

喜旱莲子草次生代谢物对莲草直胸跳甲谷胱甘肽S-转移酶和淀粉酶活性的影响

杨永昌 柴艳萍 马瑞燕 李 鑫 郭艳琼* 高玲玲

(山西农业大学农学院, 太谷 030801)

摘要: 为明确喜旱莲子草的次生代谢物对其专食性天敌—莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* 成虫解毒酶和消化酶的影响, 利用不同浓度的橙花叔醇、齐墩果酸和甜菜碱浸叶处理喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides*, 连续饲喂莲草直胸跳甲 1~3 d 后, 测定莲草直胸跳甲谷胱甘肽S-转移酶 (GSTs) 和淀粉酶 (AMS) 的活性变化。结果表明, 橙花叔醇、齐墩果酸和甜菜碱均能抑制莲草直胸跳甲的 GSTs 活性, 0.1% 橙花叔醇和 20% 甜菜碱处理 24 h 时的 GSTs 活性最低, 分别为 45.67 U/mg 和 53.95 U/mg, 0.2% 齐墩果处理 72 h 时的 GSTs 活性最低, 为 98.77 U/mg, 且莲草直胸跳甲对橙花叔醇的刺激存在着一种适应机制; 0.5% 橙花叔醇和 0.1% 齐墩果酸处理 24 h 后的 GSTs 活性最高, 分别为 243.10 U/mg 和 250.22 U/mg, 是对照的 1.55 倍和 1.59 倍, 存在诱导激活现象。甜菜碱对莲草直胸跳甲的 AMS 活性有明显的抑制作用, 20% 甜菜碱处理 72 h 后 AMS 活性最低, 为 1.01 U/mg, 是对照的 55.92%。表明喜旱莲子草 3 种次生代谢物均能抑制谷胱甘肽S-转移酶活性, 其中橙花叔醇和齐墩果酸对谷胱甘肽S-转移酶有诱导激活作用, 而甜菜碱对淀粉酶抑制作用较强。

关键词: 喜旱莲子草; 莲草直胸跳甲; 谷胱甘肽S-转移酶; 淀粉酶

Effects of secondary metabolites of alligator weed *Alternanthera philoxeroides* on the enzyme activity of amylases and glutathione S-transferases in the adults of alligator weed flea beetle *Agasicles hygrophila*

Yang Yongchang Chai Yanping Ma Ruiyan Li Xin Guo Yanqiong* Gao Lingling

(College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi Province, China)

Abstract: To study the effects of secondary metabolites of alligator weed *Alternanthera philoxeroides* on the detoxifying and digestive enzymes of *Agasicles hygrophila*, an introduced natural enemy for this invasive weed in China, the alligator weed was first dipped by various concentrations of secondary metabolites, nerolidol, oleanolic acid and betaine. After the flea beetles were fed with the treated alligator weed for 1–3 days. The activities of amylases (AMS) and glutathione S-transferases (GSTs) of *A. hygrophila* were analyzed. The results showed that nerolidol, oleanolic acid and betaine remarkably inhibited the GSTs activities with the lowest activities (45.67, 98.77 and 53.95 U/mg, respectively) at 24, 72 and 24 h, respectively. However, *A. hygrophila* could quickly adapt to nerolidol and oleanolic acid. The GSTs activities in *A. hygrophila* were highest (243.10 U/mg and 250.22 U/mg) among all treatments 24 h after treatment with nerolidol and oleanolic acid, which were 1.55 and 1.59 times of that of the control, respectively. The betaine had an inhibitory effect on AMS. The activity of amylases in *A. hygrophila* treated

with 20% betaine was the lowest (1.01 U/mg) at 72 h, which was 55.92% of the control. The results indicated that all three secondary metabolites had a negative effect on GSTs in the early time; nerolidol and oleanolic acid activated the GSTs activity after a short period, and the amylases activity was adversely affected by betaine.

