不同杀虫剂对铜绿丽金龟的室内毒力测定及混配增效药剂筛选

何发林， 乔治华， 姚向峰， 于灏泳， 孙石昂，
李向东， 张吉旺， 姜兴印*

（山东农业大学植物保护学院，农药毒理与应用技术省级重点实验室，泰安 271018）

摘要 为了筛选出对蛴螬具有增效作用的复配药剂组合，室内采用浸虫法测定了多个复配剂对铜绿丽金龟2龄幼虫的联合毒力，并用共毒因子法与共毒系数法相结合评价了复配组合的联合作用。结果表明，氯虫苯甲酰胺与硫双威、毒死蜱、噻虫胺、氟虫腈、联苯菊酯、吡虫啉、高效氯氟氰菊酯分别按9∶2、5∶1、3∶4、9∶25、18∶5、1∶3、18∶23复配时增效作用最显著，其共毒系数分别为169、248、335、144、195、185、184；高效氯氟氰菊酯与噻虫胺按15∶2复配时增效作用最明显，共毒系数为166；联苯菊酯与硫双威、吡虫啉分别按5∶2、5∶9复配时增效作用最显著，共毒系数分别为216、244。

关键词 铜绿丽金龟； 复配； 共毒因子； 共毒系数

中图分类号： S 433.5 **文献标识码**： B **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2019191

Co-toxicity of different insecticides against *Anomala corpulenta* and screening of synergistic agents mixed with different insecticides

HE Falin， QIAO Zhihua， YAO Xiangfeng， YU Haoyong， SUN Shi'ang，
LI Xiangdong， ZHANG Jiwang， JIANG Xingyin*

(*College of Plant Protection*, *Key Laboratory of Pesticide Toxicology and Application Technique of Shandong Province*, *Shandong Agricultural University*, *Tai'an* 271018, *China*)

Abstract In order to screen out the complex insecticides with synergistic effect on grubs, the combined toxicity of multiple compounding agents against the 2nd-instar of the *Anomala corpulenta* was determined by the method of immersing the insects. The combined effects of compound combinations were evaluated using co-toxicity factor method and co-toxicity coefficient method. The results revealed that the mixtures of chlorantraniliprole with thiodicarb, chlorpyrifos, clothianidin, fipronil, bifenthrin, imidacloprid and *lambda*-cyhalothrin at the ratio of 9∶2, 5∶1, 3∶4, 9∶25, 18∶5, 1∶3 and 18∶23, respectively, showed significant synergistic effect, with the co-toxicity coefficients (CTCs) of 169, 248, 335, 144, 195, 185 and 184, respectively. The mixtures of *lambda*-cyhalothrin and clothianidin (15∶2) showed the highest synergism with the CTC of 166, and the CTC of the mixtures of bifenthrin with thiodicarb and imidacloprid at the ratios of 5∶2 and 5∶9 were 216 and 244, respectively.

Key words *Anomala corpulenta*； combination of pesticides； co-toxicity factor； co-toxicity coefficient

地下害虫是国内外公认的难以预测和防治的重大害虫，主要为害农作物幼苗、根系及块茎等[1]。蛴螬为鞘翅目金龟甲总科幼虫的统称，是地下害虫中最大的类群，也是造成损失最大、危害最重的种类[2]。金龟甲幼虫与成虫均能造成严重危害，幼虫主要取食多种作物的地下根茎及荚果，造成作物枯萎死亡；而成虫则取食农作物、果树和林木等叶片，导致芽残叶破，甚至光枝秃杆[3]，严重影响农产品的品质与产量。据调查统计，植物地下部分受害有86%是由金龟甲幼虫为害造成的[4-5]，目前化学

收稿日期： 2019-04-16 **修订日期**： 2019-06-06
基金项目： 国家重点研发计划(2018YFD0200604)；山东"双一流"建设奖补资金(SYL2017XTTD11)；山东省现代农业产业技术体系(SDAIT-02-10)
* 通信作者 E-mail：xyjiang@sdau.edu.cn

药剂是防治金龟甲的主要手段,其中以防治幼虫为主[6]。

为害农作物的金龟甲种类有 10 多种,种类因地而异,主要有丽金龟和鳃金龟两类[5]。其中铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta*、华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblita*、暗黑鳃金龟 *H. parallela* 是为害花生的优势种群[7],其中以铜绿丽金龟的发生量最大、为害最严重[8]。近年来,由于全球气候变暖、农业种植制度(免耕浅耕技术、轮作制度、单粒播种、覆膜种植等)以及生态环境治理力度加大(环境绿化、退耕还林等)等,为蛴螬提供了隐蔽的繁殖场所及有利的取食、栖息场所,造成虫源积累量大,导致蛴螬的为害呈逐年加重趋势[9-10]。

