

不同农作措施对少花蒺藜草(*Cenchrus pauciflorus* Benth)种子库及其繁殖能力的影响

张衍雷¹, 张瑞海¹, 付卫东¹, 宋 振¹, 倪汉文², 张国良^{1*}

(1.中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2.中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100091)

摘 要:系统调查了天然草原及旱作农田2种典型生境中少花蒺藜草种子库动态,并深入研究了施肥、灌溉、刈割及替代种植对少花蒺藜草种群繁衍扩张的影响。结果表明:从2种生境土壤种子库中共鉴定出12科24属25种植物;天然草原及旱作农田少花蒺藜草种子总储量分别达12 923粒·m⁻²和8 960粒·m⁻²,分别占整个种子库的67.72%及79.74%;天然草原生境中少花蒺藜草种子主要集中在土壤上表层(0~2 cm),占种子总量的45.71%,而旱作农田生境中,少花蒺藜草种子在土壤表层(0~2 cm)、中层(2~5 cm)、下层(5~10 cm)中分布差异不显著($P>0.05$)。试验也表明,低施肥量能显著提高少花蒺藜草结实量($P<0.05$),而中、高水平施肥处理少花蒺藜草结实量反而降低;随着灌溉浇水量增加,少花蒺藜草结实量显著增加($P<0.05$),高水平浇水量结实量平均为2 562.8粒·株⁻¹;刈割能有效抑制少花蒺藜草种群种子繁殖,每周刈割1次,抑制少花蒺藜草结实率为97.69%;替代种植向日葵、菊芋能极显著抑制少花蒺藜草生长及结实量($P<0.01$)。

关键词:少花蒺藜草;土壤种子库;种子产量;农艺措施

中图分类号:Q948.1

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2015)03-0312-09

doi: 10.13254/j.jare.2015.0040

Effects of Different Cultivation Practices on the Amount of Seeds in the Soils and Seed Production of *Cenchrus pauciflorus* Benth

ZHANG Yan-lei¹, ZHANG Rui-hai¹, FU Wei-dong¹, SONG Zhen¹, NI Han-wen², ZHANG Guo-liang^{1*}

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China; 2. College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100091, China)

Abstract: In the present study, the amount of *Cenchrus pauciflorus* Benth seeds in the soils of natural grassland and farmland was measured. The effects of fertilization, irrigation, plant-mowing and using replacement plant species on *C. pauciflorus* were analyzed. From seeds of pasture and dry farmland soils, a total number of 25 plant species were identified, which fell into 24 genera of 12 families. The number of seeds of *C. pauciflorus* per square meter reached 12 923 in natural pasture soils and 8 960 in dry farming soils, which was 67.72% and 79.74% of the total seeds, respectively, from the two types of soils. In dry natural pasture soils, the seeds of *C. pauciflorus* were mainly distributed on the top 0~2.0 cm layer, being 45.71% of the total seeds. In dry farmland soils, however, the numbers of *C. pauciflorus* seeds were not significantly different on the 0~2.0, 2.0~5.0 cm and 5.0~10.0 cm layers ($P>0.05$). Experiments showed that seed production increased significantly at the low-dosage of fertilizer application ($P<0.05$), but it was much lowered at the intermediate and high dosages of fertilizer treatment. The seed yield of *C. pauciflorus* was positively related to the amount of water application in irrigation and it was 2 562.8 seeds per plant. Plant-mowing suppressed seeds production of the weed and a reduction of 97.69% of seeds was observed by mowing the weed once a week. Planting sunflower (*Helianthus annuus* L.) or Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) suppressed the growth and seed yield of *C. pauciflorus* plants significantly ($P<0.01$).

Keywords: *Cenchrus pauciflorus*; seeds in soils; seeds production; cultivation practices

少花蒺藜草(*Cenchrus pauciflorus* Benth.)是原产于北美洲及热带沿海地区的一年生入侵杂草^[1-2],20世

纪40年代随动植物引种和车船的往来传入我国辽西地区,在辽宁省西北部、内蒙古自治区东部、吉林省南部三省交会地区危害成灾^[3-4],近年来向周边区域扩散蔓延速度正在加快,目前已成为我国北方农牧交错区域最重要的入侵杂草^[5-6]。少花蒺藜草常侵入干旱沙质土壤^[7-8],极易形成单一优势种群,与作物、牧草争光、争水、争肥,使作物减产、草场退化^[9-11],其果实成熟后

收稿日期:2015-02-06

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201103027)

作者简介:张衍雷(1987—),男,山东济宁人,硕士研究生,主要从事外来入侵物种防治工作。E-mail: juwaireb@163.com

*通信作者:张国良 E-mail: zhangguoliang@caas.cn

形成的刺苞对牲畜造成机械损伤,影响农事操作。

土壤种子库是指存在于土壤上层凋落物和土壤中全部存活种子的总和,一定程度上反映了植物群落中各种群的状况^[12-13],是植物潜在的种群,尤其是在受外来种入侵危害地区,土壤种子库的特征对生态系统的恢复和未来植被的结构、功能、组成与动态极为重要^[14]。土壤种子库与地上植被关系密切,地上植被的种子雨是土壤种子库的主要来源,反过来种子库通过参与群落的自然更新又影响着地上群落结构组成及物种多样性的维持^[15-16]。人为干扰对土壤种子库的大小、分布和动态等方面均有一定影响,被干扰后的土壤种子库对未来群落多样性具有巨大的潜在重要性。调控土壤种子库结构的生态控草措施近年来受到入侵杂草管理者的普遍关注^[17-19],有研究表明,施肥、刈割、轮作等农艺措施是一种非常有效的生态控制入侵杂草的方法,能有效减少土壤种子库中的入侵杂草种子数量,降低次年杂草扩散危害^[20-22]。

