

水流对莲草直胸跳甲种群存活和扩散的影响

傅建炜^{1,2*}, 马明勇^{2,3*}, 郭建英², 李彦宁³, 万方浩²

¹福建省农业科学院植物保护研究所, 福建 福州 350013; ²中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; ³湖南省农业科学院植物保护研究所, 湖南 长沙 410125

摘要:【背景】水流是外来入侵生物传播蔓延的重要方式之一,特别是水生生物。水生杂草在水流传播过程中也经常携带其天敌从一个地方传播到另一个地方,如莲草直胸跳甲经常随着空心莲子草在水流中传播。研究水流对莲草直胸跳甲存活的影响及其对种群迁移的间接协助作用,可为解析该天敌抵御洪涝灾害和借助水流传播的能力提供科学依据。【方法】本研究以莲草直胸跳甲为研究对象,在室内进行水流模拟,比较水流转速(1000、1250 和 1750 r·min⁻¹)和时间(30、60、90 和 120 min)对不同虫态莲草直胸跳甲(雌雄成虫、幼虫和卵)存活率的影响,并推算莲草直胸跳甲成虫和幼虫在野外随水流传播的最大距离。【结果】水流速度对昆虫的存活和发育具有一定影响。在不同旋转时间和转速下,雌雄成虫的存活率较高,幼虫次之,卵的存活率最低;雌虫随水流传播能达到的最远距离最大,雄虫次之,传播距离最小的是幼虫。【结论与意义】莲草直胸跳甲可随水流进行远距离传播和自然扩散,对于利用莲草直胸跳甲防治空心莲子草,缓解水渠和河道的堵塞非常有利。

关键词: 莲草直胸跳甲; 水流; 存活率; 扩散距离

Effects of water flow on the survival and dispersal of the flea beetle, *Agasicles hygrophila*

Jian-wei FU^{1,2*}, Ming-yong MA^{2,3*}, Jian-ying GUO², Yan-ning LI³, Fang-hao WAN²

¹Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China; ²State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; ³Institute of Plant Protection, Hunan Academy of Agricultural Science, Changsha, Hunan 410125, China

Abstract: 【Background】The water flow is one of the important spathways of spread for invasive species, especially aquatic ones. This can also aid the dispersal of introduced natural enemies, such as *Agasicles hygrophila*, a biological control agent and alligator weed *Alternanthera philoxeroides*. Knowledge of the effects of water flow on *A. hygrophila* and indirect effects of water flow on population relocation would provide scientific basis for more effectively spread natural enemies via this route. 【Method】Artificial water flow was used to compare the impacts of stream speed on the survival rate and dispersal distance of *A. hygrophila* at different developmental stages. 【Result】Water flow can affect the survival and development of insects. Among the tested stages, female and male adults had the highest survival rates, larvae ranked the second. Eggs were intolerant of water flow at the speeds of 1000 ~ 1750 r·min⁻¹. *A. hygrophila* females spread the farthest, followed by males, and larvae spread the shortest. 【Conclusion and significance】*A. hygrophila* could disperse long distances under water flow and can use water flow as a natural dispersal pathway. This is good for control alligator weed by flea beetle in order to release jam of penstock and river way.

Key words: *Agasicles hygrophila*; water flow; survival rate; dispersal distance

空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb 又名水花生、革命草、喜旱莲子草,属苋科莲子草属,是一种原产于南美洲的多年生恶性杂草(Coulson, 1977)。空心莲子草生命力强、水陆均能生长、繁殖迅速,20 世纪 40 年代,该草作为牲畜饲料由日本引入我国(王韧和王远, 1988; 张格成等,

1993),随后迅速在华东、西南、华中和华南等地蔓延,成为入侵果园、农田、草地的恶性杂草,严重影响作物生长和沟渠河道的畅通。

莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* Selmanet & Vogt 又名曲纹叶甲、水花生叶甲、喜旱莲子草叶甲,属鞘翅目叶甲科,因其具有取食专一性等特点(王

收稿日期:2011-09-18 接受日期:2011-10-16
基金项目: 国家 973 计划项目(2009CB119206); 国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAD08A18)
通讯作者(Author for correspondence): 万方浩, E-mail: wanfh@mail.caas.net.cn; 郭建英, E-mail: guojy@mail.caas.net.cn
* 同等贡献作者(The two authors contributed equally to this work)。傅建炜, E-mail: ffw9238@yahoo.com.cn

