

DOI: 10.5846/stxb202002090215

马亚玲, 李春杰. 醉马草水浸液对豌豆蚜触杀活性及种群增长的影响. 生态学报, 2021, 41(4): 1492-1500.

Ma Y L, Li C J. Effect of the contact activity and population parameters of aqueous extracts of the *Achnatherum inebrians* against the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(4): 1492-1500.

醉马草水浸液对豌豆蚜触杀活性及种群增长的影响

马亚玲, 李春杰*

兰州大学草地农业生态系统国家重点实验室, 兰州大学农业农村部草牧业创新重点实验室, 兰州大学草地农业教育部工程研究中心, 兰州大学甘肃省西部草业技术创新中心, 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020

摘要:为探讨醉马草水浸液对豌豆蚜触杀活性及种群增长的影响,采用带虫浸叶法比较不同生育期醉马草带菌(E+)和不带菌(E-)水浸液对豌豆蚜触杀活性及种群生命表,测定了豌豆蚜的死亡率及触杀后对其生殖期,平均繁殖力,繁殖率及生命表参数的影响。结果表明,不同生育期醉马草带菌(E+)水浸液触杀豌豆蚜后对其各项指标均有显著影响。在苗期时,E+水浸液触杀豌豆蚜后校正死亡率最高,繁殖力最低,内禀增长率($r_m=0.145\text{ d}^{-1}$)和净生殖率($R_0=4.802$ 头)均为最小值。在成熟期时,E+水浸液触杀豌豆蚜 24 h、48 h 和 72 h 后校正死亡率分别为 26.15%, 19.01%, 9.07%;繁殖期(3.87 d),平均繁殖力(8.80 头),繁殖率(1.40%),内禀增长率($r_m=0.208\text{ d}^{-1}$)和净生殖率($R_0=8.820$ 头)。在枯黄期时,E+水浸液触杀豌豆蚜后校正死亡率最低,繁殖力最强,内禀增长率($r_m=0.247\text{ d}^{-1}$)和净生殖率($R_0=13.647$ 头)均为最大值。不同生育期醉马草E-水浸液触杀豌豆蚜后对其种群繁殖无显著影响,与对照差异不显著($P>0.05$)。综上,苗期醉马草E+水浸液对豌豆蚜有较好的触杀效果,校正死亡率高,且触杀后当代繁殖力减弱,种群扩建时间延长,不利于其种群繁殖和增长;故苗期醉马草E+水浸液具有很好的杀虫潜力,所采用水浸液方法制备简单,成本低,可为新型植物源农药研发提供重要理论依据。

关键词:醉马草;豌豆蚜;触杀活性;种群繁殖;生命表

Effect of the contact activity and population parameters of aqueous extracts of the *Achnatherum inebrians* against the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*

MA Yaling, LI Chunjie*

State Key Laboratory of Grassland Agro-Ecosystems, Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Engineering Research Center of Grassland Industry, Ministry of Education, Gansu Tech Innovation Center of Western China Grassland Industry, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China

Abstract: To investigate the effects of aqueous extracts of the *Achnatherum inebrians* on contact activity and population growth of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* (Harris). And the method of leaf dipping with insect was compared the effects of the endophyte-infected (E+) and endophyte-free (E-) of aqueous extracts of the *Achnatherum inebrians* at different growth periods on the contact activity, life table parameters and population growth of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. After the contact activity on the pea aphid of measure the mortality rate, idiophase, average fecundity, reproductive and life table parameters. The results showed that there was the E+ aqueous extract from different growth stages had significant effects on the indexes of pea aphid. At the seedling stage, the adjusted mortality of pea aphid treated by aqueous extracts of E+ was the highest, the fecundity was the lowest, the intrinsic growth rate ($r_m=0.145\text{ day}^{-1}$) and net reproductive rate ($R_0=4.802$ offspring) were the minimum values for those. At the maturity, the adjusted mortality rates for 24 h, 48 h and 72 h of the pea aphid treated by aqueous extracts of E+ were 26.15%, 19.01% and 9.07%, respectively. The idiophase

基金项目:973 项目课题(2014CB138702);教育部创新团队发展计划(IRT_17R50);国家自然科学基金项目(30070546)

收稿日期:2020-02-09; 网络出版日期:2020-12-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chunjie@lzu.edu.cn

(3.87 day), the average fecundity (8.80 offspring), reproductive rate (1.40%), the intrinsic growth rate ($r_m = 0.208 \text{ day}^{-1}$) and net reproductive rate ($R_0 = 8.820$ offspring) were middle values for those. In the yellow stage, the adjusted mortality rate of the pea aphid treated by aqueous extracts of E+ was the lowest and the fecundity was the strongest; the intrinsic growth rate ($r_m = 0.247 \text{ day}^{-1}$) and net reproductive rate ($R_0 = 13.647$ offspring) were the maximum values for those. The contact activity of the E- aqueous extracts from the *Achnatherum inebrians* in different growth periods had no significant effect on the population reproduction of the contemporary pea aphid, which was not different from control ($P > 0.05$) at different growth periods. Overall, the seedling stage of the E+ aqueous extracts of the *Achnatherum inebrians* showed the contact activity good effect on pea aphid, with the highest adjusted mortality, and the contemporary fecundity is weakened after contact activity, and the population expansion time is prolonged, which is not conducive to its population reproduction and growth. Therefore, the results of E+ aqueous extracts of the *Achnatherum inebrians* at seedling stage showed a highly promising insecticidal potential, and the relatively simple and low prices of present selected method will provide theoretical basis for the research and development of new green pesticides with high effect and low toxicity in future.

