

# 外来入侵植物小子藨草研究进展与展望\*

徐高峰<sup>1</sup> 申时才<sup>1</sup> 张付斗<sup>1\*\*</sup> 张云<sup>2</sup> 毛佳<sup>1</sup> 金桂梅<sup>1</sup>

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所 昆明 650205; 2. 云南省农业科学院粮食作物研究所 昆明 650205)

**摘要** 入侵植物小子藨草(*Phalaris minor* Retz.)对入侵地冬春农作物,尤其是麦类作物危害严重,是世界公认的麦田恶性杂草。近年来,小子藨草在云南省大面积暴发危害,且种群不断扩张,严重威胁农田生态系统和粮食生产安全。然而,我国目前除作者前期开展了初步研究外,尚少见其他研究报道,给其预警与防控带来较大困难。本文根据国外近年来的研究进展和作者前期研究结果,首先综述目前小子藨草在世界的空间分布,从种间竞争、化感作用等方面分析其对农作物的危害原因;并从小子藨草的生物学特性、种群遗传特性、生态适应性以及入侵环境的可侵入性4个方面,综述分析其种群入侵扩张的成因,同时介绍了国外关于该入侵物种的防除方法。最后结合我国小子藨草的发生危害特点,提出今后的研究建议。本文通过介绍小子藨草的生物学与生态学特性和种群的入侵扩张机制,对该物种的早期预警、限制传播以及入侵生态系统的恢复与管理均具有重要的指导意义,也为相关决策者掌握了解小子藨草和制定安全有效的防控策略提供参考。

**关键词** 生物入侵 小子藨草 空间分布 入侵扩散机制 防治对策

**中图分类号:** S154 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2015)09-1083-10

## Research progress and prospect about exotic invasive species *Phalaris minor* Retz.

XU Gaofeng<sup>1</sup>, SHEN Shicai<sup>1</sup>, ZHANG Fudou<sup>1</sup>, ZHANG Yun<sup>2</sup>, MAO Jia<sup>1</sup>, JIN Guimei<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Environment & Resource Research, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China;  
2. Institute of Food Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China)

**Abstract** *Phalaris minor* Retz., a native weed of the Mediterranean region, is the most serious annual grass weed in winter wheat fields. This paper reviewed the current state of researches on the invasive species, *P. minor*. Globally, *P. minor* has been reported in over 60 countries, covering all the continents except the polar regions. Presently, *P. minor* has spread widely across Yunnan Province and can now be found in Kunming, Chuxiong, Yuxi, Dali, Baoshan, Dehong, Yuxi and Honghe Cities. It is considered a seriously threat to the local economy and food production. The international drive is to adopt more effective and scientific forecast and control for *P. minor* infestation. In recent years, an increasing number of foreign researchers have become interested in studying this weed species and thus much progress has been made in understanding the biology and ecology of this species of weeds. However, research on *P. minor* in China has remained largely inadequate, resulting in difficulties in developing reliable early warning and control system for the weed. This paper reviewed some of the hot research issues on *P. minor* based on the abroad and domestic research results, including its distribution all across the world, the possible reasons for the damage it caused to crops (e. g. interspecific competition, allelopathy), the mechanisms underlying its invasion and spread, genetic variations in the weed population, and the highly adaptive ability and biological characteristics of the invasive weed to explain its highly successful rate of spread (e. g., morphological similarity of *P. minor* with wheat, small seed size and persistent soil seed bank). The paper also reviewed control methods of *P. minor*, which were divided into three general categories — manual, chemical and biological. Finally, three areas of future research were proposed: 1) multi-disciplinary mechanisms underlying its invasion and spread; 2) eco-physiological adaptation of the invasive species to global climate change; and 3) effective control of the invasive species. Thus it was very important to build an in-depth research on the invasive species in order to predict and prevent the successful invasion of *P. minor*, and to eventually lay the theoretical

\* 云南省中青年学术带头人后备人才(2014HB039)资助

\*\* 通讯作者: 张付斗, 从事杂草学和生态学研究。E-mail: fdzh@vip.sina.com

徐高峰, 从事入侵生态学研究。E-mail: xugaofeng1059@163.com

收稿日期: 2015-04-07 接受日期: 2015-07-16

and technical support for the management of *P. minor*.

**Keywords** Biological invasion; *Phalaris minor* Retz.; Spatial distribution; Invasion and spread mechanism; Control measure (Received Apr. 7, 2015; accepted Jul. 16, 2015)

外来入侵有害生物对农林牧渔业和生态系统造成巨大的危害与损失,已成为全球维护生物安全和生态安全的共同挑战<sup>[1-3]</sup>。入侵植物小子藨草(*Phalaris minor* Retz.)为禾本科(Gramineae)藨草属(*Phalaris*)一年生杂草,原产于欧洲地中海地区,现广泛分布于欧洲、亚洲、非洲、美洲和大洋洲的多个国家和地区<sup>[4-6]</sup>。小子藨草具有强的繁殖能力和竞争能力,形态特征、物候期以及生长需求与入侵地麦类作物相似,对发生地冬春农作物,尤其是麦类作用危害严重,是世界公认的麦田恶性杂草<sup>[7-8]</sup>。20世纪70年代,小子藨草随麦类引种从墨西哥传入我国云南省<sup>[9]</sup>。目前,小子藨草广泛分布于云南省的昆明市、楚雄市、玉溪市、大理市和保山市等地区,表现出迅速扩展性、严重危害性和难以根除性的严峻形势,且不断向更多类型生境侵入,给入侵地农业生产和农田生态系统带来巨大的危害<sup>[10]</sup>。由于小子藨草的巨大危害性和入侵风险性,2002年被列为我国主要外来入侵物种名录<sup>[11]</sup>。

入侵植物小子藨草种群不断扩张,严重威胁农田生态系统和粮食生产安全,已成为全球影响广泛和深远的危机<sup>[6]</sup>。对入侵植物小子藨草实施科学有效的预警与控制成为国际共同的科技需求。外来生物在新的环境中入侵成功,既受到自身属性和功能(遗传、进化和生理等)的影响,同时也与外界环境中的生物和非生物因素(种间互作、群落可入侵性等)息息相关<sup>[12-13]</sup>。掌握外来生物的生物学与生态学特性和种群的入侵扩散机制对其早期预警、限制传播以及入侵生态系统的恢复与管理均具有重要的指导意义。

作为一种具有巨大危害性和很强入侵性的世界性农田恶性杂草,国外围绕小子藨草的生物学特性、生态学特性和防控技术等领域,已有较多的研究报告<sup>[14]</sup>。作者前期从影响外来生物成功入侵的外因(环境条件)和内因(生物学特性)的角度,也开展了小子藨草在云南省的空间分布、生物生态学特性、表型可塑性以及防治技术等领域的研究。然而,我国目前除本项目组外,尚少见其他机构的研究报道,因此诸多研究仍较为缺乏。

