

中国农业生态系统外来种入侵及其管理现状

强 胜^{1*} 陈国奇¹ 李保平² 孟 玲²

1 (南京农业大学杂草研究室, 南京 210095)

2 (南京农业大学植物保护学院, 南京 210095)

摘要: 农业生态系统极易遭受外来生物入侵。作者根据文献资料和多年工作观察统计出入侵我国农业生态系统的外来生物共计92科175属239种, 其中植物155种, 动物55种, 微生物29种, 植物多为有意引入后逸生, 而动物和微生物则主要是无意引入。外来入侵种发生数量呈现从南到北、从东到西逐渐减少的趋势。这些入侵种中, 来源于美洲的最多(占45.04%), 其次是欧洲(22.90%); 菜地(包括温室大棚)和果园入侵种最多, 分别达64.85%和66.53%, 而半年期的秋熟旱地和夏熟旱地分别占34.31%和23.85%。其中17种外来杂草、10种害虫、7种病原菌为恶性有害生物, 应作为防除的重点目标。目前农业生态系统外来入侵物种的控制以化学防治为主, 但由于长期施用化学农药, 在侵入我国农田的入侵种中, 已有51种在世界不同地区演化出抗药性生物型, 因而需重视生物防治、农业和生态防治以及检疫等的综合应用。今后外来种对农业生态系统的入侵格局、机制和趋势, 入侵途径以及生物入侵和抗药性生物型对农业生态系统中有害生物群落演替的影响、转基因作物导致的生物入侵等问题值得关注。

关键词: 入侵种发生数量, 原产地, 抗药性, 化学防治, 生物防治

Invasive alien species in Chinese agricultural ecosystems and their management

Sheng Qiang^{1*}, Guoqi Chen¹, Baoping Li², Ling Meng²

1 Weed Research Laboratory, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095

2 College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095

Abstract: Agricultural ecosystems are vulnerable to biological invasions. There are a total of 239 invasive alien species in a variety of agricultural ecosystems in China. Among them, 155 species are plants, 55 are animals and 29 are microbes. The number of invasive alien species decreases from south to north, and from east to west in China. Invasive alien plant species are generally introduced intentionally, while animals and microbes are mainly unintentionally introduced. Among these invaders, 45.04% have a geographical origin in the Americas, 22.90% in Europe, and 16.41% in Asia. Of these species, 64.85% and 66.53% occur in vegetable gardens (including greenhouses) and orchards, respectively, while 34.31%, 23.85% and 6.28% occur in summer-harvested crop dry land, autumn-harvested crop dry land and paddy field, respectively. Among these 239 invaders, 17 plant species, 10 animals and 7 microbes are noxious pests which, we feel, deserve closer management attention. Currently, chemical control is the principal approach to managing these species in agricultural ecosystems. However, long-term application of pesticides has led to pesticide resistance in some invasive species, with 51 of the 239 invasive alien species reported as exhibiting pesticide-resistant populations worldwide. Therefore, more attention should be paid to management which integrates biological control, ecological measures, agronomic means and quarantine. We suggest that research into the following issues would be fruitful: patterns and mechanisms of and trends in biological invasions in agricultural ecosystems, origin sources and invasion pathways, influences of biological invasions and pesticide resistance on successions of pest communities, and biological invasions caused by transgenic crops.

收稿日期: 2010-06-07; 接受日期: 2010-06-29

基金项目: 国家基础研究(973)项目(2009CB119200)和国家公益性行业科研专项(200709017)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: qiangs@njau.edu.cn; wr@njau.edu.cn

Key words: richness of invasive alien species, native range, pesticide resistance, chemical control, biological control

农业生态系统中的外来种入侵是指外来种在自然分布区以外的农业生态系统中存活、繁殖并建立可持续种群,并直接或间接危害到作物生产的生物学现象(Williamson & Fitter, 1996)。农业生态系统中植物群落结构通常较为简单,稳定性较低,容易受到病虫害的影响。由于生物入侵主要由人为活动导致(Winter *et al.*, 2010),因此,作为受人类影响最频繁和最直接的农业生态系统,也最容易遭受外来生物入侵,可能是入侵种最多的生态系统。

此外,农田生态系统又是人类精心维持的生态系统,经济价值最高,因而入侵物种带来的经济损失也最大。但长期以来人们对外来生物的研究总体上更偏重非农业生态系统,而对农业生态系统关注不够;而且,人们更为重视外来有害动物和微生物对农业生态系统的入侵,而对外来植物入侵关注相对较少。

随着全球化进程加快,外来种入侵在全世界范围内对各种各样的农业生态系统造成的危害日益严重。一方面,大量现有的入侵种正在不断扩散和爆发(Qiang, 2005; Weber & Li, 2008; van Kleunen *et al.*, 2009; Pysek *et al.*, 2010);另一方面,新的杂交种(Moody & Les, 2007; Gaskin *et al.*, 2009; Olson *et al.*, 2009)、抗性种群和生态型不断出现(APRD, 2010; FRAG, 2010; HRAC, 2010)。为明确生物入侵在农业生态系统中的严重性,我们拟通过对现有资料的收集和整理,分析我国农业生态系统入侵种种类、入侵状况以及管理现状,从而为农业生态系统外来入侵物种的有效治理提供重要依据。

1 数据来源及统计分析

根据徐海根和强胜(2004)、万方浩等(2005)编目的外来入侵种名录,以及作者所在实验室多年研究工作的积累,筛选出已入侵至我国农业生态系统的物种名录(附录I)。同时,根据原始信息收集这些农业生态系统入侵种的拉丁名、科名、传入时间、引入方式、原产地、危害的农田生境类型、危害时间及发生的省份。对于在原始资料中缺失的信息,我们在网络上(主要包括学术期刊网、百度搜索、Google搜索)广泛检索,尽可能补充完整。

其中微生物抗性物种名录的确定参考FRAG(2010),动物抗性入侵种名录参考APRD(2010),植物抗性生态型名录参考HRAC(2010)。此外,小家鼠和褐家鼠的抗药性参考孙毅等(2004)。

采用SPSS17.0统计软件进行回归分析,主要采用Excel 2007和ArcGIS 9.3作图。

2 中国农田生态系统外来入侵种入侵状况

2.1 种类组成

当前我国农田入侵种共计239种,涉及92科175属,其中植物入侵种最多,约占65%,动物、微生物入侵种数相对较少(表1)。植物入侵种的科、属分布比动物和微生物更加集中,尤其是种/科的值达5.17,而动物和微生物入侵种的种/科值都不到1.5,这意味着很可能尚有大量的潜在近缘种可能会侵入我国。因为同科或同属近缘种往往具有相似的生物学性状或生活习性,因而,近缘种也往往具有更相似的生态分布范围、适应特征以及传播扩散机制。

2.2 分布状况

以中国省级行政区农业生态系统为单位,将入侵植物种数分别与动物和微生物种数进行相关性分析,结果表明各地区动物入侵种数($P < 0.001$)、微生物入侵种数($P = 0.008$)均与植物入侵种数显著相关(图1B)。植物引入是基础并且多数是有意的(强胜和曹学章, 2000; Weber *et al.*, 2008),而昆虫和病菌可能伴随植物的引进而被无意引进。但入侵植物与入侵昆虫和病原菌的关联程度需要更多的研究。随着生物入侵和相关研究的深入,根据植物入侵种

表1 中国农田生态系统入侵种及其科属分布统计
Table 1 Number of invasive species, genera and families in Chinese agricultural ecosystems

类群 Group	动物 Animal	微生物 Microbe	植物 Plant	总计 Total
种 Species	55	29	155	239
属 Genus	49	24	102	175
科 Family	38	24	30	92
种/属 Species/genus ratio	1.12	1.21	1.52	1.37
种/科 Species/family ratio	1.45	1.21	5.17	2.60

