

除草剂对苘麻子代萌发和幼苗生长的延迟影响

齐月^{1,2}, 关潇¹, 闫冰^{1,2}, 杜乐山¹, 付刚^{1,2}, 乔梦萍^{1,3}, 李俊生^{1*} (1. 中国环境科学研究院生物多样性研究中心, 北京 100012; 2. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 3. 中国人民大学环境学院, 北京 100872)

摘要: 以我国本土野生植物苘麻为研究对象, 通过盆栽和萌发实验, 研究了苯磺隆和莠去津 2 种除草剂施用于苘麻花期对收获种子的萌发和幼苗生长的影响。结果表明, 苯磺隆和莠去津均对苘麻繁殖具有延续影响。苯磺隆对苘麻的种子萌发百分率和平均发芽时间影响不显著, 而使种子萌发初始时间提前或推迟, 随着浓度增加变化无规律性。大田推荐剂量浓度的苯磺隆(22.5g ai/hm²)抑制第 7 天幼苗生长特别是子叶下胚轴生长, 而低于大田推荐剂量的 6 个浓度均促进第 7d 幼苗生长。大田推荐剂量浓度 1/16 的莠去津(75g ai/hm²)处理后所获得种子萌发百分率显著高于空白对照和其它处理获得的种子萌发百分率, 施用大田推荐剂量(1200g ai/hm²)和大田推荐剂量浓度 1/4 的莠去津(300g ai/hm²)使种子初始萌发时间显著推迟。莠去津使种子平均发芽时间显著增加, 大田推荐剂量浓度 1/64(0.35g ai/hm²)和 1/4 的莠去津抑制第 7 天幼苗生长。

关键词: 莠去津; 苯磺隆; 苘麻; 种子萌发; 幼苗生长; 延迟影响

中图分类号: X171.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2016)08-2480-07

Seed germination and seedling growth of seed from velvetleaf treated by herbicides. QI Yue^{1,2}, GUAN Xiao¹, YAN Bing^{1,2}, DU Le-shan¹, FU Gang¹, QIAO Meng-ping^{1,3}, LI Jun-sheng^{1*} (1. Research Center for Biodiversity, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Renmin University of China, Beijing 100872, China). *China Environmental Science*, 2016, 36(8): 2480~2486

Abstract: For further study the ecological risk of herbicides and the carry-over effect of herbicides on plant reproduction, the pot and germination experiment were used to investigate the effect of tribenuron-methyl or atrazine treated on flowering stage of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medicus) on the offspring germination and seedlings growth. The result shows that tribenuron-methyl and atrazine both had a carry-over effect on velvetleaf reproduction. Tribenuron-methyl had no significant effect on germination percentage and mean germination time (MGT) of seeds. Initial germination time was irregularly changed (advance or delay) with the increase of tribenuron-methyl concentration. Radicle growth of seedlings (7days) were inhibited by the recommended field application concentration (RFAC) (22.5g ai/hm²) of tribenuron-methyl, with promoted by the others doses. Seed germination percentage from parent plants treated by 1/16 of RFAC (75g ai/hm²) of atrazine was significantly higher than that treated by other doses. The initial germination time were delayed significantly when parent plants were treated by RFAC (1200g ai/hm²), 1/4 of RFAC (300g ai/hm²) of atrazine. MGT of seeds from parent plants treated by atrazine significantly increased, and seedlings growth was inhibited when parent plants were treated by 1/64 (18.75g ai/hm²), 1/4 of RFAC of atrazine.

Key words: atrazine; tribenuron-methyl; velvetleaf; seed germination; seedling growth; carry-over effect

除草剂作为影响农田生态系统中生物多样性的因素之一^[1], 不仅威胁着耕作区的野生动、植物多样性^[2-3], 甚至通过空气飘散等扩大影响范围, 威胁着农田周边的野生动、植物^[9], 其生态影响已经引起人们的高度重视。我国化学除草剂施用量随着经济的发展逐年增加^[5-6], 对我国农田生态系统, 尤其是生物多样性的影响也在

发生变化, 深入了解除草剂的生态影响利于制定科学的农田生物多样性保护措施和除草剂使用方式。

收稿日期: 2016-01-06

基金项目: 国家转基因生物新品种培育科技重大专项资助 (2014ZX0815005-002)

