

植物替代控制 3 种入侵杂草技术的研究与应用进展

高尚宾¹, 张宏斌¹, 孙玉芳¹, 张国良^{2*}

¹农业部农业生态与资源保护总站, 北京 100125; ²中国农业科学院农业环境与
可持续发展研究所, 北京 100081

摘要: 植物替代控制是利用一种或多种植物的生长优势控制入侵杂草的方法, 它是控制外来杂草危害的有效途径之一; 因其既可控制入侵杂草危害又能取得一定的经济效益及生态效益而被人们广泛接受。本文简要介绍了我国 3 种入侵杂草植物替代控制技术研究与应用现状, 系统总结了植物替代控制技术阻截和修复豚草、紫茎泽兰及黄顶菊扩散危害的技术模式和效果, 提出了植物替代控制技术未来研究的方向和重点。

关键词: 替代控制; 入侵杂草; 筛选评价; 豚草; 紫茎泽兰; 黄顶菊

Advances in research and application of replacement control of three invasive weeds

GAO Shangbin¹, ZHANG Hongbin¹, SUN Yufang¹, ZHANG Guoliang^{2*}

¹Rural Energy & Environment Agency, Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China; ²Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract: Plant replacement control is an effective method to control weeds by using the growth advantage of one or more native plants. This method has been widely used to obtain economic and ecological benefits. This paper briefly introduces the status of research and application of replacement technology for three weeds in China. It summarizes the technical pattern and control effects of biological blocking and repair of the spreading and damage caused by *Ambrosia artemisiifolia* L. and *Eupatorium adenophora* L. and *Flaveria bidentis* (L.) Kuntze. We discuss the direction and key points of future research in this area.

Key words: replacement control; invasive weed; screening evaluation; *Ambrosia artemisiifolia*; *Eupatorium adenophora*; *Flaveria bidentis*

近几十年来, 外来入侵物种严重危害农、林、牧、渔业的可持续发展, 对我国粮食安全、生态安全、人畜健康构成严重威胁。其中, 豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L.、紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum* Spreng. 和黄顶菊 *Flaveria bidentis* (L.) Kuntze 是 3 种危害较重的入侵杂草。豚草原产于北美, 现已在我国 21 个省、市、自治区的 1038 个县分布, 发生面积达 0.0247 亿 hm^2 , 在入侵地形成优势群落, 急剧降低生物多样性, 导致的生态损失无法估算(周忠实等, 2011), 且其花粉可使人过敏, 威胁人类健康(谢水祥等, 2010); 紫茎泽兰原产于中美洲, 现已在我国南方和西南地区广泛分布, 发生面积超过 1400 万 hm^2 , 并以每年 30~60 km 的速度向北、向东扩散

(曹勘程等, 2009); 黄顶菊原产于南美洲, 属一年生杂草, 2001 年在我国河北衡水湖及天津南开相继被发现, 现已在河北、天津、山东及河南等地区扩散蔓延, 广泛侵入农田、果园、城镇、绿化带、公路和铁路沿线及山坡荒野等生境, 很快形成单种优势群落, 导致原有植物群落的衰退和消亡。

面对入侵杂草严峻的蔓延危害形势, 中华人民共和国农业部 2004 年启动了“十省百县”外来入侵生物灭毒除害行动, 创建了生物防治、替代控制(replacement control)一体化综合治理技术体系, 开创了我国入侵杂草生态治理的先河。经过多年的实践, 植物替代控制理论与方法得到进一步发展, 该技术已在全国得到广泛应用。

收稿日期(Received): 2016-03-20 接受日期(Accepted): 2016-05-02

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFSF03)