目前,国外学者对杂草种子库进行的研究较多,主要侧重于研究杂草种子库的大小和结构特征^[17],以及杂草种子库在不同除草措施、耕作方式和轮作方式长期作用下的动态变化^[23-26]。国内在这方面的研究刚刚起步,对少花蒺藜草的研究侧重于自然分布、危害、种子萌发^[27-31]及结实特性^[30-32]等方面的研究,而对农作管理措施对少花蒺藜草种子库结构及种群繁衍特性影响关注较少。种子繁殖是少花蒺藜草延续后代的唯一途径,其每年产生大量的种子,通过自然和人为活动传播并在土壤中保持有较大的土壤种子库,对少花蒺藜草的入侵、生存、扩展过程发挥着非常重要的作用。

本文对少花蒺藜草典型入侵生境土壤种子库分布特征进行调查,并对施肥、灌溉、刈割、替代种植不同农艺措施对少花蒺藜草种子生产能力的研究,旨在了解少花蒺藜草种子库土壤分布规律,明确不同农作管理及替代种植对少花蒺藜草种子库影响机制,为少花蒺藜草的综合治理提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 土壤种子库调查

1.1.1 调查地点

彰武地处辽宁省西北部,科尔沁沙地南部,海拔在150~200 m之间。属温带季风性气候,干旱和半干旱地区,年平均气温7.1℃,最低气温28.4℃,最高气温37.4℃,平均无霜期156 d,全年最大降雨量744.1

mm,最小降雨量329.4 mm,年均降水量510 mm,降雨多集中在7—8月,年平均蒸发量1789.8 mm。土壤类型为风沙土,养分贫瘠,表土有机质含量1%~1.5%,保水保肥能力差,植被稀疏,少花蒺藜草危害严重,农田发生面积3.2万hm²、天然草原(包括荒地)发生面积4.1万hm²^[3]。本研究选取玉米-大豆间作耕地(42°34.640'N,122°30.131'E)及天然草场(42°26.543'N,122°33.918'E)2个典型生境作为样地,开展少花蒺藜草土壤种子库调查。

1.1.2 调查方法

在上述2个生境中,根据少花蒺藜草生长状况,采取对角线取样方法选取面积为1 m×1 m的30个样方,用小铲在样方内随机取10 cm×10 cm×10 cm的小样方,分层取样,取样深度依次为0~2 cm(上层),2~5 cm(中层),5~10 cm(下层)。参考文献[14]调查方法,在主要萌发季节完后的土壤种子库可视为长久性种子库。因此3次取样时间分别为早春种子未萌发前(2013年4月)、夏季种子萌发后(2013年6月)以及植株生长旺季,在新种子成熟前(2013年8月)。将取回的土样在实验室中用0.25 mm孔径筛子过滤出杂物和草根,然后将土样均匀的平铺于15 cm×12 cm盆钵中,盆钵放置于中国农业科学院温室中,在22~25℃下定期浇水,保持湿润,逐日记载温度与发芽数,对已萌发出的幼苗进行种类鉴定、计数后清除。如连续2周无种子萌发,再将土样搅拌混合,继续观察,直至连续2周不再有种子萌发便结束萌发实验^[12-13]。土壤种子密度用相应土壤层单位面积中有生命的种子数量(即有效种子数量)来表示。

1.2 不同农作管理措施对少花蒺藜草结实量影响

本试验采用室外盆栽控制方法,模拟施肥、灌溉、刈割对少花蒺藜草种子生产、种群繁育能力的影响。试验中选择均匀一致的少花蒺藜草成熟种子(2012年9月采集于辽宁彰武,置于室内冰箱冷藏),穴播于35 cm×40 cm(内直径×高)的盆钵中,每盆6粒,出苗后选择3株壮苗留下定植,试验中所用土为草炭土:河沙按1:4比例混合构成,各营养元素的含量为有机质10.2 g·kg⁻¹,全氮0.28 g·kg⁻¹,全磷0.26 g·kg⁻¹,全钾11.6 g·kg⁻¹。试验日期从2013年5月20日开始到9月20日结束,所有试验在国家精准农业研究示范基地(北京市昌平区小汤山)塑料棚室中完成。

1.2.1 施肥试验

试验共设3个处理,低、中、高3水平施用量分别为:尿素10 g+磷酸二氢钾3 g、尿素20 g+磷酸二氢钾

6 g、尿素 30 g+磷酸二氢钾 9 g,分别记作 F1、F2、F3,每个处理设 5 个重复,化肥一次性施于盆中 20 cm 左右土层。实验所用化肥为尿素(N 总养分 $\geq 46.3\%$,昆仑山牌,河北禾盛化工有限公司)、磷酸二氢钾(磷 $\geq 51\%$ 、钾 $\geq 51\%$,真知农牌,安徽省好又多农业科技开发有限公司)。

1.2.2 灌溉试验

试验设 3 个处理,分别按少花蒺藜草生育期降雨量为 200、400、600 mm 折算成浇水量,分别记作 W1、W2、W3,每个处理设 5 个重复。每月灌溉 4 次,每次单盆灌溉水量分别为 1、2、3 L,灌溉用水为基地深井水,采用微型喷壶从植株顶部垂直向下喷淋。

1.2.3 刈割试验

试验共设 3 个处理,即每周刈割 1 次、每 2 周刈割 1 次、每 3 周刈割 1 次,分别记作 Y1、Y2、Y3,每个处理设 5 个重复,在少花蒺藜草幼苗定植后,株高达 8~10 cm 时开始刈割,每次刈割留茬 3 cm,少花蒺藜草抽穗后停止刈割。

其中,施肥、灌溉、刈割控制 3 个试验对照处理(CK)设 5 个重复,均为不施肥、不刈割、正常浇水。在生长季末,统计各试验组少花蒺藜草结实量,用 SPSS 软件进行一元方差分析(One-Way ANOVA)。