* 责任作者, 研究员, lijsh@craes.org.cn

有关除草剂生态风险评估过去主要关注除草剂的短期影响即对地表生物量影响^[7-10],近期研究表明除草剂对植物可能具有更长期影响即对植物繁殖的影响^[1,11-12].植物繁殖对种群的保持与发展具有重要的意义,是维持农田生态系统结构和功能完整性的重要基础.然而我国有关除草剂生态影响的研究中,更多关注除草剂残留在环境中的生态毒性^[13-17],关于除草剂对陆生植物直接影响的研究多以农作物为主^[18-20],对野生植物的生长和生理生化影响也有所研究^[21-22].然而除草剂直接作用于野生植物对其繁殖的长期影响,特别针对我国本土野生植物的研究鲜见报道,由此可能低估了除草剂对农田生物多样性的影响,不利于我国农田生态系统中野生植物多样性保护工作开展.

苘麻(*Abutilon theophrasti* Medicus)为一年生亚灌木状草本,花期 7~8 月间,我国除青藏高原外其他各省区均有分布,常见于农田、荒地等生境,具有工业原料和药材等多种用途^[23].本研究选取我国农田常用的两种除草剂苯磺隆和莠去津,以我国本土野生植物苘麻为研究对象,分析不同浓度的除草剂作用于繁殖阶段苘麻所获得子代的萌发和幼苗生长状况,以期分析除草剂作用于我国本土植物的繁殖阶段是否对子代具有延迟影响,更深入揭示除草剂对野生植物的影响,为野生植物多样性保护工作提供参考.

1 材料与方法

1.1 实验设计

本实验于 2014 年 5 月~9 月在中国环境科学院北京顺义实验基地进行.该实验基地位于北京(东经 115.7°~117.4°,北纬 39.4°~41.6°)顺义区赵全营镇.在本实验基地未施用过除草剂的地块中获得同一种群的苘麻种子,播种于花盆中,每盆约 10 粒.当种子出苗具有 2~3 片真叶时,间苗保证各盆中有 1 棵长势旺盛的幼苗.

实验所用除草剂:苯磺隆(山东乔昌化学有限公司)属于茎叶处理剂类除草剂,华北地区大田推荐剂量为 22.5g ai/hm²;莠去津(山东胜邦绿野化学有限公司)具有土壤处理作用兼有茎叶处

理作用,能被植物根吸收,华北地区大田推荐剂量为 1200g ai/hm².2 种除草剂分别设有 7 个浓度梯度:大田推荐剂量(作为全剂量)、大田推荐剂量的 1/2、1/4、1/8、1/16、1/32、1/64.在植株生长到开花初期,即花苞刚刚开放,用毛笔分别蘸取不同浓度的苯磺隆(22.5,11.25,5.63,2.81,1.41,0.70,0.35g ai/hm²)或莠去津(1200,600,300,150,75,37.5,18.75g ai/hm²)涂抹花蕊一遍^[29].每种除草剂的每个浓度分别重复处理 6 株植株,没有除草剂处理的植株作为空白对照,共计 90 株苘麻.除草剂没有添加表面活性剂.

当苘麻的种子成熟后从植株上收获种子,去除杂物后放在通风的房间里自然干燥到恒重后,放入信封中储存于恒定温度下(4±0.5)℃的冰柜中约 3 个月,待种子萌发时使用.

1.2 种子萌发实验

将种子放在铺有 2 层滤纸的 90mm 直径的培养皿中,并加入 4mL 蒸馏水,实验期间每天补充蒸馏水 4mL.每个培养皿中 50 粒种子,每个处理 4 次重复,在 25℃恒温,相对湿度为 65%,12h 光照和 12h 黑暗循环培养条件下培养 4 周^[25-27].每隔 24h 记录每个培养皿中萌发的种子数,种子的胚根长到 1~2mm 时作为种子萌发标准^[28-29],每次计数后将萌发种子移到相同培养条件的培养皿(未加盖)中,在开始实验的第 7d,从每个培养皿中随机选取 3~4 个幼苗测定胚根长和子叶下胚轴长.胚根和子叶下轴的连接处有颜色的差别作为区分标志(白色的部分为胚根,绿色为子叶下轴)^[29].