作者简介: 高尚宾, 男, 研究员。研究方向: 生物多样性保护研究与管理

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: zhangguoliang@caas.cn

1 植物替代控制理论与方法

1.1 植物替代控制概念

替代控制是指运用于非耕地和草场,通过植被覆盖的方式替代目标有害植物,并达到间接控制(适生于有害植物的)害虫、水土保持等多个目标的非专一性手段(Piemeisel *et al.*, 1951, 1954)。其核心意涵是根据植物群落演替的自身规律,用有生态和经济价值的植物取代有害群落,恢复和重建合理的生态系统的结构和功能,并使之具有自我维持的能力和活力,建立起良性演替的生态群落。从生态生理学的角度,替代控制的作用机理为植物竞争,在植物之间互动中优势偏向于替代植物,替代植物具有强大的竞争优势或具有特殊的他感作用(异株克生),对其他植物产生直接或间接的毒害作用。从恢复生态学角度,这一过程则体现为群落演替。用高生态位植物替代低生态位植物,如用木本植物替代草本植物,削弱植物的种群优势,抑制植物的生长势,降低其生态优势,为其他当地植物提供相对宽裕的生态空间,从而使生态系统内多物种和平相处,使单一种群优势转变为多物种和谐共存的良性演替的生态系统。

近年来,我国在紫茎泽兰、豚草、黄顶菊等外来入侵杂草上进行了大量的“替代控制”研究和实践(关广清等, 1993, 1995; 李富荣等, 2007; 孟可爱等, 2006; 强胜和曹学章, 2001; 万方浩等, 2011; 张瑞海, 2010)。从实践的角度,替代措施实质上是选择一种或多种适应性强、生长速度快、在短时间内可达到较高郁闭度的植物,种植在外来入侵植物为害的地方,以取代外来入侵植物的种群优势,在利于恢复生态系统的同时,力求取得一定的经济效益与社会效益。

1.2 替代植物筛选和评价方法

从植物竞争的角度看,替代植物在生长期对资源利用具有强大的竞争优势(杜锋等, 2004; 李博等, 1998),如争夺光、水、肥及生存空间等(Grime, 1979),或对资源的需求很低(Tilman, 1982, 1988),或具有特殊的化感作用,通过自身或根际微生物分泌化学物质,最终对被替代的植物产生不利的影响。然而,这些因素也是很多外来植物成功入侵的主要原因,如豚草植株次生代谢物吲哚- β -酮缩-2,3-丁二醇、紫茎泽兰植株次生代谢物

羟基泽兰酮、黄顶菊植株次生代谢物紫云英苷等,都对本地植物具有较强的化感作用(李香菊等, 2007)。豚草繁殖系数庞大,开花时每株可产生7万~10万粒成熟的种子,黄顶菊作为C₄植物,喜光且利用光的能力强,在适宜条件下能迅速生长至2 m以上。因此,入侵杂草替代植物必须具备:种子萌发不受入侵杂草影响,生长前期生长迅速;植株高大,能形成有效的荫蔽(冠层),或能形成较高的密度;对替代地区的生态系统不造成有害影响;管理粗放,维护费用低,可行性高,或具有一定的经济价值。

替代植物的筛选评价需要经过3个步骤(冯帮贤等, 2010; 周文杰等, 2010)。首先,进行室内生测试验,即利用入侵杂草水提液处理所选的植物种子,通过考察发芽率或发芽指数,初步评价备选的替代植物种子是否能克服入侵杂草的化感作用;其次,进行盆栽试验,将不同密度的备选替代植物和入侵杂草种子播植于同一盆钵内,考察入侵杂草与备选替代植物生长情况;再次,进行大田试验,将通过室内生物测定和盆栽试验筛选出的植物和入侵杂草混种,模拟自然生境下土壤、气候等生态条件,通过定期测量入侵杂草与替代植物的生理生态指标,评价替代植物在自然条件下的作用(张瑞海等, 2012),最终初步筛选出能够抑制入侵杂草生长的替代植物,以待自然生境中进一步验证。

1.3 3种入侵杂草的替代控制植物

针对紫茎泽兰、豚草、黄顶菊沿交通要道扩散与蔓延的特点,根据植物竞争替代机制,经10余年野外竞争替代试验,从50多种具有经济生态或观赏价值的植物中筛选出可替代控制豚草的紫穗槐 *Amorpha fruticosa* L.、小冠花 *Coronilla varia* L.、旱地早熟禾 *Poa pratensis* L.、百喜草 *Paspalum notatum* Flugge, 替代控制紫茎泽兰的非洲狗尾草 *Setaria viridis* (L.) Beauv.、黑麦草 *Lolium perenne* L., 以及替代黄顶菊的紫花苜蓿 *Medicago sativa* L.、沙打旺 *Astragalus adsurgens* Pall.、紫穗槐、高丹草 *Sorghum bicolor* × *S. sudanense* 等。例如:(1)紫花苜蓿,为豆科多年生牧草,紫花苜蓿与黑麦草混种对紫茎泽兰控制效果显著(卢成等, 2008)。早春条播紫花苜蓿,当年对入侵杂草紫茎泽兰、豚草生物量的抑制率达到70%以上;随着紫花苜蓿的生长,其产生的化感物质增多,影响了豚草、黄顶菊等入侵杂草的