随着一些高毒和高残留农药(有机磷类、氨基甲酸酯类等)的限用与禁用,当前很多药剂对蛴螬的防治效果都不理想[11]。因此,筛选低毒、高效、低残留的农药来防治蛴螬显得尤为重要。氯虫苯甲酰胺是由美国杜邦公司开发的第一代双酰胺类杀虫剂。研究证实,氯虫苯甲酰胺对花生田蛴螬也有较好的防治效果[12]。由于该药剂作用机制独特,对哺乳动物低毒,与常规杀虫剂无交互抗性[13],但是广泛应用后害虫产生抗药性的风险也在逐步增加,许多鳞翅目害虫已对其产生了严重的抗药性[14]。因此,研究农药复配制剂对于延长新农药品种使用寿命、延缓抗性产生、提高药效、扩大防治谱、保证环境安全和降低防治成本等具有重要的意义[15]。

为筛选出对蛴螬具有增效作用的复配药剂组合,并明确其在不同配比下的联合作用效果,本研究在测定氯虫苯甲酰胺等 8 种药剂对铜绿丽金龟 2 龄幼虫室内毒力的基础上,采用等效线法设置配比,并以共毒因子法进行定性筛选与共毒系数法进行定量分析相结合筛选出具有增效活性的配方组合,明确其最佳复配比例及联合毒力效果,旨在为田间蛴螬防治药剂的合理选用提供依据。

1　材料与方法

1.1　虫源

供试铜绿丽金龟采自山东宁阳花生田。饲养方法参照河北省沧州地区农科所的人工饲养方法[16],将用黑光灯诱集到的蛴螬成虫置于饲养盒(80 cm×60 cm×50 cm)中,饲养盒下部放有 10～15 cm 土壤(系虫源采集地土壤),保持土壤湿度为 15%～18%,再覆盖一层杂草或谷糠作为保护和活动层,饲养盒用尼龙网密封以防止成虫逃逸,将饲养盒放入温度(25±1)℃、湿度 70%、光周期 L∥D=16 h∥8 h的人工智能养虫室中。每天更换新鲜的榆树叶片作为饲料,检查成虫产卵情况,并收集当天产的卵。挑选健康的同一日龄卵,放在装有相同湿度土壤的幼虫饲养盒(60 cm×40 cm×25 cm)中,孵化的幼虫饲喂马铃薯块茎。挑选出大小一致的 2 龄初幼虫作为供试虫源。

1.2　供试药剂

供试杀虫剂均为原药,包括 95.3%氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole),上海杜邦农化有限公司;95%硫双威(thiodicarb),江苏龙灯化学有限公司;97%毒死蜱(chlorpyrifos),利尔化学股份有限公司;98%噻虫胺(clothianidin),山东海利尔化工有限公司;97%氟虫腈(fipronil),海利尔药业集团股份有限公司;96%联苯菊酯(bifenthrin),山东省联合农药工业有限公司;96%吡虫啉(imidacloprid),山东潍坊润丰化工股份有限公司;96%高效氯氟氰菊酯(*lambda*-cyhalothrin),山东潍坊润丰化工股份有限公司;溶剂:99%丙酮,天津大茂化学试剂厂;乳化剂:TritonX-100,北京雅安达生物技术有限公司。

1.3　试验方法

1.3.1　单剂毒力测定

室内毒力测定采用浸虫法。将供试药剂用丙酮配制成母液,再用 0.05%的 TritonX-100 水溶液将药剂等比稀释至试验浓度。挑取健康活泼、生理状态一致的铜绿丽金龟 2 龄幼虫至浸虫器中,在药液中浸渍 30 s用吸水纸吸去多余的药液,放入装有大小一致马铃薯块茎饲料的指形管(直径 1.8 cm,长 8 cm)中,用棉塞封口。每处理重复 4 次,每重复 30 头试虫,以 0.05%的 TritonX-100 水溶液作对照。

处理后试虫的饲养条件:将处理试虫置于温度(25±1)℃、相对湿度(70±10)%、无光照的条件下饲养,5 d 后检查死亡虫数,用毛笔轻触虫体不动,或不能正常爬行者视为死亡。

1.3.2　共毒因子的测定

采用 Mansour 等[17]的共毒因子法定性筛选出共毒因子大于 20 的增效配比。假设经毒力测定 A、B 两

单剂的致死中浓度分别为 a 和 b，选择具有增效作用的 5 个配比，这 5 个配比即为等效线法中相加作用线的六等分点，可表示为 a/5b、a/2b、a/b、2a/b、5a/b。这 5 个配比混剂的浓度分别为(a+5b)/6、(a+2b)/3、(a+b)/2、(2a+b)/3、(5a+b)/6，通过共毒因子法评价 A+B 混剂的增效作用。具体配制方法是将各单剂配制成致死中浓度药液，再按体积比 1∶5、1∶2、1∶1、2∶1、5∶1混合即得不同配比混剂药液，用于初步评价氯虫苯甲酰胺与 7 种药剂按不同比例复配的联合作用及其他药剂复配的联合作用。