Key Words: *Achnatherum inebrians*; *Acyrtosiphon pisum*; contact activity; population fecundity; life table analysis

豌豆蚜(*Acyrtosiphon pisum*)属于半翅目蚜科,是一种重要的刺吸式昆虫,因其发育历期短,种群繁殖快,故又称为地球上最具破坏性害虫,主要危害豆科植物如蚕豆、豌豆和苜蓿等,夏季也发生在芥菜上,使农业生产造成重大损失,已列为豆科作物及设施蔬菜的重点防治对象^[1]。同时,由于物理和生物防治的成本高,见效慢,而且易受气候条件的影响,目前我国生产上多使用化学防治,但由于长期不合理的使用化学农药,加剧了豌豆蚜抗药性的形成^[2]。

醉马草(*Achnatherum inebrians*)为禾本科芨芨草属(*Achnatherum*)多年生草本植物^[3],是我国北方天然草原上的主要烈性毒草之一,主要分布在我国甘肃、新疆、内蒙古、青海、西藏、宁夏、四川和陕西等省(区)^[4],其毒性很早被加以研究,李春杰等^[5]发现导致醉马草致毒的主要因素是内生真菌—甘肃内生真菌(*Epichloë gansuensis*)。研究发现^[6-7]在盆栽和田间条件下,带菌醉马草(E+)植株上的禾谷缢管蚜(*Rhopalosiphum padi*)和朱砂叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)的虫口密度、存活率及繁殖数量均显著低于不带菌醉马草(E-);带菌醉马草(E+)降低了亚洲小车蝗(*Oedaleus decorus*)和针毛收获蚁(*Messor aciculatus*)对叶片和种子的取食量^[7-9]。将其作为植物源农药用于害虫防治,尚鲜见报道。植物源农药来源于植物活性代谢产物,是植物抵御外界生物侵袭的防御性化合物,能防御多种有害生物且不易使其产生抗药性^[10]。因此,从植物资源中寻找杀虫活性物质已经成为农业病虫害防治的一条重要途径。

本研究以豌豆蚜为供试生物,通过比较不同生育期带菌(E+)和不带菌(E-)醉马草水浸液对豌豆蚜进行触杀活性,观测了豌豆蚜死亡率及对触杀后豌豆蚜繁殖及生命表参数,旨在探明不同生育期带菌(E+)和不带菌(E-)醉马草水浸液对豌豆蚜触杀活性及触杀后对其繁殖的影响,为准确评估不同生育期带菌(E+)和不带菌(E-)醉马草植物源杀虫剂的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

醉马草:兰州大学榆中校区试验田,种子采自甘肃榆中同一种群,其中一半种子采用脱毒技术^[8]将其内生真菌杀死,而不破坏种子的活力,将脱毒后的种子称为E-种子,而自然带有内生真菌的种子称为E+种子。将E+与E-种子分别播种于榆中校区试验田中,从而建立其E+与E-的醉马草种群,在建立种群4年以上后,在其不同生育期取其地上部分,阴干,切段,粉碎,备用。

豌豆蚜:甘肃农业大学养虫实验室,为红色型豌豆蚜,饲养在盆栽蚕豆苗临蚕9号植株上,在温度(23 ± 1)℃,相对湿度 $60\% \pm 10\%$ 的实验室条件下饲养至少20代以上,直至形成稳定种群后,备用,将成蚜作为供试

虫源。

供试植物:新鲜的蚕豆苗,挑选表面健康、籽粒饱满的临蚕 9 号种子种植在花盆内,置于兰州大学榆中校区智能温室内培养,待长至六叶时备用。

1.2 试验方法

1.2.1 醉马草水浸液的制备

将不同生育期(苗期、成熟期和枯黄期)醉马草细粉 100 g 以 400 mL 蒸馏水浸泡,搅拌均匀,置于 4℃ 冰箱冷藏,每隔 12 h 搅拌一次,48 h 后备用;将样品搅拌均匀后,放入榨汁机,利用榨汁机将液体充分榨出,再将液体混合均匀,即得醉马草水浸液,备用。

1.2.2 醉马草水浸液对豌豆蚜触杀实验

采用带虫浸叶法(FAO)^[11]对豌豆蚜进行触杀实验,挑取 300 头大小一致的无翅成蚜,将带有不少于 10 头豌豆蚜的新鲜蚕豆叶片浸入到各处理水浸液中,10 s 后取出迅速用滤纸吸掉体表的液体,放入有保湿滤纸的培养皿中,用脱脂棉包裹叶柄,并让其自然风干,然后置于光周期 10L:14D,温度(23±1)℃,相对湿度 60%±10% 的光照培养箱内。每个处理重复 3 次,以蒸馏水处理为对照(CK),在 24 h、48 h 和 72 h 后,分别记录死亡数(轻触豌豆蚜腹部,足不动者视为死亡),用 1.2.4 列出的公式计算死亡率及校正死亡率。

1.2.3 豌豆蚜生命表研究

采用不同生育期醉马草水浸液对豌豆蚜进行(带虫浸叶法)触杀,24 h 后挑取存活成蚜,置于直径 9 cm 并带有保湿滤纸的培养皿中,在其上放一片完全展开并用吸水脱脂棉包裹叶柄的新鲜蚕豆叶片,叶片背面向上,每皿接存活成蚜 1 头,叶片每 3 d 更换 1 次,在皿内注入适量蒸馏水,滤纸湿润即可,从而确保叶片新鲜,置于培养箱中。每个处理 60 头蚜虫,重复 3 次。每日观察 2 次,记录其繁殖期(从开始产蚜到最后产蚜所经历的时间)^[12]内产蚜数量,并将所产若蚜移除,直至成蚜死亡,以蒸馏水为对照(CK)。