1.3 观测指标与数据分析

观测指标包括:萌发百分率(%)^[30],平均萌发时间(d),初始萌发时间(d)^[29,31],萌发实验第 7d 的幼苗的胚根长,子叶下轴长,胚根与子叶下轴总长,胚根长度与子叶下轴长度比值等共 7 项.对除草剂不同浓度间处理获得数据进行方差分析 ANOVA 和 LSD 多重比较.数据采用 SPSS20.0 软件分析,采用 Origin 8.5 软件作图.数据表示为平均值±标准误差(SE).

2 结果与分析

2.1 种子萌发状况

两种除草剂作用于苘麻初花期对获得种子的萌发过程的影响存在差异,莠去津影响获得种子的萌发率、平均萌发时间和初始萌发时间,而苯磺隆对获得种子的萌发率和平均萌发时间影响不大,但是改变了种子的初始萌发时间。

不同浓度的苯磺隆涂抹初花期苘麻花蕊,对获得种子的萌发率影响差异不显著($P>0.05$);而不同浓度的莠去津,对获得种子萌发率影响差异极显著($P<0.001$),特别在施用 $75\text{g ai/hm}^2(1/16$ 的大田推荐剂量)的莠去津时种子萌发率显著高于空白对照和其它浓度下获得种子萌发率,但是种子萌发率变化并不随着施用亚致死剂量浓度的增加而呈规律性变化(图 1)。种子休眠是植物在长期的系统发育过程中形成的抵抗外界不良环境条件以保持物种不断发展与进化的生态特性,是调节萌发的最佳时间和空间分布的一种机制^[32]。莠去津增加了苘麻种子萌发率,使可能原本进入休眠的种子被打破休眠,这改变了植物应对环境的策略,也增加幼苗个体数量而增加种内竞争压力,减少土壤种子库的补充,不利于种群延续。

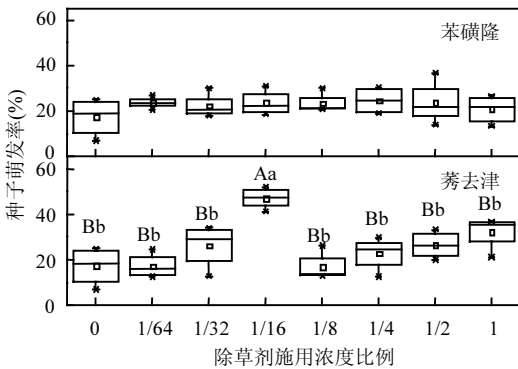


图 1 苘麻的花在除草剂作用下获得种子的萌发百分率
Fig.1 Germination percent of seeds from velvetleaf flowers treated by herbicides

箱形图中从上到下横线代表最大值、上四分位数、中位数、下四分位数和最小值,中间空心点代表平均值。a, b, c, d, e 代表当 $\alpha = 0.05$ 时不同浓度间差异显著性, A, B, C, D 代表当 $\alpha = 0.01$ 时不同浓度间差异。下同图 2 和图 3

不同浓度的苯磺隆涂抹初花期苘麻花蕊,对获得种子的平均发芽时间影响差异不显著($P>0.05$),而不同浓度的莠去津作用下,对获得种

子平均发芽时间影响差异极显著($P<0.001$),且种子萌发平均萌发时间均高于未施用除草剂的苘麻所获得种子的种子平均发芽时间(图 2)。莠去津使种子的平均发芽时间增加,表明莠去津减慢了种子发芽速度,使种子的发芽能力降低,而苯磺隆的影响不显著,结果表明莠去津对苘麻获得种子平均发芽时间的影响较苯磺隆的影响更大。

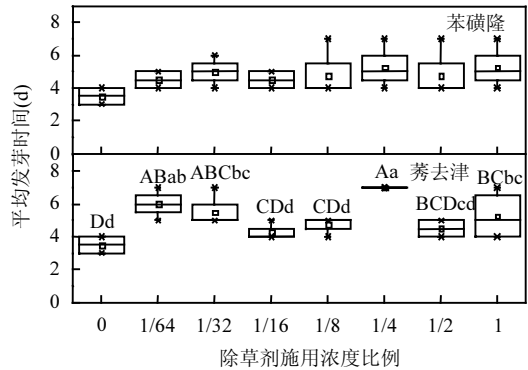


图 2 苘麻的花在除草剂作用下获得种子的平均发芽时间
Fig.2 Mean germination time of seeds from velvetleaf flowers treated by herbicides