韧等,1988),已成为生物防治空心莲子草的重要天敌之一(王远和王韧,1988; Gangstak, 1967; Buckingham,1983)。为有效利用该天敌,国内学者已对其生物学特性进行了大量的研究(马瑞燕等,2003; 杨志华等,2002)。有研究表明,水流速度对昆虫生长发育具有一定影响(Buffagni & Gomba, 1996)。作为一种常被用于防治水生型空心莲子草的有效天敌,洪涝等自然灾害对莲草直胸跳甲存活的影响以及水流的协助扩散作用,国内外尚未见研究报道。本文研究了水流对莲草直胸跳甲存活的影响及其对种群迁移的间接协助作用,旨在为解析该天敌抵御洪涝灾害和借助水流传播的机制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

空心莲子草:栽培于湖南省农业科学院植物保护研究所塑料大棚内,自然光照,待植株长至 20 ~ 30 cm 时取未被取食的顶端 5 ~ 6 节的茎秆供试。

莲草直胸跳甲:采自湖南省农业科学院植物保护研究所附近的池塘,并在该所天敌繁育室的人工气候培养箱[(25 ± 2) °C ,RH (85 ± 5) % ,12 h 光照]内用上述空心莲子草饲养 3 代,取孵化后的 3 龄幼虫和羽化后 7 d 的成虫,以及收集于实验室饲养的第 2 代成虫 12 h 内产下的卵,进行室内模拟水流试验。

1.2 莲草直胸跳甲的分布与水流的关系

选择湖南长沙马坡岭水库的一处入水口为试验点,该区域内空心莲子草生长较为茂密,面积约 100 m²。2008 年 4 月 30 日释放 400 头(雌雄比为 1:1)莲草直胸跳甲成虫,8 月 25 日该入水口的空心莲子草基本均已受害,并可见大量跳甲成虫。此时,选择与水库有水沟相连和无水沟相连的 2 个区域,分别调查比较其中的跳甲分布情况,2 种环境下的调查均在距水库 300、500、1000、1500、2000、3000 m 处进行。

1.3 人造水流速度对莲草直胸跳甲存活的影响

向容量为 1000 mL 的烧杯中加水至 1000 mL 刻度线,然后放入雌、雄成虫各 10 头,用恒温磁力搅拌器(78HW-3 型,杭州仪表电机有限公司生产)分别以 1000、1250、1750 r · min⁻¹ 的转速进行搅拌,水温为 25 °C ,每隔 30 min 记录成虫的死亡数,直至供试个体全部死亡。成虫死亡的判定标准为 1 min 内无法完成爬行动作,或丧失爬行能力的个体。每个转速处理重复 5 次。

用同样的方法分别对幼虫和卵块进行试验。幼虫死亡的判定标准与成虫一致。在搅拌卵块 30 ~ 120 min 后,收集水中的卵粒,放入皿底铺有保湿滤纸[RH (90 ~ 95) %](吴珍泉等,1994)的培养皿后置于 28 °C (吴珍泉,1997)的人工气候箱中,逐日检查卵的孵化率,以未经搅拌的卵块为对照,对照卵粒停止孵化 3 d 后,结束对其他处理卵块的检查,计算孵化率。各虫态每个转速处理均重复 5 次。

1.4 数据分析方法

根据物理学公式 $L = 3.14 \times D \times \omega \times T \times 10^{-3}$, 计算莲草直胸跳甲在不同水流转速下的最大传播距离。其中, L 表示莲草直胸跳甲的传播距离/km, D 表示烧杯直径/m, T 表示莲草直胸跳甲全部个体死亡的时间/min, ω 表示磁力搅拌器的转速/(r · min⁻¹)。

用单因素方差分析(one-way ANOVA; Duncan)比较不同转速下莲草直胸跳甲成虫、幼虫以及卵的存活率差异。数据分析采用统计软件 SAS V8.0 进行。

2 结果与分析

2.1 莲草直胸跳甲的分布与水流的关系

莲草直胸跳甲的分布与水流关系调查结果如表 1 所示,与水源相连接的环境中 300 ~ 3000 m 范围内均有跳甲分布,而无水源相连的环境内仅在 300 m 范围内发现莲草直胸跳甲的分布。

表 1 距水库入水口释放点不同距离处莲草直胸跳甲的分布情况

Table 1 Distribution of <i>A. hygrophila</i> at different locations away from the release site at the reservoir estuary		
与释放点距离 Distance to the release site/m	水源连接地带 Areas connected with water flow	无水源连接地带 Areas un-connected with water flow
300	+	+
500	+	-
1000	+	-
1500	+	-
2000	+	-
3000	+	-

+ 表示可见莲草直胸跳甲分布; - 表示未见莲草直胸跳甲分布。
+ , - mean the existence and inexistence of *A. hygrophila*, respectively.