Key words: *Alternanthera philoxeroides*; *Agasicles hygrophila*; glutathione *S*-transferases; amylase

喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 又名空心莲子草, 属苋科莲子草属, 原产巴西, 是覆盖水面和地面的多年生恶性杂草 (Sainty et al., 1998), 目前分布于美洲、澳洲、亚洲等, 20 世纪传入我国, 现已扩散至大部分省市 (王韧, 1986), 因其再生能力极强而难以防除, 成为影响我国农业和生态环境的入侵杂草。目前, 莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* 作为生物防治喜旱莲子草的主要天敌, 引种到我国, 并被安全利用 (Bassett et al., 2011), 对喜旱莲子草的控制效果显著 (马瑞燕等, 2003)。

植物被植食性昆虫取食后其次生代谢物可直接作用于昆虫的消化酶, 从而影响昆虫对营养的利用 (陈巨莲等, 2003; 周隆等, 2011; 王倩倩等, 2015)。淀粉酶是比较重要的一种消化酶, 在昆虫体内碳水化合物代谢中具有重要作用, 柴艳萍等 (2016) 研究表明饥饿及取食不同植物叶片能显著影响莲草直胸跳甲淀粉酶等消化酶的活性。昆虫也可通过体内解毒酶系活性的变化, 实现对不同寄主植物的适应 (安志兰等, 2008), 谷胱甘肽 *S*-转移酶 (glutathione *S*-transferases, GSTs) 是昆虫体内一类重要的解毒酶系, 对植物次生代谢物、杀虫剂等异源物质的解毒代谢中起重要作用, 许多植物次生代谢物是 GSTs 的底物 (Wadleigh & Yu, 1987)。研究表明, 莲草直胸跳甲对靶标植物喜旱莲子草的适合度最高, 有取食和产卵偏好性, 而对非靶标植物取食产卵极少 (傅建炜等, 2011; 李霜等, 2016)。同时, 莲草直胸跳甲对喜旱莲子草也存在空间选择, 其雌雄成虫和幼虫均嗜好栖息于喜旱莲子草顶叶, 成虫产卵也偏好将卵产在第 2 节叶片 (傅建炜等, 2011)。陈磊等 (2009) 发现喜旱莲子草叶龄对莲草直胸跳甲幼虫发育和成活率有显著影响, 其中次生代谢物可能起到了关键作用。

因此, 为探明喜旱莲子草次生代谢物对莲草直胸跳甲解毒酶和消化酶系的影响机制, 本试验通过测定喜旱莲子草的 3 种次生代谢物橙花叔醇、齐墩果酸和甜菜碱对莲草直胸跳甲 GSTs 和淀粉酶 (amylase, AMS) 活性影响的剂量和时间效应, 初步

揭示莲草直胸跳甲的次生代谢物应对策略, 以期揭示其对靶标和非靶标植物、不同生态型喜旱莲子草之间及喜旱莲子草空间位置选择的生物学机制, 进一步明确它们之间的互作关系, 为喜旱莲子草的生物防治提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫及植物: 莲草直胸跳甲引种于华南农业大学, 在温度为 25~28℃、光周期为 14 L:10 D、相对湿度为 85% 的人工培养箱中饲养。参照吴珍泉等 (1994) 方法饲养, 取同一批羽化的成虫供试。喜旱莲子草采自浙江省台州市, 保种于山西农业大学农学院实验基地温室内。

试剂及仪器: 橙花叔醇、齐墩果酸和甜菜碱, 酷尔化学科技有限公司; 淀粉酶活性测定试剂盒、谷胱甘肽 *S*-转移酶测试试剂盒, 南京建成生物工程研究所; BCA 蛋白浓度检测试剂盒, 上海碧云天生物技术公司; 其它试剂均为国产分析纯。SpectraMax M5 多功能酶标仪, 美国 Molecular Devices 公司。