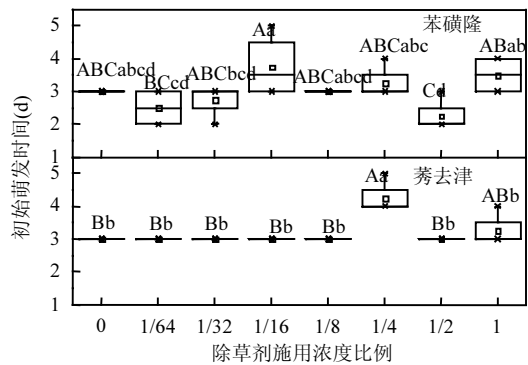


图 3 苘麻的花在除草剂作用下获得种子的初始萌发时间
Fig.3 Initial germination time of seeds from velvetleaf flowers treated by herbicides

两种不同浓度的除草剂均改变了苘麻获得种子的初始萌发时间且差异显著;施用不同浓度的苯磺隆,使得苘麻种子初始萌发时间改变(提前或延后),但是随着施用浓度的增加改变并无明显的规律性;对于初花期分别涂抹 1200g ai/hm^2 (大田推荐剂量)和 $300\text{g ai/hm}^2(1/4$ 的大田推荐剂量)的莠去津,获得种子初始萌发时间延

后(图 3).种子的萌发时间改变,对于物种能否存活提出了挑战,提早萌发的种子可以更早的获取生存空间和资源,但是也可能存在对环境因素,如低温等的不适应;而种子萌发时间延迟,不利于其种间竞争获取生存资源和空间.

2.2 萌发第 7d 的幼苗生长状况

两种除草剂对萌发第 7d 幼苗的生长影响存在差异.除了在大田推荐剂量浓度下(22.5g ai/hm²),苯磺隆在亚致死剂量浓度下促进萌发第 7d 的幼苗生长;而莠去津在少数浓度梯度下抑制萌发第 7d 的幼苗生长.

在苯磺隆作用下,苘麻的种子萌发第 7d 幼苗的胚根长相对于空白对照增加,而子叶下胚轴长差异不大,在施用浓度为 22.5g ai/hm² 即大田推荐剂量下,子叶下胚轴长度低于空白对照;胚根与子叶下胚轴的总长度随着苯磺隆浓度的增加呈现增加后降低的趋势;而胚根长度与子叶下胚轴长度比例随着浓度的增加呈现增加后降低后又有所增加的趋势(图 4).研究结果表明,相对于子叶下胚轴,苯磺隆促进了苘麻幼苗胚根的生长,并且在较低的亚致死剂量下更好地增加了胚根和子叶下胚轴总长度,这会使幼苗更好地获得生存空间和资源,增加种间竞争优势,同时也会使幼苗提早面临各种环境压力.

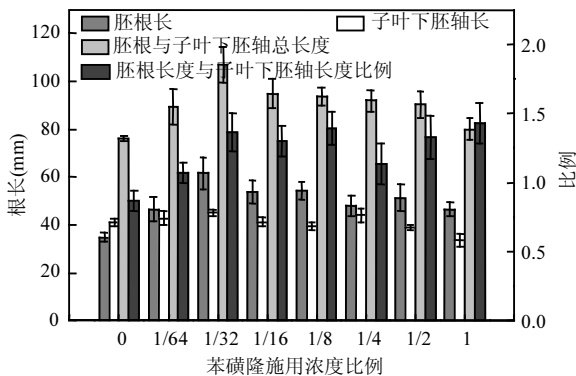


图4 苘麻的花在苯磺隆作用下获得种子萌发第 7d 的幼苗生长状况

Fig.4 Seedling(7days)growth of seeds from velvetleaf flowers treated by tribenuron-methyl