2.2 人造水流速度对莲草直胸跳甲存活率的影响

在 1000、1250 和 1750 r · min⁻¹ 3 种转速下旋转 30 min,各处理间莲草直胸跳甲的雌成虫存活率差异不显著;旋转 60、90 和 120 min 后,转速为 1250 和 1750 r · min⁻¹ 下的莲草直胸跳甲雌成虫存活率显著低于转速为 1000 r · min⁻¹ 的处理(表 2)。

3 种转速下,莲草直胸跳甲雌成虫存活率均随旋转时间的延长而显著降低,各处理间差异显著($1000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1};F=38.27,df=3,16,P<0.0001$; $1250\text{ r}\cdot\text{min}^{-1};F=202.68,df=3,16,P<0.0001$; $1750\text{ r}\cdot\text{min}^{-1};F=132.69,df=3,16,P<0.0001$) (表 2)。

表 2 水流转速对莲草直胸跳甲雌成虫存活率的影响				
Table 2 Survival rate of <i>A. hygrophila</i> females under the artificial stream at different revolution speed				
转速 Revolution speed /($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	旋转 n 分钟后存活率 Survival rate after turning for certain period/%			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1000	100.0 $\pm$ 0.0aA	85.6 $\pm$ 2.4aB	69.8 $\pm$ 4.0aC	50.6 $\pm$ 5.0aD
1250	98.0 $\pm$ 2.0aA	74.8 $\pm$ 2.0bB	52.8 $\pm$ 2.9bC	18.4 $\pm$ 2.5bD
1750	96.0 $\pm$ 2.5aA	69.6 $\pm$ 2.4bB	43.4 $\pm$ 4.0bC	18.0 $\pm$ 2.6bD
<i>F</i>	1.20	12.93	13.28	27.76
<i>df</i>	2,12	2,12	2,12	2,12
<i>P</i>	0.3349	0.0010	0.0009	<0.0001

表中部分数据为平均值 $\pm$ 标准误;同列数据后附不同小写字母表示差异显著,同行数据后附不同大写字母表示差异显著($P<0.05$,ANOVA; Duncan)。下同。

The part datas are Mean $\pm$ SE in the table; Different small letters in the same row indicate significant differences among treatments, Different small letters in the same line indicate significant differences among treatments ($P<0.05$, ANOVA; Duncan). The same as below.

在 3 种转速下旋转 30、60 min,各处理间莲草直胸跳甲雄成虫的存活率差异不显著;旋转 90 min 后,转速为 $1750\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下的莲草直胸跳甲雄成虫存活率显著低于转速为 1000 和 $1250\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的处理;旋转 120 min 后,转速为 1750 和 $1250\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下的莲草直胸跳甲雄成虫存活率显著低于转速为 $1000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的处理(表 3)。

3 种转速下,莲草直胸跳甲雄成虫的存活率随旋转时间的延长而显著下降,各处理间差异显著($1000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1};F=105.98,df=3,16,P<0.0001$; $1250\text{ r}\cdot\text{min}^{-1};F=89.14,df=3,16,P<0.0001$; $1750\text{ r}\cdot\text{min}^{-1};F=171.09,df=3,16,P<0.0001$) (表 3)。

在 3 种转速下旋转 30 min 后,转速为 1000 和 $1250\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的处理幼虫存活率差异不显著,而转速为 $1750\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 时,莲草直胸跳甲幼虫存活率显著低于其他 2 个转速处理;旋转 60、90 和 120 min 后,高转速 1250、 $1750\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下的莲草直胸跳甲幼虫存活率显著低于转速为 $1000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的处理(表 4)。