1.2.4 数据计算

平均死亡率=死虫数的总和/试验总虫数×100%

校正死亡率=处理死亡率-对照死亡率/1-对照死亡率×100%^[13]

平均繁殖力=一生总产蚜量/存活蚜虫总数;繁殖率=平均繁殖力/繁殖期,根据试验数据组建豌豆蚜生殖力表,方法计算^[14]如下参数:

净增殖率 $R_0 = \sum l_x m_x$;

平均世代周期 $T = \sum_x l_x m_x / \sum l_x m_x$;

内禀增长率 $r_m = \ln R_0 / T$;

周限增长率 $\lambda = \exp(r_m)$;

种群加倍时间 $D_t = \ln 2 / r_m$

式中, x 为特定年龄(d), l_x 为在 x 期开始时的存活率, m_x 为在 x 期间平均每头雌蚜产蚜数量。

1.3 数据处理

数据处理采用 Excel 和 SPSS 21.0 软件^[15]进行。利用 SPSS 21.0 一般线性模型进行方差分析,统计不同生育期(Growth periods),处理(Treatments)及二者的交互作用效应;采用 SPSS 21.0 软件的 Analyze/One-way ANOVA 程序进行死亡率、校正死亡率、繁殖期、平均繁殖率、繁殖率和生命表参数的方差分析;多重比较利用 Duncan 氏复极差法进行。

2 结果与分析

2.1 不同生育期醉马草水浸液对豌豆蚜触杀活性

不同生育期醉马草水浸液对豌豆蚜触杀 24 h 后其结果,由(表 1)可知,苗期 E+、成熟期 E+ 和枯黄期 E+ 水浸提液触杀豌豆蚜后,校正死亡率分别为 31.07%、26.15% 和 25.11%,差异极显著($F = 16.479$; $df = 2, 18$; $P <$

0.001), 其中苗期校正死亡率值最大;各处理间触杀活性顺序均为E+>E->CK, 故触杀 24 h 后, 与成熟期和枯黄期相比, 苗期醉马草E+水浸液对豌豆蚜触杀效果最好, 死亡率最高。

表 1 不同生育期醉马草水浸液对豌豆蚜触杀活性的方差分析 (24 h)

Table 1 Summary of two way ANOVA for effect of the contact activity of aqueous extracts of the *Achnatherum inebrians* against the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* (24 h)

项目 Items	处理 Treatments	生育期 Growth periods				P		
		苗期 Seedling stage	成熟期 Maturity	枯黄期 Yellowing stage	标准误 Standard error (SE)	处理 Treatments	生育期 Growth periods	交互作用 Treatments× Growth periods
死亡率/%	E+	33.03±1.57Bc	28.57±0.10Ac	27.37±0.10Ac	0.15	<0.001	<0.001	<0.001
Mortality	E-	10.40±1.00Ab	10.32±1.00Ab	9.55±1.00Ab				
	CK	3.23±0.10Aa	3.28±1.00 Aa	3.02±0.10 Aa				
校正死亡率/%	E+	31.07±1.00Bb	26.15±0.10Ab	25.11±0.10Ab	0.19	<0.001	<0.001	<0.001
Adjusted mortality	E-	7.41±1.00Aa	7.28±1.00Aa	6.73±1.00Aa				

E+:带菌的醉马草 endophyte-infected *inebrians*; E-:不带菌的醉马草 endophyte-free *inebrians*;不同大写字母表示豌豆蚜在不同生育期醉马草间差异显著性 ($P<0.05$), 不同小写字母表示豌豆蚜在各处理之间的差异显著性 ($P<0.05$)

不同生育期醉马草水浸液对豌豆蚜触杀 48 h 后其结果, 由 (表 2) 可知, 苗期E+、成熟期E+和枯黄期E+水浸提液触杀豌豆蚜后, 校正死亡率分别为 30.12%、19.01% 和 13.64%, 差异极显著 ($F=17.199$; $df=2, 18$; $P<0.001$), 其中苗期校正死亡率值最大;各处理间触杀活性顺序均为E+>E->CK, 故触杀 48 h 后, 与成熟期和枯黄期相比, 苗期醉马草E+水浸液对豌豆蚜触杀效果最好, 死亡率最高。

表 2 不同生育期醉马草水浸液对豌豆蚜触杀活性的方差分析 (48 h)

Table 2 Summary of two way ANOVA for effect of the contact activity of aqueous of the *Achnatherum inebrians* against pea aphid *Acyrtosiphon pisum* (48 h)

项目 Items	处理 Treatments	生育期 Growth periods				P		
		苗期 Seedling stage	成熟期 Maturity	枯黄期 Yellowing stage	标准误 Standard error (SE)	处理 Treatments	生育期 Growth periods	交互作用 Treatments× Growth periods
死亡率/%	E+	32.32±0.10 Cc	21.81±0.10Bc	16.25±0.10Ac	0.02	<0.001	<0.001	<0.001
Mortality	E-	6.22±0.10Ab	8.04±0.10Ab	6.54±0.10Aa				
	CK	3.15±0.10Aa	3.46±0.10Aa	3.02±0.10Aa				
校正死亡率/%	E+	30.12±0.10Cb	19.01±0.10Bb	13.64±0.10Ab	0.02	<0.001	<0.001	<0.001
Adjusted mortality	E-	3.17±0.10Aa	4.74±0.10Aa	3.63±0.10Aa				