共毒因子=(实测死亡率－理论死亡率)/理论死亡率×100，共毒因子＞20 表示有增效作用；－20≤共毒因子≤20 表示相加作用；共毒因子＜－20 表示拮抗作用。生物测定方法同 1.3.1。

1.3.3 *共毒系数的测定*

以共毒因子法筛选出共毒因子大于 20 的配比作参考，并在该配比范围内进一步细化配比，再根据死亡率设置 5～7 个浓度梯度测定其对铜绿丽金龟 2 龄幼虫的联合毒力，求出 LC_{50} 及线性回归方程，参照 Sun 等[18]的共毒系数法计算出共毒系数(CTC)，筛选出共毒系数大于 120 的最佳增效配比。

相对毒力指数(TI)=(标准药剂 LC_{50}/供试药剂 LC_{50})×100；

混剂实际毒力指数(ATI)=(标准药剂 LC_{50}/混剂 LC_{50})×100；

混剂理论毒力指数(TTI)=TI(A)×药剂 A 在混剂中百分含量+TI(B)×药剂 B 在混剂中的百分含量；

共毒系数(CTC)=(混剂实际毒性指数 ATI/混剂理论毒性指数 TTI)×100，共毒系数大于 120 为增效作用；80～120 为相加作用；小于 80 为拮抗作用。计算共毒系数时使用复配组合中 LC_{50} 较大的单剂为标准杀虫剂。生物测定方法同 1.3.1。

1.4 数据处理

根据蛴螬的存活情况，不同药剂处理间的死亡率用 Abbott's 公式校正，计算出死亡率，采用 DPS 8.01 软件和 Microsoft Excel 2010 软件对数据进行统计分析，得出毒力回归方程、致死中浓度 LC_{50}、95%置信区间(95%CI)、相关系数 r、相对毒力指数(TI)及相关参数。

2 结果与分析

2.1 单剂毒力测定结果

8 种杀虫剂对铜绿丽金龟 2 龄幼虫毒力测定结果(表 1)表明，硫双威的毒力最高，其 LC_{50} 为0.368 4 mg/L，高效氯氟氰菊酯的毒力最低，其 LC_{50} 为 23.339 5 mg/L，氯虫苯甲酰胺的 LC_{50} 为 8.953 1 mg/L，毒力大小顺序为：硫双威＞毒死蜱＞噻虫胺＞氟虫腈＞联苯菊酯＞氯虫苯甲酰胺＞吡虫啉＞高效氯氟氰菊酯。

表 1 8 种供试药剂对铜绿丽金龟 2 龄幼虫的毒力

Table 1 Toxicities of eight insecticides against 2nd-instar larva of *Anomala corpulenta*

药剂 Insecticide	斜率±标准误 Slope±standard error	LC_{50}/mg·L^{-1}	95%置信限/mg·L^{-1} Confidence interval	卡方值(自由度) $\chi^2(df)$	相对毒力指数(*TI*) Relative toxicity ratio
硫双威 thiodicarb	1.375 6±0.145	0.368 4	0.340 3～0.398 7	6.91(5)	6 335
毒死蜱 chlorpyrifos	1.345 3±0.151	0.598 4	0.562 3～0.636 8	5.73(5)	3 900
噻虫胺 clothianidin	1.467 7±0.162	2.184 8	1.986 5～2.403 0	4.25(5)	1 068
氟虫腈 fipronil	1.424 5±0.154	4.633 7	4.072 3～5.272 4	5.36(5)	504
联苯菊酯 bifenthrin	1.375 6±0.146	5.015 9	4.622 9～5.442 2	4.68(5)	465
氯虫苯甲酰胺 chlorantraniliprole	1.395 8±0.152	8.953 1	8.042 4～9.969 9	6.93(5)	261
吡虫啉 imidacloprid	1.340 4±0.146	9.278 3	8.218 8～10.474 4	2.72(5)	252
高效氯氟氰菊酯 *lambda*-cyhalothrin	1.379 0±0.148	23.339 5	20.648 9～26.380 7	3.36(5)	100

2.2 共毒因子法定性筛选结果

试验结果(表 2)表明：在试验的 10 个复配组合中，共毒因子大于 20 的组合共有 19 组，其中分别为氯虫苯甲酰胺与硫双威 9∶2、45∶4复配，与毒死蜱 3∶1、15∶2、15∶1复配，与噻虫胺 9∶10 复配，与氟虫腈 9∶25、18∶5、9∶1复配，与联苯菊酯 18∶5、9∶1复配，与吡虫啉 1∶2复配，与高效氯氟氰菊酯 9∶115、18∶23 复配；高效氯氟氰菊酯与噻虫胺 23∶2复配；联苯菊酯与硫双威 5∶2、25∶2复配，与吡虫啉 5∶18、5∶9 复配。

表 2　各复配组合对铜绿丽金龟 2 龄幼虫的共毒因子[1)]

Table 2　Co-toxicity factors of combinations on the 2nd-instar larva of *Anomala corpulenta*