在苘麻初花期涂抹不同浓度的莠去津于花

蕊,获得种子萌发第 7d 的幼苗的胚根长度和子叶下胚轴长度,随着浓度的增加呈现不规则的变化,大田推荐剂量的 1/64 和 1/4 浓度的莠去津抑制第 7d 幼苗生长,这与胚根长度和子叶下胚轴的总长度具有相同结果;在大田推荐剂量 1/16 的浓度下,莠去津对胚根长度与子叶下胚轴长度比值低于空白对照,而其他浓度下均高于空白对照(图 5).结果表明,亚致死剂量的莠去津可以通过作用于苘麻的花蕊而影响其子代幼苗的生长,并且低于大田推荐剂量浓度的除草剂对苘麻的延迟影响并不低于大田剂量浓度下除草剂的影响,因此对除草剂生态风险的研究应重视对低浓度除草剂生态风险的关注.

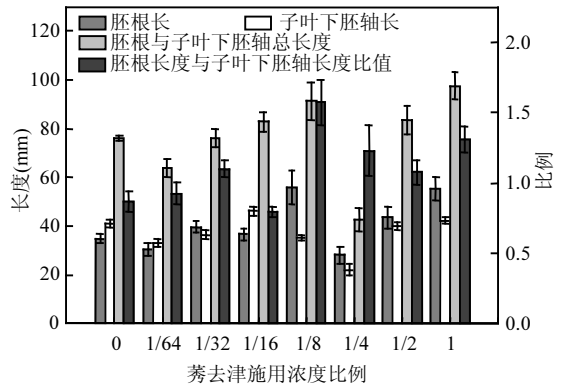


图5 苘麻的花在莠去津作用下获得种子萌发第 7d 的幼苗生长状况

Fig.5 Seedling(7days)growth of seeds from velvetleaf flowers treated by atrazine

3 讨论

繁殖对于植物,特别对一年生依靠种子繁殖的植物种群维持与发展具有重要的意义,除草剂作用于苗期和繁殖阶段均对植物具有延迟影响^[1,9,33].本实验结果支持上述观点,并且进一步证明了除草剂作用于繁殖阶段的植物对获得子代的萌发和生长具有延迟影响,且子代萌发和幼苗生长两个阶段应对除草剂的延迟影响的响应并不一致.种子萌发是幼苗建立和植物种群维持和发展的先决条件^[34-35],而幼苗的生长是植物存活的基础.相比除草剂对生物量的影响所带来危

害,除草剂对繁殖的直接影响和延迟影响的危害更为严重,将会影响种群的维持与发展,改变植物多样性,甚至影响生态系统的稳定性。

苯磺隆和莠去津对苘麻繁殖均具有延迟影响且存在差异,莠去津较苯磺隆对苘麻子代萌发和幼苗生长的延迟影响更大。除草剂化学属性和除草的作用机理可能是产生这种结果的重要影响因素之一^[36]。本实验中,苯磺隆除了大田推荐剂量下相对于空白对照抑制幼苗生长,其它施用浓度下均促进了幼苗的生长,而莠去津则对幼苗生长抑制作用更为显著,这可能与苯磺隆属于茎叶处理类除草剂^[37],而莠去津兼顾土壤处理作用和茎叶处理能影响植物根和茎叶生长有关^[38]。此外,除草剂的浓度也可能是重要的影响因素之一。本研究中不同亚致死剂量浓度的除草剂的影响结果存在显著差异,这在其它的研究中也具有相似结果,如对卷茎蓼(*Fallopia convolvulus* (L.) A. Loeve)、锯 锯 藤(*Galium spurium* L.)和 蒜 薹(*Thlaspi arvense* L.)分别施用不同浓度的 2-甲-4-苯氧基乙酸(MCPA)或苯磺隆,所获得种子百粒重、萌发率等具有不同响应^[28]。植物对不同浓度的除草剂具有响应差异可能与植物的抗胁迫能力有关,较低浓度的除草剂相当于较低的环境压力会激发植物抗胁迫能力,而高浓度的除草剂作为环境压力超过植物自身抗性则使植物可能受到不可逆转的损害^[39]。