不同生育期醉马草水浸液对豌豆蚜触杀 72 h 后其结果, 由 (表 3) 可知, 苗期E+、成熟期E+和枯黄期E+水浸提液触杀豌豆蚜后, 校正死亡率分别为 24.44%、9.07% 和 7.04%, 差异极显著 ($F=14.606$; $df=2, 18$; $P<0.001$), 其中苗期校正死亡率值最大;各处理间触杀活性顺序均为E+>E->CK, 故触杀 72 h 后, 与成熟期和枯黄期相比, 苗期醉马草E+水浸液对豌豆蚜触杀效果最好, 死亡率值最大。

2.2 不同生育期醉马草水浸液对豌豆蚜当代繁殖的影响

不同生育期醉马草水浸液触杀豌豆蚜后, 对其当代繁殖具有显著影响。苗期醉马草水浸液对豌豆蚜繁殖期 (图 1) 有极显著影响 ($F=12.802$; $df=2, 261$; $P<0.001$), E+与E-和 CK 相比, 繁殖期缩短 2.04 d 和 2.92 d, E-与 CK 相比, 繁殖期缩短 0.88 d; 成熟期醉马草水浸液对豌豆蚜繁殖期有显著影响 ($F=4.329$; $df=3, 318$; $P<0.05$), E+与E-和 CK 相比, 繁殖期缩短 0.55 d 和 1.16 d, E-与 CK 相比, 繁殖期缩短 0.71 d; 枯黄期无显著影响 ($P>0.05$); 表明不同生育期醉马草E+水浸液对豌豆蚜繁殖期影响显著, 其中苗期繁殖期最短, 枯黄期最长。

表3 不同生育期醉马草水浸液对豌豆蚜杀活性的方差分析 (72 h)

Table 3 Summary of two way ANOVA for effect of the contact activity of aqueous of the *Achnatherum inebrians* against pea aphid *Acyrthosiphon pisum* (72 h)

项目 Items	处理 Treatments	生育期 Growth periods				P		
		苗期 Seedling stage	成熟期 Maturity	枯黄期 Yellowing stage	标准误 Standard error (SE)	处理 Treatments	生育期 Growth periods	交互作用 Treatments× Growth periods
死亡率/% Mortality	E+	26.97±1.00Cc	12.02±1.00Bc	9.70±0.10Ac	0.13	<0.001	<0.001	<0.001
	E-	5.83±1.00Ab	4.22±1.00Ab	5.54±0.10Ab				
	CK	3.36±0.10Aa	3.24±0.10Aa	3.18±0.10Aa				
校正死亡率/% Adjusted mortality	E+	24.44±1.00Cb	9.07±1.00Bb	7.04±0.10Ab	0.17	<0.001	<0.001	<0.001
	E-	2.56±1.00Aa	1.01±0.10Aa	2.45±0.10Aa				

苗期醉马草水浸液对豌豆蚜平均繁殖力(图1)有极显著影响($F=12.631$; $df=2,261$; $P<0.001$), E+与E-和CK相比,平均繁殖力减少7.89头和9.81头, E-与CK相比,平均繁殖力减少1.96头;成熟期醉马草水浸液对豌豆蚜平均繁殖力有极显著影响($F=10.528$; $df=3,318$; $P<0.001$), E+与E-和CK相比,平均繁殖力减少2.99头和7.59头, E-与CK相比,平均繁殖力减少4.60头;枯黄期醉马草水浸液对豌豆蚜平均繁殖力无显著影响($P>0.05$);表明不同生育期醉马草E+水浸液对豌豆蚜平均繁殖力影响显著,其中苗期平均繁殖力最低,枯黄期最高。苗期醉马草水浸液对豌豆蚜繁殖率(图1)有极显著影响($F=30.904$; $df=2,261$; $P<0.001$), E+与E-和CK相比,繁殖率降低62.12%和67.53%, E-与CK相比,繁殖率降低14.29%;成熟期醉马草水浸液对豌豆蚜繁殖率有极显著影响($F=28.268$; $df=3,318$; $P<0.001$), E+与E-和CK相比,繁殖率降低37.50%和56.39%, E-与CK相比,繁殖率降低30.22%;枯黄期醉马草水浸液对豌豆蚜繁殖率无显著影响($P>0.05$);表明不同生育期醉马草E+水浸液对豌豆蚜繁殖率影响显著,其中苗期繁殖率最小,枯黄期最大。