复配组合 Composite formulation A+B	配比 Ratio	查自 LC-P 线死亡率/% Mortality derived from LC-P line A	查自 LC-P 线死亡率/% Mortality derived from LC-P line B	期望死亡率/% Theoretical mortality	实际死亡率/% Actual mortality	共毒因子 Co-toxicity factor
氯虫苯甲酰胺+硫双威 chlorantraniliprole+thiodicarb	9∶2	13.9	48.6	62.5	78.16	25.06
	45∶4	25.4	42.4	67.8	89.32	31.74
	45∶2	33.8	35.8	69.6	60.2	−13.51
	90∶2	40.4	27.2	67.6	74.55	10.28
	225∶2	45.7	15.4	61.1	55.96	−8.41
氯虫苯甲酰胺+毒死蜱 chlorantraniliprole+chlorpyrifos	3∶1	13.9	45.8	59.7	77.92	30.52
	15∶2	25.4	40.7	66.1	89.82	35.89
	15∶1	33.8	34.3	68.1	83.36	22.41
	30∶1	40.4	26.1	66.5	60.62	−8.84
	75∶1	45.7	14.8	60.5	67.71	11.92
氯虫苯甲酰胺+噻虫胺 chlorantraniliprole+clothianidin	9∶10	13.9	43.2	57.1	75.64	32.47
	9∶4	25.4	37.7	63.1	50.21	−20.43
	9∶2	33.8	30.9	64.7	71.87	11.08
	9∶1	40.4	22.5	62.9	57.60	−8.43
	45∶2	45.7	11.5	57.2	50.92	−10.98
氯虫苯甲酰胺+氟虫腈 chlorantraniliprole+fipronil	9∶25	13.9	47.4	61.3	80.66	31.58
	9∶10	25.4	41.5	66.9	69.19	3.42
	9∶5	33.8	35.1	68.9	50.39	−26.87
	18∶5	40.4	26.4	66.8	80.68	20.78
	9∶1	45.7	14.4	60.1	78.18	30.08
氯虫苯甲酰胺+联苯菊酯 chlorantraniliprole+bifenthrin	9∶25	13.9	45.6	59.5	67.47	13.39
	9∶10	25.4	40.4	65.8	73.75	12.08
	9∶5	33.8	33.9	67.7	69.19	2.20
	18∶5	40.4	25.5	65.9	82.06	24.52
	9∶1	45.7	14.2	59.9	79.15	32.14
氯虫苯甲酰胺+吡虫啉 chlorantraniliprole+imidacloprid	1∶5	13.9	45.1	59.0	60.28	2.17
	1∶2	25.4	40.4	65.8	83.23	26.49
	1∶1	33.8	33.7	67.5	62.92	−6.79
	2∶1	40.4	25.6	66.0	76.11	15.32
	9∶1	45.7	14.4	60.1	60.23	0.22
氯虫苯甲酰胺+高效氯氟氰菊酯 chlorantraniliprole+*lambda*-cyhalothrin	9∶115	13.9	45.3	59.2	78.53	32.65
	9∶46	25.4	40.1	65.5	69.27	5.76
	9∶23	33.8	33.6	67.4	61.04	−9.44
	18∶23	40.4	25.3	65.7	79.11	20.41
	45∶23	45.7	14.0	59.7	63.29	6.01
高效氯氟氰菊酯+噻虫胺 *lambda*-cyhalothrin+clothianidin	23∶10	14.0	43.2	57.2	64.95	13.55
	23∶4	25.3	37.7	63.0	58.28	−7.49
	23∶2	33.6	30.9	64.5	89.78	39.19
	23∶1	40.1	22.5	62.6	71.11	13.59
	115∶2	45.3	11.5	56.8	62.08	9.30
联苯菊酯+硫双威 bifenthrin+thiodicarb	5∶2	14.2	48.6	62.8	81.32	29.49
	25∶4	25.5	42.4	67.9	64.79	−4.58
	25∶2	33.9	35.8	69.7	85.46	22.61
	25∶1	40.4	27.2	67.6	65.39	−3.27
	125∶2	45.6	15.4	61.0	73.13	19.89
联苯菊酯+吡虫啉 bifenthrin+imidacloprid	1∶9	14.2	45.1	59.3	59.84	0.91
	5∶18	25.5	40.4	65.9	86.74	31.62
	5∶9	33.9	33.7	67.6	83.95	24.19
	10∶9	40.4	25.6	66.0	56.19	−14.86
	25∶9	45.6	14.4	60.0	67.06	11.77

1) 硫双威、毒死蜱、噻虫胺、氟虫腈、联苯菊酯、氯虫苯甲酰胺、吡虫啉、高效氯氟氰菊酯配制浓度分别为 0.4、0.6、2、5、5、9、9、23 mg/L。Concentrations of thiodicarb, chlorpyrifos, clothianidin, fipronil, bifenthrin, chlorantraniliprole, imidacloprid and *lambda*-cyhalothrin were 0.4, 0.6, 2, 5, 5, 9, 9 mg/L and 23 mg/L, respectively.

