

入侵杂草小飞蓬和钻形紫菀种子风传扩散生物学特性研究

诸葛晓龙,朱敏*,季璐,崔旭红

(中国计量学院生命科学院,杭州 310018)

摘要 种子的风传扩散是菊科入侵杂草的主要扩散方式之一,植物自身的传播特性和外在环境因子决定了种子扩散格局。从种子释放高度、沉降速度、脱落行为等内在因子出发,研究了两种在我国广泛分布的典型菊科入侵种小飞蓬和钻形紫菀自身的传播特性与风传扩散特征的关系。结果表明,小飞蓬和钻形紫菀的沉降速度均较小,分别为 $41.4 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $30.7 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$,在空中停留时间长,且种子的脱落方式为非随机脱落,脱落概率大致与风速的平方成正比;种子的释放高度在种群内部存在很大的差异,显著影响种子的扩散距离。相比而言,小飞蓬种子的沉降速度大、释放高度高、远距离扩散($>100 \text{ m}$)的概率大,扩散距离更远。研究表明了植物自身的传播特性对种子风传扩散的重要性,也为其他菊科入侵杂草种子风传扩散的研究提供了科学依据。

关键词 入侵杂草 种子脱落 释放高度 沉降速度 风传扩散

中图分类号 :X173 文献标志码 :A 文章编号 :1672-2043(2011)10-1978-07

The Influence of Plant Traits on Seed Wind Dispersal of Two Invasive Weeds, *Conyza canadensis* and *Aster subulatus*

ZHUGE Xiao-long, ZHU Min*, JI Lu, CUI Xu-hong

(College of Life Science, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract Seed dispersal by wind was a major process for invasive *Asteraceae* weeds to occupy new habitats, and quickly spread over their colonies. Internal and external factors, such as plant traits and environmental factors will determine seed dispersal direction, distance and seedling distribution. In this paper, we focused mainly on plant traits, such as release height, terminal velocity, shedding behavior, to study seed wind dispersal patterns of two invasive *Asteraceae* species, *Conyza canadensis* and *Aster subulatus*. Results showed that the terminal velocity of both *C. canadensis* ($vt=41.4 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$) and *A. subulatus* ($vt=30.7 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$) were slow, suitable for them to stay aloft in the air for potential long distance dispersal. Seed releasing heights of *C. canadensis* ($120\pm38.48 \text{ cm}$) were higher than *A. subulatus* ($100\pm26.97 \text{ cm}$), with great variance excited among populations. Simulation of potential dispersal distance suggested that the average dispersal distance was 28 m and 19 m longer at the highest releasing height than the lowest for *C. canadensis* and *A. subulatus*, respectively. The probability of seed release was co-related with the square of horizontal wind velocity for both weeds. Results indicated that seed release of these two species were non-random, which increased the potential dispersal distance for seeds. About 0.015% and 0.002 5% of seeds were able to be long-distance dispersal ($>100 \text{ m}$) under non-random and random release condition for *C. canadensis*, and was 0.001 5% and almost none for *A. subulatus*. This paper suggested that plant traits were important for seed wind dispersal study and provided a way to study spread of other invasive *Asteraceae* weeds in China.

Keywords invasive weeds; seed release; release height; terminal velocity; wind dispersal

种子传播和扩散是植物在空间移动的主要途径,传播及扩散所形成的空间格局影响了幼苗分布的潜

在范围及之后的许多生态过程,如病原菌的威胁、种子被捕食以及幼苗间的竞争等,并最终决定植物分布的新的空间格局^[1]。种子扩散阶段所形成的时空格局对于植物种群的动态十分关键,在复合种群动态^[2-3]、生物入侵^[4-5]、物种迁移^[6-7]、保护生物学^[8]等领域有重要的生态和进化意义。在生态系统中,景观破碎化导致种源减少,植被斑块间距离增大,种子的传播和扩

收稿日期 2011-04-01

基金项目 国家自然科学基金(30771434) 浙江省科技厅公益性技术应用研究计划项目(2010C34003)

作者简介 诸葛晓龙(1986—),男,浙江金华人,硕士研究生,主要从事杂草种子风传扩散研究。E-mail zhuge1864@163.com

*通讯作者 朱敏 E-mail minzhu@cjlu.edu.cn

散可以使空白斑块被再次地定殖或定居,有效地阻止了种群的灭绝^[9]。由此可见,种子传播和扩散对复合种群持续和生物多样性的重要性。

目前,外来生物入侵对全球生物多样性造成了严重威胁,特别在我国,草本植物占外来入侵植物的绝大多数,而这些外来入侵植物中,菊科占了22%左右^[10]。很多外来入侵菊科植物,是借助于种子的传播进行扩散而迅速占领生态位,并通过无性繁殖,进一步占据繁殖空间。因此,研究入侵杂草种子的传播扩散对理解外来植物的入侵过程就显得尤为重要。

