环境昆虫学报 2022，44（1）：236－243
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2022. 01. 27



陈磊，王宇飞，孟焕文，李海平，周洪友. 不同杀虫剂对荞麦害虫西伯利亚龟象的毒力及作用机制研究［J］. 环境昆虫学报，2022，44（1）：236－243.

不同杀虫剂对荞麦害虫西伯利亚龟象的毒力及作用机制研究

陈　磊*，王宇飞*，孟焕文，李海平**，周洪友
（内蒙古农业大学园艺与植物保护学院，呼和浩特 010019）

摘要： 荞麦 *Fagopyrum esculentum* Moench. 是我国重要的杂粮作物，内蒙古是我国甜荞的主产区，西伯利亚龟象 *Rhinoncus sibiricus* Faust 是 2013 年在内蒙古地区新发生的严重为害荞麦的害虫，目前主要依靠化学杀虫剂进行防治。本论文主要研究了不同种类杀虫剂对西伯利亚龟象的毒力和作用机制。结果显示，拟除虫菊酯类杀虫剂对西伯利亚龟象的毒力大于有机磷、氨基甲酸酯类和烟碱类杀虫剂，其中菊酯类杀虫剂中高效氯氰菊酯毒力最大，致死中浓度 LC_{50} 为 17. 37 mg/L；氨基甲酸酯类杀虫剂中丁硫克百威毒力最大，LC_{50} 为 29. 56 mg/L；有机磷杀虫剂中毒力最大的是三唑磷，LC_{50} 为 32. 05 mg/L；烟碱类药剂噻虫嗪和吡虫啉对荞麦害虫西伯利亚龟象的 LC_{50} 分别为 42. 14 mg/L和 46. 19 mg/L。供试的氨基甲酸酯类杀虫剂对西伯利亚龟象 AChE 的抑制作用大于有机磷杀虫剂，灭多威对西伯利亚龟象 AChE 抑制作用最强，IC_{50} 为 6.33×10^{-5} mol/L，丁硫克百威次之；三唑磷对对西伯利亚龟象 AChE 的抑制作用大于其它两个有机磷杀虫剂，IC_{50} 为 53.46×10^{-5} mol/L。丁硫克百威对 AChE 抑制中时间最短，IT_{50} 为 4. 07 min，乐果和三唑磷次之，灭多威抑制中时间最长，IT_{50} 为 6. 57 min。5 种菊酯类杀虫剂对西伯利亚龟象K｛3Na^+-K^+－ATPase 和 $Ca^{2+}-Mg^{2+}$－ATPase 都有抑制作用，对 Na^+-K^+－ATPase 的抑制程度高于对 $Ca^{2+}-Mg^{2+}$－ATPase 的抑制，溴氰菊酯的抑制作用最强，高效氯氰菊酯的抑制作用相对最弱。因此，生产中推荐以菊酯类杀虫剂和有机磷、氨基甲酸酯类杀虫剂交替轮换使用防治西伯利亚龟象。

关键词： 西伯利亚龟象；荞麦；杀虫剂；毒力；作用机制
中图分类号： Q965. 8；S433　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1674－0858（2022）01－0236－08

Toxicity and mechanism of insecticides to *Rhinoncus sibiricus* Faust in buckwheat

CHEN Lei*，WANG Yu-Fei*，MENG Huan-Wen，LI Hai-Ping**，ZHOU Hong-You（College of Horticulture and Plant Protection，Inner Mongolia Agricultural University，Hohhot 010019，China）

Abstract: *Fagopyrum esculentum* Moench. is an important grain crop，and distributes mainly in Inner Mongolia in China. *Rhinoncus sibiricus* Faust is a serious pest of *F. esculentum* and recorded in Inner Mongolia in 2013. *R. sibiricus* is controlled by chemical insecticides respectively at present. The toxicity and mechanism of different insecticides on *R. sibiricus* were studied in this paper. The results showed that the toxicity of pyrethroid insecticides to *R. sibiricus* was greater than that of organophosphorus，carbamate and nicotine insecticides. Among tested pyrethroids，*R. sibiricus* was the most sensitive to beta-cypermethrin，with LC_{50} of 17. 37 mg/L. *R. sibiricus* was the most sensitive to carbosulfan and triazophos

基金项目： 国家现代农业产业技术体系资助（CARS－08－C－3）

* **共同第一作者：** 陈磊，男，山西忻州人，硕士研究生，研究方向为昆虫毒理学，E－mail：956492064@qq. com；王宇飞，男，河北省张家口人，硕士研究生，研究方向为昆虫毒理学，E－mail：wangyufei6963@foxmail. com
** **通讯作者** Author for correspondence：李海平：女，博士，教授，研究方向为昆虫毒理学，E－mail：lihaiping5820@hotmail. com