2.3　共毒系数法定量筛选结果

在共毒因子法定性筛选最佳配比组合的基础上,进一步通过共毒系数法测定不同配比组合的增效作用。由共毒系数法定量筛选的结果(表 3)可知,在所设配比中,氯虫苯甲酰胺与硫双威 3∶1、9∶2、45∶4复配时共毒系数大于 120,表现出增效作

用，配比 15∶2表现为相加作用，15∶1为拮抗作用；与毒死蜱 3∶1、5∶1、15∶1复配时共毒系数大于 120，表现出增效作用，配比 15∶2表现为相加作用，10∶1为拮抗作用；与噻虫胺 3∶4、9∶10 复配时共毒系数大于 120，表现出增效作用，配比 1∶2、1∶1、3∶2表现为相加作用；与氟虫腈 9∶25、18∶5复配时共毒系数大于 120，表现出增效作用，配比 3∶5、9∶1表现为相加作用，6∶1为拮抗作用；与联苯菊酯 3∶1、18∶5、9∶1复配时共毒系数大于 120，表现出增效作用，配比 6∶1表现为相加作用，10∶1为拮抗作用；与吡虫啉 1∶3、1∶2复配时共毒系数大于 120，表现出增效作用，配比 1∶4、3∶4、4∶5表现为相加作用；与高效氯氟氰菊酯 18∶23、1∶1复配时共毒系数大于 120，表现出增效作用，配比9∶115、9∶10 表现为相加作用，3∶50 为拮抗作用。

表 3 各复配组合不同配比对铜绿丽金龟 2 龄幼虫的共毒系数测定

Table 3 Co-toxicity coefficients of different combinations on the 2nd-instar larva of *Anomala corpulenta*

复配组合 Composite formulation A+B	配比 Ratio	斜率±标准误 Slope±standard error	LC_{50}/ mg·L^{-1}	混剂实测毒力指数 Actual toxicity index	混剂理论毒力指数 Theoretical toxicity index	共毒系数(CTC) Co-toxicity coefficient	卡方值(自由度) $\chi^2(df)$
氯虫苯甲酰胺+硫双威 chlorantraniliprole+thiodicarb	3∶1	1.404 7±0.135	0.986 7	23.654 1	17.793 6	133	4.69(5)
	9∶2	1.203 6±0.149	1.009 6	23.117 6	13.651 7	169	3.62(5)
	15∶2	1.348 6±0.156	2.266 3	10.298 5	9.753 5	106	4.45(5)
	45∶4	1.408 3±0.211	2.022 9	11.537 6	7.565 8	153	5.27(5)
	15∶1	1.231 2±0.167	5.503 8	4.240 6	6.403 5	66	3.68(5)
氯虫苯甲酰胺+毒死蜱 chlorantraniliprole+chlorpyrifos	3∶1	1.228 7±0.139	0.891 4	26.183 0	11.705 9	224	6.15(5)
	5∶1	1.354 6±0.161	1.085 3	21.505 1	8.672 9	248	4.97(5)
	15∶2	1.306 2±0.145	2.984 8	7.819 5	6.888 8	114	5.88(5)
	10∶1	1.129 3±0.139	5.098 7	4.577 5	5.915 6	77	7.69(5)
	15∶1	1.341 0±0.148	2.958 9	7.887 9	4.881 6	162	5.54(5)
氯虫苯甲酰胺+噻虫胺 chlorantraniliprole+clothianidin	1∶2	1.362 5±0.144	2.889 8	8.076 5	7.990 7	101	4.62(5)
	3∶4	1.333 4±0.121	0.964 4	24.201 1	7.221 6	335	6.37(5)
	9∶10	1.397 0±0.325	1.879 3	12.419 3	6.857 3	181	4.51(5)
	1∶1	1.310 7±0.195	3.847 3	6.066 5	6.644 8	91	5.78(5)
	3∶2	1.374 3±0.149	3.555 7	6.564 0	5.837 2	112	6.06(5)
氯虫苯甲酰胺+氟虫腈 chlorantraniliprole+fipronil	9∶25	1.249 1±0.139	3.696 8	6.313 4	4.393 7	144	3.72(5)
	3∶5	1.235 9±0.178	4.907 4	4.756 0	4.125 6	116	2.89(5)
	18∶5	1.386 7±0.141	6.136 1	3.803 6	3.135 1	121	3.07(5)
	6∶1	1.327 4±0.116	10.229 2	2.281 7	2.954 0	77	3.68(5)
	9∶1	1.317 6±0.175	7.637 8	3.055 8	2.849 9	107	3.54(5)
氯虫苯甲酰胺+联苯菊酯 chlorantraniliprole+bifenthrin	3∶1	1.256 7±0.195	4.834 3	4.827 9	3.118 4	155	8.21(5)
	18∶5	1.347 4±0.171	3.913 2	5.964 3	3.051 7	195	8.54(5)
	6∶1	1.353 3±0.163	8.023 6	2.908 9	2.899 2	100	7.65(5)
	9∶1	1.238 5±0.123	6.284 0	3.714 1	2.811 5	132	7.92(5)
	10∶1	1.236 5±0.152	10.997 9	2.122 2	2.792 9	76	7.38(5)
氯虫苯甲酰胺+吡虫啉 chlorantraniliprole+imidacloprid	1∶4	1.382 8±0.149	8.067 5	2.893 0	2.533 8	114	5.94(5)
	1∶3	1.227 6±0.164	4.971 4	4.694 8	2.538 3	185	5.63(5)
	1∶2	1.345 3±0.138	6.334 1	3.684 7	2.545 9	145	4.31(5)
	3∶4	1.479 5±0.139	11.145 5	2.094 1	2.554 7	82	5.09(5)
	4∶5	1.303 3±0.145	7.735 1	3.017 3	2.556 1	118	6.48(5)
氯虫苯甲酰胺+高效氯氟氰菊酯 chlorantraniliprole+*lambda*-cyhalothrin	3∶50	1.223 3±0.146	29.051 5	0.803 4	1.091 0	74	9.23(5)
	9∶115	1.128 2±0.133	19.685 2	1.185 6	1.116 6	106	8.79(5)
	9∶10	1.441 3±0.184	11.692 8	1.996 1	1.761 1	113	6.98(5)
	18∶23	1.265 5±0.201	7.446 2	3.134 4	1.705 5	184	8.26(5)
	1∶1	1.301 1±0.162	10.719 1	2.177 4	1.803 4	121	7.94(5)
高效氯氟氰菊酯+噻虫胺 *lambda*-cyhalothrin+clothianidin	15∶2	1.468 7±0.176	6.573 4	3.550 6	2.139 1	166	7.12(5)
	10∶1	1.238 7±0.159	13.624 8	1.713 0	1.880 2	91	5.34(5)
	23∶2	1.357 7±0.187	9.549 0	2.444 2	1.774 6	138	6.78(5)
	25∶2	1.317 4±0.128	13.669 8	1.707 4	1.717 2	99	6.35(5)
	15∶1	1.491 9±0.164	19.829 8	1.177 0	1.605 2	73	5.79(5)