杂草种子传播的因子多种多样,依赖于风、水、动物、人类等传播媒介,其中风媒传播是很多草本植物种子扩散的最主要方式^[11]。种子的风传播扩散不仅受气流、地形等外在因素的影响,植物自身的传播特性等内在因素对种子的扩散也起着非常重要的作用^[12]。植物自身的特性决定的种子传播,主要包括种子的释放高度、沉降速度和脱落特性。但是,目前利用机理模型对种子风传扩散进行模拟时,种子释放高度一般只针对平均高度单个值进行模拟分析,这对整个种群的研究势必会产生一定的差异;在沉降速度的研究中,研究者往往采用秒表计时^[13-14]的方法进行人工测定,存在较大的人为误差;很多研究中常常将种子脱落默认为随机脱落,忽视种子脱落行为对其扩散的影响,可能导致极大地低估种子的风传播能力^[15-16]。因此,明确种子的脱落特性、种群内部的种子释放高度、采用更精确的方法测定沉降速度等,及其对种子扩散影响的研究就显得尤为重要。

小飞蓬(*Conyza canadensis*)和钻形紫菀(*Aster subulatus*)是我国两种典型的菊科入侵植物,小飞蓬又叫加拿大蓬、小蓬草、小白酒草,为菊科飞蓬属越年生或一年生草本植物^[17],钻形紫菀别名剪刀菜,为菊科紫菀属一年生草本植物^[18]。两种杂草都原产于北美洲,在我国广泛分布,钻形紫菀主要分布在华中、华东、华南和西南各省区,小飞蓬的分布范围比钻形紫菀大,在我国各地均有,是我国分布最广的入侵物种之一^[14]。两种杂草都严重危害农业生产和入侵地的生物多样性,均能产生大量的种子,种子小而轻,具有冠毛,通过风等外界媒介的作用广泛传播,给防除工作带来了极大的难度。本文对小飞蓬和钻形紫菀自身的传播特性(种子释放高度、沉降速度、脱落行为),以及对种子传播距离的影响进行了研究,为进一步明确外来草本植物的入侵、扩散过程奠定理论基础,并为有效防治其扩散蔓延提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供种子沉降速度试验的小飞蓬和钻形紫菀的种子均于2009年11月初采自杭州下沙高教园区野外试验田(30°19'N,120°22'E),两种杂草种子的重量有较大差异,小飞蓬千粒重为(10.3±1.2)mg,钻形紫菀为(44.9±10.6)mg。

两种杂草种子脱落试验采用的植株于2009年10月采自同一块地,连根带土整株取回,种植于中国计量学院温室内,以备试验时所需。

1.2 研究方法

1.2.1 种子释放高度

小飞蓬和钻形紫菀的种子都主要分布在植株冠层,其植物株高代表了种子的释放高度。在两种杂草种子成熟期,在杭州下沙高教园区内,选取人为干扰程度小、以小飞蓬和钻形紫菀为优势群落的撂荒地做为样地,随机设置10个1m×1m的小样方,每个样方随机选取6株植株,共选取60株,测量植株的高度,设为两种杂草种子的释放高度。

1.2.2 种子沉降速度

种子沉降速度的测定采用Anderson、郭强等^[13,19]的方法并加以改进,采用自行开发的种子沉降速度测定仪。该仪器使用长1.5m、内径1.5cm的钢管作为测试通道,在其顶部和底部设置光电感应设备,计算种子降落过程所用时间,并计算种子在沉降过程中的平均速度。测试时,用镊子轻轻夹住种子,从钢管顶部释放,使其自然沉降。通过光电感应,当种子经过顶部光电感应装置位置时,装置将信号放大,同时开始自动计时,沉降到底部光感装置位置时,计时自动结束。根据沉降所需的时间换算为沉降速度。在此过程中,每种杂草随机选取50粒种子进行重复,并取其平均值代表种子的沉降速度。

1.2.3 种子脱落试验

种子脱落试验包括无风条件下种子脱落情况的观测试验和不同风力作用下种子的脱落试验。

无风试验在温室中进行,在种子成熟期观测无风条件下的脱落情况,并记录种子的脱落量。

不同风力作用下种子的脱落试验在中国计量学院的回流式低速风洞中进行。风洞试验的观测段用透明有机玻璃制作,四壁平滑,尺寸为2m×0.6m×0.6m。风洞的风速为0~65m·s⁻¹连续可调(湍流度<0.2%),采用毕托管和测微压力计测量风速,将风速仪的探头