收稿日期 Received：2020－11－16；**接受日期** Accepted：2021－06－28

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

among tested carbamate and organophosphorus insecticides, with LC_{50} of 29.56 mg/L and 32.05 mg/L respectively. LC_{50} of thiamethoxam and imidacloprid to *R. sibiricus* was 42.14 mg/L and 46.19 mg/L respectively. The inhibition of carbamate insecticides on AChE of *R. sibiricus* was greater than that of organophosphorus insecticides. Median inhibitory concentration (IC_{50}) of methomyl on AChE was 6.33×10^{-5} mol/L, it was higher than that of carbosulfan. Inhibition of triazophos was the strongest among organophosphorus insecticides, and IC_{50} was 53.46×10^{-5} mol/L. Median inhibitory time (IT_{50}) of carbosulfan to AChE was the shortest, IT_{50} was 4.07 min, followed by dimethoate and triazophos. IT_{50} of methomyl was the longest of 6.57 min. The activity of $Na^+ - K^+ -$ ATPase and $Ca^{2+} - Mg^{2+} -$ ATPase of *R. sibiricus* were inhibited by five pyrethroid insecticides. Inhibition on $Na^+ - K^+ -$ ATPase was higher than that of $Ca^{2+} - Mg^{2+} -$ ATPase. Inhibitions of deltamethrin to two kinds of ATPase were the strongest, while inhibitions of cypermethrin to them were the weakest. Pyrethroids and organophosphorus, carbamate insecticides should be used alternately in order to control *R. sibiricus* effectively.

Key words: *Rhinoncus sibiricus* Faust; buckwheat; insecticides; toxicity; mechanism

荞麦是我国重要的杂粮作物，分为甜荞和苦荞两种，南北均有分布。我国荞麦的种植面积约为 1 000 万亩，产量约 63 万吨，占世界荞麦总产量的 30.7%，种植面积和产量居世界第二，仅次于俄罗斯（任长忠等，2016）。其中，甜荞主要分布在我国北方，甜荞面积最大的三大产区为内蒙古后山白花甜荞产区、内蒙古东部白花甜荞产区和陕甘宁红花甜荞产区（盛晋华等，2009；范昱等，2019）。内蒙古特殊的地理环境和气候条件都非常适合荞麦生长，因此内蒙古地区甜荞种植面积约占全国的 80% ~90%，居全国第一（王仙女等，2017）。内蒙古库伦旗更是被誉为荞麦种植的“黄金地带”，2006 年内蒙古库伦旗荞麦通过国家工商总局“原产地商标”认证，有“中国荞麦之乡”之誉（王滨，2017）。近年来农业、医学及食品营养学等方面的研究表明，荞麦营养成分丰富且价值高，含有特殊的营养物质和微量元素，集营养、保健、药用为一体，是目前被公认为 21 世纪最具有前途的健康保健食品（林汝法等，2005；刘森，2014；王鹏科等，2016；任长忠等，2018）。

荞麦抗逆能力强，生育期短，受病虫害危害较少。主要害虫有蚜虫、蓟马、黏虫 *Mythimna separata*（Walker）、荞麦钩翅蛾 *Spica parallelangula* Alpheraky 以及蝼蛄 *Gryllotalpa* spp.、蛴螬等地下害虫，危害都不是很大（郑庆伟，2014；张晓娜等，2019；王宇飞等，2020）。2013 年在内蒙古赤峰市突然爆发成灾的害虫 - 西伯利亚龟象 *Rhinoncus sibiricus* Faust，给荞麦的生产及产量带来很大的危害和损失（东保柱等，2014）。

西伯利亚龟象 *Rhinoncus sibiricus* Faust 属于鞘翅目 Coleoptera 象甲科 Curculionidae，主要分布在俄罗斯、蒙古、韩国等地。据报道，俄罗斯普列莫尔斯基地区的荞麦种植受西伯利亚龟象的影响，荞麦种植面积由高峰期的 3×10^4 hm^2，下降到 2011 年 3 000 hm^2，且对荞麦的危害率达 100%（Potemkina *et al.*，2008；Moiseenko *et al.*，2010；Kuznetsova *et al.*，2012）。2013 年该虫在我国内蒙古自治区赤峰市翁牛特旗首次发现（卜一等，2014），当年仅翁牛特旗发生面积就有 3 667.67 hm^2，严重发生面积约 1 000 hm^2，成虫虫口密度高达 200 ~600 头/m^2，越冬成虫将嫩叶全部取食吃光，严重的使刚出土的幼苗整株死亡，甚至造成部分地块毁种；后期幼虫蛀入荞麦茎内，严重时将根部及茎部蛀食一空，导致荞麦死亡（孟焕文等，2014）。近几年，随着荞麦种植面积的扩大，该虫在内蒙古及周边省份已有发现，2019 年报道该虫在内蒙古通辽市、乌兰察布市、兴安盟、萨拉齐、固阳等地，山西省大同市，河北省张家口等地都有分布，给当地荞麦的生产带来极大的危害（Meng *et al.*，2019）。

西伯利亚龟象在内蒙古地区一年发生一代，以成虫在土壤中越冬，次年 5 月下旬出土，越冬代成虫首先选择一年前被风吹落的种子萌发的荞麦幼苗和其它蓼科杂草上危害，待荞麦播种出苗后转移到生产田危害（东保柱等，2014）。国内外研究表明，西伯利亚龟象对荞麦造成的危害，以成虫危害刚出土的幼苗为重，常造成荞麦不能保苗、缺苗断垄、甚至部分地块毁种，因此加强对西伯利亚龟象越冬成虫的防治非常重要。目前报道对西伯利亚龟象成虫主要进行化学防治（孟焕

