**: 65~73.
- [42] Huffaker C B & Kennett C E. A ten-year study of vegetational changes associated with biological control of klamath weed. *Journal of Range Management*, 1959, **12**: 69~82.
- [43] Hasan S & Wapshere A J. The biology of *Puccinia chondrillina*, a potential biological control agent of skeleton weeds. *Annals of Applied Biology*, 1973, **74**: 325~332.
- [44] Hasan S. A new strain of the rust fungus *Puccinia chondrillina* for biological control of skeleton weed in Australia. *Annals of Applied Biology*, 1981 **99**: 119~124.
- [45] Ooi P A C. Biological control of weeds in Malaysian plantations. *Proceedings of the 8th International Weed Control Congress*. Melbourne, 1996. 248~255.
- [46] Chippendale G P. The biological control of Noogoom burr (*Xanthium occidentale*) in Queensland; *Proceedings 8th International Symposium on Biological Control of Weeds*. Canterbury, CSIRO, Publishing, Melbourne, 1996. 185~192.
- [47] Siebert T. Biological control of the weed *Chromolaena odorata* (Asteraceae) by *Pareuchaetes pseudoinulata* (Lepidoptera: Arctiidae) on Guam and the Northern Mariana Islands. *Entomophaga*, 1989, **34**: 531~539.
- [48] Harley K L S. The role of biological control in the management of water hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *Biocontrol News and Information*, 1990, **11**(1): 11~22.
- [49] Julien M H, Harley K L S, Wright A D, et al. International cooperation and linkages in the management of water hyacinth with emphasis on biological control. *Proceedings of the 9th International Symposium on Biological Control of Weeds*. Stellenbosch; Univ. Cape Town Press, 1996. 273~282.
- [50] Chen Z Q. Advance of biological control water hyacinth abroad countries *Chinese Journal of Biological Control*, 1996, **12**(3): 143~145.
- [51] Ding J Q, Wang R, Fu W D, et al. Water Hyacinth in China: Its Distribution, Problems and Control Status, In: Julien M H, Hill, M P et al. eds. *Biological and Integrated Control of Water Hyacinth*, ACIAR Canberra, 2001. 29~32.
- [52] He D Y, Liu L H. The safety testing of the tephritid gail fly, *Procecidochares utilis* Stone, *Chinese Journal of Biological Control*, 1987, **3**(1): 1~3.
- [53] Liu W Y, Liu L H, He A J. The effect of *Procecidochares utilis* on growth and development, distribution of biomass of *Eupatorium adenophorum*. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, **11**(3): 291~293.
- [54] Chen X D, He D Y. Study on the strategy of biological control of *Eupatorium adenophorum* by using *Procecidochares utilis*. *Journal of Applied Ecology*, 1990, **1**(4): 315~321.
- [55] Yang Y. Study on effect of mycovellosiella *Eupatorii odorati* upon growth and physiological parameters of *Eupatorium adenophorum*. *Journal of Weed Science*, 1991, **5**(1): 6~11.

- [56] Wan Z X, Zhu J J, Qiang S. The pathogenic mechanism toxin of *Alternaria alternata* to *Eupatorium adenophorum*. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2001, **10**(3):47~50.
- [57] Wang Ren, Wang Y. Host specificity tests for *Agasicles hygrophila*, a biological control agent of alligatorweed. *Chinese Journal of Biological Control*, 1988, **4**(1):14~17.
- [58] Ma R Y, Ding J Q, Wang R. Population Adaptability of *Agasicles hygrophila* on different ecotypes alligaorweed. *Chinese Journal of Biological Control*, 2003, **19**(2):54~58.
- [59] Wan F H, Wang R. Distribution and control of *Ambrosia artemisiifolia* in China. *Information of Agricultural Science and Technology*, 1988, (5):24~25.
- [60] Wan F H, Wang R. Host specificity tests of *Zygogramma suturalis*: An important biological control agent of. *Chinese Journal of Biological Control*, 1989, **5**(1):20~23.
- [61] Wan F H, Wang R. A cage study on the control effects of *Ambrosia artemisiifolia* by the introduced biological control agent, *Zygogramma suturalis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 1990, **6**(1):8~12.
- [62] Wan F H, Zheng G Q, Wang R. *Ambrosia artemisiifolia* and management of *Ambrosia artemisiifolia*. Beijing: Chinese Science & Technology Publishing Company, 1993. 322.
