

不同生态型的喜旱莲子草对莲草直胸跳甲化蛹能力的影响

马瑞燕^{1,2} 王 韧^{1*}

(1 中国农业科学院生物防治研究所, 北京 100081) (2 山西农业大学昆虫系, 太谷 030801)

摘 要 喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)是一种水陆两栖的外来杂草,我国1986年从美国引进了该草的专食性天敌莲草直胸跳甲(*Agasicles hygrophila*)进行生物防治。该天敌的化蛹能力受喜旱莲子草不同生态型的影响,从而影响到其生物防治的效果。从形态解剖的角度结合天敌和寄主植物的田间生理生态学研究了其机理。结果表明:水生型喜旱莲子草无次生结构,而陆生型则具紧密的次生结构和丰富的晶体;不同生态型的喜旱莲子草茎秆形态和结构特征有显著差异,同一生态型草不同位置结构特征也存在显著差异。主成分分析和聚类分析结果表明当 $\lambda = 3.56$ 时,不同生态型不同节间位置可分为3类,这3类正好可解释田间喜旱莲子草受控制的情况。相关分析表明莲草直胸跳甲的化蛹率与茎秆节间长、茎秆外直径、髓腔成简单正相关,与皮层薄壁细胞厚度和密度、维管束厚度及髓腔薄壁细胞的厚度成简单负相关;用逐步回归建立了化蛹率与形态和解剖结构特性的模型($y = 1.5332 - 0.2483x_3 - 0.0512x_4 - 1.6349x_5 - 0.9577x_6$, $R^2 = 0.9999$)表明茎秆直径大小不是影响莲草直胸跳甲化蛹能力的最重要因子,主要因为维管柱的厚度,其次髓部薄壁细胞厚度、皮层密度和皮层厚度也不同程度影响了莲草直胸跳甲的化蛹能力。从解剖学角度解释了莲草直胸跳甲对不同生态型喜旱莲子草控制作用的机理:对水生型喜旱莲子草有良好控制效果,而对陆生的中间型能起到一定抑制作用,对陆生的旱生型基本无控制作用。

关键词 莲草直胸跳甲 喜旱莲子草 生态型 植物解剖 入侵植物 杂草生物防治

EFFECT OF MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL VARIATIONS IN THE ECOTYPES OF ALLIGATORWEED, *ALTERNANTHERA PHILOXEROIDES* ON THE PUPATION RATE OF ITS BIOCONTROL AGENT *AGASICLES HYGROPHILA*

MA Rui-Yan^{1,2} and WANG Ren^{1*}

(1 Institute of Biological Control, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

(2 Department of Entomology, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract *Alternanthera philoxeroides*, which originated in South America, is a noxious weed species in the warm temperate and subtropical regions of China, infesting rivers, lakes, ponds, and irrigation canals, as well as many terrestrial habitats. A host-specific flea beetle, *Agasicles hygrophila*, introduced from the USA in 1986 as a biological control agent, has become widely established in South China and has effectively controlled the weed in many water bodies. It has been observed, however, that the beetle's ability in controlling the weed in terrestrial habitats has been limited, apparently due to its poor and/or greatly varying pupation rates. This study analyses the mechanism underpinning the relationship between the beetle's pupation rate and the morphological and physiological characters of the three ecotypes of its host plant, viz. the weed growing in the water bodies (hydrophytes), that growing in wet soil with 15%–30% moisture content and the roots sometimes saturated with water (hygrophytes), and that growing in terrestrial soil with 5%–15% moisture content and the roots never saturated with water. Anatomical studies showed that hydrophytes do not have secondary structures in the stems, whereas stems of the hygrophytes and xerophytes have tight cortex cells and abundant crystals. The 7 morphological and anatomical characters of the alligatorweed analyzed in this study showed significant differences among the ecotypes of the weed as well as between the internodes of the same ecotype. Results of the principal component and clustering analysis placed these characters into three groups, which coincided with the distinctive levels of the beetle's pupation rate and the effect of controlling the weed observed in