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

文等，2014；Klykov *et al.*，2014）。但这些药剂对西伯利亚龟象的毒力如何，哪些药剂对西伯利亚龟象的防效较好，目前均无相关的报道。因此，本文选择目前比较常用的杀虫剂，研究其对西伯利亚龟象的毒力和作用机制，为选择最佳药剂防治西伯利亚龟象提供一定的科学依据。

1 材料和方法

1.1 供试虫源

西伯利亚龟象：采集自内蒙古包头市内蒙古农业大学萨拉齐职业技术学院的荞麦试验田。将成虫从田间采回后，在实验室事先种好的荞麦幼苗上饲养，放置到温度25℃±1℃，相对湿度70%左右的光照培养箱中，饲养至少一周后用于实验。实验选用个体大小基本一致的健康成虫。

1.2 供试药剂及试剂

有机磷杀虫剂：79.1%乐果原药、80.5%三唑磷原药、95.0%毒死蜱原药（山东济南世帮农化公司）；氨基甲酸酯类杀虫剂：92.0%丁硫克百威原药、97.6%灭多威原药（山东济南世帮农化公司）；烟碱类杀虫剂：94.0%吡虫啉原药、97.0%噻虫嗪原药（湖北猫尔沃生物医药有限公司）；拟除虫菊酯类杀虫剂：27.0%高效氯氰菊酯原药、96.0%联苯菊酯原药、98.2%溴氰菊酯原药、95.0%高效氯氟氰菊酯原药、92.5%氰戊菊酯原药（江苏扬农化工股份有限公司）。70%噻虫嗪种子处理可分散粉剂（70% thiamethoxam ZF，瑞士先正达作物保护有限公司）。

碘化硫代乙酰胆碱（acetylthiocholineiodide，ATCh），5，5′-二硫双硝基苯甲酸（5，5′-dithio-bis-2-nirorbenzoicacid，DTNB），考马斯亮蓝G-250，牛血清白蛋白（纯度99%），Sigma公司。ATP酶测试盒，南京建成生物工程研究所第一分所产品。其它化学试剂均为国产分析纯。

1.3 不同杀虫剂对西伯利亚龟象的毒力

参照Moores等（1992）的叶片药膜法测定。根据预实验结果，将农药原药用丙酮稀释成6个浓度梯度，将稀释好的药液倒入烧杯中，将室内种植的没有接触过药剂的荞麦叶片浸入药液中，5 s后捞出，用滤纸将叶片上多余的药液吸去，在阴凉干燥处晾干。将浸泡过药液的荞麦叶片叶柄用脱脂棉保湿，放入培养皿中，每个培养皿接入室内饲养的西伯利亚龟象成虫，每个浓度至少接10头，放入25℃±1℃的恒温培养箱内，以丙酮为对照，重复3次。48 h后检查死亡数，以毛笔轻触虫体，不动计为死亡。

1.4 AChE酶活性的测定

1.4.1 AChE酶液制备

取西伯利亚龟象10头，加入液氮迅速杀死，加入2 mL预冷的0.1 mol/L的磷酸缓冲液（pH 7.3，含0.1% trition X-100），在冰浴条件下研磨匀浆。匀浆液在4℃，10 000 g离心20 min，抽滤，上清液即为酶液。

1.4.2 AChE比活力测定

参照高希武（1987）方法。每个处理分别加入0.1 mL 10 mmol/L的ATCh，水浴锅中保温5 min，加入酶液0.1 mL，反应15 min，加入1.8 mL显色剂DTNB终止反应，总反应体系为2.0 mL，两分钟后在412 nm下测定A412 nm，计算AChE的比活力，每个处理设3个重复，每个重复测定3次。

$$\text{AChE 比活力} = (\Delta A_{412}\text{nm/mg} \times V) / \varepsilon \times L$$

其中，V为反应总体积（mL），ε为酶与底物反应的产物和DTNB络合物的摩尔消光系数，值为13 600 L/mol/cm，L为比色杯的光程。

1.4.3 AChE动力学性质测定

测定西伯利亚龟象AChE与底物ATCh反应的米氏常数（*Km*）和最大反应速率（V_{max}）。设置6个底物浓度，浓度范围是0.1～10 mmol/L，在上述条件下与酶液反应，测定吸光度值。

1.4.4 杀虫剂对西伯利亚龟象AChE的抑制

以丙酮溶解农药原药制成母液，根据预实验的结果，使用前用磷酸缓冲液（pH 7.3、0.1 mol/L）将农药稀释成不同浓度（浓度范围为10^{-3}～10^{-7}mol/L）。反应时先加入不同浓度的抑制剂和酶液混合，保温5 min后，加入底物（ATCh），反应15 min后加入显色剂（DTNB）终止反应，测其残留的AChE活性。对照管以缓冲液代替抑制剂。每个药剂至少5个浓度，每个浓度3次重复。

抑制率计算公式：酶的抑制率(%)=(对照组酶活性－处理组酶活性)/对照组酶活性×100

以杀虫剂不同浓度对西伯利亚龟象AChE抑制百分率，计算抑制中浓度（median inhibitory concentration，IC_{50}）。

1.4.5 时间抑制进程曲线的测定

将制备好的酶液分别与不同浓度的农药混合

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

后保温，以 2 min 的时间间隔监测反应混合物中 AChE 的活性。每一间隔 3 次独立重复。计算抑制中时间（median inhibitory time，IT_{50}）。