种子萌发及苗期的生长。该方法可替代控制农田边缘、荒地、果园、林地生境中的入侵杂草。(2)沙打旺,为豆科多年生牧草,株高可达 1~2 m,植株每丛分枝 10~35 个,抗旱,抗风沙,耐盐碱,耐瘠薄,是防风固沙保持水土的兼用作物,并且具有根瘤,可以固氮(高农,2002)。早春将沙打旺与细沙土混匀后撒播,第 2 年沙打旺返青早,在北方 5 月份,沙打旺已完全覆盖地面,致使豚草、黄顶菊长势弱,对豚草、黄顶菊的控制均可达到 98% 以上。该方法可替代控制荒地、荒滩等多种生境中的入侵杂草。(3)紫穗槐,为豆科多年生落叶小灌木,是一种优良绿肥及农用经济植物,并具有很强的抗病、抗虫、抗烟和抗污染能力,易于管理。紫穗槐定植第 2 年 5 月中旬已形成较高郁闭度,在替代控制处理第 2 年时黄顶菊株高、分枝数、生物量均极显著低于对照(张瑞海等,2016)。紫穗槐冠层下普通豚草死亡 56%,三裂叶豚草 *Ambrosia trifida* L. 死亡 60%,没有死亡的植株细弱,叶面积很小(金慧军和崔松,1997)。密植和管理良好条件下,种植紫穗槐,当年对紫茎泽兰防效可达 92.3%~99.7%;稀植和管理较差条件下,替代 3 年对紫茎泽兰的防效可达 81.7%~92.4%(卢向阳等,2013)。该方法可用于公路、铁路两旁的黄顶菊、豚草等入侵杂草的拦截和修复。

2 植物替代控制入侵杂草技术应用

生态系统的异质性是影响外来入侵生物成功入侵及扩张的重要因素。大量研究发现,植物多样性低,剩余空间生态位多,入侵杂草易于入侵定居和扩张。豚草、紫茎泽兰等外来入侵杂草沿公路、铁路交通廊道,水道扩散蔓延,侵占撂荒地、退化草场或人为严重干扰生境,形成独特的入侵杂草传播扩散路径及分布格局。采取“替代控制”技术,恢复和保护本地植物的多样性是抵御外来杂草入侵扩张的有效途径之一。

2.1 替代控制技术应用模式

2.1.1 交通沿线与堤坝 在交通沿线的豚草、紫茎泽兰和黄顶菊扩散前沿地带,以亚热带常绿阔叶树中的乡土树种为依托,以乔、灌、草立体组合为重点,层次性地种植观赏植物紫穗槐、小冠花、非洲狗尾草进行绿化与拦截,构建生态绿化带,阻止豚草、紫茎泽兰和黄顶菊的传播蔓延。在河滩和堤坝两侧的豚草、紫茎泽兰重灾区,种植具有经济价值的

杂交象草 *Pennisetum americanum* × *P. purpureum*、非洲狗尾草等进行生物多样性恢复,既可抑制入侵杂草的生长蔓延,又可保护和美化生态环境。

2.1.2 荒山、荒滩林果产业替代模式 通过营林措施构建阻截和控制紫茎泽兰的生态屏障,筛选青冈树(100%防效)、青冈树搭配油茶混栽林(100%防效)、柏树搭配油茶混栽林(95.5%防效)和花椒林(98.5%防效)等经济林,以及枇杷(97%防效)、石榴(96%防效)、核桃(100%防效)、板栗(100%)等果树控草模式,不仅可以有效控制紫茎泽兰,而且可以收获果实和木材。其中,栽种 6 年以上的花椒林纯收入每公顷 12.7 万元左右,其他管理优异的果园每公顷产值也近 15 万元。这种替代模式在四川米易、西昌、德昌、石棉 18 个紫茎泽兰危害严重的区(县)得到广泛应用(朱文达等,2013)。