3 种转速下,莲草直胸跳甲幼虫的存活率也随旋转时间的延长呈显著下降趋势,各处理间差异显著($1000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1};F=115.18,df=3,16,P<0.0001$; $1250\text{ r}\cdot\text{min}^{-1};F=135.91,df=3,16,P<0.0001$; $1750\text{ r}\cdot\text{min}^{-1};F=258.74,df=3,16,P<0.0001$) (表 4)。

表 3 水流转速对莲草直胸跳甲雄成虫存活率的影响				
Table 3 Survival rate of male <i>A. hygrophila</i> under the artificial stream at different revolution				
转速 Revolution speed /($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	旋转 n 分钟后存活率 Survival rate after turning for certain period/%			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1000	100.0 $\pm$ 0.0aA	82.2 $\pm$ 4.4aB	63.8 $\pm$ 3.5aC	42.4 $\pm$ 1.6aD
1250	98.0 $\pm$ 2.0aA	77.0 $\pm$ 11.0aB	54.6 $\pm$ 4.6aC	21.8 $\pm$ 2.0bD
1750	96.0 $\pm$ 2.5aA	73.2 $\pm$ 3.1aB	40.6 $\pm$ 3.5bC	14.2 $\pm$ 1.6cD
<i>F</i>	1.20	1.66	9.11	69.88
<i>df</i>	2,12	2,12	2,12	2,12
<i>P</i>	0.3349	0.2309	0.0039	<0.0001

表 4 水流转速对莲草直胸跳甲幼虫存活率的影响				
Table 4 Survival rate of <i>A. hygrophila</i> larvae under the artificial stream at different revolution				
转速 Revolution speed /($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	旋转 n 分钟后存活率 Survival after turning for certain period/%			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1000	100.0 $\pm$ 0.0aA	87.2 $\pm$ 2.2aB	73.2 $\pm$ 3.2aC	45.4 $\pm$ 2.0aD
1250	100.0 $\pm$ 0.0aA	72.6 $\pm$ 2.9bB	51.8 $\pm$ 3.2bC	27.6 $\pm$ 3.0bD
1750	94.7 $\pm$ 2.7bA	59.0 $\pm$ 2.6cB	32.8 $\pm$ 2.6cC	2.8 $\pm$ 1.7cD
<i>F</i>	3.79	29.54	45.02	86.05
<i>df</i>	2,12	2,12	2,12	2,12
<i>P</i>	0.0531	<0.0001	<0.0001	<0.0001

在 3 种转速下旋转 30、60 min 后,转速为 1000 和 $1250\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下的莲草直胸跳甲的卵孵化率差异不显著,而转速为 $1750\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 时,莲草直胸跳甲卵孵化率显著低于其他 2 个处理;旋转 90、120 min 后,高转速 1250、 $1750\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下的莲草直胸跳甲卵孵化率显著低于转速为 $1000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的处理(表 5)。

在 1000 和 $1250\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 转速下旋转 30 和 60 min 后,莲草直胸跳甲卵的孵化率显著高于旋转 90 和 120 min 的处理($1000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1};F=27.84,df=3,16,P<0.0001$; $1250\text{ r}\cdot\text{min}^{-1};F=27.68,df=3,16,P<0.0001$)。 $1750\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 转速下,莲草直胸跳甲卵孵化率随着旋转时间的延长而显著降低($F=10.81,df=3,16,P<0.0001$) (表 5)。

2.3 水流速度对莲草直胸跳甲传播距离的影响

莲草直胸跳甲雌、雄成虫和幼虫在不同水流速度下可能传播的最大距离推算如表 6,水流转速对

莲草直胸跳甲雌、雄成虫和幼虫的最远传播距离影响较大。其各虫态的最远传播距离表现为雌虫 > 雄虫 ≥ 幼虫,雌成虫随水流传播的最远距离比幼虫远20 km以上。

表 5 水流转速对莲草直胸跳甲卵孵化率的影响
Table 5 Hatching rate of *A. hygrophila* eggs under the artificial stream at different revolution

转速 Revolution speed /(r·min ⁻¹)	旋转 <i>n</i> 分钟后孵化率 Hatching rate after turning for certain period/%			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1000	36.7 ± 2.9aA	30.6 ± 2.1aA	22.4 ± 2.1aB	10.0 ± 1.3aC
1250	34.8 ± 1.4aA	28.6 ± 5.2aA	15.7 ± 2.1bB	1.3 ± 0.5bC
1750	4.1 ± 0.5bA	2.3 ± 0.7bB	0.9 ± 0.4cBC	0.4 ± 0.2bC
<i>F</i>	99.93	24.09	40.67	37.64
<i>df</i>	2, 12	2, 12	2, 12	2, 12
<i>P</i>	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