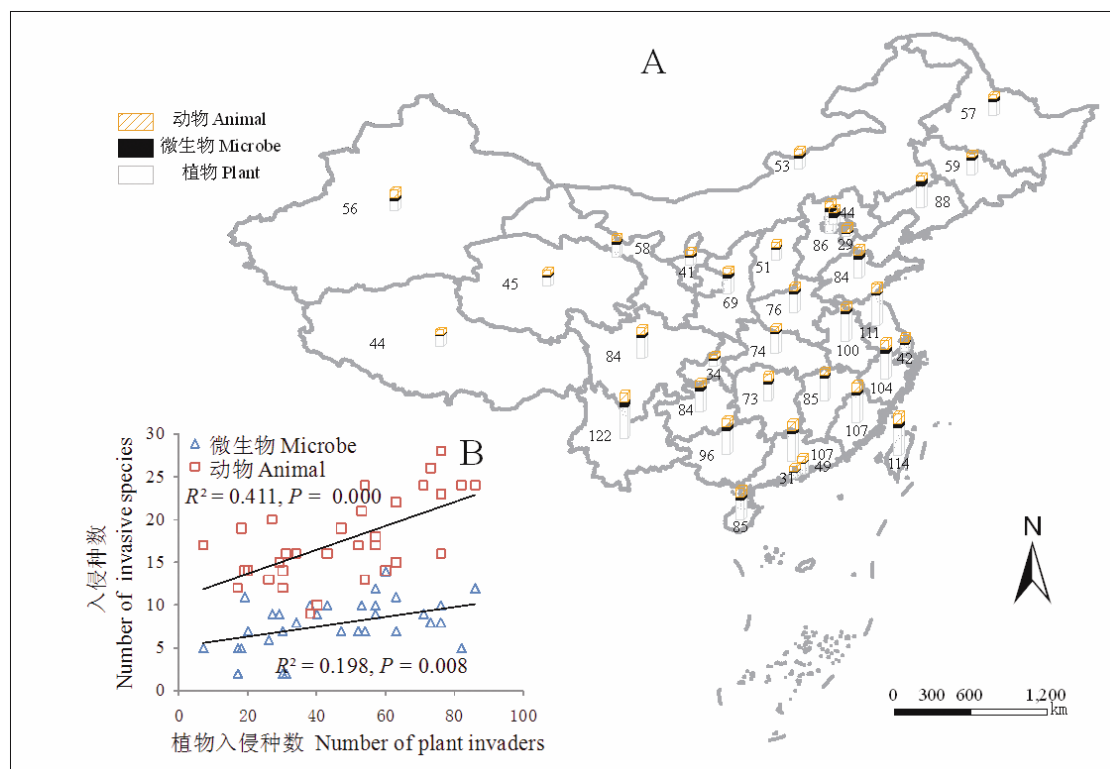


图1 中国省级行政区农业生态系统入侵种数统计。A图中数字表示各省级行政区总入侵种数, B图为各地植物入侵种与动物和微生物入侵种数的线性回归。

Fig. 1 Number of invasive species in agricultural ecosystems in Chinese provincial districts (A) and relationships between species numbers of plant invaders and animal and microbe invaders (B).

数来预测动物和微生物入侵种数可能具有一定的参考价值。

我国省级行政区入侵种分布清楚显示, 外来入侵种类数由从南到北、从东到西逐渐减少。这一分布趋势与气候多样性决定的农田类型多样性、作物种类多样性、对外交流频繁程度、农田面积和社会经济发展水平有关。在34个省级行政区中, 入侵种数最多的是云南省(122种), 这与云南省的气候、地貌等多样性以及对外交往较为频繁等因素密切相关(Lin *et al.*, 2007); 其他超过100种的省区还有台湾(114种)、江苏(111种)、广东(107种)、福建(107种)、浙江(104种)和安徽(100种)。这些省区除云南省外都分布在我国南部和东部陆地区域, 并且除了江苏和安徽省的部分地区外, 全都分布在我国热带和亚热带区域。而我国北方和西部入侵种数较少, 尤其是内陆边界地区, 如吉林(59种)、黑龙江(57种)、内蒙古(53种)、甘肃(58种)、新疆(56种)、西藏(44种)。各直辖市和特别行政区因面积较小而种类相对较少。总体上看, 农业生态系统入侵种种类数

分布情况与我国总的外来入侵种地域分布规律一致(Lin *et al.*, 2007; Weber *et al.*, 2008)。

2.3 传入时间分析

入侵种传入时间分析(图2)表明, 50%以上的入侵种都是1919年后入侵我国的, 尤其是动物和微生物。在1840年前传入我国的入侵种很少, 部分原因在于古代物种入侵史研究资料不足。19世纪以来, 西方列强对我国进行了多次殖民侵略, 殖民者在其所到之处大量栽培引进植物, 因此入侵种中植物更多(Winter *et al.*, 2010)。20世纪中叶新中国成立后, 随着科学以及经济贸易的发展, 物种的引种活动, 对外来种的记载和研究活动增多, 因而入侵种的引入或发现时间记录在这个时期较为集中(Lin *et al.*, 2007)。这些都与外来植物大多以有意引入方式导致入侵的结论相一致(Lin *et al.*, 2007; Ding *et al.*, 2008), 同时也反映了随着国际交往增多, 外来种入侵事件的发生越来越频繁(强胜和曹学章, 2000; Lin *et al.*, 2007; Winter *et al.*, 2010)。

另外值得注意的是, 古丝绸之路可能是古代外

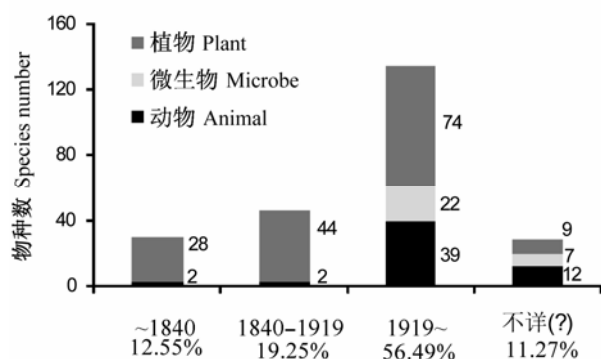


图2 中国农业生态系统入侵种传入时间(年代)分析。注：图中数字表示相应的物种数。
Fig. 2 Introduction time (year) of invasive species in Chinese agricultural ecosystems

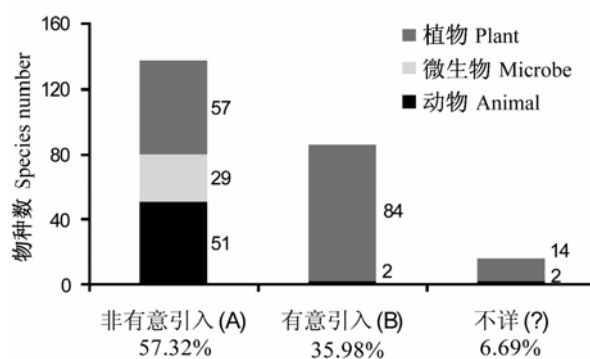


图3 中国农业生态系统入侵种引入方式
Fig. 3 Introducing means of agricultural invasive species in China, i.e. (A) intended introduction, (B) unintended introduction, and (?) unknown.

来杂草传播的主要通道,导致一些种类的侵入年代也可能会相对集中。有记载的紫苜蓿(*Medicago sativa*)就是西汉时期张骞出使西域带回的;魏会廷等(2008)利用分子标记技术揭示出节节麦(*Aegilops tauschii*)也是那一时期经过类似的途径从伊朗传入的。

2.4 入侵途径分析

几乎所有入侵种的引入都与人类活动直接或间接相关。除了少数经由边境扩散蔓延入侵,如紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)的子实从中缅边境随风传入我国云南南部,绝大多数均通过有意引种、贸易裹挟等引入,如美国白蛾(*Hyphantria cunea*)是二战期间随军用物资从美国扩散而来,1979年首次在辽宁省丹东地区发现,之后迅速扩散(李淑贤等, 2009)。而紫茎泽兰最初又是由欧洲人引入泰国,之后扩散到缅甸的(Sang *et al.*, 2010)。总之,多数(57.32%)入侵种是非有意引入的,尤其是微生物和动物入侵种(图3)。

然而,值得关注的是,植物入侵种中54%为有意引入,无意引入的仅占37%,因此,须特别审慎地对待植物的引进和栽培(Williamson & Fitter, 1996; 强胜和曹学章, 2000; Weber *et al.*, 2008; 陈国奇等, 2009)。

2.5 入侵种的来源

中国农业生态系统入侵种来源于世界各大洲(图4)。来自美洲的占45.04%,几乎相当于其他各洲之和,入侵植物中来自美洲的比例更是高达55.03%;其次是欧洲,占22.90%,之后是亚洲其他