both potted plants and the field experiments. A stepwise regression model was established between the pupation rate of *A. hygrophila* and the 7 morphological and anatomical characters of the alligatorweed stems and internodes: $y = 1.5332 - 0.2483x_3 - 0.0512x_4 - 1.6349x_5 - 0.9577x_6$ ($R^2 = 0.9999$). The pupation rate of the beetle was found to be in simple positive correlation with the lengths of the internodes and the external diameter of the stems and the diameter of the pith cavity of the alligatorweed. The pupation rate was found to be in simple negative correlation with the density and thickness of the cortex parenchyma, and the thickness of the vascular cylinder and the pith cavity parenchyma. It is concluded that the pupation rate and the biological control effect of the flea beetle on *A. philoxeroides* are affected primarily by the thickness of vascular cylinder, cortex parenchyma, pith cavity parenchyma and the density of cortex parenchyma of its host plant. This is a rather different explanation for the poor performance of the beetle on terrestrial alligatorweed from the observations of other researchers in the USA, Australia and China.

Key words *Agasicles hygrophila*, *Alternanthera philoxeroides*, Ecotype, Plant anatomy, Invasive plant, Weed biological control

喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)原产于南美,适应性强,现已遍布北美、大洋洲和东南亚,并已扩散到意大利等欧洲国家(林冠伦等,1990;Julien & Giffiths,1998;Garbari & Pedulla,2001)。喜旱莲子草是一种水陆两栖的多年生杂草,在我国主要分布于长江流域以及华南各省区,20世纪中期及以前以水生型为主,目前则以陆生型居多。堵塞航道,影响水上运输,淡水养殖业和旅游业、农田排灌和作物生长,易形成单一群落,影响本土植物生长(王韧,1986;张格成等,1993),是我国首批公布的16种重要入侵物种之一¹⁾。

利用原产地专食性天敌控制入侵生物是保护生态、治理外来入侵物种的有效途径。莲草直胸跳甲(*Agasicles hygrophila*)属鞘翅目叶甲科,原产于南美洲阿根廷,是喜旱莲子草的专食性天敌。1964年,美国昆虫学家Vogt在阿根廷发现该虫并引入美国防治水生型的喜旱莲子草,取得良好效果(Coulson,1977;Vogt *et al.*,1992;Julien & Griffiths,1998)。我国于1986年从美国佛罗里达引种进行防治,已在重庆(张格成等,1997)、长沙(李宏科等,1994)、广西(邓国荣等,1992)、福建等地建立种群在水域上取得良好效果(Wang,1989),是我国最成功的生物防治杂草的项目(马瑞燕等,2003a)。莲草直胸跳甲控制喜旱莲子草的机制是:幼虫和成虫取食草的上部叶片和嫩茎,老熟幼虫钻蛀茎秆后化蛹,阻止节间生长并分泌有毒物质抑制植株的生长,从而摧毁植株(Coulson,1977;Stewart *et al.*,2000)。化蛹是莲草直胸跳甲完成生活史和有效控制喜旱莲子草的关键环节,

对莲草直胸跳甲在不同生态型喜旱莲子草上化蛹适应性研究表明,水生型草的直径对莲草直胸跳甲的化蛹能力影响小,陆生型草的直径和节间位置对莲草直胸跳甲的化蛹影响较大(马瑞燕等,2003b),该文将从形态和解剖结构进一步探讨不同生态型喜旱莲子草茎秆影响莲草直胸跳甲化蛹能力的机制。

1 材料和方法

1.1 虫源

试验虫源2000年采自重庆北碚。养虫用的喜旱莲子草采于福州农业区,去掉8节后的老茎,7~8节插入盛腐熟淤泥的塑料盆,放入阴凉处,经常喷水保湿。1周后转入养虫笼接虫饲养,选择生长一致的喜旱莲子草接入成虫产卵,利用莲草直胸跳甲的假死性转移成虫,利用趋嫩性转移幼虫。

1.2 试验材料

喜旱莲子草栖境分为3类:1)水生型:生长于水体,植株生长旺盛,部分茎秆在水下,部分茎秆挺于水面;2)湿生型:生长于含水量在15%~30%土壤中,植株整株生长于陆地,但根部时有积水;3)旱生型:生长于含水量在5%~15%土壤中,整株根部从不积水。

1.3 方法

2000年夏季,在福州金山(119°12' E 26°8' N)农业区选择3种不同生态型的喜旱莲子草,随机采集。去除心叶,从顶端水生型、湿生型和旱生型取第六节间,湿生型和旱生型取第十二节间以及多年生老茎,共6个处理。每一处理10个样本,每样本4次重