1.2 方法

1.2.1 橙花叔醇、齐墩果酸和甜菜碱的处理

采用浸叶法 (傅建炜等, 2012) 分别用橙花叔醇、齐墩果酸和甜菜碱 3 种次生代谢物对喜旱莲子草进行处理。橙花叔醇浓度 (w/V) 分别为 0.1%、0.5%; 齐墩果酸浓度分别为 0.1%、0.2%; 甜菜碱浓度分别为 0.5%、1%、10%、20%。

挑选同一区域生长、大小相似的喜旱莲子草带顶 6 片叶浸泡于不同浓度的次生代谢物中 30 s, 取出自然晾干后饲喂莲草直胸跳甲, 同时以蒸馏水浸蘸叶作对照。每个处理 10 头成虫, 重复 3 次。培养 24、48、72 h 后, 将存活的成虫置于液氮中保存, 测定其 GSTs 和 AMS 活性。

1.2.2 GSTs 活性的测定

将 1.2.1 中处理后的成虫置于预冷玻璃匀浆器中, 按其质量的 9 倍加入预冷的 0.1 mol/L pH 7.6 的磷酸缓冲液, 在冰浴下匀浆, 所得匀浆液于 4℃、

5 000 g 离心 10 min, 其上清液即为待测酶液, 按照谷胱甘肽 S-转移酶测试试剂盒说明书测定酶活。GSTs 活性以每毫克组织蛋白, 在 37℃ 反应 1 min 扣除非酶促反应, 使反应体系中 GSH 浓度降低 1 μ L 为 1 个酶活性单位。蛋白质含量按照 BCA 蛋白浓度检测试剂盒说明书进行测定。

1.2.3 AMS 活性的测定

将处理后的虫体置于预冷玻璃匀浆器中, 加入 9 倍虫体质量预冷的 pH 10、0.05 mol/L 的 Tris-HCl 缓冲液, 冰浴条件下匀浆, 将匀浆液置于 4℃、2 500 g 离心 10 min, 取其上清液用于酶活性测定。酶活性测定按淀粉酶测试盒说明书进行。以组织中每毫克蛋白在 37℃ 与底物作用 30 min, 水解 10 mg 淀粉为 1 个 AMS 活性单位。

1.3 数据分析

试验数据利用 SPSS 19.0 软件进行统计分析, 采

用 Tukey 多重比较法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 橙花叔醇对 GSTs 及 AMS 活性的影响

对不同处理的莲草直胸跳甲成虫 GSTs 活性进行比较, 结果显示, 仅在 0.5% 橙花叔醇处理 24 h 时对 GSTs 有诱导作用, GSTs 达到最大值 243.10 U/mg, 为对照的 1.55 倍。0.1% 橙花叔醇对 GSTs 表现为抑制作用, 处理 24 h 后, 酶活仅为 45.67 U/mg, 在 48~72 h 后活性逐渐升高, 但仍表现为抑制作用; 0.5% 橙花叔醇处理 48 h 后表现为抑制作用, 并在 72 h 使莲草直胸跳甲全部死亡(图 1)。

AMS 活性测定结果表明, 0.5% 橙花叔醇处理 48 h 后, 对 AMS 有一定抑制作用, 酶活性为 1.14 U/mg, 为对照的 68.62%, 其它处理 AMS 活性与对照均无显著差异(图 1)。