地区和非洲,分别占16.41%和6.87%,大洋洲的最少,仅6种。分析其原因:一方面北美与中国有着类似的气候环境和生物区系,两地区的物种互相迁移后能够很快适应当地的生境,增加定植(殖)的机会(Guo, 1999; 强胜和曹学章, 2000; Weber *et al.*, 2008; Weber & Li, 2008);另一方面中美贸易往来越来越频繁,不仅直接加速物种的交换,更会在贸易的过程中增加物种有意无意引入的机会(Lin *et al.*, 2007; Weber & Li, 2008),如假高粱(*Sorghum halepense*)是20世纪70年代夹杂在美洲国家的进口粮食中传入的(强胜和曹学章, 2000)。此外,自从工业革命以来,人类活动打破了亚洲与美洲的地理隔离,大量的美洲生物引入我国并被记录下来,而对于与我国没有地理阻隔的欧洲而言,外来种的侵入可能在有史料记载前就发生了,例如农田杂草常见的繁缕(*Stellaria media*)(最早的化石被发现于欧洲)(Holzner & Numata, 1982)、遏蓝菜(*Thlaspi arvense*)、芝麻菜(*Eruca sativ*)和离子草(*Chorispora tenella*)等很难确知其来源地。

2.6 发生状况

从不同生境来看,菜地和果园的入侵种数最多,分别占总入侵种数的64.85%和66.53%(图5)。这可能与蔬菜和果树的生境特点有关:果树是多年生植物,蔬菜虽为短季作物,但常连茬种植,从而为外来生物的定植(殖)提供了有利生境。其次为秋熟旱地和夏熟旱地,入侵种分别占34.31%和23.85%,这与它们发生时间均为半年有关。秋熟旱地的入侵

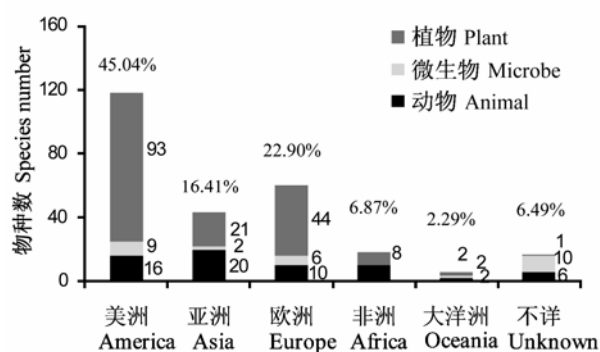


图4 中国农业生态系统入侵种原产地分析

Fig. 4 Geographical origin of invasive species in Chinese agricultural ecosystems.

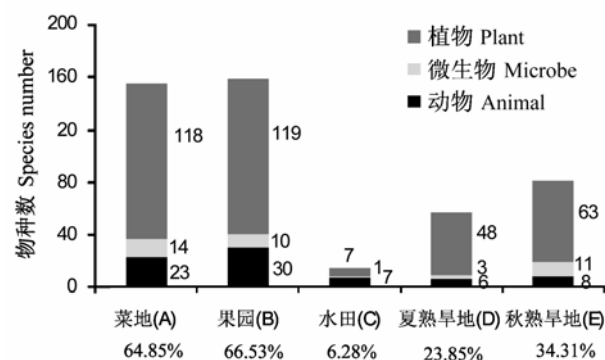


图5 中国农业生态系统入侵种危害农田生境分析。由于部分入侵种在多种生境下危害因而各生境下发生危害种的种类数占全部种类数的比例之和超过100%。

Fig. 5 Arable habitats of agricultural invasive species in China. A, Vegetable garden; B, Orchard; C, Paddy field; D, Dry land with summer-harvested crop; and E, Dry land with autumn-harvested crop. As some invasive species occur in several of habitat types, the total percentage of all the five habitat types is beyond 100%.

种数比夏熟旱地多,可能是由于夏季的高温高湿条件为外来种的入侵准备了更为有利的条件。水田生境的特殊性导致入侵种类数最少。

植物入侵种中,44%危害夏熟作物(图6),33%危害秋熟作物,23%全年发生危害;而82%的动物入侵种和42%的微生物全年发生危害,45%的微生物入侵种危害秋熟作物。微生物入侵种的危害在水田和夏熟旱地中相对较轻,可能是特殊的水环境和夏熟作物生长的冬春季节温度较低而不利于外来病害的发生。

与非农业或自然生态系统相比,农业生态系统

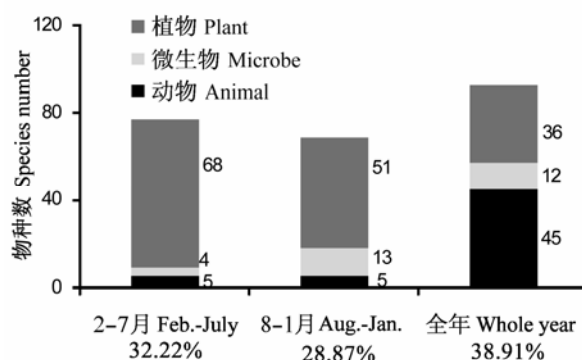


图6 中国农业生态系统入侵种主要发生时期分析。2-7月爆发的入侵种主要危害夏熟作物;而8月至次年1月爆发的入侵种主要危害秋熟作物;而在3-11月均能爆发危害的入侵种归入全年危害类型。

Fig. 6 Main occurring period of agricultural invasive species in China. Feb.-July: mainly threatening crops harvest in summer; Aug.-Jan.: mainly threatening crops harvest in Autumn; and whole year: mainly occurring in March to November.

入侵植物种类以一年生(主要危害秋熟旱作物)和越年生(主要危害夏熟作物)为主,而多年生入侵植物种类较少。除了多年生的空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)凭借其发达的营养繁殖而成功入侵农业系统外(Pan *et al.*, 2006),加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)、紫茎泽兰、飞机草(*Eupatorium odoratum*)等为我国非农田生境危害最严重的多年生入侵种,在农业生态系统中的危害是微不足道的,有些仅作为机会杂草在农业生态系统边缘和疏于管理的果、桑和茶园中发生和分布。这可能由于人类频繁的耕作和除草等活动打断了它们生长繁衍的延续性,陈国奇等(2008)的研究表明翻耕条件下外来入侵杂草多为一年生。不过,有些生长周期比作物更长的外来入侵种如小白酒草(*Conyza canadensis*)、苏门白酒草(*C. sumatrensis*)以及菊科一些其他入侵种可以通过持续地在环境或自然生态系统中产生大量子实,经风传入农业生态系统成为杂草,较少受作物耕作周期的影响。

现代大规模设施农业的推行,导致气候限制性因子的影响逐渐减小,许多有害昆虫和植物病害一直在向北扩散蔓延,扩大了发生危害的范围(Ekroos *et al.*, 2010)。南方分布的蔗扁蛾(*Opogona sacchari*)(吕朝军等, 2009)、烟粉虱(*Bemisia tabaci*)(褚栋等, 2009)等喜温害虫入侵塑料大棚及其他园艺设施,造成危害并安全越冬,在适宜条件下逃逸至野

外发生危害,从而显著扩大了分布发生范围。

2.7 危害性

外来种入侵对我国农业生态系统造成巨大的损失。徐海根等(2004)通过对200多种外来种危害性分析和计算表明,外来入侵对我国造成的直接经济损失每年达198.59亿人民币,其中农业生态系统的直接经济损失为122.14亿,占61.5%。例如,空心莲子草为农田危害最严重的外来入侵种之一,危害水稻、秋熟旱作物(如大豆、玉米、棉花和烟草等)、果园,其地下的根状茎和肉质直根较难清除,发生严重的田块可致作物颗粒无收(李扬汉, 1998; 徐海根和强胜, 2004; 万方浩等, 2005)。空心莲子草在我国的发生分布和危害范围南从整个华南,北至华北平原地区,东从华东直至西南的广大区域(李扬汉, 1998; 李振宇和解焱, 2002; 徐海根和强胜, 2004; 林金成和强胜, 2006; Pan *et al.*, 2006)。目前最有效的防除手段仍然是化学防除,且仅有草甘膦、氯氟吡氧乙酸、2甲4氯、麦草威等少数化学除草剂有效(李振宇和解焱, 2002; 徐海根和强胜, 2004; 万方浩等, 2005),使用适期受到严格限制(陈燕芳等, 2008)。胜红蓼(*Ageratum conyzoides*)由于种子量大,对很多防除阔叶杂草的除草剂具有天然的耐性,已经成为热带和南亚热带旱作物田、果园、茶园、胶园危害最严重的阔叶杂草之一,并且仍在向北扩散蔓延,现已经入侵到长江流域地区(李扬汉, 1998; 徐海根和强胜, 2004; 郝建华和强胜, 2005)。假臭草也具有类似特性,也正在向北扩散(吴海荣等,