固定在供试植株的正上方,进行风速的测量。

风洞试验时,将已成熟的供试植株置于观测窗的下风向0.1 m处(图1),在下风向离植株1.2 m处设置挡板,挡板由纱窗制成。植株和挡板间放置截留平面,截留平面涂有机油,用于粘住种子便于统计。试验风速从 $0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 逐渐增加,至观测到第一粒种子脱落时的风速,即种子脱落阈值(种子脱落所需的最低风速)。然后以使用脱落阈值的倍数作为试验风速,即 1.7 、 3.4 、 5.1 、 $6.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,观测种子的脱落量。最后轻轻摇动植株直至没有种子脱落,统计脱落的种子数量。在相同的温湿度环境下,两种杂草在不同风力作用下的种子脱落试验均重复10次。

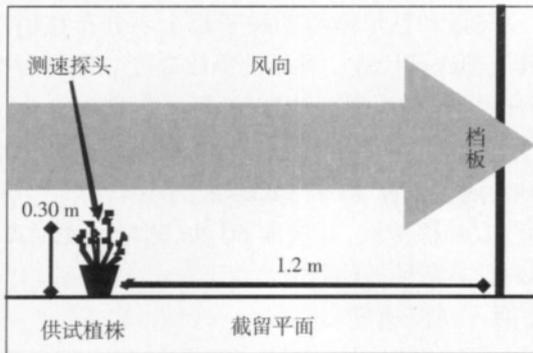


图1 种子脱落风洞试验示意图

Figure 1 Schematic image of the seed release experiments in a closed-circuit wind tunnel

1.2.4 种子扩散距离的模拟

通过简单机理模型对两种杂草种子的扩散距离进行模拟。对于适合随风扩散的种子,可以用弹道公式(Balistic equation)来描述种子水平的扩散距离^[20-21],其公式为:

$$D = \frac{R \times W}{F} \quad (1)$$

式中 D 为种子扩散距离, m ; R 为种子释放高度, μm ; W 为恒定水平风速, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; F 为种子沉降速度, $\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

模型参数:释放高度根据1.2.1的测定结果选取,沉降速度按1.2.2的方法测定,在其正态分布范围内随机抽取。种子扩散高峰期测定的平均风速 $2.92\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,为了方便模拟,本文选取恒定水平风速为 $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。每次模拟100 000粒种子的扩散行为。

采用该模型分别对不同的种子释放高度、沉降速度、脱落方式下种子的扩散距离进行模拟。

(1)种子释放高度根据1.2.1的测定结果,选取最低、平均、最高3个释放高度,分析在恒定水平风速作

用下种子的扩散距离。

(2)将测得沉降速度与其他研究方法测得的结果^[13-14, 21]进行比较,并分析在平均种子释放高度和水平风速作用下,不同沉降速度下种子的扩散情况。

(3)种子脱落分为随机和非随机脱落。种子的随机脱落是指在任何风速作用下种子的脱落概率是一致的,种子脱落与风速的大小无关。种子的非随机脱落是指种子脱落受风速的影响,种子在风速大于脱落阈值时才会从植株上脱离。本文对两种脱落方式下种子的扩散行为均进行了分析。

1.3 数据处理

为了探讨种子脱落与风速的关系,用种子脱落概率来描述每个风速下脱落的种子量与全部脱落种子量的关系;用脱落累积百分比来描述脱落种子量与植株可脱落种子总量的关系:

种子脱落概率=各风速下脱落的种子量/脱落的种子总量 $\times 100\%$;

脱落累积百分比=脱落种子累积量/可脱落种子量 $\times 100\%$ 。

采用Excel 2003、SPSS 16.0、统计软件R 2.10.1 (<http://www.r-project.org/>)进行数据分析和绘图。采用幂模型对种子脱落概率与风速的关系进行拟合,用非线性回归分析种子脱落累积百分比与风速的关系。本文对两种杂草种子的释放高度、沉降速度、脱落概率及扩散距离均进行差异性分析(t 检验)。

2 结果与分析

2.1 种子释放高度及对扩散距离的影响

同一物种个体间种子释放高度的差异较大,小飞蓬的种子释放高度为 $63\sim 250\text{ cm}$,平均为 $(120\pm 38.48)\text{ cm}$,钻形紫菀的种子释放高度为 $59\sim 185\text{ cm}$,平均为 $(100\pm 26.97)\text{ cm}$ 。此外,小飞蓬的种子释放高度明显高于钻形紫菀($P<0.05$)。