1) State environmental protection administration of China & Chinese Academy of science(中国国家环境保护总局和中国科学院). 2003. 关于发布中国第一批外来入侵物种名单的通知. No.11. (in Chinese)

复,其中3组分别接入莲草直胸跳甲3龄老熟幼虫。将养虫袋置于(28±2)℃、RH=85%、L:D=14:10的养虫室,待3~4d幼虫全部钻入茎秆后,记录幼虫的化蛹数,第四组测量节间长,取节间中部0.5~1.0cm处,用常规石蜡切片法制片,在Olympus BH-2和Olympus BH-KP偏光下镜检如下指标:①外径;②皮层厚度;③皮层薄壁细胞密度;④维管柱厚度;⑤髓腔薄壁细胞厚度;⑥髓腔。化蛹率(PR)为3次重复的平均值。采用SAS 6.12统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同生态型喜旱莲子草茎秆的解剖结构特征 (表1,表2)

喜旱莲子草的基本结构依次为表皮、皮层、环状

维管束或维管柱,髓部薄壁细胞,髓腔(图版1)。水生型草的最显著的特征是无次生结构,髓腔大,约占全茎的8/9(图版5)。陆生型喜旱莲子草随着环境水分含量的降低,次生长增强,髓腔明显减小,旱生型草的髓腔基本为实心;木质化管胞层增多,维管柱增厚,细胞密度增大,细胞壁增厚(图版6,7,8,9)。在水生型草里未发现晶体,只有螺纹导管,而在陆生型的草里含有大量的羽纹针晶(图版2)、菱晶簇(图版3)和网纹导管(图版4),数量随着生长环境水分含量的降低以及节间位置的增加逐渐增多。多年生老茎秆具有明显的次生结构(图版8),木质薄壁细胞占全茎的约4/5,维管束连成一体为维管柱,维管柱内木质部导管群组成多轮,形成散生维管束;形成周皮层厚而明显,木栓层极发达可达10多层,

表1 不同生态型喜旱莲子草茎秆解剖结构特征
Table 1 Anatomical structure features of different ecotypes of alligatorweed stem

生态型 Ecotypes	取材 Material	次生结构 Secondary structure	周皮层 Peridem	管胞层 Tracheid	晶体 Crystal
水生型 Hydrophytes	第六节间	无	无	1~2层	无
湿生型 Hygrophytes	第六节间	少量	无	2~4层	羽纹针晶
	第十二节间	有	无	5~8层	大量羽纹针晶、菱晶簇
	多年生老茎	明显	有	多层	大量羽纹针晶、菱晶簇
旱生型 Xerophytes	第六节间	有	木栓层	3~4层	羽纹针晶、菱晶簇
	第十二节间	明显	有	多层	大量羽纹针晶、菱晶簇

表2 不同生态型喜旱莲子草茎秆形态、解剖结构及跳甲化蛹率比较(平均值±标准差)
Table 2 Comparison of the stem morphological and anatomical features of different ecotypes of alligatorweed, pupation rate of *Alternanthera philoxeroides* (Mean±SD)

生态型 Ecotypes	取材 Material	节间长 Ln (cm)	外径 ED (mm)	皮层厚度 TCo (mm)	皮层薄壁 细胞密度 DCo/10 (µm ²)	维管束厚 度TV (mm)	髓部薄壁 细胞层厚 度TPP (mm)	髓腔 DPic (mm)	化蛹率 PR (%)
水生型 Hydrophytes	第六节间	12.49±2.63 ^a	5.12±0.88 ^a	0.26±0.08 ^{cd}	19.80±3.01 ^d	0.0355±0.0069 ^b	0.05±0.02 ^b	4.13±0.49 ^a	90.7
		湿生型 Hygrophytes	第六节间	8.22±1.86 ^b	3.43±0.61 ^b	0.34±0.07 ^{bc}	27.20±2.62 ^c	0.0499±0.0143 ^b	0.30±0.05 ^b
第十二节间	1.51±1.05 ^d		2.78±0.41 ^{bc}	0.42±0.11 ^b	26.40±4.33 ^c	0.1209±0.0341 ^b	0.77±0.07 ^a	0.13±0.21 ^d	12.3
老茎	7.11±3.64 ^{bc}		3.47±1.13 ^b	0.38±0.14 ^b	16.20±6.37 ^d	0.6946±0.4237 ^a	0.23±0.11 ^b	0.91±0.78 ^c	0
旱生型 Xerophytes	第六节间	3.58±1.39 ^{bc}	2.54±0.58 ^c	0.24±0.07 ^d	32.40±3.20 ^b	0.3360±0.0083 ^b	0.86±0.11 ^a	0.89±0.44 ^c	17.3
		第十二节间	0.91±0.34 ^d	2.82±0.49 ^{bc}	0.49±0.10 ^a	43.30±4.29 ^a	0.5635±0.1186 ^a	0.28±0.13 ^b	0.05±0.16 ^d