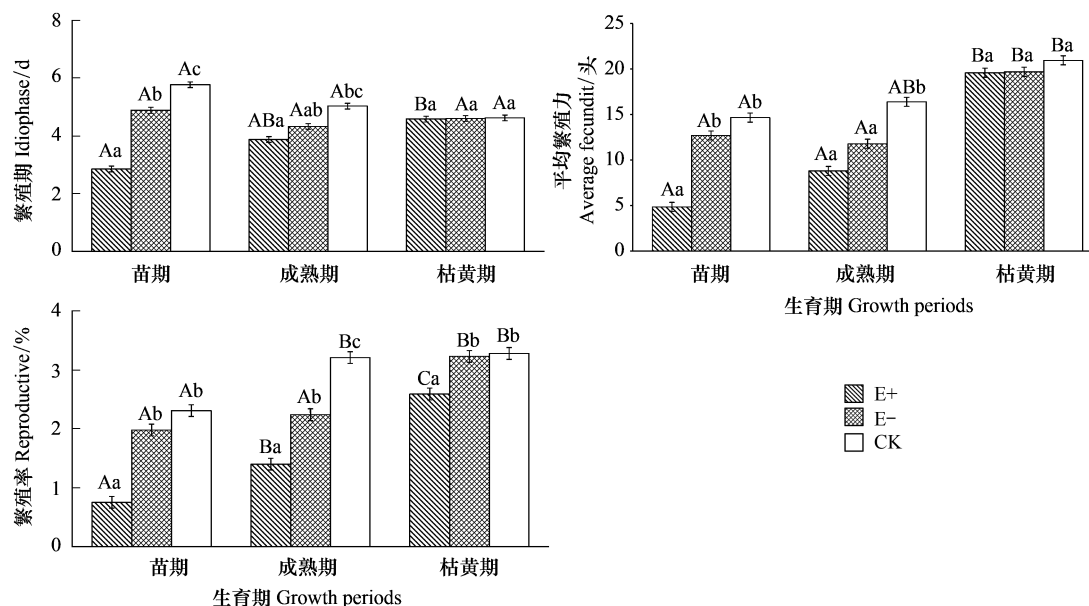


图1 不同生育期醉马草水浸液对豌豆蚜当代繁殖的影响

Fig. 1 Effect of *Achnatherum inebrians* aqueous extracts on fecundity of the pea aphid in different growth periods

E+:带菌的醉马草 endophyte-infected *inebrians*; E-:不带菌的醉马草 endophyte-free *inebrians*;不同大写字母表示豌豆蚜在不同生育期醉马草间差异显著性($P<0.05$),不同小写字母表示豌豆蚜在各处理之间的差异显著性($P<0.05$)

2.3 不同生育期醉马草水浸液触杀豌豆蚜成蚜后其种群生命表参数

根据实验数据可知,求出不同生育期醉马草对豌豆蚜生命表参数(图2)。内禀增长率(r_m)是反映种群动态中比较敏感的参数,不同生育期醉马草水浸液触杀豌豆蚜后,对其内禀增长率(r_m)有不同影响,苗期醉马

草E+水浸液触杀豌豆蚜后内禀增长率低于成熟期和枯黄期;同时,不同处理间醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜后内禀增长率均低于其他处理。上述结果表明苗期醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜后对其种群生殖力有明显的抑制作用,苗期醉马草E+水浸液触杀豌豆后对其种群增长速率产生明显抑制作用。

不同生育期醉马草水浸液触杀豌豆蚜成蚜后对其种群参数有显著影响(图2)。不同生育期醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜后内禀增长率(r_m)和净增殖率(R_0)的影响顺序均为枯黄期>成熟期>苗期,且差异极显著($F=365.199$; $df=2,8$; $P<0.001$)和($F=111.824$; $df=2,8$; $P<0.001$);苗期值最小($r_m=0.145\text{ d}^{-1}$)和($R_0=4.802$ 头),随着植株的不断生长,到枯黄期时值最大($r_m=0.247\text{ d}^{-1}$)和($R_0=13.647$ 头);枯黄期相对提高了种群的繁殖力,有利于种群增长,苗期时值最小,降低了种群繁殖力,抑制其种群增长的速率,故苗期不适合其繁殖种群;不同生育期醉马草E-水浸液触杀豌豆蚜后净增殖率(R_0),枯黄期($R_0=14.451$ 头)与苗期($R_0=12.456$ 头)和成熟期($R_0=12.499$ 头)差异显著($F=5.583$; $df=2,8$; $P<0.05$)。不同生育期醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜后对周限增长率(λ)有显著影响($F=11.843$; $df=2,8$; $P<0.05$),枯黄期时值最大($\lambda=1.281\text{ d}^{-1}$),苗期时值最小($\lambda=1.156\text{ d}^{-1}$),周限增长率(λ)表现为醉马草E+生长时间越长,水浸液触杀豌豆蚜后其周限增长率(λ)值越大,相反,苗期水浸液触杀豌豆蚜后其周限增长率(λ)值越小;不同生育期E-和CK均差异不显著($P>0.05$)。不同生育期醉马草水浸液触杀豌豆蚜后对其平均世代周期(T ,d)均无显著影响($P>0.05$)。不同生育期醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜后对种群加倍时间(D_t)有极显著影响($F=148.866$; $df=2,8$; $P<0.001$),种群加倍时间(D_t)的影响顺序为苗期>成熟期>枯黄期,苗期值最大($D_t=4.795\text{ d}$),枯黄期为最小值($D_t=2.797\text{ d}$),表明醉马草苗期水浸液触杀豌豆蚜后其种群扩建需要的时间最多,故不利于其种群增长。