1.3 替代种植对少花蒺藜草种子库影响

本试验采用田间小区控制模拟方法,选取向日葵、菊芋作为替代种植作物,设 3 个处理小区,分别为向日葵与少花蒺藜草混种、菊芋与少花蒺藜草混种、少花蒺藜草单种。小区面积为 5 m $\times$ 5 m,每个小区 3 个重复。播种前进行整地、除草、起垄,划分小区,具体播种方法见表 1。在少花蒺藜草植株生长进入抽穗期,采用 5 点取样法,每点取 4 株,每试验小区共取 60 株,套纱网,做好标记,及时收集成熟种子,试验结束后统计小区内少花蒺藜草结实量。试验期间不施肥,不除草,作物生长依靠自然降雨。试验日期从 2013 年 5 月 10 开始到 9 月 20 日结束,所有试验在北京市昌平区小汤山国家精准农业研究示范基地隔离试验

区中完成。试验所获得数据用 SPSS 软件进行一元方差分析(One-Way ANOVA)和 Duncan 多重比较法分析数据差异显著性。

2 结果与分析

2.1 少花蒺藜草土壤种子库特征

2.1.1 土壤种子库的种类组成及数量

2 个样地中共鉴定出 25 种植物。其中天然草原有 24 种植物,隶属于 12 科 24 属,种子库总储量为 19 239 粒 $\cdot$ m $^{-2}$,优势物种为少花蒺藜草(*Cenchrus pauciflorus*)、长萼鸡眼草(*Kummerowia stipulacea*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、牛筋草(*Eleusine indica*),种子储量分别为 12 923、1 653、1 460、1 323 粒 $\cdot$ m $^{-2}$,分别占总储量的 67.72%、8.66%、7.65%、6.93%;玉米-大豆间作农田有 17 种植物,隶属于 10 科 16 属,种子库总储量为 11 491 粒 $\cdot$ m $^{-2}$,优势物种为少花蒺藜草(*Cenchrus pauciflorus*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、地肤(*Kochia scoparia*)、藜(*Chenopodium album*),种子储量分别为 8 960、817、413、363 粒 $\cdot$ m $^{-2}$,分别占总储量的 79.74%、7.27%、3.68%、3.23%。从表 2 和表 3 可以看出,2 个样地共有相同物种 16 种,少花蒺藜草为 2 个样地的优势物种,从物种的丰富度和种子总储量比较看,天然草原生境要大于旱作农田。

2.1.2 少花蒺藜草种子在土壤中的垂直分布

从少花蒺藜草种子在土壤中的垂直分布上看,在天然草原生境中,可以明显看出,随着土壤深度的加深(0~10 cm)少花蒺藜草种子数量减少(图 1)。采集的各层级土样来看,从上往下,上层(0~2 cm),中层(2~5 cm),下层(5~10 cm)土壤中少花蒺藜草种子数($n=30$)分别为 8 826、2 363、1 733 粒 $\cdot$ m $^{-2}$,且差异显著($P<0.05$),上层土中(0~2 cm)种子占总种子库的 45.71%(表 4)。

在玉米-大豆间作农田生境中,从上往下,3 层土壤中少花蒺藜草种子数($n=30$)分别为 3 823、1 953、3 183 粒 $\cdot$ m $^{-2}$,差异不显著($P>0.05$),该生境中少花蒺

表 1 替代种植播种方法

Table 1 Methods of sowing alternative plants

小区 Plot	植物 Plants	播种方法 Sowing methods
处理 1	向日葵+少花蒺藜草	向日葵播种方式采用点播,行、株距 50 cm,播种完毕后,移栽 5 cm 左右高度的少花蒺藜草于向日葵行间。每个小区播种向日葵 81 穴,少花蒺藜草 72 株。
处理 2	菊芋+少花蒺藜草	菊芋播种方式采用点播,选取带芽的菊芋小块,点播于小区内,行、株距 50 cm,播种完毕后,移栽 5 cm 左右高度的少花蒺藜草于菊芋行间。每个小区播种向日葵 81 穴,少花蒺藜草 72 株。
CK	少花蒺藜草	移栽 5 cm 左右高度的少花蒺藜草于小区内,共移栽少花蒺藜草 72 株。

表 2 玉米-大豆间作农田样地土壤种子库各物种组成及其所占储量比例
Table 2 The species and proportion of plants of soil seeds bank in corn-soybean cropland

物种 Species	科 Family	属 Genus	储量/粒·m ⁻² Reserves/seeds·m ⁻²	比例/% Proportion/%
少花蒺藜草 <i>Cenchrus pauciflorus</i>	禾本科 Gramineae	蒺藜草属	8 960	79.74
藜 <i>Chenopodium album</i>	藜科 Chenopodiaceae	藜属	363	3.23
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属	33	0.30
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	蒺藜科 Chenopodiaceae	蒺藜属	20	0.18
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科 Gramineae	狗尾草属	57	0.50
凹头苋 <i>Amaranthus lividus</i>	苋科 Amaranthaceae	苋属	67	0.59
牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	禾本科 Gramineae	稃属	123	1.10
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	马齿苋科 Portulacaceae	马齿苋属	223	1.97
反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	苋科 Amaranthaceae	苋属	93	0.83
刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i>	菊科 Compositae	蓟属	20	0.18
龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	茄科 Solanaceae	茄属	266	2.37
打碗花 <i>Calystegia hederacea</i>	旋花科 Convolvulaceae	打碗花属	6	0.05
苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	锦葵科 Malvaceae	苘麻属	3	0.03
大画眉草 <i>Eragrostis cilianensis</i>	禾本科 Gramineae	画眉草属	20	0.18
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	禾本科 Gramineae	马唐属	817	7.27
地肤 <i>Kochia scoparia</i>	藜科 Chenopodiaceae	地肤属	413	3.68
香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	莎草科 Cyperaceae	莎草属	7	0.06

表 3 天然草原样地土壤种子库各物种组成及其所占储量比例
Table 3 The species and proportion of plants of soil seeds bank in natural grassland