2008)。

根据外来入侵种危害的广泛性、严重性和控制难易程度,将其分为恶性、区域恶性、常见和一般性外来有害生物。从表2可以看出,入侵到我国农田生态系统的外来恶性杂草有8种,区域性恶性杂草有9种(李扬汉, 1998, 强胜和李扬汉, 1990; 强胜和曹学章, 2001; 李扬汉, 1998; 李振宇和解焱, 2002; 徐海根和强胜, 2004; 万方浩等, 2005),外来恶性昆虫主要有12种(李振宇和解焱, 2002; 徐海根和强胜, 2004; 万方浩等, 2005),外来恶性病原菌主要有6种(李振宇和解焱, 2002; 徐海根和强胜, 2004; 万方浩等, 2005)。

3 农田外来入侵生物的控制

3.1 化学防治

农田生态系统外来生物防治主要依赖于化学防治,涉及到几乎所有农药种类。目前,我国使用的除草剂种类有18大类近百种,涉及的作用靶标有14个(张朝贤等, 2009)。杀虫剂有有机磷类(Organophosphates)、有机氯类(Organochlorine)、菊酯类(Pyrethroids)、氨基甲酸酯类(Carbamate)、胂类(Carbazate)、苯甲酰脲类(Benzoylurea)等(Service Ontario Publications, 2009)。杀菌剂有苯基酰胺类(Phenylamide)、苯并咪唑(Benzimidazole)、有机胍类(Guanidines)等(FRAG, 2010)。估计农药总量中40%的除草剂、30%的杀虫剂和20%的杀菌剂是用于防治外来入侵生物。

表2 中国农田生态系统主要的恶性入侵种
Table 2 The main serious invasive species in Chinese agricultural ecosystems

物种名 Species	物种名 Species	物种名 Species
恶性杂草 Serious weed	野老鹳草 <i>Geranium carolinianum</i>	蜜柑大实蝇 <i>B. tsuneonis</i>
空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	假臭草 <i>Eupatorium catarium</i>	瓜实蝇 <i>B. cucurbitae</i>
反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	大狼把草 <i>Bidens frondosa</i>	美国白蛾 <i>Hyphantria cunea</i>
野燕麦 <i>Avena fatua</i>	钻形紫菀 <i>Aster subulatus</i>	二斑叶螨 <i>Tetranychus urticae</i>
大巢菜 <i>Vicia sativa</i>	假高粱 <i>Sorghum halepense</i>	恶性病原菌 Pathogens
胜红蓼 <i>Ageratum conyzoides</i>	节节麦 <i>Aegilops squarrosa</i>	水稻条斑病菌 <i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>Oryzae</i>
一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	恶性昆虫 Serious insect	玉米霜霉病菌 <i>Peronosclerospora sorghi</i>
苏门白酒草 <i>Conyza sumatrensis</i>	烟粉虱 <i>Bemisia tabaci</i>	棉黄萎病菌 <i>Verticillium dahliae</i>
小白酒草 <i>C. canadensis</i>	温室白粉虱 <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	苹果黑星病菌 <i>Venturia inaequalis</i>
区域恶性杂草 Regional serious weed	美洲斑潜蝇 <i>Liriomyza sativae</i>	马铃薯晚疫病病菌 <i>Phytophthora infestans</i>
凤眼莲 <i>Eichhornia crassipes</i>	棉红铃虫 <i>Pectinophora gossypiella</i>	大豆孢囊线虫 <i>Heterodera glycines</i>
波斯婆婆纳 <i>Veronica persica</i>	稻水象甲 <i>Lissorhoptrus oryzophilus</i>	
王不留行 <i>Vaccaria segetalis</i>	桔小实蝇 <i>Bactrocera dorsalis</i>	

长期应用大量化学农药不仅带来严重的环境问题(许多农药是环境激素, 对非靶标生物的影响明显), 还导致了外来生物抗药性的形成及演化(图 7)。在我国农业生态系统 239 种入侵种中, 已经有 51 种在世界不同地区报道有抗药性生物型(biotype)形成。其中, 外来植物达 29 种, 动物 19 种, 微生物 3 种。从抗药性演化占各类别外来入侵种的比例看, 外来动物最多, 占外来动物总数的 34.55%, 外来植物次之为 18.71%, 微生物占 10.34%。我国已经明确报道的产生抗药性的入侵种有 14 种, 仅次于美国和加拿大。已经在世界其他地区报道有抗性的入侵种, 在中国演化出抗性只是时间问题。或许有些生物型已经演化出抗性, 只是还没有被发现。此外, 外来入侵种演化出对 2 种或 2 种以上农药产生抗性的比例明显较高, 占有抗性生物型总数的 1/3。其中, 动物比例最高, 其次为植物(图 7)。

3.2 生物及生态防治

用生物手段控制外来入侵种, 已有许多成功案例, 利用的天敌生物包括了动物、植物和微生物,

特别是在非农田环境以及自然环境中(van Driesche, 2009)。

我国最早于 1909 年先后自美国引进两批澳洲瓢虫(*Rodalia cardinalis*)到台湾, 成功控制了柑橘吹绵蚧(*Icerya aegyptiaca*)的为害, 随后逐渐推广到滇、黔、浙、鄂、湘、桂、陕、闽、豫等省(区)(张格成, 1994)。此后又先后引进孟氏隐唇瓢虫(*Cryptolaemus montrozieri*)防治粉蚧(*Pseudococcus* spp.) (刘崇乐, 1965), 日光蜂(*Aphelinus mali*)防治苹果绵蚜 (*Eriosoma lanigerum*)(龙承德等, 1960), 丽蚜小蜂(*Encarsia formaosa*)防治温室粉虱(*Trialeurodes vaporariorum*)(章玉苹等, 2009), 西方盲走螨(*Metaseiulus occidentalis*)和智利小植绥螨(*Phytoseiulus persimilis*)防治叶螨(方小端等, 2008), 花角蚜小蜂(*Coccobius azumai*)防治松突园蚧(*Hemiberlasia pitysophila*), 椰甲截脉姬小蜂(*Ascecodes hispinarum*)防治椰心叶甲(*Brontispa longissima*) (王小艺和杨忠岐, 2010), 球孢白僵菌(*Beauveria bassiana*)防除红火蚁(王龙江等, 2010), 苏云金芽孢杆菌

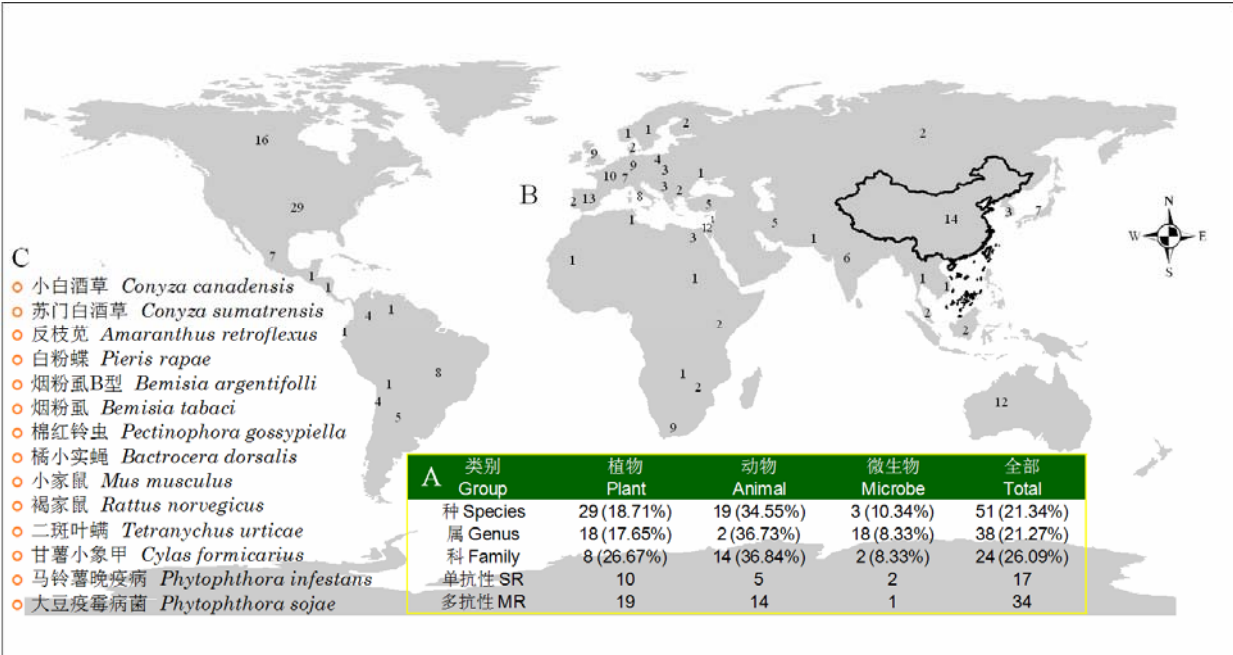


图7 中国农业生态系统239种入侵种中有报道出现抗药性生物型的物种统计分析。(A)抗药性生物型所涉及的物种、属、科以及抗性情况(单抗性表示对一类农药具有抗性; 多抗性表示对多类农药具有抗性); (B)发现上述抗性物种的地区及相应的物种数; (C)中国发现抗药生物型的农业生态系统入侵种。

Fig. 7 Number of species with pesticide resistant biotypes among 239 invasive species. (A) Number of species, genus and family (the proportions from the relative group of Chinese agricultural invasive species are shown in parentheses). SR means resistance to a single group of pesticide, while MR multi-resistance to more than one groups of pesticides. (B) Number of species in different countries; (C) List of the species reported as exhibiting pesticide-resistant biotypes in China.