在不同的释放高度下,种子的扩散距离存在显著的差异($P<0.01$),两种杂草种子随着释放高度的增高,种子扩散的距离显著增大。小飞蓬种子在最高释放高度下扩散的平均距离比最低释放高度远 28 m 左右,钻形紫菀则远 19 m 左右(图2)。在最高释放高度下,两种杂草种子最远扩散距离均超过了 100 m ,但在最低释放高度下,种子的最远扩散距离均在 30 m 左右。

2.2 种子沉降速度及其对扩散距离的影响

两种杂草种子的沉降速度都较小,小飞蓬沉降

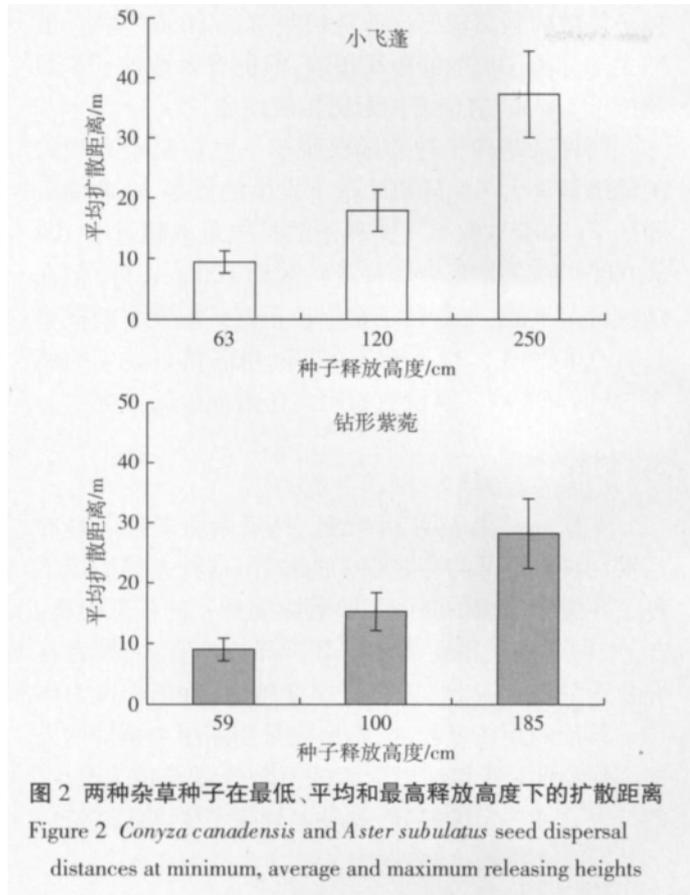
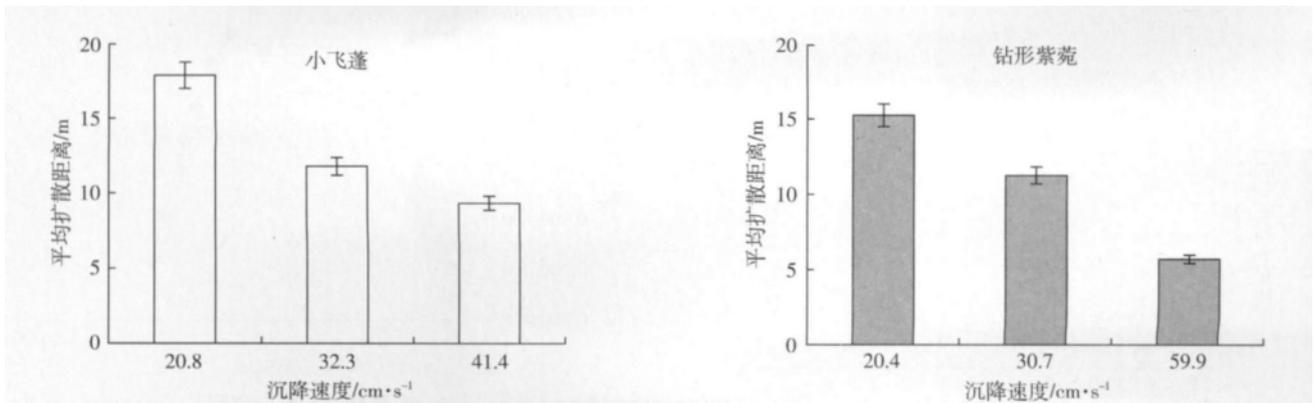