2.1.3 果园、退化草场牧草替代修复模式 对于果园发生的紫茎泽兰和黄顶菊,先用高效低毒除草剂清除,翌年 4 月种植非洲狗尾草(45 株·m⁻²)等替代紫茎泽兰,种植冬牧 70 黑麦草+紫花苜蓿替代黄顶菊。在退化草场,紫花苜蓿与黑麦草、非洲狗尾草与黑麦草混种对紫茎泽兰控制效果显著,当紫茎泽兰与非洲狗尾草的相对密度为 1:3 时,紫茎泽兰植株的生长已受到严重制约,生物量降低 80% 以上。适度增加土壤肥力和水分,可以提高黑麦草和狗尾草的竞争能力。在贫瘠山地优先选用宽叶雀稗 *Paspalum wettsteinii* Hack、拉巴豆 *Dolichos lablab* L. 和木豆 *Cajanus cajan* (L.) Millsp., 其与常规替代植物多年生黑麦草相比,盖度增加 3.2~3.7 倍,竞争能力增加 1.3~6.8 倍,单位面积生物量提高 4.4~29.8 倍,替代控制紫茎泽兰的效果达到 95.1%~99.3%(刘冰,2011)。

2.2 替代控制技术应用效果

在交通沿线的豚草、紫茎泽兰和黄顶菊扩散廊道前沿,建立了 22 条植物拦截带。沿 G60(关岭→镇宁)、G105(茌平→德州)、G104(德州→吴桥)等国道建立拦截带,拦截防线达 524 km(表 1),有效切断了 3 种入侵杂草的自然扩散路径,拦截效果达 86% 以上。在入侵杂草危害重灾区建立了 14 个植物替代修复示范县;在四川果园与林地(石棉、德昌)、云南草场与林地(陆良、腾冲)、贵州草场(晴隆、镇宁)、山东撂荒地(曹县、济南)、河北撂荒地与

河滩(猗县、巨鹿)、辽宁公路两侧(本溪、彰武)建立了生态修复示范县。应用经济林木和果树产业替代控制技术、宽叶雀稗、非洲狗尾草+黑麦草混种等替代草场紫茎泽兰,紫茎泽兰生物量降低 95%以上(刘冰,2011);应用紫花苜蓿+冬牧 70 黑麦草混播

控制果园黄顶菊,黄顶菊生物量降低 97.8%(马杰,2010);应用紫穗槐、沙打旺替代修复河坝与河滩成片发生的豚草,冠下豚草植物死亡率达 56%,豚草生物量降低 92.3%,节约人工、化学防治成本 60%~70%,总体控效达 85%左右(关广清和崔松,1995)。

表 1 重要入侵杂草植物拦截效果(2004—2011 年)