鉴于小子藨草的严重危害和入侵性,以及我国相关领域研究的缺乏,本文在项目组前期研究的基础上,结合国外近年来的研究进展,从小子藨草的

空间分布、种群的入侵扩散成因和防控技术等方面综述了小子藨草的国内外研究现状,并结合我国小子藨草的发生危害特点提出展望。通过分析总结国内外关于小子藨草种群的入侵扩散特点和防治对策的研究进展,为相关决策者掌握了解小子藨草特性和制定安全有效防控策略提供参考。

## 1 入侵植物小子藨草的发生与危害

### 1.1 入侵植物小子藨草的空间分布

入侵植物小子藨草分布区域广泛<sup>[15]</sup>(图1)。现有研究表明,小子藨草广泛分布于欧洲、亚洲、非洲、南美洲、北美洲和大洋洲的多个国家和地区。其中亚洲主要分布于印度、伊朗、巴基斯坦等29个国家或地区;非洲主要分布于埃及、墨西哥、南非等8个国家或地区;南美洲主要分布于阿根廷、巴西、哥伦比亚等9个国家或地区;北美洲主要分布于美国、墨西哥、加拿大等5个国家或地区;欧洲主要分布于西班牙、意大利、英国等16个国家或地区;而大洋洲的澳大利亚和新西兰也被小子藨草广泛入侵<sup>[5-6]</sup>。小子藨草入侵生境多样,除分布于农田外,还可分布于路边、荒地、森林苗圃、沟渠两侧等地<sup>[5,10,14]</sup>。

目前我国仅云南省报道被小子藨草入侵危害<sup>[4]</sup>。作者前期通过野外调查、走访调查和电话调查等方法对云南省小子藨草的空间分布进行了研究,结果表明,在云南省16个市(州)129个县中,小子藨草已在昆明市、楚雄州、大理州、保山市、德宏州、曲靖市、红河州和玉溪市共36个县发生危害,发生小子藨草的县占云南省总县数的27.91%。不同区域小子藨草的空间分布存在明显的空间异质性,在发生小子藨草的8个市(州)中,保山市小子藨草的发生最为严重,小子藨草样方出现频度占调查总样方的49.70%,明显高于其他发生地;且5级和4级样方比例也高于其他市(州)。玉溪市、大理州和楚雄州小子藨草的样方出现频度分别为34.96%、28.51%和26.83%,田间发生较为广泛,危害较为严重;而昆明市、红河州、德宏州和曲靖市的样方出现频度较低,为零星发生,且其发生小子藨草危害的样方多优度等级多集中在2级,而发生严重的5级样方比例均小于1%,表明昆明市、红河州、德宏州和曲靖市小子藨草的危害较轻,尚处于种群建群阶段<sup>[10]</sup>(表1)。

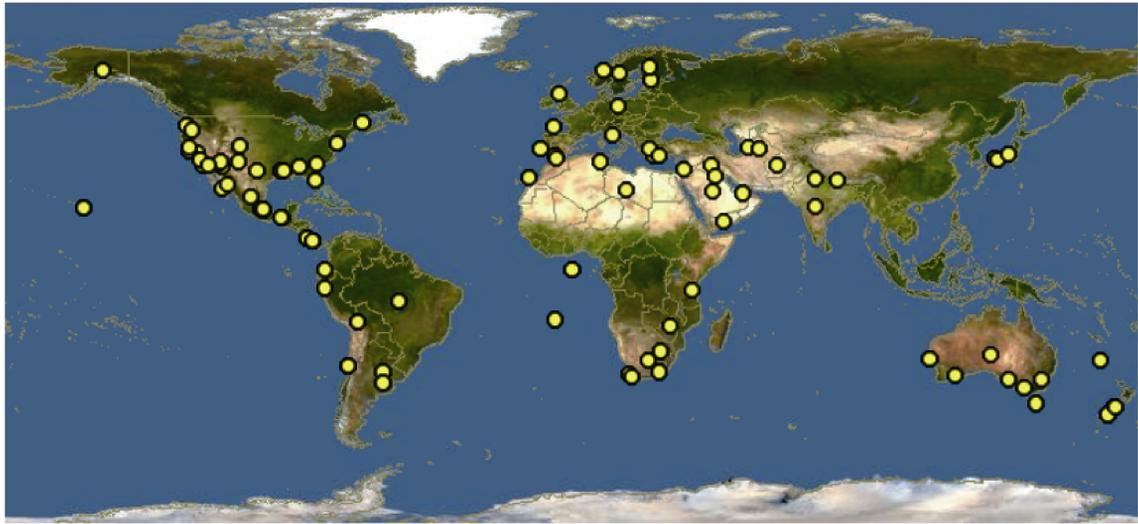


图 1 小子藨草的世界分布

Fig. 1 World distribution of the invasive plant *Phalaris minor* Retz.

表 1 入侵植物小子藨草在云南省的地理分布及发生为害程度

Table 1 Geographical distribution and damage degree of invasive plant *Phalaris minor* Retz. in Yunnan Province

入侵区域 Invasive area	入侵县数量 Number of invasive county	县发生率 Percent of invasive county (%)	出现频度 Frequency (%)	样方多优度级别率 Gregariousness degree (%)					
				5 级 Level 5	4 级 Level 4	3 级 Level 3	2 级 Level 2	1 级 Level 1	0 级 Not found
昆明市 Kunming City	6	42.86	19.97	0.87	1.90	4.63	9.30	3.27	80.03
保山市 Baoshan City	4	80.00	49.70	2.80	5.15	14.75	20.95	6.05	50.30
楚雄州 Chuxiong City	5	60.00	26.83	1.10	2.50	6.47	12.37	4.40	39.83
大理州 Dali City	6	58.33	28.51	1.54	3.63	7.31	12.63	3.40	57.20
德宏州 Dehong City	3	40.00	13.30	0.30	0.80	2.30	7.10	2.80	86.70
曲靖市 Qujing City	4	22.22	16.90	0.50	1.40	2.90	9.70	2.40	83.10
玉溪市 Yuxi City	4	55.56	34.96	1.68	3.56	10.56	15.08	4.08	65.04
红河州 Honghe City	4	30.77	13.75	0.30	1.70	4.25	5.20	2.30	86.25