除草剂对植物繁殖过程可能具有直接影响并且延续影响到子代。有研究表明,草甘膦可以抑制加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis* L.)花粉萌发和种子形成^[40],毒莠定在黄色矢车菊(*Centaurea solstitialis* L.)初花期施用使其花芽败育^[41]等。本实验也有相似的研究结果,苯磺隆和莠去津分别通过作用于苘麻的花(主要针对花蕊),影响获得种子的萌发和幼苗生长,推断两种除草剂均对繁殖过程具有直接影响,但是具体的影响机理值得进一步深入研究。植物可以通过自身修复,在生长阶段后期恢复由除草剂所损失的生物量^[42],然而一年生植物繁殖过程基本处于生长阶段后期,受到除草剂影响后缺乏自身修复的时间,可能使除草剂对繁殖的影响难以修复,因此

延迟影响到下一代生长,这或许是植物应对除草剂影响的自我修复的延续。

当然,本研究以盆栽实验和室内萌发实验开展分析除草剂对苘麻繁殖的长期影响,还不足以全面了解除草剂可能引发的生态影响,因此还需要进一步开展大田实验和野外观测等更为深入分析苯磺隆和莠去津对我国本土植物的影响及其生态风险。

此外,需要合理借鉴国外经验开展我国除草剂的生态影响评估工作,亟待建立我国除草剂的生态风险评估规范。我国化学除草剂施用量随着经济的发展逐年增加,除草剂对生态的影响越发引人关注,而我国关于除草剂生态影响和风险评估研究还存在很多空白^[43-44]。受到广泛认可的经合组织(OECD)和美国的除草剂生态风险评估导则,以植物地上生物量为观测终点,根据发布国家的农业生产条件、作物种类、野生植物资源等确定评估靶标生物^[7-8]。而近年来很多学者研究表明植物繁殖对于除草剂的影响更为敏感且对于种群维持与发展具有更为重要的意义,仅以地上生物量作为观测终点会低估除草剂的生态风险^[1]。借鉴国外的规范导则,还应关注相关研究,深入了解已有规范导则的缺陷和有待完善的方法、内容等,避免我国相关规范研究中出现相同问题。另外,除草剂的生态风险不仅仅是除草剂与生物之间的相互关系,同时受到环境因素、其他生物等影响,是一个较为复杂的过程。因此,在研究适合我国的除草剂生态风险评估规范,应根据我国农田生态系统特点筛选靶标生物,综合考虑作物、广泛分布本土植物及珍贵稀有本土植物,科学筛选短期和长期观测指标,综合开展室内外实验、盆栽与大田实验。

4 结 论

4.1 苯磺隆和莠去津分别作用于苘麻开花初期对获得子代的萌发和幼苗生长具有延续影响,但是两种除草剂的影响具有差异;苯磺隆显著改变种子萌发初始时间,对苘麻种子萌发和萌发速率的影响不大,促进了萌发实验第七天幼苗生长;莠去津使种子萌发速率降低,在部分亚致死剂量浓

度下抑制幼苗生长,改变萌发率和初始萌发时间.

4.2 亚致死剂量的两种除草剂作用于苘麻开花初期同样对子代具有延续影响,但是两种除草剂对繁殖的延续影响程度并不随着亚致死剂量浓度的增加而增加,无明显规律性.

参考文献:

- [1] Boutin C, Strandberg B, Carpenter D, et al. Herbicide impact on non-target plant reproduction: What are the toxicological and ecological implications? [J] *Environmental Pollution*, 2014, 185:295–306.
- [2] Rassam G, Latifi N, Soltani A, et al. Impact of crop management on weed species diversity and community composition of winter wheat fields in Iran [J]. *Weed Biology and Management*, 2011, 11(2):83–90.
- [3] Grundy A C, Mead A, Bond W, et al. The impact of herbicide management on long-term changes in the diversity and species composition of weed populations [J]. *Weed Research*, 2011, 51(2):187–200.
- [4] Dalton R L, Boutin C. Comparison of the effects of glyphosate and atrazine herbicides on nontarget plants grown singly and in microcosms [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2010, 29(10):2304–2315.
- [5] 丁 洪,张玉树,郑祥洲.除草剂对土壤氮素循环的影响 [J]. *生态环境学报*, 2011,20(4):767–772.
- [6] 强 胜.杂草学 [M]. 北京:中国农业出版社, 2009.
- [7] United States Environmental Protection Agency (USEP). Ecological effects test guidelines: Vegetative vigor [S]. 2012.
- [8] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Terrestrial plants test: seedling emergence and seedling growth test (No. 2008) and vegetative vigour test (No. 227). OECD Guidelines for the Testing of Chemicals [S]. 2006.
- [9] Carpenter D, Boutin C, Allison JE. Effects of chlorimuron ethyl on terrestrial and wetland plants: Levels of, and time to recovery following sublethal exposure [J]. *Environmental Pollution*, 2013, 172:275–282.
- [10] Olszyk D, Pfleeger T, Lee E H, et al. Glyphosate and dicamba herbicide tank mixture effects on native plant and non-genetically engineered soybean seedlings [J]. *Ecotoxicology*, 2015,24(5): 1014–1027.
- [11] Rotches-Ribalta R, Boutin C, Blanco-Moreno J M, et al. Herbicide impact on the growth and reproduction of characteristic and rare arable weeds of winter cereal fields [J]. *Ecotoxicology*, 2015,24(5):991–1003.
- [12] Clay P A, Griffin J L. Weed seed production and seedling emergence responses to late-season glyphosate applications [J]. *Weed Science*, 2000,48:481–486.
- [13] 陈建军,何月秋,祖艳群,等.除草剂阿特拉津的生态风险与植物修复研究进展 [J]. *农业环境科学学报*, 2010,29(S1):289–293.
- [14] 李宏园,马 红,陶 波.除草剂阿特拉津的生态风险分析与污染治理 [J]. *东北农业大学学报*, 2006,37(4):552–556.
- [15] 孙 昊,刘婷婷,关 阳,等.极度濒危蕨类中华水韭对除草剂的生理响应 [J]. *西北植物学报*, 2013,33(9):1830–1837.
- [16] 翟淑美,刘会娟,王晓萍.两种除草剂胁迫对皇冠草生理特性的影响 [J]. *中国农学通报*, 2009,25(24):231–235.
- [17] 葛会林,刘树深,苏冰霞.通用浓度加和模型预测有机磷与三嗪农药对绿藻的联合毒性 [J]. *中国环境科学*, 2014,34(9):2413–2419.
- [18] 张育平,吕文彦,秦雪峰,等.3 种除草剂对核桃幼苗生长量及生理效应的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2006,34(10):2201–2202.
- [19] 张 倩,宋 超,相振波,等.四种典型稻田除草剂对烟草生长的影响 [J]. *中国烟草学报*, 2013,19(5):82–88.
- [20] 王虎瑞.除草剂茎叶处理对谷子生长发育的影响 [J]. *中国植保导刊*, 2015,35(3):75–88.
- [21] 孟桂元,柏连阳,郭腊梅,等.不同除草剂对亚麻生长及杂草防治效果的影响 [J]. *中国农学通报*, 2011,27(9):391–394.
- [22] 彭 俊,宋志龙,孟新刚,等.除草剂对藜草生理生化指标的影响 [J]. *西北农业学报*, 2013,22(9):192–197.
- [23] 中国科学院《中国植物志》编委会.中国植物志 [M]. 北京:科学出版社, 1984.
- [24] Akamatsu F, Makishima M, Taya Y, et al. Evaluation of glyphosate application in regulating the reproduction of riparian black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) after clear-cutting, and the possibility of leaching into soil [J]. *Landscape and Ecological Engineering*, 2014,10(1):47–54.
- [25] Ghorbani R, Seel W, Leifert C. Effects of environmental factors on germination and emergence of *Amaranthus retroflexus* [J]. *Weed Science*, 1999,47(5):505–510.
- [26] Guo P G, Al-Khatib K. Temperature effects on germination and growth of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), Palmer amaranth (*A-palmeri*), and common waterhemp (*A-rudis*) [J]. *Weed Science*, 2003,51(6):869–875.
- [27] Wang W-B, Kim Y-H, Lee H-S, et al. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2009, 47(7):570–577.
- [28] Andersson L. Characteristics of seeds and seedlings from weeds treated with sublethal herbicide doses [J]. *Weed Research*, 1996, 36(1):55–64.
- [29] Zhu J J, Kang H Z, Tan H, et al. Effects of drought stresses induced by polyethylene glycol on germination of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* seeds from natural and plantation forests on sandy land [J]. *Journal of Forest Research*, 2006,11(5):319–328.