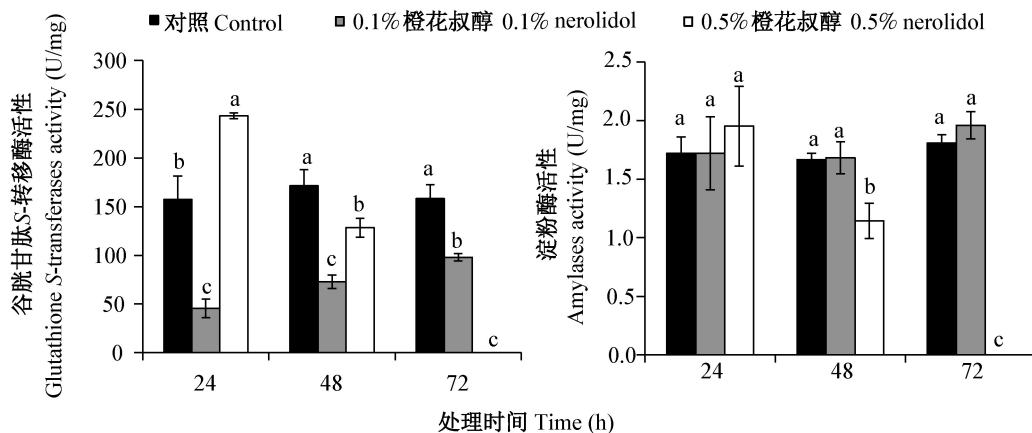


图 1 橙花叔醇对莲草直胸跳甲谷胱甘肽 S-转移酶 (GSTs) 和淀粉酶 (AMS) 活性的影响

Fig. 1 Effects of nerolidol on glutathione S-transferases and amylases in *Agasicles hygrophila*

图中数据为平均值 $\pm$ 标准误。不同字母表示同一时间不同处理间经 Tukey 法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean $\pm$ SD. Different letters on the bars indicate significant difference among different treatments at the same time at $P < 0.05$ level by Tukey test.

2.2 齐墩果酸对 GSTs 及 AMS 活性的影响

经不同浓度齐墩果酸处理后, 测定莲草直胸跳甲的 GSTs 及 AMS 活性, 结果显示, 0.1% 齐墩果酸在 24 h 对 GSTs 有诱导作用, 最大值达 250.22 U/mg, 为对照的 1.59 倍, 但在 48~72 h 对 GSTs 活性均无影响。0.2% 齐墩果酸在 24 h 时, GSTs 活性与对照无显著差异, 在 48~72 h 表现为抑制作用, 在 72 h 达到最低值 98.77 U/mg, 是对照的 62.41%; 0.1%、0.2% 两种浓度齐墩果酸均在 48 h 后增强了 AMS 活性, 其它处理均与对照无显著差异(图 2)。

2.3 甜菜碱对 GSTs 及 AMS 活性的影响

处理 24 h 后, 0.5%、1% 甜菜碱作用后的莲草直

胸跳甲 GSTs 活性与对照无显著差异, 20% 甜菜碱处理的 GSTs 活性最低, 为 53.95 U/mg; 48 h 后, GSTs 活性被抑制; 而 72 h 后, GSTs 活性较 48 h 增加, 其中 1% 甜菜碱作用 72 h 后达最大值 198.59 U/mg, 为对照的 1.25 倍。10%、20% 的剂量对 GSTs 表现为抑制作用, 在 24~48 h 抑制作用明显, 其活性在 72 h 后逐渐升高, 但仍表现为抑制作用。10% 甜菜碱处理在 24、48、72 h 对 AMS 活性表现出一定抑制作用, 而 0.5%、1%、20% 剂量的甜菜碱作用 24 h 后 AMS 活性与对照无显著差异, 不同浓度甜菜碱作用 72 h 后均对 AMS 有抑制作用, 其中 20% 甜菜碱作用 72 h 后酶活性最低, 为 1.01 U/mg, 是对照的 55.92% (图 3)。