物种 Species	科 Family	属 Genus	储量/粒·m ⁻² Reserves/seeds·m ⁻²	比例/% Proportion/%
少花蒺藜草 <i>Cenchrus pauciflorus</i>	禾本科 Gramineae	蒺藜草属	12 923	67.72
长萼鸡眼草 <i>Kummerowia tipulacea</i>	豆科 Legume	鸡眼草属	1 653	8.66
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属	63	0.33
藜 <i>Chenopodium album</i>	藜科 Chenopodiaceae	藜属	40	0.21
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科 Gramineae	狗尾草属	553	2.90
反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	苋科 Amaranthaceae	苋属	47	0.24
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	蒺藜科 Zygophyllaceae	蒺藜属	20	0.10
牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	禾本科 Gramineae	稃属	1 323	6.93
大画眉草 <i>Eragrostis cilianensis</i>	禾本科 Gramineae	画眉草属	367	1.92
苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	锦葵科 Malvaceae	苘麻属	3	0.02
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	马齿苋科 Portulacaceae	马齿苋属	30	0.16
苣荬菜 <i>Sonchus arvensis</i>	菊科 Compositae	苣荬菜属	3	0.02
香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	莎草科 Cyperaceae	莎草属	10	0.05
圆叶牵牛 <i>Pharbitis purpurea</i>	旋花科 Convolvulaceae	牵牛属	3	0.02
龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	茄科 Solanaceae	茄属	3	0.02
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	禾本科 Gramineae	马唐属	1 460	7.65
苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	菊科 Compositae	苍耳属	3	0.02
稗 <i>Echinochloa crusgali</i>	禾本科 Gramineae	稗属	277	1.45
铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	大戟科 Euphorbiaceae	铁苋菜属	7	0.03
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	大戟科 Euphorbiaceae	大戟属	17	0.09
野西瓜苗 <i>Hibiscus trionnum</i>	锦葵科 Malvaceae	木槿属	20	0.10
茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i>	菊科 Compositae	蒿属	27	0.14
打碗花 <i>Calystegia hederacea</i>	旋花科 Convolvulaceae	打碗花属	10	0.05
刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i>	菊科 Compositae	蓟属	377	1.99

藜草种子主要分布于 0~2、5~10 cm 土层中,种子库分别占总种子库的 33.02%和 27.50%,2~5 cm 土层中少花蒺藜草种子库仅占总种子库的 16.8%(表 4)。

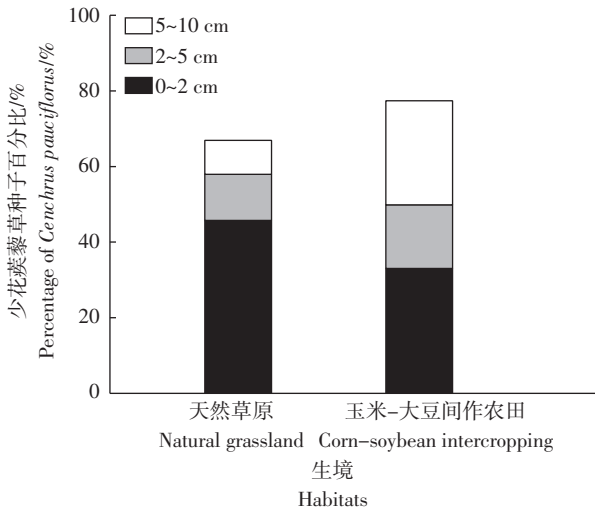


图 1 不同生境下的少花蒺藜草种子垂直分布的比例

Figure 1 The proportion of *C. pauciflorus* seed in vertical distribution in the two samples

2.1.3 少花蒺藜草土壤种子库季节动态变化

从图 2 可以看出,在 2013 年 4 月 16 日第 1 次采集的土样中种子数最多,天然草原少花蒺藜草种子数为 11 443 粒·m⁻²,玉米-大豆间作农田为 6 810 粒·m⁻²;到第 2 次 6 月 20 日调查土壤种子库时,天然草原少花蒺藜草种子库储量降低为 1 423 粒·m⁻²,玉米-大豆间作农田为 1 997 粒·m⁻²;到了 8 月 25 日第 3 次调查时,土壤种子库中仅有少量少花蒺藜草种子,天然草原和玉米-大豆间作农田分别为 57 粒·m⁻² 和 153 粒·m⁻²。天然草原和玉米-大豆间作农田 2 种生境中少花蒺藜草种子库大小随着时间的推移逐渐变小。

2.2 农作管理措施对少花蒺藜草结实量的影响

如图 3 所示,与对照组相比,施肥组数据表明,增施少量化肥可以增加少花蒺藜草结实量,随施肥量增加,少花蒺藜草结实量不增反而降低,且与低施肥处理组 F1(尿素 10 g+磷酸二氢钾 3 g)差异性显著($P < 0.05$),F1 平均单株结实量为 2 255.6 个;而高施肥处理(F3)平均结实量为 1 889.6 粒·株⁻¹、中施肥处理(F2)

表 4 不同土壤层中少花蒺藜草种子储量与种子库总储量的相对比例(平均值±标准误)

Table 4 The total seed storage and relative ratio of components in different layers in seed bank of *C. pauciflorus* (mean±SE, n=15)

生境 Habitats	土层 Soil layers	种子储量 Seed storage/Seeds·m ⁻²		
		总储量 Total storage	少花蒺藜草 <i>C. pauciflorus</i>	少花蒺藜草与其他物种比例 <i>C. pauciflorus</i> /other species
天然草原 Natural grassland	0~2 cm	13 357±4 578	8 826±2 836a	1.95/1
	2~5 cm	3 433±1 012	2 363±814b	2.21/1
	5~10 cm	2 520±874	1 733±562c	2.20/1
	合计 Total	19 310±6 659	12 922±4 208	2.02/1
玉米-大豆间作农田 Corn-soybean intercropping	0~2 cm	4 647±1 475	3 823±1 207a	4.64/1
	2~5 cm	2 763±822	1 953±583a	2.41/1
	5~10 cm	4 167±1 087	3 183±978a	3.23/1
	合计 Total	11 577±4 057	8 959±2 864	3.42/1