1.2 入侵植物小子藨草的危害

小子藨草是世界公认的冬春农田恶性杂草。如在印度常造成小麦减产 15%~50%，严重的甚至导致小麦绝收，是目前印度麦田发生危害最严重的杂草之一<sup>[16-17]</sup>；另外小子藨草也是巴基斯坦冬春农作物危害最严重的 10 种杂草之一<sup>[18]</sup>；而在欧洲的西班牙、法国，北美洲的美国等地，由于小子藨草的大量发生，严重危害当地冬春主要作物小麦和大麦而被广泛关注<sup>[19-21]</sup>。国内外诸多研究表明，小子藨草主要通过种间竞争和化感作用影响伴生物种。如研究发现，小子藨草具有强的竞争能力，整个生长周期与入侵地冬春农作物激烈竞争光、肥、水等资源，造成农作物营养不良，植株矮小，产量降低<sup>[6,18,22]</sup>。小子藨草也可通过根系分泌化感物质而改变入侵地植物及微生物群落原有的种间关系，抑制伴生农作物和杂草的生长，使其在竞争中处于优势而逐渐演变为优势种<sup>[23-24]</sup>。如 Amini 采用琼脂共培法(Equal-

compartment-agar method)研究了不同时期小子藨草对伴生大麦的化感作用，结果表明，小子藨草具有强的化感作用，其中在出苗后的 9~12 d 化感作用最强<sup>[25]</sup>。

另外，种群密度和物候期也对小子藨草的危害具有重要影响。如研究表明，当麦田小子藨草的密度为 108~500 株·m<sup>-2</sup> 时，可造成麦类减产约 40%~60%<sup>[26]</sup>。Dhiman 等<sup>[27]</sup>研究也表明，当小子藨草的密度为 400 株·m<sup>-2</sup> 时，麦类减产约 48%。作者前期通过密度添加系列<sup>[28]</sup>试验也研究了小子藨草的种群密度对麦类产量的影响，发现随着小子藨草密度的增加，麦类产量受到显著影响，当田间小子藨草的幼苗种植密度为 160 株·m<sup>-2</sup> 时，小麦的产量受到严重的影响，几乎绝收<sup>[7,10]</sup>。另外，小子藨草对农作物的危害也与其发生时间相关，研究表明，当其早于麦类或同时发生，可对麦类的产量具有严重影响，但在麦类出苗 45 d 后发生，小子藨草对麦类产量则无显著影响<sup>[18,29]</sup>。

## 2 入侵植物小子藨草种群入侵扩张成因

掌握外来生物种群入侵扩张的成因及机制对早期预警、限制传播以及入侵生态系统的恢复与管理均具有重要的指导意义。外来种传入新的生境通常是少数个体和小种群,其如何突破瓶颈效应,在入侵地建立种群并扩张蔓延是国内外研究的热点。作者根据国内外的研究进展,从小子藨草本身的生物学特性(内因)和入侵地群落的可侵入性(外因)两个方面分析小子藨草种群入侵扩张的成因。

### 2.1 小子藨草与入侵性相关的生物学特性

#### 2.1.1 拟态性

杂草的拟态性是指某些杂草通常与伴生作物的形态特征和生育期相似<sup>[30]</sup>,是杂草应对自然选择压力适应性进化的结果,给杂草防治带来一定困难。如稻田发生危害的稗草 [*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.], 不仅其苗期形态特征与水稻 (*Oryza sativa* L.) 十分相似,而其生育期也非常相近,如水稻有早稻、中稻和晚稻之分,伴生稗草也有早稗、中稗和晚稗区别,给水稻田稗草的防治带来极大的困难。与稗草相似,小子藨草与麦类均为禾本科植物,具有相同的C3光合途径,不仅其苗期形态特征与麦类十分相似,而其生育期也非常相近<sup>[31]</sup>。如幼苗期至拔节期小子藨草的茎秆、叶片等外部形态特征与麦类较为相似,田间甚至难以区分,给入侵地麦田的早期物理防治带来较大困难<sup>[10,32]</sup>。另外小子藨草的物候期也与麦类重叠,如小子藨草的种子通常在当年的秋冬季萌发,翌年的春夏季成熟,后散落于麦田进入休眠状态。如在印度其通常在每年的11月份至翌年的1月份萌发,在翌年的3至5月份成熟,与当地的麦类物候期相似<sup>[33]</sup>。而在中国,项目组前期观测表明,小子藨草通常在每年的9月份至翌年的11月份萌发,成熟期在翌年的3月至5月,与发生地麦类的物候期基本一致。因此,拟态性是小子藨草种群长期幸存于麦田,难以根除主要原因之一<sup>[10]</sup>。

#### 2.1.2 繁殖与传播特性

通常成功的外来种都有很强的繁殖能力,能迅速产生大量的后代,强的繁殖能力常是外来种成功入侵的重要因素之一。小子藨草具有强的繁殖能力。在没有竞争条件下,每株小子藨草的分蘖可达到42个,而每个分蘖还可以产生若干分枝<sup>[34]</sup>。作者前期调查表明,在土壤水肥条件较好的麦田,1株小子藨草可产生30~50个有效穗,每穗大约有300~450粒种子,总种子量达到约10000粒<sup>[7,10]</sup>。

小子藨草的种子通常从上而下逐渐成熟并脱

落。因此小子藨草在入侵地具有长久性土壤种子库<sup>[35]</sup>。有长久性土壤种子库的植物在适应多变的生境和不良的生长条件方面具有优越性,即使植物的种子在某个年份因为自然灾害或人为因素而减产甚至无种子产生时,植物种群也不会受到灭绝的威胁<sup>[36]</sup>,而这对于小子藨草来说,无疑为它未来的入侵提供了源源不断的后备力量,即使短时间被消灭,一旦条件适宜,土壤种子库中的种子又会快速建立新的种群。

外来种的传播特性对其种群的扩散蔓延具有重要影响。入侵植物小子藨草的种子虽不能像菊科 (Asteraceae) 植物随风长距离飞行,但在国际交流日益发展的今天,人为活动是小子藨草迅速扩散的主要原因。研究表明,农作物引种是小子藨草远距离传播扩散的主要途径,由于小子藨草的物候期与麦类一致,成熟的种子常混杂于麦类种子,而大范围麦类引种是小子藨草在世界范围迅速发生危害的主要原因<sup>[6]</sup>。另外,沟渠灌溉排水以及洪水也是小子藨草传播的主要途径。而近年来对麦秆的回收利用,使得麦秆被远距离运输也是小子藨草扩散的原因之一<sup>[14]</sup>。