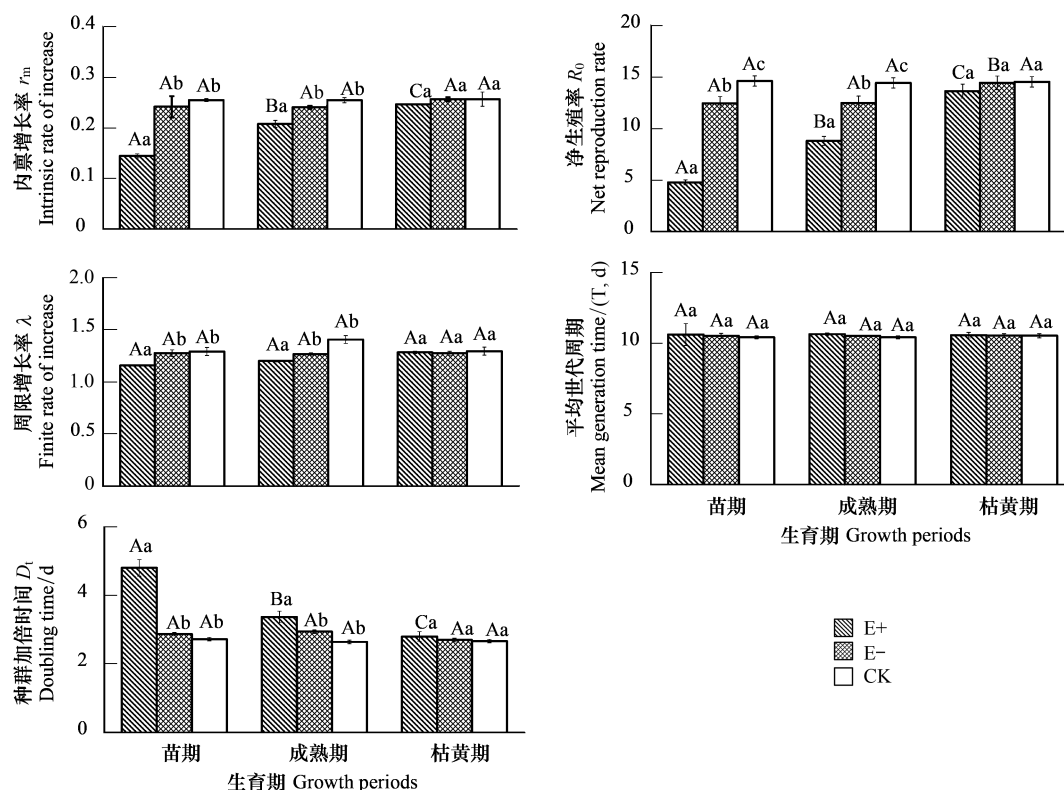


图2 不同生育期醉马草水浸液对豌豆蚜当代生命表参数的影响

Fig. 2 Population life table parameters of *Achnatherum inebrians* aqueous extracts of the pea aphid in different growth periods

3 讨论

随着《食品安全法》、《农产品质量安全法》等法规颁布实施及人们对农药环境安全和人们生活质量关注

度的日益提高,有机生产将会在未来受到更加广泛的关注。而植物源农药的特性符合食品安全生产,综合利用研究将会成为植物源农药企业化发展的重点,“植物保健与和谐植保”也将成为指导理论之一^[16]。醉马草在我国北方和西北部天然草原上广泛分布,研究证实了醉马草内生真菌共生体具有抗干旱、抗寒冷、抗盐碱、抗重金属、抗瘠薄等逆境的能力,有很强的生存能力,生命力顽强,环境条件适宜时繁殖迅速,对其周围生物有强烈的化感作用,同时具有抗虫的特点^[17],有很大的农药开发价值。国内外研究表明禾草内生真菌共生体对蛛形纲、线虫纲、昆虫纲及其他无脊椎动物都能产生抗性,其中,禾草内生真菌对昆虫纲的蚜科、叶甲科、象甲科、金龟子科和拟步甲科等至少 45 种昆虫有明显的抗性^[18]。张兴旭^[6]研究发现将带菌醉马草(E+)离体叶片饲喂朱砂叶螨,与不带菌醉马草(E-)叶片相比,其明显喜食不带菌醉马草(E-)叶片;带菌醉马草(E+)植株上的朱砂叶螨死亡率显著高于不带菌醉马草(E-)。大田中带菌醉马草(E+)降低了罗格斯石竹蚜(*Tetranychus cinnabarinus*)的取食量^[9],而不带菌醉马草(E-)无明显变化。分离自草甸羊茅的内生真菌——*Neotyphodium uncinatum*,其次生代谢产物对哺乳类动物无毒,但对害虫具有高效毒力活性及其他效应^[19]。兰州大学禾草内生真菌团队等研究表明感染内生真菌是醉马草导致实验动物中毒的主要原因^[20],同时,绵羊可以有效利用不带内生真菌的醉马草。研究不同生育期醉马草水浸液触杀豌豆蚜活性及其对种群参数的影响,目前国内外尚少见报道。本研究结果表明,不同生育期醉马草E+水浸液对豌豆蚜活性触杀,其死亡率、校正死亡率、繁殖期、平均繁殖力、繁殖率及生命表种群参数等均有显著影响。

本文采用不同生育期醉马草E+和E-水浸液对豌豆蚜进行了室内触杀活性测定,比较不同生育期醉马草E+和E-水浸液触杀活性。结果可知,不同生育期E+醉马草水浸液对豌豆蚜表现出较好的触杀活性,其中苗期E+醉马草水浸液触杀豌豆蚜 24 h,48 h 和 72 h 后校正死亡率分别为 31.07%、30.12% 和 24.44%,高平等^[21]通过将瑞香素用丙酮液溶解,制成不同亚致死剂量即稀释成浓度为 0.05% 和 0.025%,触杀烟蚜(*Myzus nicotianae* Blackman)12 h 后,其校正死亡率分别为 35.67% 和 4.09%;触杀 24 h 后,其校正死亡率分别为 42.69% 和 14.62%。刘慧萍等^[22]通过利用 1.8% 阿维菌素乳油稀释 500 倍和 1.6% 狼毒素水乳剂稀释成 2 mg/L 的亚致死剂量,触杀豌豆蚜 12 h 后,豌豆蚜死亡率分别为 32.5% 和 30.0%。张等宏等^[13]利用氯仿萃取物触杀豌豆蚜 12 h 和 24 h 后校正死亡率分别为 35.95% 和 38.60%。表明苗期醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜效果和常用杀虫剂亚致死剂量相当,实际研究意义较大,在下一步害虫防治中可以利用,本实验只是对醉马草E+进行简单的水浸提,对其杀虫效果做了初步探索,如果作为植物源农药研制,利用其内生真菌所产生的次生产物,杀虫效果应该会更好。而不同生育期醉马草E-水浸液触杀豌豆蚜 24 h,48 h 和 72 h 后校正死亡率分别为 7.41%、3.17% 和 2.56% (表 1,2 和 3),表明醉马草E+水浸液杀豌豆蚜比E-水浸液效果好,其原因可能与E+含有内生真菌,且内生真菌可产生生物碱,生物碱的主要种类及其毒性为:麦角碱类(麦角肽和麦角酰胺)和吲哚双萜类对哺乳动物毒性为(+++),昆虫毒性为(+);吡咯并吡嗪类对哺乳动物没有毒性,昆虫毒性为(+++);饱和吡咯类对哺乳动物毒性为(+),昆虫毒性为(+++)^[8]。Miles 等^[23]发现,醉马草E+含有的生物碱主要为麦角新碱和麦角酰胺,叶片中的含量很高,其次为叶鞘和老叶。苗期醉马草E+对豌豆蚜触杀效果最好,校正死亡率高,这与李春杰^[8]研究的醉马草E+中生物碱的含量随着生长时间的延长呈先增长、后下降的趋势,且成株干枯植株生物碱含量明显低于新鲜植株的论述相似。