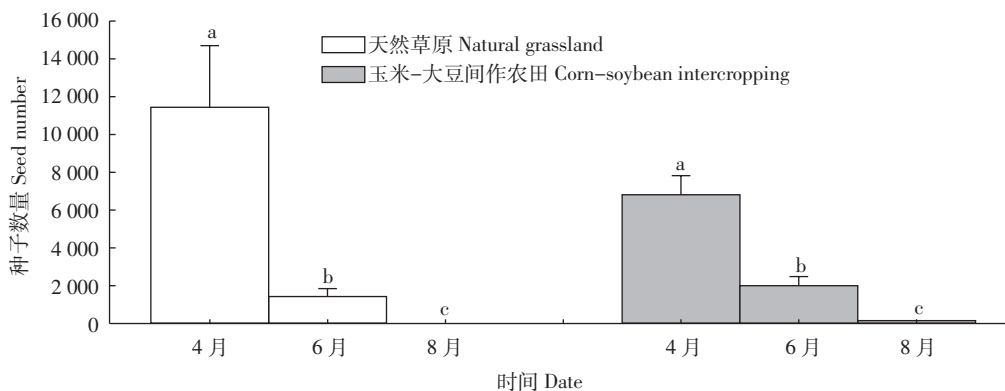


图 2 2 种生境中少花蒺藜草种子库季节动态变化

Figure 2 The seasonal dynamics of the *C. pauciflorus* seed bank

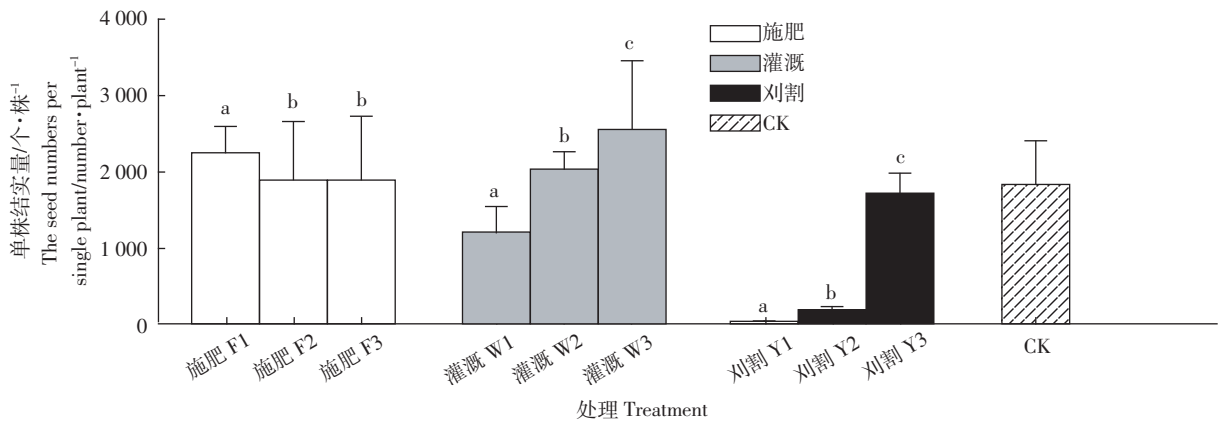


图 3 刈割、施肥、水分控制各处理少花蒺藜草结实量

Figure 3 The seed amount of *C. pauciflorus* under the control of mowing, fertilizing and moisture

1 895.7 粒·株⁻¹、对照 CK 组为 1 841.4 粒·株⁻¹, 施肥高、中 2 个处理组与对照 CK 少花蒺藜草结实量差异性均不显著($P>0.05$)。

灌溉控制试验表明,水分对少花蒺藜草结实影响较大,在低水平(W1)浇水量少花蒺藜草即能完成生活史并产生大量种子,但随着浇水量增加,少花蒺藜草结实量增长,高水平(W3)浇水少花蒺藜草结实量平均为 2 562.8 个,W1、W2、W3 3 个处理组及与对照 CK 差异显著($P<0.05$)。

刈割试验表明,刈割能有效抑制少花蒺藜草的结实量,试验组 Y1、Y2 两个处理与对照 CK 存在极显著性差异($P<0.01$),试验组 Y3 与对照 CK 差异不显著;一周刈割 1 次,到少花蒺藜草抽穗停止刈割,共刈割 11 次,Y1 处理组少花蒺藜草平均结实量仅为 26.4 粒·株⁻¹,两周刈割 1 次,共刈割 5 次,Y2 处理组结实量平均为 189.4 粒·株⁻¹,三周刈割 1 次,共 3 次,Y3 为 1 714.6 粒·株⁻¹,对照组 CK 的平均结实量为 1 841.4 粒·株⁻¹,试验表明刈割,一周刈割 1 次抑制率可达 98.57%,能有效控制少花蒺藜草的生长繁殖。

2.3 替代种植对少花蒺藜草结实量的影响

从表 5 可以看出,试验中向日葵和菊芋处理组按

照常规方式种植,即在行距 0.5 m×株距 0.5 m 下,2 种处理组与对照 CK 相比,少花蒺藜草平均单株分枝数分别降低 98.48%、97.45%,其抑制效果在各处理间与 CK 存在显著差异($P<0.01$);向日葵试验处理组少花蒺藜草平均单株结实量为 23.3 粒·m⁻²,菊芋试验处理组少花蒺藜草平均单株结实量为 34.5 粒·m⁻²,对照组 CK 平均结实量为 1 532.2 粒·m⁻²,试验组与对照组差异极显著($P<0.01$)。

试验表明,2 种植方式均对少花蒺藜草表现出很强的胁迫作用,少花蒺藜草分蘖能力降低,营养生长和繁殖能力受到显著抑制,绝大部分个体没有次级分蘖形成,株型多直立,生殖高度较低。少花蒺藜草为一年生草本植物,颖果是其唯一繁衍后代的方式,因此减少颖果结实数能有效控制少花蒺藜草蔓延扩散,达到控制其扩散的效果。