### 2.2 小子藨草的种群遗传学

利用分子生物技术研究入侵物种遗传结构与入侵能力的相关性,日益成为探索外来物种的入侵扩散机制的重要手段。种群的遗传多样性与种群适合度、种群大小之间存在显著的正相关,被认为是影响外来种入侵成功的重要因素之一<sup>[37-38]</sup>。物种表型是遗传物质和外界环境共同作用的结果,许多外来种在不同生境中显示出大量的表观变异,然而相对于原产地种群而言,入侵种群的遗传多样性水平通常较低。从遗传基因层面探讨生物入侵的分子基础、认识入侵种表型可塑性的分子调控机制对于揭示外来生物入侵的生态遗传学基础及入侵种群快速进化等问题有重要意义。通常认为,高水平的遗传多样性有利于外来种在新生境中的定居和维持<sup>[39]</sup>。然而,高水平的遗传多样性并非成功入侵的必要条件,遗传变异的匮乏对一些外来种的入侵能力没有明显的影响,甚至在一些生物入侵案例中,遗传多样性的降低反而促进了入侵成功。小子藨草分布广泛,生境条件多样,不同生境条件下的形态特征也存在较大的差异。因此,从分子生态学的角度对不同侵入地区及不同生态环境中的小子藨草进行遗传多样性分析,探索其遗传变异规律,开展小子藨草分子生态适应机制的研究,对于解释小子藨草的入侵机制

有积极意义。Ghaseminejad 等<sup>[40]</sup>应用随机扩增多态性(RAPD)分子标记技术对伊朗境内的8个种群的小子藜草进行了遗传多样性及遗传变异分析,结果表明小子藜草的遗传多样性显著低于原产地。而McRoberts 等<sup>[41]</sup>也通过简单重复序列区间(ISSR)分子标记技术对印度国内4个种群的小子藜草的遗传多样性进行分析,表明小子藜草的种内和种间的多态性水平低于本地其他禾本科杂草物种,且4个种群遗传距离与物理距离呈显著负相关。Matus-Cádiz 等<sup>[42]</sup>通过简单重复序列区间(ISSR)分子标记技术对小子藜草、金丝雀藜草(*Phalaris canariensis* L.)、奇异藜草(*Phalaris paradoxa* L.)等北美5种藜草属物种进行遗传多样性及遗传变异研究,结果显示小子藜草的遗传变异最大。入侵种群与其原产地种群相比,遗传多样性会降低。通常认为这种情况对种群是有害的。但在一些情况下种群中较低的遗传多样性反而能增强外来种在新栖息地中的竞争与生活的能力。这方面的工作应结合分子生物学和细胞生物学的手段来对小子藜草的繁育系统进行更加深入的研究,从而加深对小子藜草种群入侵扩散机制的理解。

### 2.3 小子藜草与入侵性相关的生态适应性

强的生态适应性是外来种成功入侵并迅速扩张的重要因素之一。外来物种对环境条件的适应性响应能力与其种群入侵的能力、速度、方式和区域密切相关。诸如温度、光周期、气候和其他竞争者等生态因子的异质性,迫使入侵植物做出形态、生理、生活史特征等可塑性响应<sup>[12-13]</sup>。这些响应体现出新的新陈代谢、结构与功能、生物量分配等生理生态特征,使入侵物种具有更强的生理耐受能力,在资源竞争与利用上占据优势地位<sup>[43]</sup>。入侵植物小子藜草分布区域广泛,作为一个成功的入侵物种,分析其种群应对异质性生境的适应性策略对揭示其种群的入侵扩张机制具有重要意义。

小子藜草通过种子休眠适应异质生境。种子的休眠特性是植物长期演化而获得的一种对环境季节性变化的适应性,是调节种子萌发最佳时间和空间分布的有效方法,关系到植物种群的生存、繁衍和分布<sup>[12]</sup>。小子藜草为一年生草本植物,种子是其生命延续的载体。研究表明小子藜草的种子具有休眠特性,并对周围环境具有感知能力,使其在合适的时间和空间萌发生长,有利于其种群的成功入侵与拓展分布<sup>[44]</sup>。研究表明,外界环境的温湿度、土壤酸碱度以及种子的土壤埋深均影响小子藜草种子的

休眠萌发特性<sup>[45-46]</sup>。如研究显示小子藜草种子萌发的最适温度为10~20℃,通常在温度高于30℃和低于5℃时,小子藜草的种子不能萌发<sup>[47]</sup>。土壤的酸碱度也影响小子藜草种子的休眠与萌发,在土壤pH为6.0时,小子藜草的萌发率最高,达到92.7%,后随着土壤酸碱度的增加和降低,小子藜草的种子萌发也显著降低,在土壤pH低于3.0或大于9.0时,小子藜草种子不能萌发<sup>[46]</sup>。而种子的土壤埋藏深度也是影响小子藜草种子的休眠与萌发的重要因素,如研究表明在土层深度超过5cm时小子藜草种子不能萌发,而当土层深度大于10cm时,小子藜草种子长期保持休眠<sup>[45]</sup>。另外,极强的种子耐逆性以及其对外界环境具有感知能力也是小子藜草种群入侵扩张的因素之一<sup>[45]</sup>。如将小子藜草种子埋于地下30cm后灌水浸泡1a,其萌发率仍达到27%。而研究也显示,即使小子藜草的休眠期已解除,但厌氧、黑的条件将促使其进入二次休眠<sup>[48]</sup>。

小子藜草通过表型可塑性来适应异质性生境。由于入侵生态系统的多样性,决定资源在自然界中具有异质性分布的性质,光、水、肥和CO<sub>2</sub>等在空间上的分布是斑块状的,同时在时间上也是有变化的,外来物种成功入侵需要不断适应新生境各种环境因素(生物因素和非生物因素)的变化。表型可塑性是指物种个体通过改变其化学、生理、发育、形态或者行为性状来适应环境条件的改变<sup>[49]</sup>。具有较高水平的表型可塑性是外来物种成功入侵的重要机制之一,其能够扩大物种生态位,显著提高物种在抑制生境中的适合度及其竞争能力。小子藜草通过形态特征的改变适应异质生境。如调查分布于小麦、蚕豆(*Vicia faba* L.)和油菜(*Brassica campestris* L.)3种生境条件下小子藜草的形态特征,结果表明油菜田小子藜草的株高显著大于同等条件下小麦、蚕豆的混合种群及其单一种群的株高,但分枝数、主穗长、主穗种子数、剑叶面积和生物量则显著降低,明显小于同等条件下小麦、蚕豆混种时植株的上述指标<sup>[29]</sup>。另外,小子藜草的物候期也随生境条件的变化而改变,如在荒地,为适应缺水缺肥等不利因素的影响,提高其种群数量,小子藜草的株高和生育期显著短于农田<sup>[43]</sup>。而通过自身生理、生化的改变也是小子藜草适应异质生境的重要因素。为应对化学除草剂的选择压力,小子藜草通过修饰被除草剂长期作用的靶标位点、钝化其作用的酶活性、增强代谢解毒功能等来应对除草剂的选择压力<sup>[50-52]</sup>。如小子藜草通过降低细胞色素P-450氧化酶对异丙隆