Table 1 Control effects of important invasive weed plants from 2004 to 2011

公路编号 Code of road	区间/起始点方向 Interval/starting point and direction	拦截带长度 Blocking length/km	拦截入侵物种 Invasive species	替代植物地表覆盖等级 Ground surface coverage of replacing plant	入侵杂草生物量抑制率 Inhibition rate of invasive weed biomass/%
G60	关岭→镇宁 Guanling→Zhenning	18	紫茎泽兰、豚草 <i>E. adenophora</i> and <i>A. artemisiifolia</i>	+++	98.9
S210	关岭→贞丰 Guanling→Zhenfeng	33	紫茎泽兰、豚草 <i>E. adenophora</i> and <i>A. artemisiifolia</i>	+++	95.4
G320	清镇→平坝 Qingzhen→Pingba	24	紫茎泽兰、豚草 <i>E. adenophora</i> and <i>A. artemisiifolia</i>	+++	81.9
S307	清镇→织金 Qingzhen→Zhijin	40	紫茎泽兰、豚草 <i>E. adenophora</i> and <i>A. artemisiifolia</i>	+++	94.7
G69	惠水→罗甸 Huishui→Luodian	37	紫茎泽兰 <i>E. adenophora</i>	++	71.7
S50	惠水→紫云 Huishui→Ziyun	34	紫茎泽兰 <i>E. adenophora</i>	+++	100.0
S45	惠水→青岩 Huishui→Qingyan	14	紫茎泽兰 <i>E. adenophora</i>	+++	90.2
G324	安龙→兴义 Anlong→Xingyi	21	紫茎泽兰 <i>E. adenophora</i>	+++	91.7
G108	石棉→冕宁 Shimian→Mianning	30	紫茎泽兰、豚草 <i>E. adenophora</i> and <i>A. artemisiifolia</i>	++	87.7
S208	越西→甘洛 Yuexi→Ganluo	25	紫茎泽兰 <i>E. adenophora</i>	++	78.1
G93	合江→宜宾 Hejiang→Yibin	22	紫茎泽兰、豚草 <i>E. adenophora</i> and <i>A. artemisiifolia</i>	+++	97.3
G104	德州→吴桥 Dezhou→Wuqiao	20	黄顶菊 <i>F. bidentis</i>	++	73.7
G104	沧州→南皮 Cangzhou→Nanpi	14	黄顶菊 <i>F. bidentis</i>	+++	91.2
S254	聊城→阳谷 Liaocheng→Yanggu	12	黄顶菊 <i>F. bidentis</i>	++	80.7
G105	茌平→德州 Chiping→Dezhou	34	黄顶菊 <i>F. bidentis</i>	+	59.8
S22	安阳→南乐 Anyang→Nanle	25	黄顶菊 <i>F. bidentis</i>	+++	94.5
S22	南乐→阳谷 Nanle→Yanggu	15	黄顶菊 <i>F. bidentis</i>	+++	91.2
G106	东明→兰考 Dongming→Lankao	28	豚草、黄顶菊 <i>A. artemisiifolia</i> and <i>F. bidentis</i>	++	83.2
G310	商丘→民权 Shangqiu→Minquan	20	豚草、黄顶菊 <i>A. artemisiifolia</i> and <i>F. bidentis</i>	+++	92.6
G105	单县→商丘 Shanxian→Shangqiu	20	豚草、黄顶菊 <i>A. artemisiifolia</i> and <i>F. bidentis</i>	++	73.4
G102	卢龙→秦皇岛 Lulong→Qinhuangdao	12	豚草、黄顶菊 <i>A. artemisiifolia</i> and <i>F. bidentis</i>	++	86.1
G306	绥中→凌源 Suizhong→Lingyuan	26	黄顶菊、豚草 <i>A. artemisiifolia</i> and <i>F. bidentis</i>	+++	90.8

+ :覆盖度<20; ++:20<覆盖度<80; +++:覆盖度>80。

+ :Coverage<20; ++:20<Coverage<80; +++: Coverage>80。

3 植物替代控制入侵杂草技术展望

近几十年来,国内外学者对植物替代控制技术进行了大量的研究(Connolly, 1986)。植物替代的过程是一个相对缓慢的过程,植物种间关系由于环境变化或群落演替也会发生变化。有关物种间相互作用的研究表明,物种之间相互作用的强度、类型与植物生长的环境有密切关联,可能随着环境条件的改变而发生相互作用强度的变化或相互作用类型的逆转。胁迫梯度假说(Stress Gradient Hypothesis, SGH)深刻阐述了植物间互作效应的转变规律:植物间发生竞争还是互惠在某种程度上受植物生长环境胁迫水平的影响。随着外界胁迫水平的增强,竞争作用会减弱而互惠作用则相应增强,互惠与竞争分别在非生物胁迫的两端发挥主导作用(Crain *et al.*, 2008)。替代植物个体营固着生长的生物学特性决定了其在生长过程中,不是与种群内所有个体争夺资源,而是与它的邻近个体相互作用(Miller & Coll, 2012)。因此,深入解析入侵植物—替代植物及邻体之间的地上地下关系,是构建持续稳定植物群落的重要基础。

在入侵植物的入侵过程中,其根系分泌的化感物质可以直接或间接地影响土壤微生物的生命活动与群落结构,进而改变地上生态系统结构(Christian & Wilson, 1999; Levine & D'Antonio, 1999)。因此,入侵植物对土壤生态系统的影响已经成为其入侵机制之一。目前利用恢复生态学理论和谱系结构分析方法,解析入侵植物—根际土壤微生物—竞争替代植物互作关系,重建入侵地土壤微生物群落结构,筛选土著竞争能力强的替代植物,研发入侵植物反竞争替代控制与生物多样性阻抗技术,成为新的发展方向。