(*Bacillus thuringiensis*)防治鳞翅目入侵害虫(黄衍章等, 2010)等, 均取得了较好的效果。我国利用本土周氏啮小蜂(*Chouioia cunea*)防治入侵的美国白蛾, 也取得了较好的控制效果(乔鲁芹等, 2009)。

我国曾经引入约20种天敌用于防治入侵杂草, 如泽兰实蝇(*Procecidochares utilis*)(李爱芳等, 2006)和飞机草菌绒孢菌(*Mycovellosiella eupatoriio-odorati*)对紫茎泽兰(郭光远等, 1992), 莲草直胸跳甲(*Agasicles hygrophila*)控制空心莲子草(马瑞燕等, 2003), 豚草条纹叶甲(*Zygogramma suturalis*)(关广清, 1987)和豚草卷蛾(*Epiblema strenuana*)(戴凤凤等, 2002)针对豚草(*Ambrosia artemisiifolia*), 艳婀珍蝶(*Actinote thalia pyrrha*)对薇甘菊(张玲玲等, 2006), 凤眼莲象甲(*Neochetina bruchi*和*N. eichhorniae*)对凤眼莲(陈志石等, 2007)。其中莲草直胸跳甲控制空心莲子草是较为成功的。此外, 甜菜白带野螟(*Hymenia recurvalis*)对空心莲子草也具有较强的摄食作用(高同军等, 2006); 南京等地区的豚草危害也已经被广聚萤叶甲(*Ophraella communa*)有效控制(孟玲和李保平, 2005)。

利用真菌作为生物除草剂控制空心莲子草也有不少报道(王晓艳等, 2007)。其中用假隔链格孢(*Nimbya alternantherae*)和镰孢菌属控制空心莲子草表现出良好的潜力(陈燕芳等, 2008), 链格孢菌(*Alternaria zinniae*)可以控制紫茎泽兰(Dai et al., 2004)以及加拿大一枝黄花等(李荣金和强胜, 2006)。利用寄生植物菟丝子防治入侵种薇甘菊研究也是一种新的思路(李钧敏等, 2008)。胶胞炭疽菌婆婆纳专化型(*Collectotrichum gloeosporioides* f. sp. *veronicae*)对婆婆纳属的4种外来入侵种具有致病性(曾青和强胜, 2002)。

此外, 农业措施的合理规划和布局在入侵种有效管理中至关重要。农业栽培措施对防治空心莲子草的危害可以发挥重要作用, 重度发生的田块, 直播改移栽, 亦可旱改水以移栽水稻, 可以有效控制其危害。又如实施小麦和油菜轮作可以较好地控制野燕麦、阔叶杂草如婆婆纳属、野老鹳草、大巢菜等危害和蔓延(魏守辉等, 2006; 李儒海等, 2008)。

3.3 检疫管理和入侵种资源化

加强植物检疫控制外来种随进口货物(特别是农产品携带)进入对控制外来生物入侵农业生态系统十分重要。假高粱(王建书和李扬汉 1995)、刺苍

耳(*Xanthium spinosum*)(赵利清等, 2006)、瓜实蝇(欧剑峰等, 2008)、桔小实蝇(陈连根等, 2010; 章玉苹等, 2009)、烟粉虱(万方浩等, 2009)、蔗扁蛾(吕朝军等, 2009)、美洲斑潜蝇(庞保平等, 2004)以及大多数植物病原菌均是随进口农产品而无意引进的。2007年颁布的新的入境检疫有害生物名录中包括了146种(属)昆虫、6种软体动物、20种线虫、125种真菌、58种细菌、39种病毒或类病毒、41种属杂草, 其中绝大多数是已经入侵或可能入侵农业生态系统的外来有害生物。这显然在控制或至少在延缓这些有害生物的入侵中起到了重要作用。但是, 这份名单还不足以杜绝外来有害生物的入侵(徐海根和强胜, 2004; 万方浩等, 2005)。外来有害生物远多于当前的名录(徐海根和强胜, 2004), 由于信息交流或科学研究方面的局限性, 许多新的外来有害生物还没有被认识, 特别是许多外来有害植物是被作为有用植物引进而逃逸成为有害生物的(Xu et al., 2006; Weber et al., 2008)。因此, 建立外来生物入侵风险评价体系, 特别是外来植物引种驯化的风险性评价制度十分必要。这应该包括建立科学合理的评价技术体系、决策体系和管理体系(Pheloung et al., 1999; van Kleunen et al., 2009; Chen et al., 2010)。各国需要进一步加强外来有害生物入侵机制的研究, 并建立全球的研究协调和信息共享机制, 为科学地制订更广泛的潜在外来有害生物名录及其有效管理提供科学依据(Weber & Li, 2008)。

实现入侵种的有效资源化是控制其危害的另一重要途径。如克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)、非洲蜗牛、福寿螺等作为食物受到普遍欢迎(杨友桃和唐迎秋, 1992)。另外, 福寿螺还可作为水产动物的饲料(孙志坚等, 2009)。又如, 在果园中种植胜红蓟, 利用其化感作用特性可控制果园草害和病害(胡飞等, 2002); 凤眼莲、空心莲子草等可作为有机肥料、生物燃料等; 紫茎泽兰、加拿大一枝黄花也正被利用来制作纤维板和沼气等; 紫茎泽兰、加拿大一枝黄花、一年蓬(*Erigeron annuus*)的秸秆可以作为培养食用菌的基料(陈若霞等, 2008)。

利用外来入侵植物的代谢物或提取物来防治农田有害生物已有不少报道, 例如紫茎泽兰、加拿大一枝黄花、胜红蓟、薇甘菊、假臭草、小白酒草、苏门白酒草、一年蓬、黄顶菊(*Flaveria bidentis*)、辣子草(*Galinsoga parviflora*)、南美蟛蜞菊(*Wedelia*

trilobata)、土荆芥(*Chenopodium ambrosioides*)、小花山桃草(*Gaura parviflora*)、月见草(*Oenothera erythrosepala*)、野胡萝卜(*Daucus carota*)、波斯婆婆纳(*Veronica persica*)、马缨丹(*Lantana camara*)等(Sun *et al.*, 2006; 全国明等, 2009)。

外来入侵种在植物育种中也可以加以利用。如节节麦是六倍体普通小麦的祖先种之一(D染色体组的供体种), 其优质基因的利用对小麦育种有很大贡献, 通过直接杂交和人工合成四倍体小麦—节节麦人工合成的方法已将大量节节麦优良性状基因转育到普通小麦中, 如抗条锈基因、抗白粉病基因、抗穗发芽基因、抗蚜虫基因、抗秆锈基因、抗叶锈基因、抗黑森瘿蚊基因、抗蚜虫基因、抗根结线虫性状基因、抗叶枯病性状基因、抗印度腥黑穗病性状基因以及高分子谷蛋白亚基基因等(杨武云等, 1999)。又如, 黄顶菊可能就是作为育种的种质资源材料被引进而扩散蔓延开来的(高贤明等, 2004)。

4 研究展望

农业生态系统是最易受外来生物入侵的生境, 因此, 研究外来入侵种在农业生态系统的入侵格局、机制、规律和趋势, 并探索防治其危害的有效安全的方法是我们面临的长期而艰巨的任务。