的亲合,使其被代谢排出从而达到抗药性增强<sup>[51]</sup>。小子藨草也通过细胞膜或液泡的改变,增强其对除草剂的隔离能力而达到增强抗药性<sup>[53]</sup>。

#### 2.4 环境因素对小子藨草种群入侵扩张的影响

环境中的生物和非生物因素与外来生物的入侵扩张息息相关,外来物种能否入侵成功在部分程度上依赖于本土生物群落的抵抗力和稳定性,它同时也反映出本土群落生境对于外来物种定居和建群过程的易感性。首先全球气候改变可能是小子藨草种群入侵扩张的重要因素之一。国内外诸多研究表明,环境波动、气候变化是加速生物入侵进程的重要驱动力。气候变化能够增加生境条件的紊乱水平,从而提升外来种的入侵风险<sup>[54]</sup>。在全球气候变化趋势的影响下,入侵物种表现出比本土种更为强烈的响应机制。近年来,小子藨草种群在云南省快速扩张,并逐渐演变为云南省冬季主要杂草。而云南省近 50 年气象资料显示,云南省小子藨草发生区自 20 世纪 80 年代中后期以后出现增暖现象,90 年代后期增温最明显;50 a 来降水量平均变化不大,但降雨更为集中,由此造成云南省冬春季节性干旱和极端天气数量明显增加<sup>[55]</sup>。因此,我们认为入侵植物小子藨草对入侵地气候的适应性响应可能是其种群不断扩张,危害日益加剧的重要原因之一。其次入侵地农作物种植方式的改变也可能是小子藨草种群入侵扩张的重要因素。近年来耕作制度的变化,免耕栽培的大面积推广,高产矮秆小麦品种的广泛种植等都是加速小子藨草种群入侵扩张的重要因素。另外全球贸易、旅游和交通等的迅速发展,商品流通的加速,人类远距离大面积麦类引种等,也是小子藨草在全球大面积入侵扩张的重要原因之一。

综上所述,小子藨草独特的生物学特性、生态适应性和遗传多样性是其在入侵地成功入侵的内因,而全球气候的改变、入侵地长期单一类型除草剂的选择、高产矮秆麦类品种的大面积种植则是导致小子藨草在入侵地成功入侵并暴发危害的外因。

### 3 入侵植物小子藨草防治技术

为遏制小子藨草在入侵地的蔓延与危害,多年来国内外学者对其开展了诸如物理防治、化学防治、生物防治和农业防治等各种防治技术的研究,对安全有效控制小子藨草的蔓延与危害具有重要意义。如研究表明,在小子藨草苗后 20 d 和 40 d,通过人工方式拔除 2 次,可有效控制小子藨草的危害并使小麦增产 26%~29%<sup>[56]</sup>。然而小子藨草苗期与麦类相

似,给物理防治带来较大的困难,且人工防治费工费时。20 世纪 80 年代中后期人们开始探索使用化学除草剂对其进行防治。其中异丙隆(Isoproturon)是最先被研究的除草剂,并被大面积推广用于防治麦田小子藨草的化学药剂。如 Brar 等<sup>[51]</sup>研究表明在小子藨草 2~3 叶期,采用除草剂异丙隆茎叶喷雾可取得较好防治效果。但麦田长期单一使用异丙隆,导致小子藨草对其抗药性迅速增加,致使该药后来无法使用。除草剂啶草酮苗后茎叶处理的效果要优于土壤处理,研究表明应用除草剂 200 g·hm<sup>-2</sup> 啶草酮一次性茎叶喷雾处理,对小子藨草的防效达到 94%<sup>[57]</sup>。科研人员不断探索新的防控小子藨草的化学药剂和使用方法,发现了如肟草酮(Tralkoxydim)、禾草灵(Diclofop-methyl)、炔草酯(Clodinafop-propargyl)、稀禾定(Sethoxydi)等一批可有效控制小子藨草的化学除草剂,在麦田控制小子藨草方面取得了一定的效果<sup>[58-60]</sup>。但化学除草剂长期使用造成的环境污染和杂草抗药性的不断增强越来越被人们关注,近年来人们开始关注生物除草剂的开发研究。如 Javaid 等<sup>[61-62]</sup>先后报道了催眠睡茄(*Withania somnifera* (L.) Dunal.]和曼陀罗(*Datura stramonium* L.)的甲醇提取物可对小子藨草的种子萌发和幼苗生长有较好的抑制效果。但生物药剂目前还在室内研究阶段,真正能用于生产上的药剂尚需时日。通过农业手段综合控制小子藨草的发生危害不仅可减少化学农药的使用,也提高了防治效果,一直以来被人们关注。研究表明,通过小麦播种方法和播种时间的调整可控制小子藨草的发生危害。如 Singh<sup>[32]</sup>研究表明,与撒播方式播种小麦相比,采用条播方式播种小麦可显著降低小子藨草的危害,使小子藨草的干重降低 59%,如果结合使用异丙隆则使麦田的小子藨草防治效果达到 90%以上。另外使用无小子藨草种子的麦类可有效控制小子藨草种群的扩散;由于早期气温不适宜小子藨草的种子萌发和幼苗生长,因此,将小麦提前播种可有效降低小子藨草对小麦的危害<sup>[62]</sup>。

### 4 研究展望

#### 4.1 多学科融合研究小子藨草的入侵扩散机制

掌握外来生物种群入侵扩张的机制对早期预警、限制传播以及入侵生态系统的恢复与管理均具有重要的指导意义。外来物种成功入侵通常需经过侵入、定植、建群、扩展和暴发的链式反应过程,受到自身属性和功能的影响,同时也与外界环境中的生物和非生物因素息息相关,其策略和机制非常复

杂。长期以来,入侵生态学家一直致力归纳生物入侵的普遍法则,然而,事实证明这是一个巨大的挑战,以至于有些学者认为生物入侵是不可预测的<sup>[63]</sup>。入侵生态学是一门交叉学科,除了生态学以外,还与生物地理学、遗传学、进化学等密切相关。将其他学科的新理论和新技术有机地融合起来,运用到生物入侵机理和生态学后效的研究中,将有助于入侵生态学理论的发展。目前,关于小子藨草的研究已有较多的报道,但以前的研究主要集中在小子藨草的生物生态学特性、表型可塑性、麦田早期识别、与主要农作物的种间关系以及防治技术等方面,较少涉及小子藨草种群的入侵扩张机制。因此,未来的研究应通过生态学、种群遗传学、生物地理学等多学科融合,从基因-种群-生态系统等不同层次,系统研究该入侵物种对环境的适应性响应的生态遗传学基础,以及基因型与环境互作的生态学机制,解析小子藨草种群形成与扩展过程所取得生态适合度的对策,揭示入侵植物小子藨草的入侵扩散机制。