3 讨论

3.1 少花蒺藜草土壤种子库特征

少花蒺藜草发生危害在很大程度上依赖于土壤种子库的大小,明确少花蒺藜草入侵后土壤种子库的结构和组成,以及各种农作措施对少花蒺藜草种子

表 5 向日葵和菊芋竞争对少花蒺藜草各形态指标的影响(平均值±标准误)

Table 5 The impact of competition on sunflower and jerusalem against *C. pauciflorus* (mean±SE, n=15)

指标 Index	向日葵×少花蒺藜草 <i>H. Annuus</i> × <i>C. pauciflorus</i>	菊芋×少花蒺藜草 <i>H. tuberosus</i> × <i>C. pauciflorus</i>	CK
分蘖数 Tillers/number	3.67±1.53a	9.00±2.65a	40.67±4.51b
株高 Hight/cm	14.73±4.54a	21.00±4.16a	47.70±4.91b
生物量 Biomass/g	4.30±0.75a	5.47±0.91a	25.10±1.65b
结实量/个·m ⁻² Fruit amount/number·m ⁻²	23.30±4.45a	34.50±5.60a	1 532.20±175.78b

注:同行不同字母表示处理与对照间差异极显著($P<0.01$)。

Note: Different letters in the same row indicate significant difference at $P<0.01$.

库的动态影响,可以为科学预测少花蒺藜草发生危害、种群扩张动态,采取适宜的控制策略提高科学指导。通过对 2 个少花蒺藜草入侵典型生境样地种子库调查表明,天然草原和旱作农田少花蒺藜草总储量分别为 $12\,923\text{ 粒}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $8\,960\text{ 粒}\cdot\text{m}^{-2}$,少花蒺藜草分别占总储量的 67.72% 及 79.74%,这充分说明了少花蒺藜草入侵的严重性;同时也调查明确 2 种不同生境中种子库组成物种极为相似,调查鉴定的 25 个物种中,其中有 16 种为共有物种,除少花蒺藜草外,在两生境中马唐(*Digitaria sanguinalis*)均为优势物种,分别占种子库总储量的 7.65% 和 7.27%。

大多数研究表明,土壤种子库的种子密度随土层深度变化而变化^[33-34],土层越深种子越少,在天然草原样地也得到了证实,但是在玉米-大豆间作农田样地中,少花蒺藜草种子主要分布于 0~2.5~10 cm 土层中,2~5 cm 土层相对较少,由于该生境中人类干扰活动较多,除日常田间管理,如中耕松土、除草、施肥等农事操作外,晚秋作物收获后,土壤犁耕直接改变了土壤种子库的结构和垂直分布,使更多的土壤表层的少花蒺藜草种子进入土壤深层,使得土壤深层的种子量占总种子量的比例增大,其长久性土壤种子库增大,对于一年生的入侵杂草少花蒺藜草的治理就更加困难。

3.2 农作管理措施对少花蒺藜草结实量影响

土壤中充足的养分、水分是作物生长繁衍的基本要素。试验表明,低水平一定量的施肥,能够显著增加少花蒺藜草的分蘖数和结实量,而随施肥量逐渐增加反而会降低少花蒺藜草的纵向生长,而使其横向生长趋势增加,营养生长旺盛,延缓了进入生殖生长的时期,从而降低了结实量。徐军等^[29]研究也表明少花蒺藜草能广泛适应多种土壤类型,尤其适于在贫瘠的沙质土壤上生长,本试验结果进一步表明,在养分贫瘠的农田中少花蒺藜草危害较重,而在养分充足的肥沃农田中少花蒺藜草危害较轻。由于在贫瘠的环境中,少花蒺藜草生命力顽强,同等逆境条件下竞争能力大于农作物,而在肥沃的环境中,高养分虽然促进少花蒺藜草营养生长,但确使其结实量降低,减少了其种子库储备,同时,高养分也促进了农作物的生长,增强了作物的竞争能力,能在空间上占据有利位置,形成荫蔽,从而影响少花蒺藜草的光合作用。水分控制实验表明,水分对少花蒺藜草生长结实有显著影响,少花蒺藜草虽表现出较为耐干旱的特征,低水平浇水量即在年降雨量为 200 mm 的地区,少花蒺藜草能顺利完成生活史并产生大量种子,随着浇水量增加,结实

量增长,高水平浇水量即年降雨量为 600 mm 的地区,少花蒺藜草单株结实量显著增加。

刈割能够改变禾草的生长平衡、改变其竞争能力,不同时期刈割产生效果不同。植物在刈割后均能进行补偿生长,其方式包括剩余叶片光合作用增强、剩余组织的相对生长速率增大、去除顶端优势、刺激芽体活动、产生更多的分枝结构、植物贮藏资源重新分配^[4,14]。试验研究表明,每周刈割 1 次,刈割频率过高,严重破坏了少花蒺藜草生长点,造成其株高和分蘖数显著减少,体内有机物积累较少,严重影响到花的分化和种子的形成,大大降低其结实量;两周刈割 1 次,对少花蒺藜草有较好的控制作用,结实量显著减少,在营养生长阶段有一定的耐牧性,有一定的畜牧价值;三周刈割 1 次,少花蒺藜草表现出超补偿生长,刈割使其趋向于横向生长,三周的间隔时间又使其能够充分积累有机物,进而在分蘖、结实量等表现出优势,与对照组相比,少花蒺藜草结实量差异不大,不宜作为防治措施。有研究表明,在孕穗期到抽穗期对少花蒺藜草严重侵染地区进行低位刈割是今后少花蒺藜草刈割防控技术应采用的主要手段^[35],能减少其当年种子产量,降低土壤种子库数量,进而达到控制其扩散蔓延的目的。