1.5　菊酯类杀虫剂对西伯利亚龟象线粒体腺苷三磷酸酶（ATPase）的抑制

1.5.1　西伯利亚龟象 ATPase 酶液的制备

取 10 头西伯利亚龟象成虫，加入 2 mL pH 7.4 Tris-HCl 缓冲液（含 0.1% tritionX-100），在冰浴条件下匀浆，采用差速离心法提取 ATPase 酶液。匀浆液在 4℃ 3 000 g 下离心 10 min，取上清液，再在 10 000 g 下离心 30 min，弃去上清液，沉淀用上述缓冲液再溶解作为酶源备用。

1.5.2　西伯利亚龟象 ATPase 活性的测定

本实验 ATPase 活性测定依照 ATP 酶测试盒说明进行。

1.5.3　菊酯类杀虫剂对西伯利亚龟象离体 ATPase 活性的抑制

将菊酯类杀虫剂用丙酮配成一定浓度的母液，根据预实验结果，取母液用缓冲液稀释至所需浓度（现配现用），在反应体系中加入酶液和药剂，其他步骤如 ATPase 的活力测定方法相同。抑制率的计算公式为：

抑制率(%) =(对照 ATPase 活性 - 药剂处理 ATPase 活性)/对照 ATPase 活性 ×100

1.6　西伯利亚龟象蛋白含量测定

参考 Bradford（1976）考马斯亮蓝 G-250 法。采用牛血清白蛋白测定标准曲线。

1.7　数据统计分析

酶的动力学用 GraphPad Prism5 软件处理，所有数据计算均在 EXCEL 2010 与 SPSS 12.0.1 统计分析软件上完成，并检验处理间的差异显著性，方差分析采用 Duncan 新复极差测验。生测数据用 POLO-Plus 软件处理，计算致死中浓度（Lethal Concentration 50，LC_{50}）及其 95% 置信区间和斜率 b。

2　结果与分析

2.1　不同杀虫剂对西伯利亚龟象的毒力

4 种菊酯类杀虫剂对西伯利亚龟象的毒力大于有机磷、氨基甲酸酯类和烟碱类杀虫剂。菊酯类杀虫剂中毒力最大的是高效氯氰菊酯，LC_{50} 为 17.37 mg/L，毒力较低的为高效氯氟氰菊酯，LC_{50} 为 42.60 mg/L。氨基甲酸酯类药剂中丁硫克百威毒力最大，LC_{50} 为 29.56 mg/L，毒力最小的为灭多威，LC_{50} 为 63.89 mg/L，烟碱类药剂噻虫嗪和吡虫啉对荞麦害虫西伯利亚龟象的 LC_{50} 分别为 42.14 mg/L 和 46.19 mg/L（表 1）。

表 1　不同杀虫剂对西伯利亚龟象的毒力

Table 1　Toxicities of insecticides to *Rhinoncus sibiricus* Faust in buckwheat

农药名称 Insecticides	致死中浓度 LC_{50}（mg/L）	95% 置信区间 95% Fiducial limit lower-upper	斜率 ± 标准误 Slope ± SE(b ± SE)	相对毒力指数* Relative toxicityindex
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	17.37	6.91 ~ 25.12	2.42 ± 0.47	3.7
氰戊菊酯 Fenvalerate	23.51	14.80 ~ 33.24	2.80 ± 0.48	2.7
联苯菊酯 Bifenthrin	25.58	22.67 ~ 29.25	5.47 ± 0.88	2.5
溴氰菊酯 Deltamethrin	28.69	25.35 ~ 31.80	6.71 ± 0.96	2.2
丁硫克百威 Carbosulfan	29.56	26.10 ~ 33.30	4.46 ± 0.48	2.2
三唑磷 Triazophos	32.05	29.06 ~ 35.14	6.78 ± 1.02	2.0
毒死蜱 Chlorpyrifos	33.24	27.19 ~ 42.50	2.74 ± 0.38	1.9
噻虫嗪 Thiamethoxam	42.14	33.64 ~ 50.73	5.14 ± 0.73	1.5
高效氯氟氰菊酯 Lacy-cyhalothrin	42.60	31.56 ~ 54.80	1.72 ± 0.46	1.5
乐果 Dimethoate	45.50	39.01 ~ 53.54	3.09 ± 0.45	1.4
吡虫啉 Imidacloprid	46.19	35.51 ~ 70.43	3.23 ± 0.51	1.4
灭多威 Methomyl	63.89	53.47 ~ 77.71	2.45 ± 0.40	1.0

注：相对毒力指数以灭多威对荞麦西伯利亚龟象的 LC_{50} 值为标准计算。Note: The relative toxicity index was based on the LC_{50} of methomyl.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2 西伯利亚龟象乙酰胆碱酯酶（AChE）的特性

以碘化硫代乙酰胆碱（ATCh）为底物时，西伯利亚龟象乙酰胆碱酯酶（AChE）米氏常数 *Km* = 1.43 mmol/L，最大反应速度 V*max* = 16.75 μmol/min/mg。