#### 4.2 小子藨草对全球气候改变的适应性响应研究

全球变化背景下的大尺度环境扰动为外来生物扩散和入侵提供了有利途径,其中,气候变化和人类活动(经济一体化、国际交往等)对生物入侵进程的影响尤为明显。国内外诸多研究表明,环境波动、气候变化是加速生物入侵进程的重要驱动力。气候变化能够增加生境条件的紊乱水平,从而提升外来种的入侵风险<sup>[53]</sup>。在全球气候变化趋势的影响下,入侵物种表现出比本土种更为强烈的响应机制<sup>[64]</sup>。入侵物种对入侵生境在环境选择压力下适应性响应能力直接决定其入侵与扩散性。许多入侵植物对环境梯度,如光、温、水等所做出的形态、生理、物候和可塑性的改变,作为适应环境的重要手段<sup>[65]</sup>,使其能够完成生活史并得以繁衍后代。研究表明,外来物种进入新生境,一旦种群产生适应性进化,将使入侵物种具有更强的入侵性和带来更为巨大的生态风险性<sup>[13]</sup>。近年来已有不少研究报道生物入侵过程产生的适应性进化,包括形态学的快速适应性进化,生活史性状的适应性进化,行为学的适应性进化,生理学的适应性进化和物候学的适应性进化等方面<sup>[66-67]</sup>。这些适应性的进化给生态系统带来巨大影响和风险性<sup>[13]</sup>。如外来入侵植物空心莲子草 [*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.] 目前在我国大面积发生危害,最近研究表明导致其种群扩张的主要原因是由于其通过超强补偿反应来应对天

敌莲草直胸跳甲(*Agasicles hygrophila* Selma & Vogt) 的取食<sup>[68]</sup>。入侵美国的芹叶牻牛儿苗(*Erodium cicutarium* L.)通过对入侵地恶劣气候条件的适应,目前已成为美国亚利桑那州东南部沙漠生态系统中优势度最大的入侵物种<sup>[69]</sup>。因此,深入研究小子藨草应对环境压力(胁迫)的适应性反应,对早期预警与制定科学的控制策略具有重要意义。

#### 4.3 科学有效的预警与防控策略

多年来,人们对小子藨草的防治技术研究主要集中于物理防治、化学防治和生物防治等手段来控制小子藨草,对控制小子藨草在农田生态系统的发生危害具有重要意义。但由于小子藨草在入侵地具有长久性土壤种子库,且种子具有强的耐逆性,因此,一旦生境被小子藨草侵入即很难完全根除。而研究通过水旱轮作、翻耕以及种植不利于小子藨草生长发育的植物,降低小子藨草种群的田间数量,通过生态系统控制其种群的形成与扩展对入侵地安全持久控制小子藨草具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] Christian C E. Consequences of a biological invasion reveal the importance of mutualism for plant communities[J]. *Nature*, 2001, 413(6856): 635-639
- [2] Orrock J L, Witter M S, Reichman O J. Apparent competition with an exotic plant reduces native plant establishment[J]. *Ecology*, 2008, 89(4): 1168-1174
- [3] Hejda M, Pyšek P, Jarošík V. Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities[J]. *Journal of Ecology*, 2009, 97(3): 393-403
- [4] 李扬汉. 中国杂草志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 1297-1299  
Li Y H. *China Weeds Flora*[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1998: 1297-1299
- [5] González-Andújar J L, Saavedra M. Spatial distribution of annual grass weed populations in winter cereals[J]. *Crop Protection*, 2003, 22(4): 629-633
- [6] Singh S, Kirkwood R C, Marshall G. Biology and control of *Phalaris minor* Retz. (littleseed canarygrass) in wheat[J]. *Crop Protection*, 1999, 18(1): 1-16
- [7] 徐高峰, 张付斗, 李天林, 等. 奇异藨草和小子藨草生物学特性及其对小麦生长的影响和经济阈值研究[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(21): 4409-4417  
Xu G F, Zhang F D, Li T L, et al. Biological characteristics, influence on growth of wheat and its economical threshold of *Phalaris paradoxa* L. and *Phalaris minor* Retz.[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(21): 4409-4417
- [8] Chhokar R S, Singh S, Sharma R K. Herbicides for control of isoproturon-resistant littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) in wheat[J]. *Crop Protection*, 2008, 27(3/5): 719-726