(1)随着社会经济建设、城市化、交通、现代农业等的发展, 不断有新的外来物种或者外来生物种群侵入我国农田。并且随着全球化的深入, 这一现象越来越严重。设施农业为外来种在较低温地区的入侵提供了避难所, 增加了外来入侵问题的复杂性; 全球气候变暖也使得入侵种分布范围进一步扩大。外来种入侵加速了农田生态系统有害生物种群的演替。因而加强对世界范围内农业生态系统危害种相关信息的追踪, 积极展开合作和交流, 及早预警并做好相关的检疫和防范措施至关重要。在入侵种检疫和预防工作中, 关注的重点除了有害物种水平外, 对一些恶性危害的杂交种以及入侵性较高的外来种群(生物型)需要格外关注, 因为杂交种和生物型更容易躲过相关的检疫和预防体系。此外, 对于一些新入侵种以及新的高危害种群(生物型)发生和扩散动态的监测同样不可忽视。

(2)本文所提出的我国农业生态系统中的外来入侵种名录远不完全。一方面, 许多农业有害生物

种类可能在自古至今的长期国际交往过程中造成入侵, 由于记载资料缺乏也已无从考证。所幸的是, 现代分子生物学技术提供了考察生物来源和演化的有力工具, 可能会揭示更多的源自欧洲和西亚的我国农业生态系统入侵种。与此同时, 分子生物学技术也有助于揭示许多栽培植物的起源与演化, 从而为探索危害种与作物在起源和进化中的关系的研究带来契机。另一方面, 我国各个地区、各种作物以及耕作、栽培模式下的详细的入侵种名录(包括物种、原产地、发生及危害的格局和规律、防除方案)尚不完整。这给制定针对性的防控和管理策略体系造成障碍。

(3)转基因作物也被认为是人造“外来种”。转基因作物大面积栽培导致作物品种和栽培模式甚至景观格局短期内迅速单一化, 遗传基因同质化(含有抗性基因), 进而导致品种生物多样性减少、耕作模式单一等, 削弱人类应对自然挑战和环境问题的能力 and 潜力。其次, 转基因抗性作物的大面积栽培导致非靶标病虫害加重, 或抗药性生物型演化。例如, Lu等(2010)报道了中国大规模种植转基因抗虫棉导致盲蝽象(Heteroptera: Miridae)大爆发; 在阿根廷, 抗草甘膦假高粱(*Sorghum halepense*)生态型危害越来越重(Binimelis *et al.*, 2009)。再则, 抗性基因可能随着野外的自然杂交漂移到非作物生物中而造成新的恶性危害种, 例如Song等(2010)的研究表明, 转基因抗除草剂油菜(*Brassica napus*)的抗性基因可能会漂移至野芥菜(*B. juncea* var. *gracilis*)中。总之, 我国自主研发转基因作物的过程中, 相关的安全问题应该得到充分的重视和跟踪监测, 并应配备有多元化的危害防控方案。

(4)外来生物入侵农业生态系统, 引起传统植保工作的难度增加。长期化学农药的大量重复使用, 使外来有害生物的抗药性种群演化, 更加剧了防除的困难。监测外来有害生物的抗药性成为一项新的艰巨任务。同时应探索多元化的耕作栽培模式, 减少化学农药使用量。

参考文献

- APRD (2010) *Arthropod Pesticide Resistance Database*. <http://www.pesticideresistance.org/>. html(2010-4-26)
- Binimelis R, Pengue W, Monterroso I (2009) “Transgenic treadmill”: responses to the emergence and spread of glyphosate-resistant johnsongrass in Argentina. *Geoforum*, 40, 623–633.

- Chen GQ, Guo SL, Yin LP (2010) Applying DNA C-values to evaluate invasiveness of angiosperms, validity and limitation. *Biological Invasions*, **12**, 1335–1348.
- Chen GQ (陈国奇), Guo SL (郭水良), Yin LP (印丽萍) (2008) Canonical correspondence analysis of relationship between botanical characters of exotic weeds and their environmental factors. *Journal of Zhejiang University* (浙江大学学报), **34**, 571–577. (in Chinese with English abstract)
- Chen GQ (陈国奇), Li ML (李明丽), Guo SL (郭水良), Yin LP (印丽萍) (2009) What attributes correlate with invasiveness of herbaceous angiosperms in Jiangsu, Zhejiang and Shanghai? *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **29**, 5145–5155. (in Chinese with English abstract)
- Chen LG (陈连根), Zhu CG (朱春刚), Xia XN (夏希纳) (2010) A preliminary study on the biological characters of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in Shanghai area. *Acta Agriculturae Shanghai* (上海农业学报), **26**, 99–101. (in Chinese with English abstract)
- Chen RX (陈若霞), Wang YJ (王扬军), Chai WG (柴伟钢), Yao HY (姚红燕), Chen JH (谌江华) (2008) Cultivating mushroom with the chapping of *Solidago canadensis* plants. *Edible Fungi* (食用菌), (1), 23–24. (in Chinese)
- Chen YF (陈燕芳), Guo WM (郭文明), Ding JL (丁吉林), Cheng GH (程光辉), Ding W (丁伟) (2008) Review of biological control of *Alternanthera philoxeroides*. *Weed Science* (杂草科学), (1), 9–12. (in Chinese)
- Chen ZS (陈志石), Wu JL (吴竞仑), Li G (李贵) (2007) Biocontrol of *Eichhornia crassipes* by *Nechetina bruchi* and *N. eichhorniae*. *Weed Science* (杂草科学), (3), 27–29. (in Chinese)
- Chu D (褚栋), Zhang YJ (张友军), Gao CS (高长生), Liu GX (刘国霞) (2009) Validity of microsatellite loci BEM06 and BEM23 to differentiate *Bemisia tabaci* biotypes B and Q (Hemiptera, Aleyrodidae). *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), **52**, 1390–1396. (in Chinese with English abstract)
- Dai FF (戴凤凤), Zhou ZH (周早弘), He YG (何尤刚), Jiang ZF (江灶发) (2002) Preliminary investigation on occurrence law of *Epiblema strenuana*: a natural enemy of *Ambrosia artemisiifolia*. *Acta Agriculturae Jiangxi* (江西农业科学), **14**, 69–72. (in Chinese with English abstract)
- Dai XB, Chen SG, Qiang S (2004) Effect of toxin extract from *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler on leaf photosynthesis of *Eupatorium adenophorum* Spreng. *Acta Phytopathologica Sinica* (植物病理学报), **34**, 55–60.
- Ding JQ, Mack RN, Lu P, Ren MX, Huang HW (2008) China's booming economy is sparking and accelerating biological invasions. *BioScience*, **58**, 317–324.
- Ekroos J, Heliola J, Kuussaari M (2010) Homogenization of lepidopteran communities in intensively cultivated agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, **47**, 459–467.
- Fang XD (方小端), Wu WN (吴伟南), Liu H (刘慧), Pan ZP (潘志萍), Guo MF (郭明昉) (2008) Research advances on biological control of *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Chinese Journal of Biological Control* (中国生物防治), **24**, 363–368. (in Chinese with English abstract)
- FRAG (2010) Fungicide Resistance. <http://www.pesticides.gov.uk/rags.asp?id=644>. Html(2010-4-26)
- Gao TJ (高同军), Qiang S (强胜), Zhu YZ (朱云枝), Song XL (宋小玲) (2006) Investigation of biocontrol potential of *Hymenia recurvalis* Fabricius for *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), **34**, 3023–3024. (in Chinese with English abstract)
- Gao XM (高贤明), Tang TG (唐廷贵), Liang Y (梁宇), Zheng TX (郑天翔), Sang WG (桑卫国), Chen YL (陈艺林) (2004) An alert regarding biological invasion by a new exotic plant, *Flaveria bidentis*, and strategies for its control. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 274–279. (in Chinese with English abstract)
- Gaskin JF, Wheeler GS, Purcell MF, Taylor GS (2009) Molecular evidence of hybridization in Florida's sheoak (*Casuarina* spp.) invasion. *Molecular Ecology*, **18**, 3216–3226.
- Guan GQ (关广清) (1987) *Zygogramma suturalis* F. (Coleoptera, Chrysomelidae) a promising biocontrol agent of common ragweed, *Ambrosia artemisiifolia*. *Chinese Journal of Biological Control* (生物防治通报), **3**, 175–178. (in Chinese with English abstract)
- Guo GY (郭光远), Yang YR (杨宇容), Ma J (马俊), Liu Y (刘勇), Xu LH (徐丽华), Jiang CL (姜成林) (1992) Studies on the biological characteristics of *Mycovellosiella eupatorii-odora* (Yen) Yen, a potential pathogen for the biological control of crofton weed, *Eupatorium adenophorum*. *Chinese Journal of Biological Control* (生物防治通报), **8**, 120–124. (in Chinese with English abstract)
- Guo QF (1999) Ecological comparisons between eastern Asia and North America, historical and geographical perspectives. *Journal of Biogeography*, **2**, 199–206.
- Holzner W, Numata M (1982) *Biology and Ecology of Weeds*. Dr. W. Junk Publisher, The Hague, Boston, London.
- HRAC (2010) *International Survey of Herbicide Resistant Weeds*. <http://www.weedscience.org/In.asp.html> (2010)
- Hu F (胡飞), Kong CH (孔垂华), Xu XH (徐效华), Zhou B (周兵) (2002) Inhibitory effect of flavones from *Ageratum conyzoides* on the major pathogens in citrus orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **13**, 1166–1168. (in Chinese with English abstract)
- Huang YZ (黄衍章), Li SG (李世广), Wang ZH (王转红) (2010) The influence of *Bacillus thuringiensis* on the growth and development of *Plodia interpunctella* (Hübner) Larva. *Journal of Huazhong Agricultural University* (华中农业大学学报), **29**, 148–151. (in Chinese with English abstract)
- Li AF (李爱芳), Gao XM (高贤明), Dang WG (党伟光), Huang RX (黄荣祥), Deng ZP (邓祖平), Tang HC (唐和春)