图2 两种杂草种子在最低、平均和最高释放高度下的扩散距离
Figure 2 *Conyza canadensis* and *Aster subulatus* seed dispersal distances at minimum, average and maximum releasing heights

速度为(41.4±10.8)cm·s⁻¹,钻形紫菀为(30.7±10.3)cm·s⁻¹。

根据机理模型,对不同沉降速度下种子扩散的距离比较分析表明,种子的扩散距离受沉降速度影响显著(P<0.01),在较慢的沉降速度下,小飞蓬和钻形紫菀的平均扩散距离都超过了15m(图3),最远扩散距离分别可以达到82m和102m;在较快的沉降速度下,两种杂草种子平均扩散距离均在10m以内。



小飞蓬沉降速度 20.8 cm·s⁻¹、32.3 cm·s⁻¹ 分别引自文献[13]、[21];钻形紫菀沉降速度 20.4 cm·s⁻¹、59.9 cm·s⁻¹ 分别引自文献[13]、[14]。

图3 不同沉降速度下两种杂草种子的扩散距离
Figure 3 *Conyza canadensis* and *Aster subulatus* seed dispersal distances with different settlement velocities

2.3 种子脱落与风速的关系

2.3.1 脱落阈值

在无风作用下,两种杂草均未发现种子脱落现象。风洞试验结果表明,两种杂草种子的脱落阈值不同,小飞蓬种子的脱落阈值为0.9 m·s⁻¹,钻形紫菀为1.1 m·s⁻¹。相比而言,小飞蓬的种子更容易从植株上脱离(表1)。两种杂草种子的脱落阈值服从正态分布,小飞蓬种子的分布范围比紫菀小。

表1 小飞蓬、钻形紫菀种子的脱落阈值

Table 1 Seed release thresholds of *Conyza Canadensis*

and <i>Aster subulatus</i>		
物种	平均脱落阈值/m·s ⁻¹	范围/m·s ⁻¹
小飞蓬	1.48±0.31	0.9~2.0
钻形紫菀	1.55±0.44	1.1~2.7

2.3.2 脱落概率与风速的关系

种子脱落概率大致与拖拽力(即水平风速的平方)成正比,脱落风速为水平风速的2倍左右(图4)。

两种杂草种子脱落概率与风速之间的回归关系分别为:

$$\text{小飞蓬 } P=0.009U^{2.15} \quad R^2=0.82;$$

$$\text{钻形紫菀 } P=0.013U^{1.96} \quad R^2=0.83。$$

式中 P 为种子脱落概率%, U 为水平风速 m·s⁻¹。

2.3.3 脱落累积百分比与风速的关系

试验结果表明,小飞蓬和钻形紫菀脱落的种子量随风速的增加而增加(图5)。在低风速(1.7 m·s⁻¹)时,小飞蓬脱落种子量累积百分比为(0.46±0.56)%,钻形紫菀为(0.44±0.38)%,两者无显著性差异(P=0.109);在其他3个风速(3.4、5.1、6.5 m·s⁻¹)下,小飞蓬脱落种子量累积百分比分别为(2.71±1.67)%、(9.15±3.48)%、

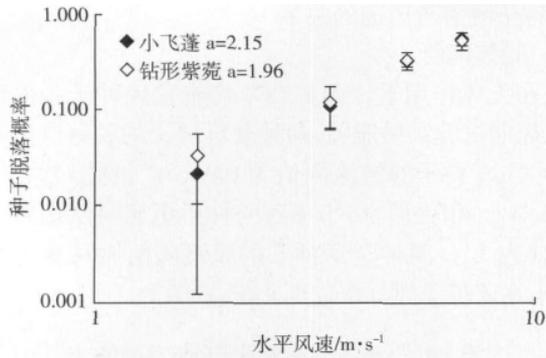


图4 种子脱落概率与风速的关系

Figure 4 The relationship between seed release probability and wind velocity

(20.06±5.28)% ;钻形紫菀分别为(1.99±1.27)%、(6.32±3.19)%、(13.08%±5.31)% ,小飞蓬脱落的种子数量显著高于($P<0.01$)钻形紫菀。

2.4 种子脱落对扩散距离的影响

无论是随机脱落还是非随机脱落,两种杂草种子的散布概率都随着距离的扩大先增后减(图6),但在不同脱落行为下,种子扩散的距离有很大差异。在非随机脱落状态下,小飞蓬种子主要集中在30 m左右,钻形紫菀在20 m左右;在随机脱落状态下,两种杂草