Ln: Length of internode DCo: Density of cortex parenchyma TCo: Thickness of cortex ED: External diameter TV: Thickness of vascular cylinder or bundle TPP: Thickness of parenchyma pith cavity DPic: Diameter of pith cavity PR: Pupation rate a, b, c, d 表示用 Duncan 多重比较的差异显著性 a, b, c, d denote significant difference by Duncan multiple comparisons



图版 1 湿生型第六节间(4×3.3)The 6th internode of mesophytes alligatorweed(4×3.3) 图版 2 羽纹针晶(20×3.3)Crysta(20×3.3) 图版 3 菱形晶簇(20×3.3)Pinnate crista(20×3.3) 图版 4 旱生型六节间(4×3.3)The 6th internode of xerophytes alligatorweed(4×3.3) 图版 5 水生型第六节间(10×3.3)The 6th internode of hydrophytes alligatorweed(10×3.3) 图版 6 湿生型第六节间(10×3.3)The 6th internode of hydrophytes alligatorweed(10×3.3) 图版 7 湿生型第十二节间(10×3.3)The 12th internode of hydrophytes alligatorweed(10×3.3) 图版 8 湿生型老茎(4×3.3)The old internode of hydrophytes alligatorweed(4×3.3) 图版 9 旱生型十二节间(4×3.3)The 12th internode of xerophytes alligatorweed(4×3.3)

VB 维管束 Vascular bundle Pd 周皮层 Peridem PLM 木栓层 Cork layer Co 皮层 Cortex Pi 髓部 Pith Pic 髓腔 Pith cavity RV 网纹导管 Reticulate vessel SV 螺旋导管 Spiral vessel V 导管 Vessel t 管胞 Tracheid C 菱晶簇 Robohedral crystal Pc 羽纹针晶 Pinnate crystal

皮层细胞壁破坏,维管柱内遍布羽纹晶体,髓腔部菱状晶簇偏多。旱生型草的周皮厚达6~8层,木栓层厚,木质部薄壁细胞约占全茎的2/3,维管柱环轮状,集中于茎中央,有明显的次生结构(图版9)。

对7个指标分别进行方差分析,不同生态型的喜旱莲子草之间形态和解剖结构各指标存在显著差异(表2),水生型草的节间最长,直径最大,髓部薄壁细胞最薄,髓腔最大,化蛹率最高;旱生型草的皮层厚度及皮层薄壁细胞密度最大,湿生型草老茎的维管柱最厚,莲草直胸跳甲不能在老茎和旱生型草12节上化蛹。

2.2 不同生态型喜旱莲子草的解剖结构各指标的分析

将7个指标进行主成分分析,前3个特征根的累计方差贡献率已达95.4%,保留前3个主成分就可代表整个数据的大部分信息。第一主成分方差为4.2172, $\text{prin1} = 0.4804x_1 + 0.4563x_2 - 0.3208x_3 - 0.3382x_4 - 0.1741x_5 - 0.2987x_6 + 0.4734x_7$ 可以说明整个原始数据变异的60.26%为形态指标(节间、外径、髓腔);第二主成分 $\text{prin2} = 0.0540x_1 + 0.1842x_2 + 0.4886x_3 - 0.0513x_4 + 0.6373x_5 - 0.5588x_6 + 0.0569x_7$ 可以说明原始数据变异的25.12%为硬度指标(维管束厚度、皮层厚度);第三主成份 $\text{prin3} = -0.0354x_1 + 0.1611x_2 + 0.1471x_3 + 0.8271x_4 - 0.3301x_5 - 0.3007x_6 + 0.2602x_7$ 可以说明原始数据变异的10.02%为韧度指标(皮层细胞密度)。