- [9] 赵国晶. 中国农田新纪录的两种禾本科杂草防除及利用[J]. 云南农业科技, 1988(1): 14  
Zhao G J. Control and use of 2 new records weed in Chinese[J]. Journal of Yunnan Agriculture Science, 1988(1): 14
- [10] 徐高峰, 申时才, 张付斗, 等. 两种外来入侵植物奇异蒺藜草和小子蒺藜草生物生态学特性及其防治[C]//农田杂草与防控. 第十届全国杂草科学大会论文集. 北京: 中国农业出版社, 2011: 87-93  
Xu G F, Shen S C, Zhang F D, et al. Biological characteristics, ecological characteristics and control technology of *Phalaris paradoxa* L. and *Phalaris minor* Retz[C]//Farmland Weeds and Control Technology. The Conference of the 11<sup>th</sup> National Weed Science Conference. Beijing: China Agricultural Press, 2011: 87-93
- [11] 我国主要外来入侵种名录[EB/OL]. (2002-11-18). [http://sts.mep.gov.cn/swaq/lygz/200211/t20021118\\_83385.htm](http://sts.mep.gov.cn/swaq/lygz/200211/t20021118_83385.htm)  
A list of main alien invasive species in China[EB/OL]. (2002-11-18). [http://sts.mep.gov.cn/swaq/lygz/200211/t20021118\\_83385.htm](http://sts.mep.gov.cn/swaq/lygz/200211/t20021118_83385.htm)
- [12] Schoepfner N M, Relyea R A. Phenotypic plasticity in response to fine-grained environmental variation in predation[J]. Functional Ecology, 2009, 23(3): 587-594
- [13] Matesanz S, Gianoli E, Valladares F. Global change and the evolution of phenotypic plasticity in plants[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2010, 1206: 35-55
- [14] Inderjit, Kaushik S. Management of *Phalaris minor*, an exotic weed of cropland[J]. Management of Invasive Weeds, 2009, 5: 279-286
- [15] The Polistes Corporation. *Phalaris minor* Retz. Lesser Canarygrass Littleseed canarygrass[EB/OL]. [2013-09-01]. <http://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Phalaris+minor>
- [16] Malik R K, Singh S. Littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) resistance to isoproturon in India[J]. Weed Technology, 1995, 9(3): 419-425
- [17] Om H, Kumar S, Dhiman S D. Biology and management of *Phalaris minor* in rice-wheat system[J]. Crop Protection, 2004, 23(12): 1157-1168
- [18] Shad R A, Siddiqui S U. Problems associated with *Phalaris minor* and other grass weeds in India and Pakistan[J]. Experimental Agriculture, 1996, 32(2): 151-160
- [19] Afentouli C G, Eleftherohorinos I G. Littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) and short-spiked canarygrass (*Phalaris brachystachys*) interference in wheat and barley[J]. Weed Science, 1996, 44(3): 560-565
- [20] Niknam S R, Moerkerk M, Cousens R. Weed seed contamination in cereal and pulse crops[C]. 13th Australian Weeds Conference: Weeds "Threats Now and Forever?". Sheraton Perth Hotel, Perth, Western Australia, 2002: 59-62
- [21] Matus M, Hucl P. Isozyme variation within and among accessions of annual *Phalaris* species in North American germplasm collections[J]. Crop Science, 1999, 39(4): 1222-1228
- [22] Dhiman K, Eleftherohorinos I. Nitrogen effect on competition between winter cereals and littleseed canarygrass[J]. Phytoparasitica, 2003, 31(3): 252-264
- [23] Om H, Dhiman S D, Kumar S, et al. Allelopathic response of *Phalaris minor* to crop and weed plants in rice-wheat system[J]. Crop Protection, 2002, 21(9): 699-705
- [24] Kashif M S, Cheema Z A, Farooq M, et al. Allelopathic interaction of wheat (*Triticum aestivum*) and littleseed canarygrass (*Phalaris minor*)[J]. International Journal of Agriculture & Biology, 2015, 17(2): 363-368
- [25] Amini R. Allelopathic potential of littleseed canary grass (*Phalaris minor* Retz.) on seedling growth of barley (*Hordeum vulgare* L.)[J]. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 2013, 3(12): 85-91
- [26] Dhaewil B K, Walia U S, Brar L S. Response of wheat to *Phalaris minor* Retz. population density[J]. Proceeding of Crop Protection Conference: Weeds, 1997: 1021-1024
- [27] Dhiman S D, Om H, Kumar S, et al. Biology and Management of *Phalaris minor* in Rice-wheat System[M]. CCSHAU Rice Research Station. Kaul Publication, 2002: 104
- [28] 李博. 植物竞争——作物与杂草相互作用的实验研究[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 40-41  
Li B. Competition — Experiments on Interaction Between Crop and Grass[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001: 40-41
- [29] 徐高峰, 张云, 申时才, 等. 不同物种和种植比例对小子蒺藜草表型可塑性与竞争效应的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(12): 1507-1514  
Xu G F, Zhang Y, Shen S C, et al. Effect of crop species and mixed ratios on morphological plasticity and competitiveness of *Phalaris minor* Retz.[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(12): 1507-1514
- [30] 顾德兴. 杂草中的拟态[J]. 自然杂志, 1989, 12(10): 766-769  
Gu D X. Mimicry of weeds[J]. Chinese Journal of Nature, 1989, 12(10): 766-769
- [31] Hari O M, Dhiman S D, Hemant K, et al. Biology and management of *Phalaris minor* in wheat under a rice/wheat system[J]. Weed Research, 2003, 43(1): 59-67
- [32] Singh S. Role of management practices on control of Isoproturon-resistant littleseed canarygrass (*Phalaris Minor*) in India[J]. Weed Technology, 2007, 21(2): 339-346
- [33] Walia U S, Brar L S. Effect of tillage and weed management on seed bank of *Phalaris minor* Retz. in wheat under rice-wheat sequence[J]. Indian Journal of Weed Science, 2006, 83(1/2): 104-107
- [34] Afentouli C G, Eleftherohorinos I G. Competition between wheat and canarygrass biotypes and their response to herbicides[J]. Weed Science, 1999, 47(1): 55-61