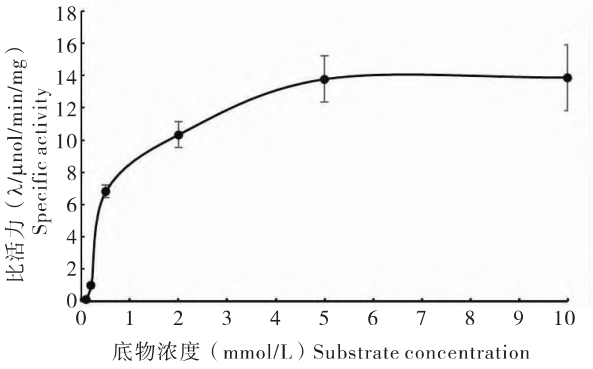


图 1 西伯利亚龟象乙酰胆碱酯酶的米氏曲线

Fig. 1 Michaelis curve of AChE in *Rhinoncus sibiricus* Faust

2.3 有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂对西伯利亚龟象乙酰胆碱酯酶（AChE）的抑制作用

供试的氨基甲酸酯类杀虫剂对西伯利亚龟象 AChE 的抑制作用大于有机磷杀虫剂。其中，灭多威对西伯利亚龟象 AChE 抑制作用最强，丁硫克百威次之，乐果对西伯利亚龟象 AChE 的抑制中浓度最大。从抑制中时间上来看，丁硫克百威抑制中时间最短，乐果和三唑磷次之，灭多威抑制中时间最长（表 2）。

2.4 有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂对西伯利亚龟象 AChE 抑制的时间效应

5 种杀虫剂对 AChE 的抑制均随着时间的延长逐渐增强。在 15 min 左右都达到最高点。除毒死蜱以外，其它 4 种抑制剂在最高抑制程度上趋于一致，均在 70% 左右（图 2）。

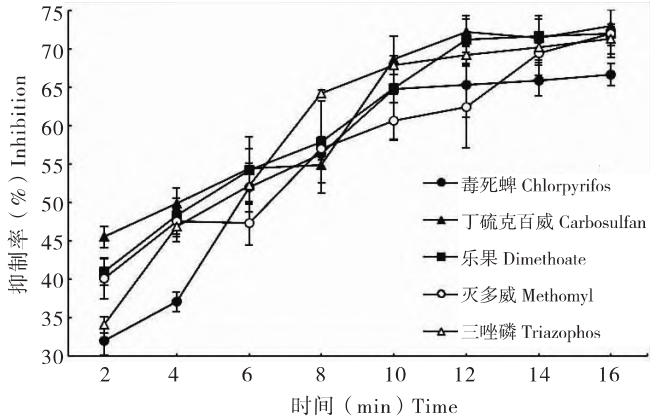


图 2 不同杀虫剂对西伯利亚龟象乙酰胆碱脂酶抑制时间效应

Fig. 2 Effect of different pesticides on AChE from *Rhinoncus sibiricus* Faust at different times

2.5 拟除虫菊酯类杀虫剂对西伯利亚龟象 ATPase 抑制作用

5 种菊酯类杀虫剂对 Na^+-K^+- ATPase 的抑制高于对 $Ca^{2+}-Mg^{2+}-$ ATPase 的抑制。溴氰菊酯的抑制作用最强，高效氯氰菊酯的抑制作用相对最弱（表 3）。

表 2 杀虫剂对西伯利亚龟象乙酰胆碱酯酶抑制中浓度和抑制中时间

Table 2 IC_{50} and IT_{50} of pesticides to AChE activity of *Rhinoncus sibiricus* Faust

药剂 Insecticides	抑制中浓度（10^{-5} mol/L） *In vitro* IC_{50}	相对倍数 Relative ratio	抑制中时间（min） *In vitro* IT_{50}	相对倍数 Relative ratio
灭多威 Methomyl	6.33	36.6	6.56	1.0
丁硫克百威 Carbosulfan	7.81	39.7	4.07	1.6
三唑磷 Triazophos	53.46	4.3	4.57	1.4
毒死蜱 Chlorpyrifos	214.93	1.1	5.74	1.1
乐果 Dimethoate	231.79	1.0	4.56	1.4

注：抑制中浓度相对倍数以乐果的 IC_{50} 值为标准计算，抑制中时间相对倍数以灭多威的 IT_{50} 值为标准计算。Note: The relative ratio of IC_{50} was based on the IC_{50} value of dimethoate, and the relative ratio of IT_{50} was based on the IT_{50} value of methomyl.

2.6 噻虫嗪拌种对西伯利亚龟象蛀茎率的影响

噻虫嗪拌种后，无论前茬作物是荞麦还是土豆 *Solanum tuberosum* L.，西伯利亚龟象蛀茎率都明显下降，与对照有显著差异（表 4）。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　拟除虫菊酯类药剂对西伯利亚龟象线粒体离体 ATPase 抑制作用

Table 3　Inhibition of five pyrethroids to mitochondrial ATPase *in vitro* of *Rhinoncus sibiricus* Faust

药剂（1×10^{-4} mol/L） Insecticides	抑制率 Inhibition rate（%）	
	Na^+-K^+-ATP	$Ca^{2+}-Mg^{2+}-ATP$
溴氰菊酯 Deltamethrin	40.07 ± 3.86 a	38.26 ± 5.43 a
高效氯氟氰菊酯 Lacy – cyhalothrin	35.91 ± 4.19 ab	32.80 ± 1.07 ab
联苯菊酯 Bifenthrin	32.78 ± 4.97 b	28.17 ± 3.06 b
氰戊菊酯 Fenvalerate	31.37 ± 1.17 b	28.47 ± 3.85 b
高效氯氰菊酯 Beta – cypermethrin	29.60 ± 2.02 b	29.72 ± 1.87 b