将主成分得分采用欧氏距离、最长距离聚类法进行分析(图1)结果表明:当 λ 为3.56~4.75时,6个处理可分为3个类群:多年生老茎和旱生型第十二节间为第一类;湿生型第十二节间、旱生型第六节间与湿生型第六节间聚为第二类;水生型第六节间单独为第三类。无论在田间还是在室内实验,莲草直胸跳甲在这3类草上的化蛹能力有差别:莲草直胸跳甲在第一类群草上具有较高的化蛹率,在第二类具一定的化蛹能力;在第三类不能化蛹。这说明喜旱莲子草的形态与解剖结构与莲草直胸跳甲化蛹能力存在密切关系。

2.3 解剖结构指标与化蛹率的关系

将7个形态和解剖结构指标的平均值与化蛹率作简单相关分析,化蛹率与节间、外径、髓腔呈正相关,与内径相关系数最大,达0.9328;与维管束厚度、皮层薄壁细胞密度、皮层厚度以及髓腔薄壁细胞厚度呈负相关,与维管束厚度关系最大,为-0.6500。

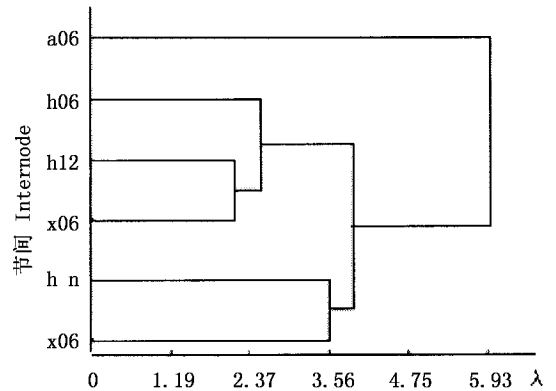


图1 喜旱莲子草不同节间聚类图

Fig. 1 Dendrogram of different internodes

- a06 水生型第六节间 The 6th internode of hydrophytes alligatorweed
h06 湿生型第六节间 The 6th internode of hydrophytes alligatorweed
h12 湿生型第十二节间 The 12th internode of hydrophytes alligatorweed
hn 湿生型多年生老茎某节间 The old internode of hydrophytes alligatorweed
x06 旱生型第六节间 The 6th internode of xerophytes alligatorweed
x12 旱生型第十二节间 The 12th internode of xerophytes alligatorweed

水生型第六节间内径最大,因而化蛹率也最高,多年老茎木质化部分最厚,因此不能化蛹(表3)。

将不同处理的7个指标:节间、外径、髓腔薄壁细胞厚度、髓腔、皮层厚度、皮层密度及维管柱木质化部分厚度的平均值与该处理的化蛹率进行逐步回归分析,方程为 $y = 1.5332 - 0.2483x_3 - 0.0512x_4 - 1.6349x_5 - 0.9577x_6$ ($R^2 = 0.9999$)。该方程表明,节间、外直径和髓腔虽然与化蛹率有很高的简单相关性,但并不是影响化蛹率的最重要的因子,模型显著性测验概率 P_{x_5} 、 P_{x_6} 、 P_{x_4} 、 P_{x_3} 为0.0020、0.0020、0.0041、0.0109,四元线性回归方程在 $\alpha = 0.05$ 水平上显著,其变异占到总变异的99.99%,说明该模型具较强的拟合效果。分析表明喜旱莲子草的节间、内外直径的大小不是影响莲草直胸跳甲化蛹的主要因子,而直径壁的厚度与密度,尤其是木质化的维管柱(束)厚度是影响该虫化蛹的重要因子,即陆生型草的次生结构严重阻碍了该虫的化蛹能力。

3 讨论

由于莲草直胸跳甲在茎秆化蛹后会造茎秆外部形态与内部结构的破坏,因此采用了任一取材做4次重复,并且分析时,用每一处理的化蛹率,指标也用每一处理10个样本的平均值,并将化蛹率进行了三角函数的数据转换,从而得出了较好的模型。