此外,在选择替代植物时,除了考虑其竞争能力和经济价值外,还要注重筛选、挖掘本土物种资源,这样既可保护本地生物多样性资源,也能避免因盲目引种可能带来的新外来物种入侵的风险。

参考文献

曹塬程, 郭美霞, 王秋霞, 白洁, 刘晓燕, 颜冬冬, 何兰, 2009. 紫茎泽兰综合治理策略及示范//中国植物保护学会 2009 年学术年会论文集. 北京: 中国植物保护学会: 929-930.
杜峰, 梁宗锁, 胡莉娟, 2004. 植物竞争研究综述. 生态学杂志, 23(4): 157-163.

冯帮贤, 芦站根, 杨文红, 支丽雅, 康红梅, 2010. 白三叶草与入侵植物黄顶菊互感研究初报. 现代农村科技 (4): 40-41.
高农, 2002. 国产特有草种——沙打旺. 河南畜牧兽医, 23(1): 32.
关广清, 崔松, 1995. 经济植物替代控制豚草的研究. 沈阳农业大学学报, 26(3): 277-283.
关广清, 韩亚光, 尹睿, 1993. 豚草替代控制研究//万方浩, 关广清, 王韧. 豚草及豚草综合治理. 北京: 中国科学技术出版社: 227-241.
金惠军, 崔松, 1997. 紫穗槐替代控制豚草的研究. 广东公路交通 (S2): 139-144.
李博, 陈家宽, 沃金森 A R, 1998. 植物竞争研究进展. 植物学通报, 15(4): 18-29.
李富荣, 陈俊勤, 陈沐荣, 虞依娜, 陈蕾伊, 李静, 彭少麟, 2007. 互花米草防治研究进展. 生态环境, 16(6): 1795-1800.
李香菊, 张米茹, 李咏军, 张朝贤, 2007. 黄顶菊水提取液对植物种子发芽及胚根伸长的化感作用研究. 杂草科学 (4): 15-19.
刘冰, 2011. 2 种替代植物与紫茎泽兰竞争效应及竞争相关指标适用性探索. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.
卢成, 曾昭海, 王维, 胡跃高, 2008. 紫花苜蓿对九种杂草的化感作用. 中国草地学报, 28(5): 42-45.
卢向阳, 王秋霞, 刘冰, 俞晶山, 杨万吉, 2013. 紫穗槐替代控制对撂荒山地紫茎泽兰的影响. 西南农业学报, 26(5): 1893-1898.
马杰, 2010. 入侵植物黄顶菊 (*Flaveria bidentis*) 生态调控研究. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学.
孟可爱, 聂荣邦, 刘小飞, 2006. 紫茎泽兰的替代控制概述. 杂草科学 (1): 10-14.
强胜, 曹学章, 2001. 外来杂草在我国危害性及其管理对策. 生物多样性, 9(2): 188-195.
万方浩, 刘万学, 郭建英, 强胜, 李保平, 王进军, 杨国庆, 牛红榜, 桂富荣, 黄文坤, 蒋智林, 王文琪, 2011. 外来植物紫茎泽兰的入侵机理与控制策略研究进展. 中国科学(生命科学), 41(1): 13-21.
谢水祥, 朱清仙, 郭玉兰, 刘志刚, 韩立民, 2010. 豚草花粉过敏原的分析、鉴定与纯化. 广东医学, 31(16): 2069-2071.
张瑞海, 2010. 黄顶菊替代植物的筛选及其与黄顶菊竞争效应的研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.
张瑞海, 付卫东, 宋振, 晏静, 朱昌雄, 张国良, 2016. 河北地区黄顶菊土壤种子库特征及其对替代控制的响应. 生态环境学报, 25(5): 775-782.
张瑞海, 付卫东, 张国良, 张衍雷, 2012. 紫花苜蓿和向日葵对黄顶菊的替代控制机理分析. 西南大学学报(自然科学版), 34(2): 33-38.