续表 3　Table 3(Continued)

复配组合 Composite formulation A+B	配比 Ratio	斜率±标准误 Slope±standard error	LC_{50}/ mg·L^{-1}	混剂实测毒力指数 Actual toxicity index	混剂理论毒力指数 Theoretical toxicity index	共毒系数(CTC) Co-toxicity coefficient	卡方值(自由度) $\chi^2(df)$
联苯菊酯+硫双威 bifenthrin+thiodicarb	3∶2	1.446 4±0.132	0.501 2	46.567 2	28.133 3	166	4.32(5)
	5∶2	1.316 2±0.165	0.504 7	46.244 3	21.424 7	216	5.87(5)
	5∶1	1.304 9±0.174	2.023 8	11.532 5	14.436 5	80	3.75(5)
	25∶2	1.283 5±0.172	2.683 4	8.697 7	9.001 3	97	6.36(5)
	20∶1	1.330 4±0.135	4.059 8	5.748 9	7.448 4	77	4.24(5)
联苯菊酯+吡虫啉 bifenthrin+imidacloprid	1∶6	1.224 6±0.169	12.211 5	1.911 3	2.820 9	68	3.36(5)
	5∶18	1.246 0±0.158	4.438 6	5.258 3	2.980 2	176	4.62(5)
	1∶3	1.571 3±0.164	8.665 0	2.693 5	3.049 9	88	2.97(5)
	5∶9	1.306 2±0.139	2.916 9	8.001 5	3.278 9	244	4.15(5)
	2∶3	1.329 4±0.141	5.990 9	3.895 8	3.370 5	116	3.49(5)

高效氯氟氰菊酯与噻虫胺 15∶2、23∶2复配时共毒系数大于 120,表现出增效作用,配比 10∶1、25∶2表现为相加作用,15∶1为拮抗作用。联苯菊酯与硫双威 3∶2、5∶2复配时共毒系数大于 120,表现出增效作用,配比 25∶2表现为相加作用,5∶1、20∶1为拮抗作用;与吡虫啉 5∶18、5∶9复配时共毒系数大于 120,表现出增效作用,配比 1∶3、2∶3表现为相加作用,1∶6为拮抗作用。

3　结论与讨论

双酰胺类杀虫剂防治靶标害虫具有速效性与持效性兼容、高效低毒、环境友好等特点[19]。刘顺通等[20]的研究结果表明,可用 35%氯虫苯甲酰胺 WG 来防治花生田蛴螬,但其研究未涉及药剂的混配。李耀发等[21]测定了 18 种杀虫剂对华北大黑鳃金龟和铜绿丽金龟的毒力,但未涉及药剂的复配筛选工作。其他试验也很少涉及药剂筛选[22-23]。而对现有杀虫剂进行科学合理的混配已经成为抗药性治理和害虫综合防治的有效手段。