- [30] Scott S J, Jones R A, Williams W A. Review of data analysis methods for seed germination [J]. Crop Science, 1984,24(6): 1192-1199.
- [31] Demir I, Ermis S, Mavi K, et al. Mean germination time of pepper seed lots (*Capsicum annuum* L.) predicts size and uniformity of seedlings in germination tests and transplant modules [J]. Seed Science and Technology, 2008,36(1):21-30.
- [32] 唐安军,龙春林,刀志灵.种子休眠机理研究概述 [J]. 云南植物研究, 2004,26(3):241-251.
- [33] Hurst A, John E. The effectiveness of glyphosate for controlling *Brachypodium pinnatum* in chalk grassland [J]. Biological Conservation, 1999,89(3):261-265.
- [34] Rewers M, Sliwiska E. Endoreduplication in the germinating embryo and young seedling is related to the type of seedling establishment but is not coupled with superoxide radical accumulation [J]. Journal of Experimental Botany, 2014,65(15): 4385-4396.
- [35] Sanchez-Linares L, Gavilanes-Ruiz M, Diaz-Pontones D, et al. Early carbon mobilization and radicle protrusion in maize germination [J]. Journal of Experimental Botany, 2012,63(12): 4513-4526.
- [36] Fawcett R S, Slife F W. Effects of 2,4-D and dalapon on weed seed production and dormancy [J]. Weed Science, 1978,26(6): 543-547.
- [37] Duman F, Urey E, Temizgul R, et al. Biological responses of a non-target aquatic plant (*Nasturtium officinale*) to the herbicide, tribenuron-methyl [J]. Weed Biology and Management, 2010, 10(2):81-90.
- [38] Arntz A M, DeLucia E H, Jordan N. Contribution of photosynthetic rate to growth and reproduction in *Amaranthus hybridus* [J]. Oecologia, 1998,117(3):323-330.
- [39] 戈峰.现代生态学 [M]. 北京:科学出版社, 2002:82-83.
- [40] Guo S, Jiang H, Fang F, et al. Influences of herbicides, uprooting and use as cut flowers on sexual reproduction of *Solidago canadensis* [J]. Weed Research, 2009,49(3):291-299.
- [41] Carrithers V F, Roche C T, Gaiser D R, et al. Herbicides reduce seed production in reproductive-stage yellow starthistle (*Centaurea solstitialis*) [J]. Weed Technology. 2004,18(4):1065-1071.
- [42] Carpenter D, Boutin C. Sublethal effects of the herbicide glufosinate ammonium on crops and wild plants: short-term effects compared to vegetative recovery and plant reproduction [J]. Ecotoxicology, 2010,19(7):1322-1336.
- [43] 续卫利,周军英,程 燕,等.农药生态风险分级标准研究 [J]. 农药科学与管理, 2012,33(12):23-30.
- [44] 于彩虹,高 然,宋 淼,等.欧盟农药对陆生非靶标节肢动物风险评估进展 [J]. 农药, 2016,55(1):9-12.

作者简介: 齐 月(1983-),女,黑龙江齐齐哈尔人,博士研究生,主要研究方向为环境生态学。

钢铁行业减排见成效,十年间废气污染排放削减三分之二

随着钢铁企业环保投入的不断加大,污染物排放大幅减少.记者近日从冶金工业规划研究院获悉,2005年至2015年间,我国钢铁行业完成了约2/3的废气污染排放削减.

根据冶金规划院的数据,十年间通过实施烧结烟气脱硫以及回收富余煤气,推进油改气、煤改气等改造项目,我国吨钢二氧化硫排放量由近3kg降为0.85kg左右.

烟粉尘污染也有大幅减少.经过不断实施除尘改造,增加除尘能力,采用布袋除尘等工艺,吨钢烟粉尘排放量已从两千千克降为2015年底的0.81kg左右.

过去的十年间,我国钢铁行业固废综合利用率已提高至97.5%,吨钢固废产生量由628kg降至585kg,吨钢固废产生量总体呈波动下降趋势.

通过实施节水型清洁生产工艺,钢铁行业废水排放也大幅降低.吨钢废水排放量由3.8m³下降至0.8m³.

摘自《中国环境报》

2016-07-20