3.3 替代种植方式对少花蒺藜草结实量影响

作物轮作是一种非常有效的杂草管理措施,对杂草种子库的密度和种类组成有显著影响。Cardina 等^[26]研究结果表明,不管耕作方式如何,大豆-玉米轮作相对于玉米连作能有效减少种子库中狗尾草种子的数量,Ball^[24]的研究进一步表明,轮作过程中作物种植顺序是影响杂草种子库种类组成的主要原因。替代种植试验表明,向日葵、菊芋 2 种替代种植方式均对少花蒺藜草表现出很强的胁迫作用,少花蒺藜草分蘖能力降低,营养生长和繁殖能力受到显著抑制,平均单株结实量分别仅为 23.3、34.5 粒·株⁻¹,对照组 CK 平均结实量达到 1 532.2 粒·株⁻¹,2 种植方式少花蒺藜草的结实量仅为对照组的 1.52% 及 2.25%,差异极为显著($P<0.01$)。试验表明,替代种植植株高大、郁闭度好、竞争力和他感作用强的向日葵和菊芋^[36]能够影响少花蒺藜草对光照、养分、水分的利用,少花蒺藜草结实量显著降低,从而有效减少了土壤种子库储量,对少花蒺藜草起到很好控制作用。

4 结论

不同农作措施对少花蒺藜草的土壤种子库储量、

垂直分布和种群繁衍有显著影响,应用科学合理农作管理措施可有效调控少花蒺藜草土壤种子库结构,达到生态控制少花蒺藜草的发生危害的目标。本研究对旱作农田与天然草原2种少花蒺藜草发生的典型生境土壤种子库研究表明,土壤犁耕可改变少花蒺藜草土壤种子库的结构和垂直分布,增加了长久性土壤种子库储量,同时增大了对少花蒺藜草的防治难度;采取合理的施肥、灌溉、刈割(放牧)农作管理措施能有效调控少花蒺藜草繁殖能力,减少其在土壤种子库储量,降低次年危害;选择替代种植植株高大、郁闭度好、竞争力和他感作用强的向日葵和菊芋,可能显著抑制少花蒺藜草生长繁殖,是一种非常有效的生态控制入侵杂草少花蒺藜草的方法,具有广泛实际应用价值。

参考文献:

- [1] 李振宇,解 焱. 中国外来入侵生物[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002: 103-104.
LI Zhen-yu, XIE Yan. Invasive species in China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002: 103-104.(in Chinese)
- [2] 王 巍,韩之松. 外来入侵生物——少花蒺藜草在辽宁地区的危害与分布[J]. 草业科学, 2005, 22(7): 63-64.
WANG Wei, HAN Zhi-song. Invasive alien species: the harm and distribution of *Cenchrus pauciflorus* Benth in Liaoning Province[J]. *Pratacul Tural Science*, 2005, 22(7): 63-64.(in Chinese)
- [3] 杜光明,曹凤芹,刘文斌,等. 辽宁省草场的少花蒺藜草及其危害[J]. 中国草地, 1995(3): 71-73.
DU Guang-ming, CAO Feng-qin, LIU Wen-bin, et al. The distribution and harmfulness of *Cenchrus pauciflorus* Benth in Liaoning[J]. *Grassland of China*, 1995(3): 71-73.(in Chinese)
- [4] 苏亚拉图,金 凤,哈斯巴根. 内蒙古外来入侵植物的初步研究[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2007, 36(4): 480-483.
Soyolt, JIN Feng, khasbagan. The preliminary study of alien invasive plants in Inner Mongolia[J]. *Inner Mongolia Normal University (Natural Science Edition)*, 2007, 36(4): 480-483.(in Chinese)
- [5] 邱 月,庄 武,曲 波,等. 少花蒺藜草辽宁省分布现状、存在问题及防控建议[J]. 农业环境与发展, 2009, 26(3): 56-57.
QIU Yue, ZHUANG Wu, QU Bo, et al. Current distribution, problems and prevention recommendations of *Cenchrus pauciflorus* Benth in Liaoning Province[J]. *Agro-Environment and Development*, 2009, 26(3): 56-57.(in Chinese)
- [6] 赵 艳,吕林有,王 巍,等. 苜蓿不同播种行距对防控少花蒺藜草的效果[J]. 草业科学, 2010, 27(4): 78-81.
ZHAO Yan, LÜ Lin-you, WANG Wei, et al. Study on the effects of different row spacing of alfalfa on *Cenchrus pauciflorus* control[J]. *Pratacul Tural Science*, 2010, 27(4): 78-81.(in Chinese)
- [7] Bhattarai S P, Fox J, Gyasi-Agyei. Enhancing buffel grass seed germination by acid treatment for rapid vegetation establishment on railway batters[J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72: 255-262.
- [8] Guevara J C, Grunwaldt E G, Estevez O R, et al. Range and livestock production in the Monte Desert, Argentina[J]. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73: 228-237.
- [9] Harwood M R, Hacker J B, Mott J J. Field evaluation of seven grasses for use in the revegetation of lands disturbed by coal mining in Central Queensland, Australia[J]. *Journal of Experimental Agriculture*, 1999, 39: 307-316.
- [10] Praveen K, Kumar S, Sharma K D, et al. Lignite mine spoil characterization and approaches for its rehabilitation[J]. *Arid Land Research and Management*, 2005, 19: 47-60.
- [11] Tefera S, Dlamini B J, Dlamini A M. Changes in soil characteristics and grass layer condition in relation to land management systems in the semi-arid savannas of Swaziland[J]. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74: 675-684.
- [12] Roberts H A. Seed banks in soils[J]. *Advances in Applied Biology*, 1981 (6): 1-55.
- [13] 魏守辉,强 胜,马 波,等. 土壤杂草种子库与杂草综合管理[J]. 土壤, 2005, 37(2): 121-128.
WEI Shou-hui, QIANG Sheng, MA Bo, et al. Soil weed seed bank and integrated weed management[J]. *Soil*, 2005, 37(2): 121-128.(in Chinese)
- [14] 党伟光,高贤明,王瑾芳,等. 紫茎泽兰入侵地区土壤种子库特征[J]. 生物多样性, 2008, 16(2): 126-132.
DANG Wei-guang, GAO Xian-ming, WANG Jin-fang, et al. Soil seed bank traits in an area invaded by *Eupatorium adenophorum*[J]. *Biodiversity Science*, 2008, 16(2): 126-132.(in Chinese)
- [15] 杨跃军,孙向阳,王保平. 森林土壤种子库与天然更新[J]. 应用生态学报, 2001, 12: 304-308.
YANG Yue-jun, SUN Xiang-yang, WANG Bao-ping. Forest soil seed bank and natural regeneration[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12: 304-308.(in Chinese)
- [16] 赵 平,彭少麟. 种、种的多样性及退化生态系统功能的恢复和维持研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 132-136.
ZHAO Ping, PENG Shao-lin. Species and species diversity in relation with restoration and persistence of degraded ecosystem functions[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(1): 132-136.(in Chinese)
- [17] Barberi Cozzani A, Macchia M, Bonari E. Size and composition of the weed seed bank under different management systems for continuous maize cropping[J]. *Weed Research*, 1998, 38: 319-334.
- [18] Sheley R L. Principles for restoring invasive plant infested rangeland[J]. *Weed Science*, 2003, 51: 260-265.
- [19] Barberi P, Cozzani A, Macchia M, et al. Size and composition of the weed seed bank under different management systems for continuous maize cropping[J]. *Weed Research*, 1998, 38: 319-334.
- [20] Buhler D D, Hartzler R G, Forcella F. Implications of weed seed bank dynamics to weed management[J]. *Weed Science*, 1997, 45: 329-336.
- [21] Liebman M, Dyck E. Crop rotation and intercropping strategies for weed management[J]. *Ecol Appl*, 1993, 3: 92-122.
- [22] Schweizer E E, Zimdahl R L. Weed seed decline in irrigated soil after six years of continuous corn (*Zea mays*) and herbicides[J]. *Weed Sci*,