害虫综合治理认为害虫防治不是以消灭害虫种群为目的,而是将其种群的数量控制在经济和环境可接受的范围之内^[24-25]。研究发现吡虫啉亚致死剂量降低了豌豆蚜繁殖力,并随着剂量增加而影响显著^[26-29]。本研究结果表明,不同生育期醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜成蚜后对其繁殖力(图 1)有显著影响。苗期E+醉马草水浸液触杀豌豆蚜后与成熟期和枯黄期相比,繁殖期、平均繁殖力、繁殖率均为最小值,表明苗期醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜后,不适合其种群繁殖和扩建;而E-和 CK 无明显差异,说明不同生育期醉马草E-水浸液触杀豌豆蚜成蚜对其繁殖力无显著影响,故与E+相比,E-更适合豌豆蚜种群繁殖。

生命表是研究昆虫种群数量变动机制的重要方法^[30],其中内禀增长率(r_m)和净增殖率(R_0)是表征昆虫种群动态的重要参数,采用内禀增长率统计种群生物学特性,随着种群的繁殖期、平均繁殖力和繁殖率等参数

的变化而不断变化,同时,也可反映物种种群增长的能力,是对不同物种间以及不同种群间进行比较的最理想参数。涂洪涛等^[31]研究表明毒死蜱亚致死剂量处理雌成蚜后其内禀增长率、周限增长率以及种群加倍时间等生命参数均显著降低;Wang^[32]研究发现联苯菊酯亚致死剂量处理卵后,导致二斑叶蚜种群净增殖率,内禀增长率和周限增长率均降低,而且雌成蚜产卵量下降,寿命缩短,处理雌成蚜后产卵量显著的下降,均表现为对二斑叶蚜具有抑制作用。在本研究中不同生育期醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜后对其种群内禀增长率和净增殖率具有显著影响(图2),枯黄期醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜后其内禀增长率($r_m=0.247\text{ d}^{-1}$),净增殖率($R_0=13.647$ 头)和周限增长率($\lambda=1.281\text{ d}^{-1}$)值最大,是苗期内禀增长率($r_m=0.145\text{ d}^{-1}$),净增殖率($R_0=4.80$ 头)和周限增长率($\lambda=1.156\text{ d}^{-1}$)的1.703倍,2.842倍和1.108倍;苗期种群加倍时间($D_t=4.795\text{ d}$)为最大值,故枯黄期相对提高了豌豆蚜种群的繁殖力,缩短了豌豆蚜种群扩建和繁殖所需时间,有利于其种群繁殖与增长;相反,苗期时内禀增长率,净增殖率和周限增长率值最小,平均世代周期和种群加倍时间均为最大值,降低了豌豆蚜种群繁殖力,抑制其种群增长速率,延长了其扩建种群的时间,不利于其种群扩建和繁殖。E-和CK相比,无显著差异,说明不同生育期醉马草E-水浸液触杀豌豆蚜后,对豌豆蚜种群增长无显著影响,相对有利于其种群增长,且繁殖力强。因此,在研究豌豆蚜种群爆发规律时除了光照、温度、湿度、降水、寄主、天敌等因素外,还需考虑杀虫剂对其影响,这样会更全面准确。

4 结论

本研究利用方差分析揭示了不同生育期醉马草和3个处理对豌豆蚜触杀活性及触杀后对其种群参数的影响,探讨了3个生育期对豌豆蚜触杀后对其生命表的响应机制,及3个生育期和3个处理与豌豆蚜种群参数之间的相关性。研究发现,不同生育期醉马草E+水浸液触杀活性显著高于E-和CK,且苗期醉马草水浸液的触杀活性显著高于成熟期和枯黄期;苗期醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜后,其内禀增长率和净增殖率最低,种群加倍时间最长,故苗期醉马草E+水浸液触杀豌豆蚜对其活性和种群繁殖有显著影响。因此后期研究将对苗期E+水浸液的活性物质进行分离鉴定,获得活性较高的先导化合物及结构式,并对其作用机理、作用方式和仿生合成进行研究,开发低毒、高效的植物源杀虫剂,为醉马草的开发利用奠定理论依据。

参考文献(References):