注：同列数据后不同小写字母表示不同处理间的差异显著（$P<0.05$）。Note：Different lowercase letters in the same column of data indicated significant differences between different treatments（$P<0.05$）

表 4　噻虫嗪拌种对西伯利亚龟象蛀茎率的影响

Table 4　Effects of seed dressing with thiamethoxam on steam damage rate of *Rhinoncus sibiricus* Faust

处理（g/kg） Treatment	西伯利亚龟象蛀茎率及防治效果（%） Stem – damage rates of *Rhinoncus sibiricus* Faust and control effect			
	蛀茎率（前茬作物为荞麦） Stem boring rate（buckwheat as the previous crop）	防治效果 Control effect	蛀茎率（前茬作物为土豆） Stem boring rate（previous crop is potato）	防治效果 Control effect
对照 CK	24.28 ± 7.72	–	20.64 ± 2.83	–
噻虫嗪拌种 Thiamethoxam	9.33 ± 3.25	61.57%	8.07 ± 3.67	60.90%

3　结论与讨论

荞麦是我国主要的杂粮作物，近几年随着国家和各地方对荞麦产业的重视，荞麦的种植面积不断增大，关于荞麦的研究也逐年增多。李玲等（2020）分析 2000 – 2017 年发表的荞麦文献及相关研究进展发现，荞麦的研究主要集中在营养保健、食品加工、栽培技术、生长发育环境和分子生物学 5 个方面。而关于荞麦病虫害的研究则很少。西伯利亚龟象是内蒙古地区荞麦近年新发生的重要害虫，给荞麦生产带来很大的危害，而且有向周边地区不断扩散危害的风险，必须加以有效防治。

化学防治是害虫大发生时最简便、有效的防治方法。不同杀虫剂对不同害虫的防治效果不同。本实验采用浸叶法测定不同药剂对西伯利亚龟象的毒力，结果表明菊酯类杀虫剂对西伯利亚龟象的毒力作用较高，高效氯氰菊酯的致死中浓度 LC_{50} 为 17.37 mg/L，有机磷类和氨基甲酸酯类杀虫剂中毒力最高的是丁硫克百威，LC_{50} 为 29.56 mg/L。由于西伯利亚龟象是近年来才报道发生的害虫，因此关于该虫的研究报道很少。Klykov 等（2014）在调查不同药剂对西伯利亚龟象的大田防治效果时发现，拟除虫菊酯类药剂防治效果好于烟碱类和有机磷类杀虫剂。孟焕文等（2014）研究不同杀虫剂对西伯利亚龟象的药效，喷施高效氯氰菊酯的药效好于辛硫磷，也好于噻虫嗪拌种，其中噻虫嗪拌种 + 高效氯氰菊酯喷施防治效果最好，防效可达 98.79%。王欣欣等（2020）筛选了不同药剂对西伯利亚龟象的防治效果，使用噻虫嗪、吡虫啉拌种，出苗后用丁硫 – 啶虫脒喷雾处理，对西伯利亚龟象防治效果都很好。他们的大田试验结果与本论文室内试验结果基本吻合。由于菊酯类杀虫剂的触杀毒力很强，对高等动物的毒性小，残效期短，因此生产上可以选用菊酯类杀虫剂防治西伯利亚龟象。但由于菊酯类杀虫剂容易使害虫产生抗药性，因此也需要和其它杀虫剂交替轮换使用。另外，本论文主要是研究药剂在室内对西伯利亚龟象的毒力，没有做相应的大田药

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

效实验，因此生产实践中还需要考虑当地的用药水平、管理措施、气象条件等因素，参照药剂的毒力，科学合理使用杀虫剂防治西伯利亚龟象。

不同农药其作用机制不同，了解农药的作用机制对合理使用农药，防止有害生物产生抗药性非常重要。乙酰胆碱酯酶是有机磷、氨基甲酸酯类杀虫剂的靶标酶，该酶作用于突触间隙，分解乙酰胆碱，终止神经递质的兴奋作用，从而保证信号在神经突触的正常传递（Siegfried B *et al.*，1990）。关于有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂对 AChE 的抑制作用，目前已有大量的研究。从本实验结果看，供试药剂对西伯利亚龟象 AChE 的抑制中浓度为灭多威 > 丁硫克百威 > 三唑磷 > 毒死蜱 > 乐果，除灭多威之外，其它 4 种药剂对 AChE 的抑制中浓度与生测结果一致。

菊酯类杀虫剂是生产中经常使用的一大类杀虫剂，其主要特点表现为：高效、低毒、击倒快、残留少，对人畜较为安全（汪霞等，2017）。菊酯类杀虫剂的作用机制比较复杂，一般认为其主要作用于钠离子通道，影响生物膜的流动性和 ATPase 的活性（Jones and Lee，1986；李海平等，2006；Li *et al.*，2015）。很多研究证实，菊酯类杀虫剂可以抑制昆虫体内 ATPase 活性（Li *et al.*，2015；张丛等，2015；张丛等，2018）。本研究表明，菊酯类杀虫剂可以抑制西伯利亚龟象 ATPase 的活性，对 Na^+-K^+-ATPase 抑制率高于 $Ca^{2+}-Mg^{2+}$-ATPase，溴氰菊酯对两种 ATPase 的抑制程度最强。