- 1984, 32: 76–83.
- [23] Cardina J, Regnier E, Harrison K. Long-term tillage effects on seed banks in three Ohio soils[J]. *Weed Science*, 1991, 39: 186–194.
- [24] Ball D A. Weed seed bank response to tillage, herbicides and crop rotation sequence[J]. *Weed Science*, 1992, 40: 654–659.
- [25] Barberi Cascio B L, Cascio B. Long-term tillage and crop rotation effects on weed seed bank size and composition[J]. *Weed Research*, 2001, 41(4): 325–340.
- [26] Cardina J, Herms C P, Doohan D J. Crop rotation and tillage system effects on weed seedbanks[J]. *Weed Science*, 2002, 50: 448–460.
- [27] 娄群峰, 张敦阳, 王庆亚, 等. 不同耕作型油菜田土壤杂草种子库的研究[J]. 杂草科学, 1998(1): 6–8, 39.
LOU Qun-feng, ZHANG Dun-yang, WANG Qing-ya, et al. Different tillage naps field soil weed seed bank[J]. *Weed Science*, 1998(1): 6–8, 39.(in Chinese)
- [28] 张红梅, 白容霖, 张慧丽, 等. 长春市郊区旱田土壤杂草种子库的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24(1): 42–46.
ZHANG Hong-mei, BAI Rong-lin, ZHANG Hui-li, et al. Studies on weed bank in dry farmland of Changchun suburb[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2002, 24(1): 42–46.(in Chinese)
- [29] 徐 军, 李青丰, 王树彦. 科尔沁沙地外来入侵植物光梗蒺藜草的种子库分布格局[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(11): 184–187.
XU Jun, LI Qing-feng, WANG Shu-yan. Distribution pattern of seed band for alien invasive species of *Cenchrus incertus*[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, 26(11): 184–187.(in Chinese)
- [30] 周立业, 李建华, 马 菲, 等. 少花蒺藜草种子发芽特性研究[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2013, 28(2): 203–205.
ZHOU Li-ye, LI Jian-hua, MA Fei, et al. Study on seed germination characteristics of *Cenchrus pauciflorus*[J]. *Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Sciences)*, 2013, 28(2): 203–205.(in Chinese)
- [31] 韩成莲, 杨新芳, 王 莹, 等. 疏花蒺藜草种子发芽习性差异的研究[J]. 草业科学, 2011, 28(5): 793–796.
HAN Cheng-lian, YANG Xin-fang, WANG Ying, et al. Research on the behavior difference in seed germination of *Cenchrus pauciflorus*[J]. *Pratacultural Science*, 2011, 28(5): 793–796.(in Chinese)
- [32] 贾鲜艳, 李青丰, 徐 军. 外来入侵植物光梗蒺藜草开花与结实特性研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2012, 33(2): 83–88.
JIA Xian-yan, LI Qing-feng, XU Jun. Flowering and seeding characteristics of invasive plant on *Cenchrus incertus*[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Sciences)*, 2012, 33(2): 83–88.(in Chinese)
- [33] Feldman S R. The effect of different tillage systems on the composition of the seed bank[J]. *Weed Research*, 1997, 37: 71–76.
- [34] Mulugeta D, Stoltenberg D E. Increased weed emergence and seed bank depletion by soil disturbance in a no-tillage system[J]. *Weed Science*, 1997, 45: 234–241.
- [35] 吕林有, 赵 艳, 王海新, 等. 刈割对入侵植物少花蒺藜草再生生长及繁殖特性的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(1): 100–104.
LÜ Lin-you, ZHAO Yan, WANG Hai-xin, et al. Effects of mowing on plant regrowth and reproduction characteristics of invasive *Cenchrus pauciflorus*[J]. *Pratacultural Science*, 2011, 28(1): 100–104.(in Chinese)
- [36] 张瑞海, 付卫东, 张国良, 等. 紫花苜蓿和向日葵对黄顶菊的替代控制机理分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2012, 34(2): 33–38.
ZHANG Rui-hai, FU Wei-dong, ZHANG Guo-liang, et al. Study on displacement control of *Flaveria bidentis* Kuntze with alfalfa and sunflower[J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2012, 34(2): 33–38.(in Chinese)