Sun 等的共毒系数法[18]是国内常用的测定农药混用联合作用的主要方法[24],该方法可以判断混配药剂是否具有增效作用和增效程度。但是该方法工作量大,所需供试虫量大,测定结果难以得到最佳的配比,已不适用于评价农药联合作用,难以指导生产和应用[25]。而本试验采用共毒因子与共毒系数相结合的方法来评价农药的联合作用,首先利用共毒因子法对大量配比进行定性筛选,然后采用共毒系数法对共毒因子中大于 20 的配比组进行定量筛选,得到具有增效作用的最佳配比和各配比的增效程度。该方法省时、省工、省材料,又能得到最佳配比和增效程度。但也有研究表明,用共毒系数法对共毒因子大于 20 的复配组合筛选时却没有增效作用[26-27]。本试验也出现了这种情况,这可能是由于共毒因子筛选只具有定性作用,所以筛选的共毒因子大于 20 的配方没有增效作用。

本试验测定了氯虫苯甲酰胺等 8 种药剂对铜绿丽金龟 2 龄幼虫的毒力,求得其 LC_{50}。在此基础上,采用等效线法设置配比,通过共毒因子法筛选出大于 20 的配比组合,进一步细化配比,通过共毒系数法筛选出共毒系数大于 120 的最佳复配组合,其中具有增效作用的配比共有 23 组。研究结果将为防治蛴螬复配剂配方的筛选和抗性治理提供理论基础,有关氯虫苯甲酰胺与几种药剂复配对蛴螬的田间应用效果,有待进一步试验验证。

参考文献

[1] 曹雅忠,李克斌,尹姣. 浅析我国地下害虫的发生与防治现状[M]//成卓敏. 农业生物灾害预防与控制研究. 北京:中国农业出版社,2005:389-393.

[2] 张美翠,尹姣,李克斌,等. 地下害虫蛴螬的发生与防治研究进展[J]. 中国植保导刊,2014,34(10):20-28.

[3] 王淑枝,刘顺通,段爱菊,等. 不同药剂对铜绿丽金龟卵和幼虫室内药效及毒力测定[J]. 山西农业科学,2014,42(6):603-605.

[4] 姚庆学,张勇,丁岩. 金龟子防治研究的回顾与展望[J]. 东北林业大学学报,2003,31(3):64-66.

[5] 胡琼波. 我国地下害虫蛴螬的发生与防治研究进展[J]. 湖北农业科学,2004(6):87-92.

[6] 刘珍. 花生田蛴螬暴发原因分析及防治对策探讨[J]. 植保技术与推广,2003,23(7):7-9.

[7] 徐芳,张学道,孙帮国,等. 花生地三种金龟甲的发生与防治[J]. 安徽农业科学,1996(S1):19-20.

(下转 257 页)

美国，三氯吡氧乙酸被广泛用于水稻田防除阔叶杂草，推荐剂量上限为 420 g/hm^2。研究表明，三氯吡氧乙酸 420 g/hm^{2}对 3～4 叶期水稻十分安全[5]；三氯吡氧乙酸在小麦播种后麦苗 8 叶期使用 960 g/hm^2[7]或在免耕直播小麦田使用 360 g/hm^2[12]均具有很好的安全性。

综上所述，对 6～8 叶期的葎草防除活性最高的是三氯吡氧乙酸，其次是氯氟吡氧乙酸、2 甲 4 氯钠、草甘膦异丙胺盐。对于水稻、小麦种植区葎草危害而言，优先推荐三氯吡氧乙酸防除，其次是氯氟吡氧乙酸；使用 2 甲 4 氯防控效果不够理想，使用草甘膦无法有效控制其危害。

参考文献

[1] 李扬汉. 中国杂草志[M]. 北京：中国农业出版社，1998.

[2] 李美，高兴祥，高宗军，等. 15 种除草剂防除打碗花、葎草效果评价[J]. 农药，2009，48(9)：686－688.

[3] 刘学，朱文达. 5 种除草剂防除麦田葎草等杂草效果试验[J]. 湖北农业科学，2003，42(4)：52－53.

[4] 农业农村部农药检定所. 中国农药信息网[DB/OL]. [2019-4-26]. http://www.chinapesticide.org.cn.

[5] BOND J A，WALKER T W. Control of volunteer glyphosate-resistant soybean in rice [J]. Weed Technology，2009，23(2)：225－230.

[6] ZHANG Wei，WEBSTER E P，PELLERIN K J，et al. Weed control programs in drill-seeded imidazolinone-resistant rice (*Oryza sativa*) [J]. Weed Technology，2006，20(4)：956－960.

[7] VASILAKOGLOU I B，DHIMA K V，ELEFTHEROHORINOS I G. Hoary cress (*Cardaria draba*) control in winter wheat with postemergence herbicides [J]. Weed Technology，2006，20(3)：585－592.