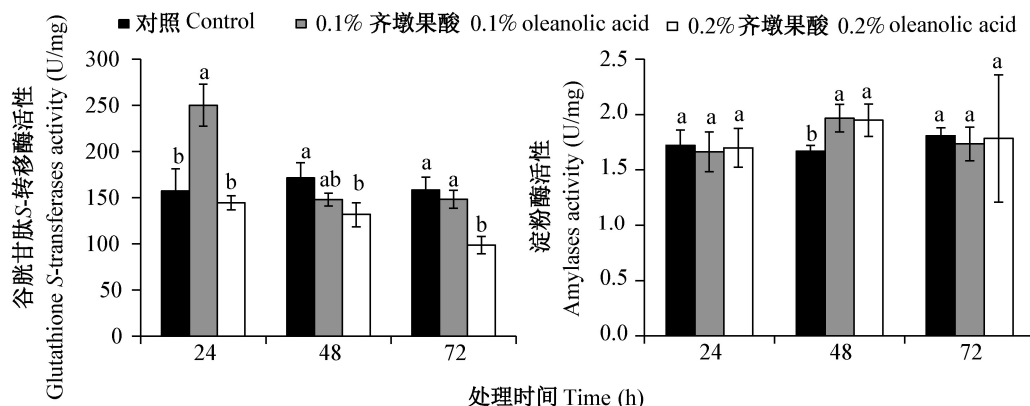


图2 齐墩果酸对莲草直胸跳甲谷胱甘肽S-转移酶 (GSTs) 和淀粉酶 (AMS)活性的影响

Fig. 2 Effects of oleanolic acid on glutathione S-transferases and amylases in *Agasicles hygrophila*

图中数据为平均数±标准误。不同字母表示同时间不同处理间经 Tukey 法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters on the bars indicate significant difference among different treatments at the same time at $P < 0.05$ level by Tukey test.

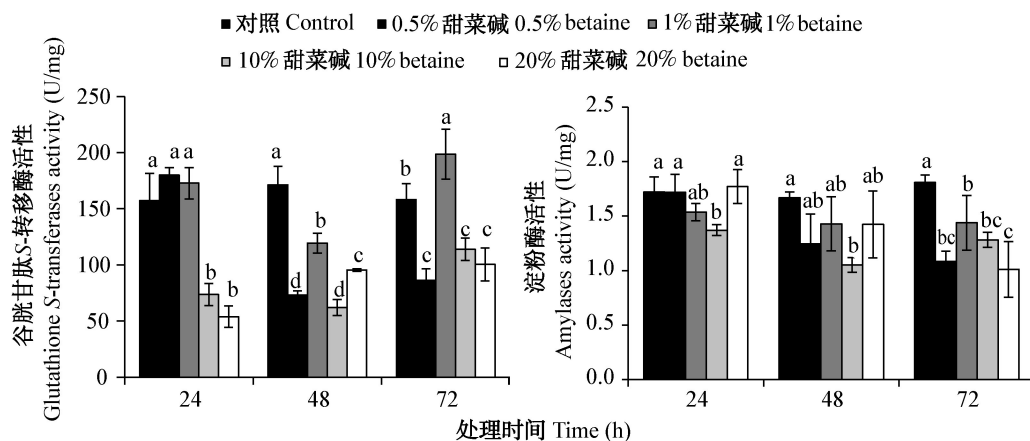


图3 甜菜碱对谷胱甘肽S-转移酶 (GSTs)和淀粉酶 (AMS)活性的影响

Fig. 3 Effects of betaine on glutathione S-transferases and amylases in *Agasicles hygrophila*

图中数据为平均数±标准误。不同字母表示同时间不同处理间经 Tukey 法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters on the bars indicate significant difference among different treatments at the same time at $P < 0.05$ level by Tukey test.

3 讨论

许多植物次生代谢物是 GSTs 的底物,它参与了植食性昆虫对取食过程中遇到的植物次生代谢物的抗性,并可被次生代谢物诱导。齐墩果酸(何立文和孟正木,1995)、甜菜碱(熊卫国等,2000)和橙花叔醇(未发表)是从喜旱莲子草全草中提取分离得到的3种重要次生代谢物。在本试验中,莲草直胸跳甲对一定剂量的橙花叔醇和齐墩果酸存在解毒机制,短时间内高剂量橙花叔醇和齐墩果酸对 GSTs 存在诱导激活效应,GSTs 活性的升高增强了对橙花叔醇和齐墩果酸的代谢,说明莲草直胸跳甲对外界次生代谢物存在一种应激反应。但是随着作用时间的增加,它们抑制 GSTs 活性,对莲草直胸跳甲有较强的毒害