- (2006) Parasitism of *Procecidochares utilis* and its effect on growth and reproduction of *Eupatorium adenophorum*. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **30**, 496–503. (in Chinese with English abstract)
- Li JM (李钧敏), Zhong ZC (钟章成), Dong M (董鸣) (2008) Change of soil microbial biomass and enzyme activities in the community invaded by *Mikania micrantha*, due to *Cuscuta campestris* parasitizing the invader. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **28**, 868–876. (in Chinese with English abstract)
- Li RH (李儒海), Qiang S (强胜), Qiu DS (邱多生), Chu QH (储秋华), Pan GX (潘根兴) (2008) Effects of long-term different fertilization regimes on the diversity of weed communities in oilseed rape fields under rice–oilseed rape cropping system. *Biodiversity Science* (生物多样性), **16**, 118–125. (in Chinese with English abstract)
- Li RJ (李荣金), Qiang S (强胜) (2006) Physiological and biochemical injuries of *Alternaria zinniae* phytotoxins extracted to *Solidago canadensis* leaves. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **26**, 995–1000. (in Chinese with English abstract)
- Li SX (李淑贤), Gao BJ (高宝嘉), Zhang DF (张东风), Ning C (宁超), Qu JL (屈金亮) (2009) Studies of risk assessment of *Hypanthia cunea* (Drury). *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), **25**, 202–206. (in Chinese with English abstract)
- Li YH (李扬汉) (1998) *Weed Flora in China* (中国杂草志). China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Li ZY (李振宇), Xie Y (解焱) (2002) *Invasive Alien Species in China* (中国外来入侵种). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)
- Lin JC (林金成), Qiang S (强胜) (2006) Influence of *Alternanthera philoxeroides* on the species composition and diversity of weed community in spring in Nanjing. *Journal of Plant Ecology (Chinese version)* (植物生态学报), **30**, 585–592. (in Chinese with English abstract)
- Lin W, Zhou G, Cheng X, Xu R (2007) Fast economic development accelerates biological invasions in China. *PLoS ONE* **2**, e1208.
- Liu CL (刘崇乐) (1965) The characteristics and usage of parasitoids. *Bulletin of Biology* (生物学通报), (6), 13–18. (in Chinese)
- Long CD (龙承德), Wang YP (王永佩), Tang PZ (唐品志) (1960) Investigations on the biology and utilization of *Aphelinus mall* Hald., the specific parasite of the woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* Hausm. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), **10**, 1–38. (in Chinese with English abstract)
- Lu YH, Wu KM, Jiang YY, Xia B, Li P, Feng HQ, Wyckhuys KAG, Guo YY (2010) Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science*, **328**, 1151–1154.
- Lü CJ (吕朝军), Zhong BZ (钟宝珠), Qin WQ (覃伟权), Li H (李洪), Wang Z (王智), Peng ZQ (彭正强), Ma ZL (马子龙) (2009) Advances in *Opogona sacchari*. *Subtropical Agriculture Research* (亚热带农业研究), **5**, 116–119. (in Chinese with English abstract)
- Ma RY (马瑞燕), Ding JQ (丁建清), Li BT (李佰铜), Wu ZQ (吴珍泉), Wang R (王韧) (2003) The pupation adaptability of *Agasicles hygrophila* on different ecotypes alligatorweed. *Chinese Journal of Biological Control* (中国生物防治), **19**, 54–58. (in Chinese with English abstract)
- Meng L (孟玲), Li BP (李保平) (2005) Advances on biology and host specificity of the newly introduced beetle, *Ophraella communa* Lesage (Coleoptera, Chrysomelidae), attacking *Ambrosia artemisiifolia* (Compositae) in continent of China. *Chinese Journal of Biological Control* (中国生物防治), **21**, 65–69. (in Chinese with English abstract)
- Moody ML, Les DH (2007) Geographic distribution and genotypic composition of invasive hybrid watermilfoil (*Myriophyllum spicatum* × *M. sibiricum*) populations in North America. *Biological Invasions*, **9**, 559–570.
- Olson A, Paul J, Freeland JR (2009) Habitat preferences of cattail species and hybrids (*Typha* spp.) in eastern Canada. *Aquatic Botany*, **91**, 67–70.
- Ou JF (欧剑峰), Huang H (黄鸿), Wu H (吴华), Liu GQ (刘桂清), Zheng JH (郑基焕), Han SC (韩诗畴), Mo WD (莫伟冬) (2008) Progress of *Bactrocera* (Zeugodacus) Cucurbitae (Coquillett) in China. *Journal of Changjiang Vegetables* (长江蔬菜), **9**, 33–37. (in Chinese with English abstract)
- Pan XY, Geng YP, Zhang WJ, Li B, Chen JK (2006) The influence of abiotic stress and phenotypic plasticity on the distribution of invasive *Alternanthera philoxeroides* along a riparian zone. *Acta Oecologica*, **30**, 333–341.
- Pang BP (庞保平), Bao ZS (鲍祖胜), Zhou XR (周晓榕), Cheng JA (程家安) (2004) Effects of host volatiles, leaf color, and cuticular trichomes on host selection by *Liriomyza sativae* Blanchard. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **24**, 547–551. (in Chinese with English abstract)
- Pheloung PC, Williams PA, Halloy SR (1999) A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *Journal of Environmental Management*, **57**, 239–251.
- Pysek P, Bacher S, Chytrý M, Jarosik V, Wild J, Celestigrapow L, Gasso N, Kenis M, Lambdon PW, Nentwig W, Pergl J, Roques A, Sadlo J, Solarz W, Vila M, Hulme PE (2010) Contrasting patterns in the invasions of European terrestrial and freshwater habitats by alien plants, insects and vertebrates. *Global Ecology and Biogeography*, **19**, 317–331.
- Qiang S (强胜), Li YH (李扬汉) (1990) On the distribution pattern of weed communities of summer crop fields in river valley and hilly lands of Anhui Province. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), **14**, 213–219. (in Chinese with English abstract)
- Qiang S (强胜), Cao XZ (曹学章) (2000) Survey and analysis