[8] 鲁传涛，吴仁海，王恒亮，等. 农田杂草识别与防治原色图鉴[M]. 北京：中国农业科学技术出版社，2014.

[9] 蒋易凡，陈国奇，董立尧. 稻田马唐对稻田常用茎叶处理除草剂的抗性水平研究[J]. 杂草学报，2017，35(2)：67－72.

[10] CHEN Guoqi，WANG Lingyue，XU Hongle，et al. Cross-resistance patterns to acetyl-CoA carboxylase inhibitors associated with different mutations in Japanese foxtail (*Alopecurus japonicus*) [J]. Weed Science，2017，65(4)：444－451.

[11] CHEN Guoqi，XU Hongle，ZHANG Teng，et al. Fenoxaprop-*P*-ethyl resistance conferred by cytochrome P450s and target site mutation in *Alopecurus japonicus* [J]. Pest Management Science，2018，74(7)：1694－1703.

[12] 俞大昭，何燕红，朱文达. 三氯吡氧乙酸·草甘膦对免耕麦田杂草的防效及对田间光照和水肥的影响[J]. 杂草科学，2010，28(1)：33－35.

（责任编辑：杨明丽）

（上接 233 页）

[8] 孙元友，李颖，薛俊华. 铜绿丽金龟的生活习性及其防治技术[J]. 吉林林业科技，2009，38(5)：54－55.

[9] 张莉，罗秀英，刘士国. 高唐县小麦金针虫发生加重的原因分析及防治方法[J]. 中国植保导刊，2008，28(10)：44.

[10] 张李娜，谭忠，刘纪高，等. 不同药剂防治花生蛴螬药效研究[J]. 现代农业科技，2013(16)：105.

[11] 周靖华，李艳红，张林林，等. 几种杀虫剂对铜绿丽金龟成虫的触杀作用[J]. 西北农业学报，2012，21(9)：179－183.

[12] 刘刚. 氯虫苯甲酰胺可用于防治花生田蛴螬[J]. 农药市场信息，2009(22)：39.

[13] 徐尚成，俞幼芬，王晓军，等. 新杀虫剂氯虫苯甲酰胺及其研究开发进展[J]. 现代农药，2008(5)：8－11.

[14] 冯聪，宋玉泉，班兰凤. 鱼尼汀受体类杀虫剂抗药性研究进展[J]. 农药，2014，53(7)：469－472.

[15] 金剑雪，金道超，李文红，等. 防治白背飞虱的农药复配增效配方筛选[J]. 植物保护，2017，43(1)：199－204.

[16] 河北省沧州地区农科所. 蛴螬的饲养和观察方法[J]. 昆虫知识，1977(1)：27－28.

[17] MANSOUR N A，ELDEFRAWI M E，TOPPOZADA A，et al. Toxicological studies on the Egyptian cotton leafworm，*Prodenia litura* V. contact versus stomach toxicity of insecticides to larvae [J]. Journal of Economic Entomology，1966，59(2)：307－311.

[18] SUN Yunpei，JOHNSON E R. Analysis of joint action of insecticides against house flies [J]. Journal of Economic Entomology，1960，53(5)：887－892.

[19] 张鹏，赵云贺，韩京坤，等. 七种新烟碱类杀虫剂对韭菜迟眼蕈蚊幼虫及蚯蚓的选择毒力[J]. 植物保护学报，2015，42(4)：645－650.

[20] 刘顺通，段爱菊，张自启，等. 35%氯虫苯甲酰胺 WG 防治花生田蛴螬田间药效评价[J]. 农药，2009，48(10)：769－770.

[21] 李耀发，高占林，党志红，等. 18 种杀虫剂对华北大黑鳃金龟和铜绿丽金龟的毒力比较[J]. 中国农学通报，2008(3)：296－299.

[22] 化黎玲，袁俊云，王国娟，等. 4 种药剂防治华北大黑鳃金龟子药效研究[J]. 现代农业科技，2013(2)：128.

[23] 宋协松，亓树亮，宋文武，等. 化学农药对金龟甲的毒力测定[J]. 植物保护学报，1986(4)：2340.

[24] 陈立，徐汉虹，李云宇，等. 农药复配最佳增效配方筛选方法的探讨[J]. 植物保护学报，2000，27(4)：349－354.

[25] 张志祥，程东美，胡珊，等. 以共毒系数评价农药联合作用的不合理性[J]. 植物保护，2008，34(1)：34－36.

[26] 常静，张薇，李海平，等. 吡虫啉与三种拟除虫菊酯杀虫剂对马铃薯桃蚜的联合毒力[J]. 植物保护，2016，42(6)：225－228.

[27] 付志能，朱秀，魏敬怀，等. 阿维菌素与其他 3 种药剂复配对朱砂叶螨的联合作用[J]. 植物保护，2015，41(1)：196－200.

（责任编辑：杨明丽）