作用。这与槲皮素(牟少飞等,2006)和单宁酸(陈凤菊等,2003)在低剂量短时间内对 GSTs 具有应激效应,而高剂量长时间作用下有抑制作用的结论一致。在短时间内橙花叔醇和齐墩果酸的诱导作用,可能与喜旱莲子草中橙花叔醇和齐墩果酸浓度相关,莲草直胸跳甲取食后诱导体内的 GSTs 活性增加,引起跳甲机体产生抗氧化压力,降低喜旱莲子草次生代谢物对机体的损害作用,这也是莲草直胸跳甲与喜旱莲子草相互适应的结果。甜菜碱对 GSTs 活性也存在抑制作用,但抑制作用在高浓度或长时间作用下才得以显现,莲草直胸跳甲对甜菜碱存在适应效应,这与本课题组赵龙龙等(2013)研究发现除莲子草外,莲草直胸跳甲成虫主要取食非靶标植物甜菜和蓟达的行为相符,表明莲草直胸跳甲对甜菜碱存

在较强的耐受力。

吕敏(2009)认为黏虫 *Mythimna separata* 经过桦酮处理后 α -淀粉酶活性降低;周琼等(2011)发现苍耳甾醇对菜青虫 *Pieris rapae* 幼虫中肠 AMS 活性的抑制,本研究也发现类似现象,莲草直胸跳甲取食甜菜碱后 AMS 活性不同程度降低,其它次生代谢物对其影响不显著。一般来说,能产生拒食作用的植物次生代谢物都有抑制淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶等的活性(周琼等,2011)。甜菜碱含量较多的植株,如喜旱莲子草、莲子草、甜菜、苕达等(赵龙龙等,2013),可以诱导昆虫产生拒食作用,减少莲草直胸跳甲对植株的为害。另一方面,也说明甜菜碱在莲草直胸跳甲取食植物过程中起着较为特殊的作用,莲草直胸跳甲可能利用该成分诱使取食含甜菜碱植物。

马瑞燕和王韧(2004)研究表明莲草直胸跳甲对水生型喜旱莲子草有良好的防控效果,而对陆生型基本无防控作用,形态解剖结果表明陆生型具有紧密的次生结构,而水生型喜旱莲子草无次生结构。因此,有待进一步测定不同生态型喜旱莲子草及其它非靶标植物中次生代谢物的含量,以及含量差异明显的次生代谢物对莲草直胸跳甲酶系的影响,并探究莲草直胸跳甲的特殊食性机制。

参 考 文 献 (References)