- [1] 武德功. 豌豆蚜地理种群遗传多样性及其种群调控机制研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2011.
- [2] 仵均祥. 麦红吸浆虫滞育与化学物质变化研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2002.
- [3] 萨赫都拉·霍曼. 醉马草及其防治措施. 草业科学, 1992, 9(5): 36-37.
- [4] 史志诚. 中国草地重要有毒植物. 北京: 中国农业出版社, 1997: 166-176.
- [5] 李春杰, 南志标, 刘勇, Paul V H, Peter D. 醉马草内生真菌检测方法的研究. 中国食用菌, 2008, 27(S1): 16-19.
- [6] 张兴旭. 内生真菌对醉马草抗性影响的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [7] 张兴旭. 醉马草—内生真菌共生体对胁迫的响应及其次生代谢产物活性的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2012.
- [8] 李春杰. 醉马草—内生真菌共生体生物学与生态学特性的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2005.
- [9] Li C J, Zhang X X, Li F, Nan Z B, Schardl C L. Disease and pest resistance of endophyte infected and non-infected drunken horse grass//Popay A, Thom E R, eds. Proceedings of the 6th International Symposium on Fungal Endophytes of Grasses. Dunedin, New Zealand: New Zealand Grassland Association, 2007: 111-114.
- [10] 操海群, 岳永德, 花日茂, 汤锋. 植物源农药研究进展(综述). 安徽农业大学学报, 2000, 27(1): 40-44.
- [11] 陈年春. 农药生物测定技术. 北京: 北京农业大学出版社, 1991: 13-23.
- [12] 马亚玲, 李春杰. 不同大豆品种上红绿两种色型豌豆蚜的种群参数. 昆虫学报, 2020, 63(1): 46-53.
- [13] 张等宏, 陈娥, 张小云, 张新虎, 沈慧敏, 吕和平. 瑞香狼毒根乙醇提取物及4种溶剂萃取物对两种叶蚜及豌豆蚜的触杀活性比较. 植物保护, 2016, 42(6): 229-234.
- [14] 李润红, 刘长仲. 高CO₂浓度对两种色型豌豆蚜体内营养物质含量及消化酶活性的影响. 昆虫学报, 2016, 59(12): 1298-1307.
- [15] 徐向宏, 何明珠. 试验设计与 Design-Expert、SPSS 应用. 北京: 科学出版社, 2010: 14-51.
- [16] 张兴, 马志卿, 冯俊涛, 吴华, 韩立荣. 植物源农药研究进展. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 685-698.

- [17] 李春杰, 姚祥, 南志标. 醉马草内生真菌共生体研究进展. 植物生态学报, 2018, 42(8): 793-805.
- [18] 李秀璋, 姚祥, 李春杰, 南志标. 禾草内生真菌作为生防因子的潜力分析. 植物生态学报, 2015, 39(6): 621-634.
- [19] Blankenship J D, Spiering M J, Wilkinson H H, Fannin F F, Bush L P, Schardl C L. Production of loline alkaloids by the grass endophyte, *Neotyphodium uncinatum*, in defined media. Phytochemistry, 2001, 58(3): 395-401.
- [20] Liang Y, Wang H C, Li C J, Nan Z B, Li F D. Effects of feeding drunken horse grass infected with *Epichloë gansuensis* endophyte on animal performance, clinical symptoms and physiological parameters in sheep. BMC Veterinary Research, 2017, 13: 223.
- [21] 高平, 刘世贵, 侯太平, 侯若彤, 高荣. 瑞香素对蚜虫生物活性的研究. 植物保护学报, 2001, 28(3): 265-268.
- [22] 刘慧萍, 张廷伟, 刘长仲, 杨岚青. 1.6% 狼毒素水乳剂及其复配剂对豌豆蚜的室内毒力测定. 现代农业, 2019, 18(3): 42-44.
- [23] Miles C O, Lane G A, Di Menna M E, Garthwaite I, Piper E L, Ball O J P, Latch G C M, Allen J M, Hunt M B, Bush L P, Min F K, Fletcher I, Harris P S. High levels of ergonovine and lysergic acid amide in toxic *Achnatherum inebrians* accompany infection by an *Acremonium*-like endophytic fungus. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(5): 1285-1290.
- [24] 赵志模, 周新远. 生态学引论——害虫综合防治的理论及应用. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1984: 1-17.
- [25] 文礼章. 昆虫学研究方法与技术导论. 北京: 科学出版社, 2010: 206-241.
- [26] 王小强, 刘长仲, 祁发鹏, 李毅恒. 吡虫啉亚致死剂量对 2 种色型豌豆蚜生长发育和种群参数的影响. 草地学报, 2014, 22(5): 1110-1116.
- [27] 惠婧婧, 刘长仲, 孟银凤, 陈洁. 吡虫啉对豌豆蚜的亚致死效应. 植物保护, 2009, 35(5): 86-88.
- [28] 朱九生, 王静, 乔雄梧, 韩巨才. 农药对家蚕(*Bombyx mori* L.) 的亚致死效应研究进展. 生态学报, 2008, 28(7): 3334-3343.
- [29] 刘中芳, 封云涛, 高越, 郭晓君, 张鹏九, 范仁俊. 吡虫啉亚致死剂量对日本通草蛉实验种群生命表的影响. 植物保护学报, 2016, 43(6): 1014-1019.
- [30] Searle I, Coupland G. Induction of flowering by seasonal changes in photoperiod. The EMBO Journal, 2004, 23(6): 1217-1222.
- [31] 涂洪涛, 张金勇, 陈汉杰. 毒死蜱亚致死剂量对二斑叶螨实验种群动态的影响. 应用昆虫学报, 2016, 53(1): 83-88.
- [32] Wang S L, Tang X F, Wang L, Zhang Y J, Wu Q J, Xie W. Effects of sublethal concentrations of bifenthrin on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). Systematic and Applied Acarology, 2014, 19(4): 481-490.