确掌握货物来源地有害生物的潜在风险程度,针对有害生物可能传入的风险路径节点制定有效的检疫监管措施;(2)完善澳方农林产品进入中国市场的检验检疫准入程序(楼军文,2005),尤其是粮谷类杂草含量的准入标准和操作程序;(3)加强对受关注有害生物的监测和疫情收集,提高风险预警和疫情应急反应能力;(4)建立科学有效的口岸检疫除害处理技术和标准。

参考文献

- 胡伟, 2006. 澳大利亚农业促进政策与措施研究. 世界农业 (11): 47-50.
- 胡信国, 2013. 澳大利亚农产品出口贸易的影响因素分析. 硕士学位论文. 沈阳: 辽宁大学.
- 楼军文, 2005. 中国水果进出口检验检疫技术性贸易措施研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业大学.
- 农业部农产品贸易办公室, 农业部农业贸易促进中心, 2014. 中国农产品贸易发展报告. 北京: 中国农业出版社.
- 司伟, 周章跃, 2007. 中国和澳大利亚农产品贸易: 动态和展望. 中国农村经济 (11): 4-14.
- 王莉, 沈贵银, 刘慧, 2012. 中澳自贸区的建立对中国奶业发展的影响研究. 农业经济问题 (9): 37-43.
- 周海燕, 2014. 中国与澳大利亚农产品贸易互补性研究. 世界农业, 425(9): 105-108.
- MAI Y H, ADAMS P, FAN M T, LI R L and ZHENG Z Y, 2005. *Modelling the Potential Benefits of an Australia-China Free Trade Agreement*. Canberra: Department of Foreign Affairs and Trade.
- CHENG D A, 2008. Chinese perspective on the China-Australia free trade agreement and policy suggestions. *A Journal of Applied Economics and Policy*, 27(1): 30-40.
- HOA T, 2008. Australia-China free trade agreement: causal empirics and political economy. *A Journal of Applied Economics and Policy*, 27(1): 19-29.
- (责任编辑: 杨郁霞)
- (上接第 22 页)
- 周文杰, 芦站根, 郑博颖, 2010. 外来入侵植物黄顶菊与白三叶草异株克生研究. 中国植保导刊, 30(3): 10-13.
- 周忠实, 郭建英, 李保平, 孟玲, 傅建伟, 陈红松, 马明勇, 史梦竹, 李敏, 郭薇, 罗敏, 郑兴汶, 郑海燕, 罗源华, 万方浩, 2011. 豚草和空心莲子草分布与区域减灾策略. 生物安全学报, 20(4): 263-266.
- 朱文达, 曹勘程, 颜冬冬, 李林, 刘晓燕, 郭章碧, 2013. 不同林木种群对紫茎泽兰营养生长和生殖生长的影响. 生态环境学报, 22(11): 1790-1794.
- CHRISTIAN J M and WILSON S D, 1999. Long-term ecosystem impacts of an introduced grass in the northern Great Plains. *Ecology*, 80(7): 2397-2407.
- CONNOLLY J, 1986. On difficulties with replacement-series methodology in mixture experiments. *Journal of Applied Ecology*, 23(1): 125-137.
- CRAIN C M, KROEKER K and HALPERN B S, 2008. Interactive and cumulative effects of multiple human stressors in marine systems. *Ecology Letters*, 11(12): 1304-1315.
- GRIME J P, 1979. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. London, England: John Wiley.
- LEVINE J M and D'ANTONIO C M, 1999. Elton revisited: a review of evidence linking diversity and invisibility. *Oikos*, 87(1): 15.
- MILLER E and COLL M, 2012. Effects of local interaction range and mobility on the spatio-temporal dynamics of competing animals in uniform habitats. *Population Ecology*, 54(1): 205-212.
- PIEMEISEL R L, 1954. Replacement control: changes in vegetation in relation to control of pests and diseases. *The Botanical Review*, 20(1): 1-32.
- PIEMEMEISEL R L and CARSNER E, 1951. Replacement control and biological control. *Science*, 113: 14-15.
- TILMAN D, 1982. *Resource Competition and Community Structure*. Princeton: Princeton University Press.
- TILMAN D, 1988. *Plant Strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities*. Princeton: Princeton University Press.
- (责任编辑: 杨郁霞)