种子扩散的距离都要比非随机脱落近10 m左右。虽然大部分种子扩散的距离很近,但仍有少数种子扩散超过了100 m,出现了长距离扩散现象。

两种杂草种子在非随机脱落下发生长距离现象的概率显著大于在随机脱落下发生的概率,在非随机脱落下,0.015%的小飞蓬种子的扩散距离超过了100 m,0.0015%的钻形紫菀种子扩散到100 m以外。但在随机脱落下,小飞蓬种子发生长距离扩散现象的概率只有0.0025%,显著低于在非随机脱落下发生的概率,钻形紫菀则几乎没有长距离传播现象的发生。

3 讨论

本研究结果表明,小飞蓬、钻形紫菀的种子释放高度在种群内部均存在很大的差异,这种差异决定了种子在空中停留的时间,显著影响种子的扩散距离。此外,种子的扩散距离还与其沉降速度有关,两者存在显著的负相关性,即沉降速度越慢,种子在风力作用下移动的距离就越远。本研究采用了更加精确的方法,测得小飞蓬和钻形紫菀的沉降速度与前人^[13-14, 21]的结果存在一定的差异。这种差异除了受测定方法精

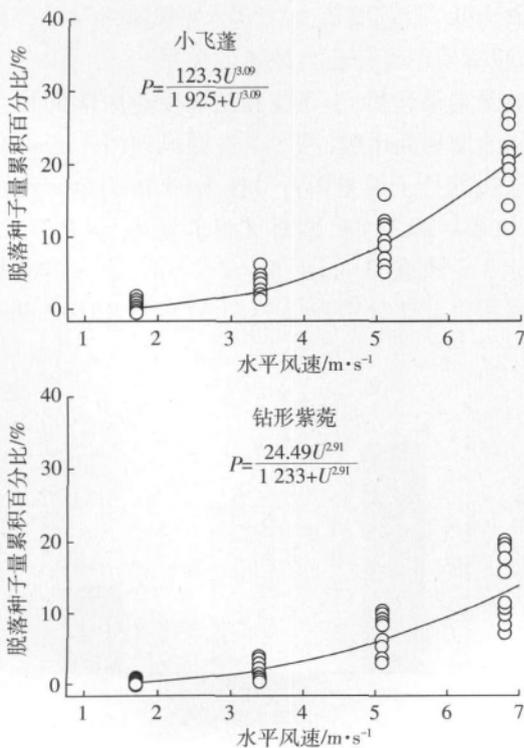


图5 两种杂草脱落种子累积百分比与风速的关系

Figure 5 The relationship between cumulative probabilities of released seeds and horizontal wind speed

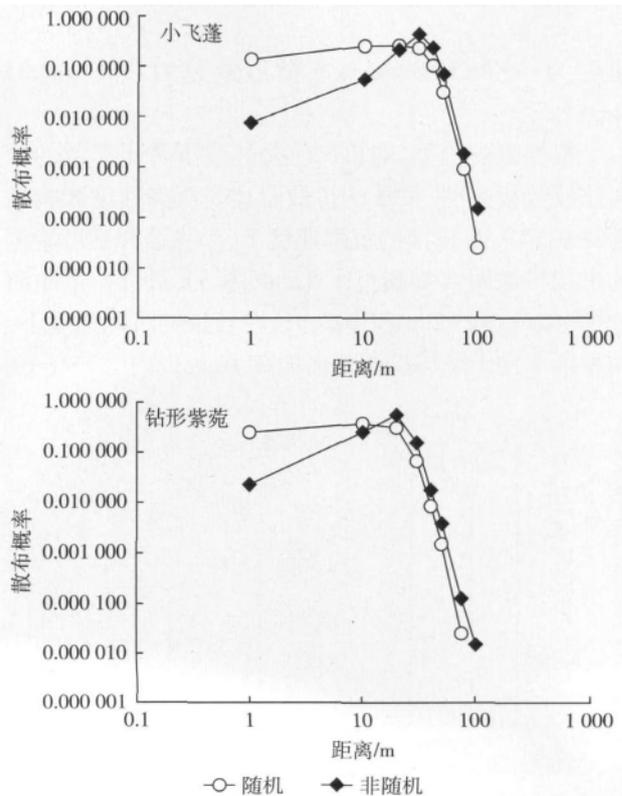


图6 种子在随机脱落和非随机脱落下的散布概率

Figure 6 Frequency of seed arriving under random and non-random seed release condition

度的影响,还可能与种子自身的因素有关,种子的形态性状^[14-22]、千粒重^[22-23]等都会对沉降速度产生影响。种子的释放高度和沉降速度都是决定种子扩散距离的重要因素,从而影响到入侵杂草的分布范围。