前人研究一般认为,喜旱莲子草的髓腔直径大小是影响莲草直胸跳甲化蛹能力的主要因子(Coulson, 1977;林冠伦等1990;Vogt et al., 1992;张格成

表3 解剖结构指标与化蛹率的简单相关分析
Table 3 Correlation analysis between pupation rate and morphological anatomical features

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
化蛹率 Pupation rate	0.832 1	0.800 9	-0.595 6	-0.359 7	-0.650 0	-0.465 3	0.932 8

x_1 : 节间长 Length of internode (cm) x_2 : 外径 External diameter (mm) x_3 : 皮层厚度 Thickness of vascular cylinder or bundle (mm) x_4 : 皮层薄壁细胞密度 Density of cortex parenchyma (/100 μm^2) x_5 : 维管柱(束)厚度 Thickness of vascular cylinder or bundle (mm) x_6 : 髓部薄壁细胞层厚 Thickness of parenchyma pith cavity (mm) x_7 : 髓腔 Diameter of pith cavity (mm) 化蛹率 (PR) Pupation rate

等,1993);Stewart 等(2000)的研究表明莲草直胸跳甲在茎秆上的化蛹率与直径有关,髓腔至少要高于1.21 mm;不同生态型喜旱莲子草的直径对莲草直胸跳甲化蛹能力影响不一致,水生型草的直径基本不影响其化蛹率,而莲草直胸跳甲在不同直径陆生型草上的化蛹力有显著差异(马瑞燕等,2003b)。关于苋科形态解剖结构的研究很早就有报道,Joshi (1931)详细研究了 *Alternanthera sessilis* 的形态解剖特征,Metcallye 和 Chalk(1950)总结了苋科的形态解剖特征,特异性次生长为其维管系统的共同的特征,湿生型和旱生型的喜旱莲子草符合此结构,而水生型喜旱莲子草的解剖结构与其明显不同。本文研究表明喜旱莲子草的茎秆直径的大小并非影响莲草直胸跳甲化蛹的最重要的因子,而维管系统厚度是影响莲草直胸跳甲化蛹率的主要因子。因此莲草直胸跳甲不能在陆生型草上顺利化蛹的关键原因,不是陆生型草直径小,而是由于其具有次生结构。研究还表明不同节间位置其木质化程度也不同,细胞壁增厚程度、导管类型、体内含晶体的种类和数量也不同,这同样增加了莲草直胸跳甲幼虫钻入茎秆的难度。

茎秆的木质化程度不仅因草的生长环境而异,而且因草的部位不同而不同。水生型草解剖结构非常有利于莲草直胸跳甲的顺利化蛹,因此在水域上可取得良好的控制效果;湿生型第六节间木质化程度不很高,跳甲也可化蛹;随着植株的生长,节间逐渐老化,到第十二节间,由于茎秆的次生长,木质化和坚韧程度提高,导致化蛹困难;旱生型草第六节间茎秆,木质化部分的厚度虽然不高,但其细胞密度大,导管壁增厚,髓腔薄壁细胞厚,给跳甲钻蛀带来困难和障碍;旱生型下部节间木质化程度高,茎秆近实心,以及多年生的匍匐茎均有很厚的保护组织(周皮层、木栓层),导致莲草直胸跳甲根本不能化蛹。根据形态、硬度和韧度3个主成分指标,将喜旱莲子草划分为3类,它们正好可以解释莲草直胸跳甲的化蛹能力,莲草直胸跳甲能很好地控制水生型喜旱

莲子草;在湿生型和旱生型的幼嫩部分具一定的化蛹能力,可抑制生物总量,在湿生型老茎和旱生型不能完全化蛹,因此缺乏控制力。

诚然,随着气候、季节、降雨量以及土壤含水量的变化,喜旱莲子草的节间发育和生长状况也不断变化,但本实验基本反映了草的生长环境和趋势。由此可知,生长在不同生境中的喜旱莲子草,其形态特征和组织结构有差异,这些差异决定了莲草直胸跳甲的适应性,也导致了不同的控制效果。

Coulson(1977)曾报道,当每平方英尺虫口密度大于4~6头成虫时,莲草直胸跳甲对水生型喜旱莲子草可达到良好的控制效果。据作者观察,这样的密度发生在陆生型草上,只能起到一定的抑制作用,由于次生结构不仅影响了莲草直胸跳甲的化蛹能力,而且使喜旱莲子草不易折断和腐烂,易形成肉质根而导致新的无性生殖,一个节间就有可能成为一大片单一群落的开端。因此控制入侵物种喜旱莲子草的扩散,需要采取多种措施进行综合治理。