- An ZL, Chu D, Guo DF, Fan ZX, Tao YL, Liu GX, Zhang YJ. 2008. Effects of host plant on activities of some detoxification enzymes in *Bemisia tabaci* biotype B. *Acta Ecologica Sinica*, 28(4): 1536–1543 (in Chinese) [安志兰, 褚栋, 郭笃发, 范仲学, 陶云荔, 刘国霞, 张友军. 2008. 寄主植物对 B 型烟粉虱 (*Bemisia tabaci*) 几种主要解毒酶活性的影响. *生态学报*, 28(4): 1536–1543]
- Bassett I, Paynter Q, Beggs JR. 2011. Invasive *Alternanthera philoxeroides* (alligator weed) associated with increased fungivore dominance in Coleoptera on decomposing leaf litter. *Biological Invasions*, 13(6): 1377–1385
- Chai YP, Zhang JY, Wang YX, Jia D, Ma RY, Guo YQ. 2016. Effects of starvation and different plant feedings on the digestive enzyme activities in the adults of alligator weed flea beetle *Agasicles hygrophila*. *Journal of Plant Protection*, 43(5): 738–744 (in Chinese) [柴艳萍, 张建宇, 王苑馨, 贾栋, 马瑞燕, 郭艳琼. 2016. 饥饿程度及取食不同植物对莲草直胸跳甲消化酶的影响. *植物保护学报*, 43(5): 738–744]
- Chen FJ, Gao XW, Lei MQ, Zheng BZ. 2003. Effects of tannic acid on glutathione S-transferases in *Helicoverpa armigera*. *Acta Entomologica Sinica*, 46(6): 684–690 (in Chinese) [陈凤菊, 高希武, 雷明庆, 郑炳宗. 2003. 单宁酸对棉铃虫谷胱甘肽 S-转移酶的影响. *昆虫学报*, 46(6): 684–690]
- Chen JL, Ni HX, Sun JR, Cheng DF. 2003. Effects of major secondary chemicals of wheat plants on enzyme activity in *Sitobion avenae*. *Acta Entomologica Sinica*, 46(2): 144–149 (in Chinese) [陈巨莲, 倪汉祥, 孙京瑞, 程登发. 2003. 小麦几种主要次生代谢物对麦长管蚜几种酶活力的影响. *昆虫学报*, 46(2): 144–149]
- Chen L, Cai DC, Chen Q, Tang C, Peng ZQ, Jin QA, Wen HB. 2009. Oviposition preference and larval performance of *Agasicles hygrophila* on the leaves of *Alternanthera philoxeroides*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 30(3): 353–356 (in Chinese) [陈磊, 蔡笃程, 陈青, 唐超, 彭正强, 金启安, 温海波. 2009. 莲草直胸跳甲成虫产卵选择性及叶位与幼虫发育适合度的关系. *热带作物学报*, 30(3): 353–356]
- Fu JW, Shi MZ, Guo JY, Li YN, Zhao X, Wang FH. 2011. Within-plant position choice in the flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Biosafety*, 20(4): 270–274 (in Chinese) [傅建伟, 史梦竹, 郭建英, 李彦宁, 赵鑫, 万方浩. 2011. 莲草直胸跳甲的空间选择与性别分化. *生物安全学报*, 20(4): 270–274]
- Fu JW, Shi MZ, Li JY, Xiao YJ, Zheng LZ, Guo JY. 2012. Effects of 2, 4-D dimethylamine salt on survival and reproduction of *Agasicles hygrophila*. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 7(4): 423–428 (in Chinese) [傅建伟, 史梦竹, 李建宇, 肖玉军, 郑丽祯, 郭建英. 2012. 2, 4-D 二甲胺盐对莲草直胸跳甲生存和繁殖的影响. *生态毒理学报*, 7(4): 423–428]
- He LW, Meng ZM. 1995. Studies on constituents of *Alternanthera philoxeroides* (Mart) Griseb. *Journal of China Pharmaceutical University*, 25(6): 263–267 (in Chinese) [何立文, 孟正木. 1995. 空心苋化学成分的研究. *中国药科大学学报*, 25(6): 263–267]
- Li S, Li N, Guo YQ, Liu YH, Zhang K, Ma RY. 2016. Feeding and oviposition of *Agasicles hygrophila* in different plants under the condition of outdoor and non-selective. *Journal of Shanxi Agricultural University (Nature Science Edition)*, 36(9): 659–663 (in Chinese) [李霜, 李娜, 郭艳琼, 刘艳红, 张昆, 马瑞燕. 2016. 莲草直胸跳甲对多种植物取食及产卵研究. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 36(9): 659–663]
- Lü M. 2009. Preliminary studies on the insecticidal activity and action mechanism of fraxinellone. Ph. D Thesis. Yangling: Northwest A&F University (in Chinese) [吕敏. 2009. 桦酮的杀虫活性及作用机理的初步研究. 博士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学]
- Ma RY, Wang R. 2004. Effect of morphological and physiological variations in the ecotypes of alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides* on the pupation rate of its biocontrol agent *Agasicles hygrophila*. *Acta Phytocologica Sinica*, 28(1): 24–30 (in Chinese) [马瑞燕, 王韧. 2004. 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. *植物生态学报*, 28(1): 24–30]
- Ma RY, Wang R, Ding JQ. 2003. Classical biological control of exotic weeds. *Acta Ecologica Sinica*, 23(12): 2677–2688 (in Chinese) [马瑞燕, 王韧, 丁建清. 2003. 利用传统生物防治控制外来杂草的入侵. *生态学报*, 23(12): 2677–2688]