表 6 莲草直胸跳甲在不同水流速度下的最远传播距离

Table 6 The longest transmission distance of *A. hygrophila* under the artificial stream at different revolution velocity

转速 Revolution speed /(r·min ⁻¹)	最远传播距离 The longest transmission distance/km		
	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult	幼虫 Larva
1000	117.75	105.97	94.20
1250	117.75	103.03	103.03
1750	123.64	103.03	103.03

3 讨论

莲草直胸跳甲成虫、幼虫和卵 3 种虫态在转速为 1000、1250 和 1750 r · min⁻¹ 的水流条件下成虫的存活率最高,卵则不耐水流冲击,孵化率显著降低;在相同水流转速的不同时间处理中,各虫态存活率由高到低为雌、雄成虫 > 幼虫 > 卵。产生这种现象的原因可能有 2 点:(1)在旋转过程中,卵壳的破坏率随时间的延长和转速的增大有所提高,卵壳破坏导致卵孵化率降低;(2)卵粒有沉入水底的情况,在野外,沉入水底的卵粒因缺少足够的氧气而不能孵化成幼虫。雌成虫随水流传播的距离最远,其次是雄虫。莲草直胸跳甲可通过水流传播至较远距离,对于利用该跳甲防治空心莲子草缓解水渠和河道的堵塞非常有利。

目前,关于莲草直胸跳甲生物学、生态学的研究较多,而对该虫的种群扩散传播机制等研究不多,

可供检疫、防治实践中应用的技术也较少。本试验是从宏观生态方面入手,从成虫、幼虫、卵能随水流传播的最大距离推测,不同虫态之间细胞、组织及器官等方面可能存在生理学上的差异,有待结合昆虫生理学、昆虫分子学等做进一步研究;同时,本试验是在恒温、水流中无其他变化因素的条件下完成,然而在野外水流中或遇洪涝灾害时,这些因素都可能发生变化,其实际传播距离可能有一定的差异。因此,有关莲草直胸跳甲的传播研究仍需进一步开展。

参考文献

马瑞燕,丁建清,李佰铜,吴珍泉,王韧. 2003. 莲草直胸跳甲在不同生态型空心莲子草上的化蛹适应性. 中国生物防治,19(2):54–58.

王韧,王远. 1988. 我国南方水生发生危害及生物防治可行性的调查论证. 杂草科学,3(1):36–40.

王韧,王远,张格成,李继祥. 1998. 空心莲子草叶甲的寄主专一性测验. 生物防治通报,4(1):14–17.

王远,王韧. 1988. 国外生物防治空心莲子草的研究进展. 生物防治通报,4(2):28–30.

吴珍泉. 1997. 温度对空心莲子草叶甲生长发育的影响. 应用生态学报,8(2):181–184.

吴珍泉,蔡元呈,郭振铎,王天宝. 1994. 温、湿度对空心莲子草叶甲生长发育的影响. 福建农业大学学报,23(1):46–50.

杨志华,何翠娟,钱德明. 2002. 沪郊曲纹叶甲消长规律及对空心莲子草作用效果的初步观察. 上海农业学报,18(4):79–83.

张格成,李继祥,陈秀华. 1993. 空心莲子草主要生物学特性研究. 杂草学报,(2):10–12.

Buckingham G R. 1983. Reintroduction of the alligatorweed flea beetle (*Agasicles hygrophila*). *Journal of Aquatic Plant Management*, 21(2):101–102.

Buffagni A and Gomba T. 1996. Larval development and ecology of *Baetis liebenauae* Keffermüller (Ephemeroptera: Baetidae) in a north Italian lowland spring. *Annales de Limnologie*, 32(4):221–228.

Coulson J R. 1977. Biological control of alligator weed, 1959–1972. A review and evaluation. *USDA Technical Bulletin*, 1547:98.

Gangstak E O. 1976. Biological control operations on alligatorweed. *Journal of Aquatic Plant Management*, 14:50–53.

(责任编辑:彭露)