- [63] Li H K, Li Y N. Survey of pathogens as potential biological control agent to control the ragweed, *Ambrosia artemisiifolia*. *Chinese Journal of Biological Control*. 1993, **9**(1):45~46.
- [64] Ding J Q, Wang Ren, Lu X J, et al, control *Eichhornia crassipes*, an invasive aquatic weed in the south China with *Neochetina eichhorniae*. *Chinese Journal of Biological control*, 2001, **17**(3):97~100.
- [65] Ding J Q, Biological control-the important content of integrated weeds management. *Journal of Weed Science*, 1995, **9**(1):60~64
- [66] Ding J Q, Wang R, Wang N Y, et al. Effects of 3 herbicides on mortality of eggs, larvae, pupae and adults of water hyacinth weevil, *Neochetina eichhorniae* (Col:Curculionidae), *Chinese Journal of Biological Control*, 1998, **14**(1):7~10.
- [67] Ding J Q, Wang R, Fu W D, et al. Effects of roundup on the mortality of eggs, larvae and adults of *Neochetina eichhorniae*. *Chinese Journal of Biological Control*, 1998, **14**(4):152~154.
- [68] Ding J Q, Wang R, Fu W D, et al. Control effect of herbicides on the growth of water hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1998, **25**(4):373~374.
- [69] Ding J Q, Wang R, Chen Z Q, et al. Towards integrated management of water hyacinth with insects and herbicides in southern China. In: Hill, M P, Julien M H & Center T D eds. *Proceedings of the First IOBC Global Working Group Meeting for the Biological and Integrated Control of Water Hyacinth*, 2000. 142~147.
- [70] Ding J Q, Fu W D, Wu Yun. Research on enemy insect community for *Polygonum perfoliatum*. *Acta Entomology Sinica(supplement)*, 2000, **43**:204~206
- [71] Pemberton R W. *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) in the United States: an immigrant biological control agent or an introduction of the nursery industry? *American Entomologist*, 1995, **41**:230~232.
- [72] Bennett F D & Habeck D H. *Cactoblastis cactorum*; a successful weed control agent in the Caribbean, now a pest in Florida? In: Delfosse E S & Scott RR eds. *Proceedings 8th International Symposium on Biological Control of Weeds*. Canterbury, 1992. CSIRO Publishing, Melbourne, 1996. 21~26.
- [73] Simberloff D & Stiling P. How risky is biological control? *Ecology*, 1996, **77**:1965~74.
- [74] Herr J C. Non-target impact of *Rhinocyllus conicus* (Coleoptera: Curculionidae) on rare native California *Cirsium* spp. thistle. *Proceedings 10th International Symposium on Biological Control of Weeds*. Bozeman, Montana, USA, 1999. 43.
- [75] McClay A S. Assessing target and non-target effects of *Lema cyanella* released for control of Canada thistle. *Proceedings 10th International Symposium on Biological Control of Weeds*. Bozeman, Montana, USA, 1999. 51.
- [76] Strong D R. Fear No Weevil? *Science*, 1997, **277**(22):1058~1059.
- [77] Strong D R, Pemberton R W. Biological control of invading species-risk and reform. *Science*, 2002, **288**(16):1968~1970.
- [78] Louda S M, Kendall D, Gonnor J, et al. Ecological effects of an insect introduced for the biological control of weeds. *Science*, 1997, **277**(22):1088~1090.
- [79] Pimental D. Biological control of invading species. *Science*, 2000, **289**(11):869.

- [80] Crawley M J. The successes and failures of weed biocontrol using insects. *Biocontrol News and Information*, 1989, **10**:213~223.
- [81] Mitchell C & Power A G. Release of invasive plants from fungal and viral pathogens. *Nature*, 2003, **421**:625~627.
- [82] Topchin M E, Lafferty K D, Dobson A P, *et al.* Introduced species and their missing parasites. *Nature*, 2003, **421**:628~630.
- [83] State environmental protection administration of china. *China Issues Annual Report on Environment; Biodiversity*, 5 June 2003.

参考文献:

- [4] 中国国家环境保护总局. 生物多样性简报, 2002, 第 4 期.