荞麦是重要的杂粮作物，随着现代人们保健意识的增强，对荞麦的需求将越来越大。国家也专门增设了燕荞麦产业技术体系，加大对荞麦的研究和投入。但荞麦总体经济价值偏低，经营粗放，对病虫害的防治在一定阶段内以化学防治为主。因此选择合适的时间、合适的药剂对西伯利亚龟象进行有效防治，对提高荞麦产量，防止害虫产生抗药性有重要的科学意义。

参考文献（References）

Bo Y，Li JC，Wang XX，*et al.* A preliminary study on biological behavior of *Rhinoncus sibiricus* Faust [J]. *China Plant Protection*，2014，34（8）：56－57.［卜一，李尽朝，王欣欣，等. 西伯利亚龟象生物学习性研究初报 [J]. 中国植保导刊，2014，34（8）：56－57］

Bradford MM. A rapid and sensitive method for quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding [J]. *Annals Biochemisty*，1976，72：248－254.

Dong BZ，Yi WD，Zhou HY，*et al.* A new recorded species of Urculionidae（Coleoptera）from China [J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*，2014，35（3）：171－172.［东保柱，伊卫东，周洪友，等. 中国象甲科－新记录种（鞘翅目：象甲科）[J]. 内蒙古农业大学学报，2014，35（3）：171－172］

Fan Y，Ding MQ，Zhang KX，*et al.* Germplasm resource of the genus *Fagopyrum* Mill [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*，2019，20（4）：813－828.［范昱，丁梦琦，张凯旋，等. 荞麦种质资源概括 [J]. 植物遗传资源学报，2019，20（4）：813－828］

Gao XW. Introduction of improved Ellman cholinesterase activity determination method by Gorun *et al.* [J]. *Insect Knowledge*，1987，24（4）：245－247.［高希武. Gorun 等改进的 Ellman 胆碱酯酶活性测定方法介绍 [J]. 昆虫知识，1987，24（4）：245－247］

Jones GJ，Lee AG. Effect of pyrethroids on the activity of a purified（$Ca^{2+}-Mg^{2+}$）－ATPase [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*，1986，25：420－425.

Klykov AG，Kuznetsova AV，Moiseenko LM. Harmfulness of *Rhinoncus sibiricus* Faust on crops *Fagopyrum esculentum* Moench in Primorsky Krai of Russia [J]. *University Journal of Plant Science*，2014，2（2）：57－61.

Kuznetsova AV，Klykov AG，Timoshinov RV，*et al.* Harmfulness of the buckwheat weevil（*Rhinoncus sibiricus* Faust）in Primorskii Krai [J]. *Russian Agricultural Science*，2012，38（5）：383－385.

Li HP，Chang J，Feng T，*et al.* Differential effects of insecticides on mitochondrial membrane fluidity and ATPase activity between the wolf spider and the rice stem borer [J]. *Journal of Integrated Agriculture*，2015，14（12）：2574－2580.

Li HP，Feng T，Tao LM，*et al.* Inhibition of ATPase activity in mitochondria of *Chillo suppressalis* by common insecticides [J]. *Acta Entomology Sinica*，2006，49（2）：254－259.［李海平，冯涛，陶岭梅，等. 九种常用杀虫剂对二化螟线粒体 ATPase 活力的抑制作用 [J]. 昆虫学报，2006，49（2）：254－259］

Li L，Yan XY，Wang YF. Analysis of literature and related research progress of buckwheat [J]. *Bulletin of Science and Technology*，2020，36（1）：1－7.［李玲，闫旭宇，王延峰. 荞麦文献分析及相关进展研究 [J]. 科技通报，2020，36（1）：1－7］

Lin RF，Zhou XL，Ren GX，*et al.* Production and trading of buckwheat in China，nutrition and food [J]. *Food Science*，2005，26（1）：259－263.［林汝法，周小理，人贵兴，等. 中国荞麦的生产与贸易、营养与食品 [J]. 食品科学，2005，26（1）：259－263］

Liu S. Study on the functional ingredients and processing quality in tartary buckwheat instant noodles [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Science*，2014，42（10）：1129－1131.［刘森. 苦荞麦方便面中功能成分及加工品质研究 [J]. 山西农业科学，2014，42（10）：1129－1131］

Meng HW，Dong BZ，Wang LH，*et al.* Studies of life cycle and chemical control test of *Rhinoncus sibiricus* Faust [J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*，2014，35（6）：183－187.［孟焕文，东保柱 王莉花，等. 西伯利亚龟象生活史及田间化

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

学防治试验初报 [J]. 内蒙古农业大学学报，2014，35 (6)：183 – 187]

Meng HW，Zhou HY，Wang LH，*et al*. Occurrence and distribution of *Rhinoncus sibiricus* (Coleoptera：Curculionoidea) and its preference for two buckwheat species in China [J]. *Journal of Insect Science*，2019，19 (5)：1 – 5.

Moiseenko，AA，Moiseenko LM，Klykov AG，*et al*. Buckwheat in the Far East [M]. Moscow：FSRU Rosinformagrotekh，2010.