- [35] Franke A C, Singh S, Mcroberts N, et al. *Phalaris minor* seedbank studies: Longevity, seedling emergence and seed production as affected by tillage regime[J]. Weed Research, 2007, 47(1): 73–83
- [36] Thompson K. The functional ecology of soil seed banks[M]// Fenner M, ed. 2<sup>nd</sup> edition. Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities. Oxon and New York: CAB International, 2000: 215–235
- [37] Leimu R, Mutikainen P, Koricheva J, et al. How general are positive relationships between plant population size, fitness and genetic variation?[J]. Journal of Ecology, 2006, 94(5): 942–952
- [38] Rey O, Estoup A, Vonshak M, et al. Where do adaptive shifts occur during invasion? A multidisciplinary approach to unravelling cold adaptation in a tropical ant species invading the Mediterranean area[J]. Ecology Letters, 2012, 15(11): 1266–1275
- [39] Crawford K M, Whitney K D. Population genetic diversity influences colonization success[J]. Molecular Ecology, 2010, 19(6): 1253–1263
- [40] Ghaseminejad M, Bazoobandi M, Shahri M R K. Usage of molecular markers (PCR-RAPD) for studying genetic diversity of *Phalaris minor* in IRAN[C]. The 3<sup>rd</sup> Iranian Weed Science Congress, 2010: 604–607
- [41] McRoberts N, Sinclair W, McPherson A, et al. An assessment of genetic diversity within and between populations of *Phalaris minor* using ISSR markers[J]. Weed Research, 2005, 45(6): 431–439
- [42] Matus-Cádiz M, Hucl P. Morphological variation within and among five annual *Phalaris* species[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2004, 82(1): 85–88
- [43] Molina-Montenegro M A, Atala C, Gianoli E. Phenotypic plasticity and performance of *Taraxacum officinale* in their responses to environmental constraints[J]. Ecology Research, 2010, 24: 175–183
- [44] Ohadi S, Mashhadi H R, Tavakol-afshari R. Seasonal changes in germination responses of seeds of the winter annual weed littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) to light[J]. Weed Science, 2009, 57(6): 613–619
- [45] Okereke O U, Blair A M, Cheseley J C. Effect of depth of planting, temperature and soil moisture on seed emergence and survival in soil of *Bromis sterilis* and *Phalaris minor*[C]// Proceedings of Grass Weeds in Cereals in the United Kingdom Conference, 1981: 44–46
- [46] 徐高峰, 张付斗, 李天林, 等. 环境因子对奇异藜草和小子藜草种子萌发的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(7): 1458–1465
- Xu G F, Zhang F D, Li T L, et al. Influence of environmental factors on seed germination of *Phalaris paradoxa* and *Phalaris minor*[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2011, 31(7): 1458–1465
- [47] Mehra S P, Gill H S. Effect of temperature on germination of *Phalaris minor* Retz. and its competition in wheat[J]. Journal Research of Punjab Agricultural University, 1988, 25: 529–533
- [48] Parasher V, Singh O S. Mechanism of anoxia induced secondary dormancy in canary grass (*Phalaris minor* Retz.) and wild oats (*Avena fatua* L.)[J]. Seed Research, 1985, 13(2): 91–97
- [49] Lee C E. Evolutionary genetics of invasive species[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2002, 17(8): 386–391
- [50] Jasieniuk M, Brûlé-Babel A L, Morrison I N. The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds[J]. Weed Science, 1996, 44(1): 176–193
- [51] Brar L S, Walia U S, Seema J. Characterization of isoproturon resistant *Phalaris minor* biotypes exposed to alternate herbicides under cropped and uncropped situations[J]. Indian Journal of Weed Science, 2002, 34: 161–164
- [52] Coupland D. The role of compartmentation of herbicides and their metabolites in resistance mechanisms[J]. Herbicide Resistance in Weeds and Crops, 1991: 263–278
- [53] Bhan V M, Chaudhary D B S. Germination, growth and reproducing behavior of *Phalaris minor* Retz. as affected by the date of planting[J]. Indian Journal of Weed Science, 1976, 8: 126–130
- [54] Winder M, Jassby A D, Nally R M. Synergies between climate anomalies and hydrological modifications facilitate estuarine biotic invasions[J]. Ecology Letters, 2011, 14(8): 749–757
- [55] 段旭, 陶云. 云南近 50 年来的气候变化[J]. 热带气象学报, 2012, 28(2): 243–250
- Duan X, Tao Y. The climate change of Yunnan over the last 50 years[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2012, 28(2): 243–250
- [56] Kumar N, Walia U S, Kaur R, et al. wheat and *Phalaris minor* Retz. as influenced by rice straw management techniques and weed control treatments[J]. Environment and Ecology, 2000, 18(3): 639–642
- [57] Jitendra P. Effect of dose and mode of metribuzin application on *Phalaris minor* and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2002, 72(1): 11–13
- [58] Balyan R S, Malik R K. New herbicides for Jangli Palak (*Rumex retroflexus* L.)[J]. Indian Journal of Weed Science, 2000, 32(1/2): 86–88
- [59] Panwar R S, Katyal G, Malik R K, et al. Effect of diclofopmethyl alone and in combination with other herbicides on weed control in wheat[J]. Indian Journal of Weed Science, 2000, 32(1/2): 83–85
- [60] Yadav A, Malik R K, Bellinder, et al. Effect of herbicides alone and in tank mixture against complex flora of weeds in wheat[J]. Indian Journal of Weed Science, 2004, 36: 31–33

- [61] Javaid A, Shafique S, Shafique S. Herbicidal activity of *Withania somnifera* against *Phalaris minor*[J]. Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters, 2010, 24(15): 1457–1468
- [62] Javaid A, Shafique S, Shafique S. Herbicidal activity of *Datura metel* L. against *Phalaris minor* Retz.[J]. Pakistan Journal of Weed Science Research, 2008, 14(3/4): 209–220
- [63] Williamson M. Invasions[J]. Ecography, 1999, 22(1): 5–12
- [64] Sorte C J B, Ibáñez I, Blumenthal D M, et al. Poised to prosper? A cross-system comparison of climate change effects on native and non-native species performance[J]. Ecology Letters, 2013, 16(2): 261–270
- [65] Mangla S, Sheley R L, James J J, et al. Intra and interspecific competition among invasive and native species during early stages of plant growth[J]. Plant Ecology, 2011, 212(4): 531–542
- [66] Barrett S C H, Colautti R I, Eckert C G. Plant reproductive systems and evolution during biological invasion[J]. Molecular Ecology, 2008, 17(1): 373–383
- [67] Bossdorf O, Auge H, Lafuma L, et al. Phenotypic and genetic differentiation between native and introduced plant populations[J]. Oecologia, 2005, 144(1): 1–11
- [68] Lu X M, Ding J Q. Flooding compromises compensatory capacity of an invasive plant: Implications for biological control[J]. Biological Invasions, 2010, 12(1): 179–189
- [69] Kellner J R, Asner G P, Kinney K M, et al. Remote analysis of biological invasion and the impact of enemy release[J]. Ecological Applications, 2011, 21(6): 2094–2104

## 欢迎订阅 2016 年《中国生态农业学报》

《中国生态农业学报》由中国科学院遗传与发育生物学研究所和中国生态经济学会主办，中国科学院主管，科学出版社出版。系中国期刊方阵双效期刊、中国科技精品期刊、百种中国杰出学术期刊、中文核心期刊、RCCSE 中国权威学术期刊，为中国学术期刊综合评价数据库、中国期刊全文数据库、中国学术期刊文摘、中国科学引文数据库、中国科技论文与引文数据库、CNKI 中国期刊全文数据库源刊，并被国际农业生物学文摘(CABI)、美国化学文摘(CA)、哥白尼索引(IC)、美国乌利希国际期刊指南等国际数据库及检索单位收录。荣获第三届、四届全国农业优秀期刊一等奖和首届北方优秀期刊奖，中国北方优秀期刊，连续多届获得河北省优秀期刊奖。

《中国生态农业学报》主要报道全球环境变化与农业、农业生态系统与生态农业理论基础、农田生态系统与农业资源、生态农业模式和技术体系、农业生态经济学、农业环境质量及环境保护、农业有害生物的综合防治等领域创新性研究成果。适于从事农业生态学、生态学、生态经济学以及环境保护等领域科技人员、高等院校有关专业师生、农业及环境管理工作者和基层从事生态农业建设的技术人员阅读与投稿。

《中国生态农业学报》国内外公开发行，国内刊号 CN13-1315/S，国际刊号 ISSN1671-3990。月刊，国际标准大 16 开本，128 页，每期定价 35 元，全年 420 元。邮发代号：82-973，全国各地邮局均可订阅。漏订者可直接汇款至编辑部补订(需另加邮资 50.00 元/年)。

地址：(050022) 河北省石家庄市槐中路 286 号 中科院遗传发育所农业资源研究中心《中国生态农业学报》编辑部

电话：(0311) 85818007 传真：(0311) 85815093

网址：<http://www.ecoagri.ac.cn> E-mail: [editor@sjziam.ac.cn](mailto:editor@sjziam.ac.cn)