- Mu SF, Liang P, Gao XW. 2006. Effects of quercetin on specific activity of carboxylesterase and glutathione *S*-transferases in *Bemisia tabaci*. Chinese Bulletin of Entomology, 43(4): 491–495 (in Chinese) [牟少飞, 梁沛, 高希武. 2006. 槲皮素对B型烟粉虱羧酸酯酶和谷胱甘肽S-转移酶活性的影响. 应用昆虫学报, 43(4): 491–495]
- Sainty G, McCorkelle G, Julien M. 1998. Control and spread of alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb, in Australia: lessons for other regions. Wetlands Ecology and Management, 5(3): 195–201
- Wadleigh RW, Yu SJ. 1987. Glutathione transferase activity of fall armyworm larvae toward α , β -unsaturated carbonyl allelochemicals and its induction by allelochemicals. Insect Biochemistry, 17(5): 759–764
- Wang QQ, Wang L, Li KB, Cao YZ, Yin J, Xiao C. 2015. Influences of different host plants on the nutrition and digestive enzymes of *Loxostege sticticalis*. Plant Protection, 41(4): 46–51 (in Chinese) [王倩倩, 王蕾, 李克斌, 曹雅忠, 尹娇, 肖春. 2015. 不同寄主植物对草地螟的营养作用及消化酶的影响. 植物保护, 41(4): 46–51]
- Wang R. 1986. Current status and perspectives of biological weed control in China. Chinese Journal of Biological Control, 2(4): 173–177 (in Chinese) [王韧. 1986. 我国杂草生防现状及若干问题的讨论. 生物防治通报, 2(4): 173–177]
- Wu ZQ, Cai YC, Guo ZX, Wang TB. 1994. Rearing *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) on alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides*. Journal of Fujian Agricultural University (Natural Sciences Edition), 23(4): 421–425 (in Chinese) [吴珍泉, 蔡元呈, 郭振铤, 王天宝. 1994. 利用野生空心莲子草繁殖空心莲子草叶甲. 福建农林大学学报(自然版科学版), 23(4): 421–425]
- Xiong WG, Liu YS, Liu YW. 2000. Chemical composition analysis of *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae). Chinese Traditional and Herbal Drugs, 31(7): 501–502 (in Chinese) [熊卫国, 刘雅士, 刘焱文. 2000. 空心莲子草化学成分的研究. 中草药, 31(7): 501–502]
- Zhao LL, Lu JJ, Hu SQ, Li N, Ma RY. 2013. The fitness of *Agasicles hygrophila* on several non-target plant species. Journal of Plant Protection, 40(4): 350–354 (in Chinese) [赵龙龙, 陆俊姣, 胡书琴, 李娜, 马瑞燕. 2013. 莲草直胸跳甲在几种非靶标植物上的适合度比较. 植物保护学报, 40(4): 350–354]
- Zhou L, Wen LZ, Zhang YJ. 2011. Compare of activities of major digestive enzymes and amino acid metabolism enzymes of *Bemisia tabaci* on different host plants. Central China insect research, 7: 38–44 (in Chinese) [周隆, 文礼章, 张友军. 2011. 不同寄主植物对烟粉虱消化酶和氨基酸代谢酶活性的影响. 华中昆虫研究, 7: 38–44]
- Zhou Q, Xiong ZY, Ou XM. 2011. Effects of sterols from *Xanthium sibiricum* (Compositae) on feeding, enzyme activities in the hemolymph and midgut, and midgut tissues of *Pieris rapae* (Lepidoptera: Pieridae) larvae. Acta Entomologica Sinica, 54(9): 1034–1041 (in Chinese) [周琼, 熊正燕, 欧晓明. 2011. 苍耳甾醇物质对菜青虫取食、血淋巴和中肠酶活性及中肠组织的影响. 昆虫学报, 54(9): 1034–1041]

(责任编辑:王璇)