Moore A，Tabashnik BE，Rethwisch MD. Sublethral effects of fenvalerate on adults of the diamondback moth (Lepidoptera：Plutellidae) [J]. *Journal of Economical Entomology*，1992，85 (5)：1624 – 162.

Potemkina VI，Kuznetsova AV，Lelei AS，*et al*. Buckwheat weevil – A dangerous buckwheat pest in Primorskii Krza [J]. *Zashch. Karan. Rast*，2008，6：38.

Ren CZ，Cui L，He F，*et al*. Construction and development of China oat and buckwheat industrial technology system [J]. *Journal of Jinlin Agricultural University*，2018，40 (4)：524 – 532. [任长忠，崔林，何峰，等. 我国燕麦荞麦产业技术体系建设与发展 [J]. 吉林农业大学学报，2018，40 (4)：524 – 532]

Ren CZ，Hu XZ. Report on the Development of the 12th Five – year Plan of Oat and Buckwheat Industry in China (2011 – 2015) [M]. Xian：Shaanxi Science & Technology Press，2016. [任长忠，胡新中. 中国燕麦荞麦产业“十二五”发展报告 (2011 – 2015) [M]. 西安：陕西科学技术出版社，2016]

Sheng JH，Zhang XJ，Shan F，*et al*. Current status and countermeasure of buckwheat production and industry in the Inner Mongolia [J]. *Crops*，2009，3：1 – 4. [盛晋华，张雄杰，陕方，等. 内蒙古自治区荞麦生产开发现状与对策 [J]. 作物杂志，2009，3：1 – 4]

Siegfried B，Discott JG. Properties and inhibition of acetylcholinesterase in resistant and susceptible German cockroaches (*Blattella germanica* L.) [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*，1990，38：122 – 129.

Wang B. Kulun：The largest buckwheat planting base in China [J]. *Heilongjiang Food*，2017，7：39 – 41. [王滨. 库伦：中国最大的荞麦种植基地 [J]. 黑龙江粮食，2017，7：39 – 41]

Wang PK，Gao JF，Fen BL. Buckwheat Food [M]. Yangling：Northwest A & F University Press，2016. [王鹏科，高金峰，冯佰利. 荞麦食品 [M]. 杨凌：西北农林科技大学出版社，2016]

Wang X，Gao XL，He BN，*et al*. Research progress on the immunotoxicity of pyrethroids [J]. *Chinese Journal of pesticide Science*，2017，19 (1)：1 – 8. [汪霞，郜兴利，何炳楠，等. 拟除虫菊酯类农药的免疫毒性研究进展 [J]. 农药学学报，2017，19 (1)：1 – 8]

Wang XN，Luo ZW. Current situation and prospect of Inner Mongolia buckwheat industry [J]. *Journal of Northern Agriculture*，2017，45 (1)：33 – 36. [王仙女，罗中旺. 内蒙古荞麦产业现状及展望 [J]. 北方农业学报，2017，45 (1)：33 – 36]

Wang XX，Lu GX，Tang C，*et al*. Screening and field application of pesticides for controlling *Rhinoncus sibiricus* Faust in buckwheat field [J]. *Heilongjiang Agricultural Science*，2020，7：81 – 83. [王欣欣，路耿新，唐超，等. 防治荞麦田西伯利亚龟象药剂筛选及田间应用 [J]. 黑龙江农业科学，2020，7：81 – 83]

Wang YF，Meng HW，Han B，*et al*. Biological activity and mechanism of different types of insecticides to *Frankliniella intonsa* in buckwheat [J]. *Agrochemicasl*，2020，59 (10)：770 – 774. [王宇飞，孟焕文，韩兵，等. 不同杀虫剂对荞麦花蓟马生物活性及作用机制的研究 [J]. 农药，2020，59 (10)：770 – 774]

Zhang C，Niu JW，Chang J，*et al*. Effect of temperature on the toxicity of pyethroids to *Aphis gossypii* Glover [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*，2018，55 (2)：251 – 259. [张丛，牛婧玮，常静，等. 温度对菊酯类杀虫剂在枸杞蚜虫作用机制的影响 [J]. 应用昆虫学报，2018，55 (2)：251 – 259]

Zhang C，Zhang HZ，Chang J，*et al*. Toxicity and the effects of four pyrethroid insecticides on the activity of ATPase and GSTs in *Aphis* sp [J]. *Chinese Journal of pesticide Science*，2015，17 (2)：235 – 240. [张丛，张海珠，常静，等. 4 种拟除虫菊酯类杀虫剂对枸杞蚜虫毒力及对三磷酸腺苷酶和谷胱甘肽转移酶活性的影响 [J]. 农药学学报，2015，17 (2)：235 – 240]

Zhang XN，Zhou P，Li B，*et al*. Investigation of arthropod species in buckwheat fields in Guizhou Province [J]. *Journal of Southwest University*，2019，41 (1)：32 – 38. [张晓娜，周飘，李斌，等. 贵州省荞麦蚜虫种类调查及消长规律研究 [J]. 西南大学学报，2019，41 (1)：32 – 38]

Zhen QW. Common diseases and insect pests of buckwheat and their control techniques [J]. *Pesticides Market Information*，2014，20：44 – 45. [郑庆伟. 荞麦常见病虫害及防治技术 [J]. 农药市场信息，2014，20：44 – 45]

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net