- of exotic weeds in China. *Journal of Plant Resources and Environment* (植物资源与环境学报), **9**, 34–38. (in Chinese with English abstract)
- Qiang S (强胜), Cao XZ (曹学章) (2001) Harmfulness of exotic weeds in China and the strategies for their management. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**, 188–193. (in Chinese with English abstract).
- Qiang S (2005) A review of species, source and invasion of exotic weeds in China. In: *Proceedings of the 20th Asian-Pacific Weed Science Society Conference*, pp. 143–150. 7–11 November, 2005. Agricultural Publishing House, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- Qiao LQ (乔鲁芹), Qu LJ (曲良建), Yang ZQ (杨忠岐), Zhang YA (张永安), Guan L (关玲), Yan R (颜容) (2009) Effects of different pesticides on *Chouioia cunea* Yang, an important natural enemy of *Hyphantria cunea* Drury. *Forest Research* (林业科学研究), **22**, 559–562. (in Chinese with English abstract)
- Quan GM (全国明), Zhang JE (章家恩), Xu HQ (徐华勤), Mao DJ (毛丹鹃), Qin Z (秦钟) (2009) Allelopathic effects of different parts of invasive plant *Lantana camara*. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), **25**, 102–106. (in Chinese with English abstract)
- Sang W, Zhu L, Axmacher JC (2010) Invasion pattern of *Eupatorium adenophorum* Spreng in southern China. *Biological Invasions*, **12**, 1721–1730.
- Service Ontario Publications (2009) Fruit Production Recommendations 2008–2009. www.ServiceOntario.ca/publications. Html (2010-4-26)
- Song X, Wang Z, Zuo J, Huangfu C, Qiang S (2010) Potential gene flow of two herbicide-tolerant transgenes from oilseed rape to wild *B. juncea* var. *gracilis*. *Theoretical and Applied Genetics*, **120**, 1501–1510.
- Sun BY, Tan JZ, Wan ZG, Gu FG, Zhu MD (2006) Allelopathic effects of extracts from *Solidago canadensis* L. against seed germination and seedling growth of some plants. *Journal of Environmental Sciences*, **18**, 304–309.
- Sun Y (孙毅), Guo TY (郭天宇), Dong TY (董天义) (2004) Current advances in research on rodent. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides and Equipments* (中华卫生杀虫药械), **10**, 164–167. (in Chinese)
- Sun ZJ (孙志坚), Peng DJ (彭东觉), He HL (贺华良), He A (何蔼), Yang X (杨潇), Qu ZY (曲振宇), Zhan XM (詹希美) (2009) Establishment of an infection model of *Pomacea canaliculata* by *Angiostrongylus cantonensis*. *Journal of Tropical Medicine* (热带医学杂志), **9**, 398–400. (in Chinese with English abstract)
- van Kleunen M, Weber E, Fischer M (2009) A meta-analysis of trait differences between invasive and non-invasive plant species. *Ecology Letters*, **13**, 234–245.
- van Driesche RG, Hoddle M, Center T (2008) *Control of Pests and Weeds by Natural Enemies, an Introduction to Biological Control*, pp. 89–252. Blackwell Publishing, London.
- Wan FH (万方浩), Zheng XB (郑小波), Guo JY (郭建英) (2005) *Biology and Management of Invasive Alien Species in Agriculture and Forestry* (重要农林外来入侵物种的生物学与控制). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wan FH (万方浩), Guo JY (郭建英), Zhang F (张峰) (2009) *Research on Biological Invasions in China* (中国生物入侵研究). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wang JS (王建树), Li YH (李扬汉) (1995) Biological characteristics, distribution, control and usages of *Sorghum halepense*. *Weed Science* (杂草科学), (1), 14–16. (in Chinese)
- Wang LJ (王龙江), Lü LH (吕利华), He YR (何余容), Xie MQ (谢梅琼) (2010) Observation on infection process of *Beauveria bassiana* on cuticle of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera, Formicidae), using scanning electron microscope. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), **53**, 118–124. (in Chinese with English abstract)
- Wang XY (王小艺), Yang ZQ (杨忠岐) (2010) Host adaptations of the generalist parasitoids and some factors influencing the choice of hosts. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **30**, 1615–1627. (in Chinese with English abstract)
- Wang XY (王晓艳), Chen ZY (陈志谊), Liu YF (刘永锋), Li YF (李永丰), Liu YZ (刘邮洲) (2007) Biocontrol efficacy and impact factors of indigenous fungi SF-193 to *Alternanthera philoxeroides*. *Chinese Journal of Biological Control* (中国生物防治), **23**, 243–250. (in Chinese with English abstract)
- Weber E, Li B (2008) Plant invasions in China, what is to be expected in the wake of economic development? *BioScience*, **58**, 437–444.
- Weber E, Sun SG, Li B (2008) Invasive alien plants in China, diversity and ecological insights. *Biological Invasions*, **10**, 1411–1429.
- Wei HT (魏会廷), Li J (李俊), Peng ZS (彭正松), Lu BR (卢宝荣), Zhao ZJ (赵志军), Yang WY (杨武云) (2008) Ancient agricultural technique communication between China and Europe revealed by the study on DNA fingerprints of *Aegilops squarrosa*. *Progress in Natural Science* (自然科学进展), **18**, 987–993. (in Chinese with English abstract)
- Wei SH (魏守辉), Qiang S (强胜), Ma B (马波), Wei JG (韦继光), Chen JW (陈建卫), Wu JQ (吴建强), Xie TZ (谢桐洲), Shen XK (沈晓昆) (2006) Influence of long-term rice-duck farming systems on the composition and diversity of weed communities in paddy fields. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)* (植物生态学报), **30**, 9–16. (in Chinese with English abstract)
- Williamson MH, Fitter A (1996) The characters of successful invaders. *Biological Conservation*, **78**, 163–170.
- Winter M, Kuhn I, La Sorte FA, Schweiger O, Nentwig W, Klotz S (2010) The role of non-native plants and vertebrates in defining patterns of compositional dissimilarity within and across continents. *Global Ecology and Biogeography*, **19**, 332–342.

- Wu HR (吴海荣), Hu XN (胡学难), Zhong GQ (钟国强), Wang DG (王定国), Qiang S (强胜), Zuo RL (左然玲) (2008) Attributes of an invasive weed in China, *Eupatorium catarium*. *Weed Science* (杂草科学), (3), 69–71. (in Chinese)
- Xu HG (徐海根), Ding H, Li MY, Qiang S, Guo JY, Han ZM, Huang ZG, Sun HY, He SP, Wu HR, Wan FH (2006) The distribution and economic losses of alien species invasion to China. *Biological Invasions*, **8**, 1495–1500.
- Xu HG (徐海根), Qiang S (强胜) (2004) *Inventory Invasive Alien Species in China* (中国外来入侵种编目). China Environmental Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Xu HG (徐海根), Wang JM (王健民), Qiang S (强胜), Wang CY (王长永) (2004) *Alien Species Invasion Biosafety Genetic Resources* (外来物种入侵生物安全遗传资源), pp. 118–120. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Yang WY (杨武云), Yu Y (余毅), Yang XR (胡晓蓉), Yang JX (杨家秀), Yan J (颜济), Yang JL (杨俊良), Zheng YL (郑有良) (1999) Exploring useful genes in *Aegilops tauschii* for modern commercial wheat improvement by biotechnology. *Southwest China Journal of Agricultural Science* (西南农业学报), **12**, 19–25. (in Chinese with English abstract)
- Yang YT (杨友桃), Tang YQ (唐迎秋) (1992) Studies on the introduced apple-snail's breed (*Ampullaria gigas*) in Jiuquan, Gansu. *Journal of Northwest Minorities University* (西北民族学院学报), **13**, 71–73. (in Chinese with English abstract)
- Zeng Q (曾青), Qiang S (强胜) (2002) Factors influencing pathogenicity of *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *veronicae* to *Veronica persica*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **13**, 833–836. (in Chinese with English abstract)
- Zhang CX (张朝贤), Ni HW (倪汉文), Wei SH (魏守辉), Huang HJ (黄红娟), Liu Y (刘延), Cui HL (崔海兰), Sui BF (隋标峰), Zhang M (张猛), Guo F (郭峰) (2009) Current advances in research on herbicide resistance. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), **42**, 1274–1289. (in Chinese with English abstract)
- Zhang GC (张格成) (1994) Comparisons of main biological attributes between *Rodolia cardinalis* and *R. rufopilosa*. *Zhejiang Citrus* (浙江柑桔), (4), 7–9. (in Chinese)
- Zhang LL (张玲玲), Han SC (韩诗畴), Li ZG (李志刚), Liu N (刘楠), Li LY (李丽英), Luo LF (罗莉芬), Peng TX (彭统序), Liu WH (刘文惠) (2006) Effects of *Actinote thalia pyrrha* (Fabricius) feeding on the physiological indexes in *Mikania micrantha* leaves. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **26**, 1330–1336. (in Chinese with English abstract)
- Zhang YP (章玉苹), Li DS (李敦松), Zhao YC (赵远超), Huang SH (黄少华), Zhang BX (张宝鑫) (2009) *Aceratoneuromyia indica* (Silvestri), a new recorded species of parasitoid for *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in China and its parasitic efficiency. *Chinese Journal of Biological Control* (中国生物防治), **25**, 106–111. (in Chinese with English abstract)
- Zhao LQ (赵利清), Zang CX (臧春鑫), Yang J (杨劼) (2006) Distribution of a invasive species—*Xanthium spinosum* L. in Inner Mongolia and Ningxia. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMongol* (内蒙古大学学报(自然科学版)), **37**, 308–310. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 丁建清 责任编辑: 周玉荣)

附录I 中国农业生态系统入侵种名录(239种)

Appendix I List of invasive species in agricultural ecosystems of China (totally 239 species)

(http: www.biodiversity-science.net/qikan/ manage/wenzhang/10148.pdf)