- [5] 强胜, 曹学章. 中国异域杂草的考察与分析. 植物资源与环境学报, 2000, **9**(4):34~38.
- [6] 强胜, 曹学章. 外来杂草在我国的危害性及其管理对策. 生物多样性, 2001, **9**(2):188~195.
- [7] 中国国家环境保护总局, 中国科学院. 关于发布中国第一批外来入侵物种名单的通知. 环发 2003, 第 11 号.
- [8] 万方浩, 郭建英, 王德辉. 中国外来入侵生物的危害与管理对策. 生物多样性, 2002, **10**(1):119~125.
- [9] 向言词, 彭少麟, 周厚诚, 等. 外来种对生物多样性的影响及其控制. 广西植物, 2002, **22**(5):425~432.
- [10] 杨期和, 叶万辉, 邓雄, 等. 我国外来植物入侵的特点及入侵的危害. 生态科学, 2002, **21**(3):269~274.
- [14] 王韧. 我国杂草生物防治的现状若若干问题的讨论. 中国生物防治, 1986, **2**(4):173~177.
- [34] 李宏科, 王韧. 空心莲子草叶甲的越冬保护和大量繁殖释放研究. 生物防治通报, 1994, **10**(1):11~14.
- [50] 陈志群. 国外水葫芦生物防治研究概况. 中国生物防治, 1996, **12**(3):143~145.
- [52] 何大愚, 刘伦辉. 泽兰实蝇安全性测定. 生物防治通报, 1987, **3**(1):1~3.
- [53] 陈旭东, 何大愚. 利用泽兰实蝇控制紫茎泽兰的生防策略研究. 应用生态学报, 1990, **1**(4):315~321.
- [54] 刘文耀, 刘伦辉, 何爱军. 泽兰实蝇对紫茎泽兰生长发育及生物量分配影响. 生态学报, 1991, **1**(3):291~293.
- [55] 万佐玺, 朱晶晶, 强胜. 链格孢菌毒素对紫茎泽兰的致病机理. 植物资源与环境学报, 2001, **10**(3):47~50.
- [56] 杨宇容, 郭光远. 飞机草菌绒孢菌对紫荆泽兰生长及其生理影响的研究. 杂草学报, 1991, **5**(1):6~11.
- [57] 王韧, 王远. 空心莲子草叶甲寄主专一性测定. 生物防治通报, 1988, **4**(1):14~17.
- [58] 马瑞燕, 王韧, 丁建清等. 莲草直胸跳甲在不同生态型空心莲子草上的化蛹适应性. 中国生物防治, 2003, **19**(2):54~58.
- [59] 万方浩, 王韧. 豚草条纹叶甲的分布与防治. 农业科技通讯, 1988, (5):24~25.
- [60] 万方浩, 王韧. 豚草条纹叶甲的集注专一性测定. 生物防治通报, 1989, **5**(1):20~23.
- [61] 万方浩, 王韧. 条纹叶甲控制豚草的效果及其评价. 生物防治通报, 1990, **6**(1):8~12.
- [62] 万方浩, 郑广清, 王韧. 豚草及豚草合治理. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 322.
- [63] 李宏科, 李彦宁. 湖南豚草病原菌调查简报. 生物防治通报, 1993, **9**(1):45~46.
- [64] 丁建清, 吕旭健. 水葫芦象甲对外来杂草水葫芦的控制效果. 中国生物防治, 2001, **17**(3):97~100.
- [65] 丁建清. 生物防治-杂草综合治理的重要内容. 杂草学报, 1995, **9**(1):60~64.
- [66] 丁建清, 王韧, 王念英, 等. 三种化学除草剂对水葫芦象甲的影响. 中国生物防治, 1998, **14**(1):7~10.
- [67] 丁建清, 王韧, 付卫东, 等. 农达对水葫芦象甲的影响. 中国生物防治, 1998, **14**(4):152~154.
- [68] 丁建清, 王韧, 付卫东, 等. 化学除草剂对恶性杂草水葫芦的控制效果. 植物保护学报, 1998, **25**(4):373~374.
- [70] 丁建清, 付卫东, 吴云. 杠板归天敌昆虫群落的研究. 昆虫学报(增刊), 2000, **43**:204~206.
- [83] 中国国家环境保护总局. 2002 年环境状况公报. 生物多样性, 2003 年 6 月 5 日.