参 考 文 献

- Coulson, J. R. 1977. Biological control of alligatorweed, 1959 - 1972: a review and evaluation. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1547, 98.
- Deng, G. R. (邓国荣), W. Q. Li (李伟群), D. X. Huang (黄大兴) & H. H. Yang (杨皇红). 1992. Preliminary study on introducing *Agasicles hygrophila* to control alligatorweeds. Guangxi Plant Protection (广西植保), 4: 37 ~ 38. (in Chinese)
- Garbari, F. & M. L. Pedulla. 2001. *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. (Amaranthaceae), a new species for the exotic flora of Italy. Webia, 56: 139 ~ 143.
- Joshi, A. C. 1931. Contributions to the anatomy of the Chenopodiaceae and Amarantaceae. I. Anatomy of *Alternanthera sessilis* R. Br. Journal of Indian Botany Society, 10: 221 ~ 231.
- Julien, M. H. & M. W. Griffiths. 1998. Biological control of weeds: a world catalogue of agents and their target weeds. 4th ed. Wallingford: CABI Publishing. 223.
- Li, H. K. (李宏科) & R. Wang (王韧). 1994. Biological control of alligatorweed, in central China by inoculative releases of *Agasicles hygrophila* with artificial overwintering protection. Chinese

- Journal of Biological Control(生物防治通报), **10**(1):11 ~ 14. (in Chinese with English abstract)
- Lin, G. L. (林冠伦), Y. Z. Yang (杨益众) & J. S. Hu (胡进生). 1990. Biology and control of the alligatorweed. Journal of Jiangsu Agricultural College(江苏农学院学报), **11**(2):57 ~ 63. (in Chinese with English abstract)
- Ma, R. Y. (马瑞燕), R. Wang (王韧) & J. Q. Ding (丁建清). 2003a. Classical biological control of exotic weeds. Acta Ecologica Sinica (生态学报), **23**: 2677 ~ 2688. (in Chinese with English abstract)
- Ma, R. Y. (马瑞燕), J. Q. Ding (丁建清), B. T. Li (李佰铜), Z. Q. Wu (吴珍泉) & R. Wang(王韧). 2003. The pupation adaptability of the flea beetle (*Agasicles hygrophila*) in different ecotypes alligatorweed. Chinese Journal of Biological Control(中国生物防治), **19**(4): 54 ~ 58. (in Chinese with English abstract)
- Metcallye, C. R. & L. Chalk. 1950. Anatomy of the dicotyledons: leaves, stem and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses. Vol. II. 212. Amaranthaceae. Oxford: Oxford University Press. 1059 ~ 1074.
- Stewart, C. A., R. B. Chapman & C. M. A. Frampton. 2000. Growth of alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*) and population development of *Agasicles hygrophila* in northern New Zealand. Plant Protection Quarterly, **15**(3):95 ~ 101.
- Vogt, G. B., P. C. Jr. Quimby & S. H. Kay. 1992. Effects of weather on the biological control of alligatorweed in the lower Mississippi Valley region, 1973 - 83. USDA Technical Bulletin 1766, 143.
- Wang, R. (王韧). 1986. Current status and perspectives of biological control weeds in China. Chinese Journal of Biological Control(生物防治通报), **2**(4):173 ~ 177. (in Chinese with English abstract)
- Wang, R. 1989. Biological control of weeds in China: a status report. Proceedings of the 7th International Symposium on Biological Control of Weeds. 689 ~ 693.
- Zhang, G. C. (张格成), J. X. Li(李继祥) & X. H. Chen(陈秀华). 1993. Primary biology of alligatorweed. Weed Science(杂草科学), **2**:10 ~ 12. (in Chinese)
- Zhang, G. C. (张格成), J. X. Li(李继祥) & X. H. Chen(陈秀华). 1997. Applied study of *Agasicles hygrophila* controlling alligatorweed. Chinese Southern Fruiter(中国南方果树), **6**(5): 47 ~ 49. (in Chinese)

责任编辑:于丹 责任编辑:姜联合