种子脱落试验表明,小飞蓬和钻形紫菀具有非随机脱落的特性,种子脱离植株存在脱落阈值。此外,种子的脱落概率随着风速的增大而上升,大致与水平风速的平方成正比,这与菊科中同样具有风传扩散能力的蒲公英^[24]、飞廉和节毛飞廉^[25]等种子的脱落特性类似。在一些非菊科物种(*Calluna vulgaris*、*Erica cinerea*)^[15]中也发现了相似的特性。产生这种特性的原因可能与这些物种的种子形态特征相似有关,它们的种子都具有小而轻、带有冠毛的特点,并且都着生在开放的花序上。种子的非随机脱落说明在高风速条件下会有更多的种子从植株上脱离,与在随机脱落下种子的扩散距离对比研究表明,种子的非随机脱落特性可显著增加种子平均扩散的距离,导致长距离风传扩散种子的比例增高。相关研究也表明,强风速条件下,种子能有效地脱离植株,并被风传播得更远,这种同步性促使种子能向更远距离传播和扩散^[15, 24]。虽然只有很小的一部分种子能够进行长距离传播,但是由于两种杂草的种子量巨大,进行长距离传播的种子数量还是很可观的。这也是两种杂草得以迅速入侵蔓延的主要原因之一。

外来杂草的迅速入侵蔓延,严重危害入侵地的生态环境和生物多样性,造成了巨大的生态和经济灾难。外来杂草可以通过种子传播进入新的生境,种子传播能力直接影响其蔓延速度和入侵分布范围,许多外来杂草如紫茎泽兰、飞机草、薇甘菊、加拿大一枝黄花等与小飞蓬、钻形紫菀类似,种子数量庞大,小而轻,具有冠毛,可以随风扩散,是我国危害程度最重的几种有害外来入侵杂草。因此,本文的研究结果对其他具风传扩散特性的入侵杂草的蔓延和扩散的研究具有重要的参考意义,基于对杂草扩散规律的了解,可以更有效地实施按块施药等防治方法,减缓外来杂草的蔓延速度。

4 结论

两种杂草种子的释放高度及沉降速度均显著影响种子的扩散距离;它们的脱落与风速密切相关,脱落概率大致与风速的平方成正比,种子的脱落行为属于非随机脱落,显著增加了种子的扩散距离。因此,在对杂草扩散的研究中应考虑种子释放高度、沉降速

度、脱落行为等植物自身的传播特性对种子风传扩散的影响。

参考文献:

- [1] Nathan R, Muller-Landau H C. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2000, 15: 278-285.
- [2] Soons M B, Messelink J H, Jongejans E, et al. Habitat fragmentation reduces grassland connectivity for both short-distance and long-distance wind-dispersed forbs[J]. *Journal of Ecology*, 2005, 93: 1214-1225.
- [3] Nathan R, Schurr F M, Spiegel O, et al. Mechanisms of long-distance seed dispersal[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2008, 23: 638-647.
- [4] Clark J S, Lewis M, Horvath L. Invasion by extremes: Population spread with variation in dispersal and reproduction[J]. *American Naturalist*, 2001, 157: 537-554.
- [5] Caswell H, Lensink R, Neubert M G. Demography and dispersal: Life table response experiments for invasion speed[J]. *Ecology*, 2003, 84: 1968-1978.
- [6] Kuparinen A, Schurr F M. A flexible modeling framework linking spatio-temporal dynamics of plant genotypes and populations: Application to gene flow from transgenic forests[J]. *Ecological Modelling*, 2007, 202: 476-486.
- [7] Higgins S I, Richardson D M. Predicting plant migration rates in a changing world: The role of long-distance dispersal[J]. *American Naturalist*, 1999, 153: 464-475.
- [8] Neubert M G, Caswell H. Demography and dispersal: Calculation and sensitivity analysis of invasion speed for structured populations[J]. *Ecology*, 2000, 81: 1613-1628.
- [9] 朱丽, 卢剑波, 余林. 复合种群中扩散的研究进展[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(5): 1008-1013.
ZHU Li, LU Jian-bo, YU Lin. Research advances on dispersal in meta-populations[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(5): 1008-1013.
- [10] Weber E, SUN S G, LI B. Invasive alien plants in China: Diversity and ecological insights[J]. *Biological Invasions*, 2008, 10: 1411-1429.
- [11] Van Dorp D, Schippers P, Van Groenendael J M. Migration rates of grassland plants along corridors in fragmented landscapes assessed with a cellular automaton model[J]. *Landscape Ecology*, 1997, 12: 39-50.
- [12] Nystrand O, Geranstrom A. Predation on *Pinus sylvestris* seeds and juvenile seedlings in Swedish boreal forest in relation to stand disturbance by logging[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2000, 37: 449-463.
- [13] 郭强, 朱敏, 徐勒, 等. 五种杂草种子沉降速度[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(4): 519-523.
GUO Qiang, ZHU Min, XU Le, et al. Seed settlement velocity of five weed species[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(4): 519-523.
- [14] 郝建华, 强胜, 杜康宁, 等. 十种菊科外来入侵种连萼瘦果风力传播的特性[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(8): 957-965.
HAO Jian-Hua, QIANG Sheng, DU Kang-ning, et al. Wind-dispersed traits of cypselas in ten Asteraceae alien invasive species[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(8): 957-965.
- [15] Soons M B, Bullock J M. Non-random seed abscission, long-distance

- wind dispersal and plant migration rates[J]. *Journal of Ecology*, 2008, 96 :581-590.
- [16] Schippers P, Jongejans E. Release thresholds strongly determine the range of seed dispersal by wind[J]. *Ecological Modelling*, 2005, 185 :93-103.
- [17] 高兴祥, 李 美, 高宗军, 等. 外来入侵植物小飞蓬化感物质的释放途径[J]. *生态学报*, 2010, 30(8) :1966-1971.
GAO Xing-xiang, LI Mei, GAO Zong-jun, et al. The releasing mode of the allelochemicals in *Conyza canadensis* L.[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8) :1966-1971.
- [18] 潘玉梅, 唐赛春, 岑艳喜, 等. 钻形紫菀开花期种群构件的生物量分配[J]. *热带亚热带植物学报*, 2010, 18(2) :176-181.
PAN Yu-mei, TANG Sai-chun, CEN Yan-xi, et al. Biomass allocation on the modules of *Aster subulatus* Michx. population at flowering stage[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botan*, 2010, 18(2) :176-181.
- [19] Anderson M C. Diaspore morphology and seed dispersal in several wind-dispersed Asteraceae[J]. *American Journal of Botany*, 1993, 80 :487-492.
- [20] Cremer K W. Distance of seed dispersal in eucalyptus estimated from seed weights[J]. *Australian Journal of Forest Research*, 1977, 7 :225-228.
- [21] Dauer J T, Mortensen D A, Humston R. Controlled experiments to predict horseweed (*Conyza canadensis*) dispersal distances[J]. *Weed Science*, 2006, 54 :484-489.
- [22] Meyer S E, Carlson S L. Achene mass variation in *Ericameria nauseosus* (Asteraceae) in relation to dispersal ability and seedling fitness[J]. *Functional Ecology*, 2001, 15 :274-281.
- [23] Soons M B, Heil G W. Reduced colonization capacity in fragmented populations of wind-dispersed grassland forbs[J]. *Journal of Ecology*, 2002, 90 :1033-1043.
- [24] Greene D F. The role of abscission in long-distance seed dispersal by the wind[J]. *Ecology*, 2005, 86 :3105-3110.
- [25] Skarpaas O, Auhl R, Shea K. Environmental variability and the initiation of dispersal :Turbulence strongly increases seed release[J]. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 2006, 273 :751-756.

欢迎订阅 2012 年《农业环境与发展》

《农业环境与发展》创刊于 1984 年,是农业部主管、农业部环境保护科研监测所与中国农业生态环境保护协会联合主办的国家级综合指导类科技期刊,为中国科技核心期刊。传播农业可持续发展新思想、新观点、新方略,倡导农业生产、农民生活、农村生态协调发展理念,多视角、多层次、多学科地反映食品安全与健康、资源开发与利用、环境污染与防治、农业清洁生产与农村循环经济等热点问题,直接面向农业、环保、食品、能源、卫生等领域的科研、教学、生产、管理、技术推广人员与大众读者。同时《农业环境与发展》将在重要版面上宣传各地农业环境保护成就。欢迎大家踊跃投稿,欢迎刊登广告。

《农业环境与发展》为双月刊,大 16 开,逢双月 25 日出版,刊号 ISSN 1005-4944, CN 12-1233/S,全国发行,各地邮电局(所)均可订阅,邮发代号 6-40,2012 年每册定价 12.00 元,全年 72.00 元。有漏订者可直接与编辑部联系订阅。本刊现有过刊合订本,需订购者请与本刊编辑部联系。

编辑部地址:天津市南开区复康路 31 号

邮政编码:300191

电话:022-23611149

传真:022-23674336

电子信箱:caed@vip.163.com

网址:www.aed.org.cn