环境昆虫学报 2020，42（5）：1269－1274
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2020. 05. 29

白海涛，王伟，魏希杰，韩日畴，徐成体．昆虫病原线虫对草原毛虫幼虫的致病力［J］．环境昆虫学报，2020，42（5）：1269－1274.

昆虫病原线虫对草原毛虫幼虫的致病力

白海涛[1]，王　伟[1,2,3]，魏希杰[1,2,3]，韩日畴[4]，徐成体[1,2,3*]
（1. 青海大学农牧学院，西宁 810016；2. 青海省青藏高原优良牧草种质资源利用重点实验室，西宁 810016；
3. 青海大学畜牧兽医科学院，西宁 810016；4. 广东省动物保护与资源利用重点实验室，广东省野生动物保护与利用公共实验室，
广东省科学院动物研究所，广州 510260）

摘要：草原毛虫 *Gynaephora alpherakii* 是青藏高原草原的主要害虫。国家明令禁止使用化学药剂防控这一害虫。因此，有必要以生物农药控制这种害虫。本试验室内测定 5 种昆虫病原线虫（*Steinernema longicaudum* X-7，*S. carpocapsae* All，*S. feltiae* SN，*Heterorhabditis bacteriophora* H06 和 *H. indica* LN2）对草原毛虫的致病力。结果表明，*S. carpocapsae* All、*S. feltiae* SN 两种线虫对草原毛虫的侵染效果较好。适宜 *S. carpocapsae* All、*S. feltiae* SN 线虫的侵染活动的环境温度为 25℃；低温环境下两种线虫随着剂量的提高，对草原毛虫的致病力均有着显著地增长（$P<0.05$），且 *S. feltiae* SN 线虫的活性高于 *S. carpocapsae* All 线虫。因此，昆虫病原线虫 *S. feltiae* SN 品系具有效防治青藏高原高寒草地草原毛虫的应用潜力。

关键词：昆虫病原线虫；草原毛虫；致病力；侵染时间；生物防治
中图分类号：Q968. 1；S433　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674－0858（2020）05－1269－06

Pathogenicity of entomopathogenic nematodes against *Gynaephora alpherakii* larvae by bioassay

BAI Hai-Tao[1], WANG Wei[1,2,3], WEI Xi-Jie[1,2,3], HAN Ri-Chou[4], XU Cheng-Ti[1,2,3*] (1. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China; 2. Key Laboratory for Utilization of Superior Herbage Germplasm Resources on Qinghai-Tibet Plateau, Xining 810016, China; 3. Academy of Animal Husbandry and Veterinary Sciences, Qinghai University, Xining 810016, China; 4. Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization, Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Institute of Zoology, Guangdong Academy of Science, Guangzhou 510260, China)

Abstract: *Gynaephora alpherakii* is a main pest that causes damages to meadow in Tibet Plateau. Use of chemical insecticides is prohibited by the governmental law. Therefore, it's necessary to use bio-insecticides to control this pest. The pathogenicity of five entomopathogenic nematode strains to *G. alpherakii* larvae was determined by indoor bioassay. The results showed that *Steinernema carpocapsae* All and *S. feltiae* SN had better effects on *G. alpherakii*. The environment temperature suitable for *S. carpocapsae* All and *S. feltiae* SN nematodes was 25℃. Increase of dose significantly increase the pathogenicity of the two nematodes against *G. alpherakii*, and the pathogenicity of *S. feltiae* SN nematodes was higher than that of *S. carpocapsae* All. The present results showed the potential of using *S. feltiae* SN

基金项目：青海省科技厅重点实验室发展专项（2017-ZJ-Y12）
作者简介：白海涛，男，在读硕士，主要从事草地资源管理与应用，E－mail：11452633468@qq. com
* 通讯作者 Author for correspondence：徐成体，男，研究员，研究方向为牧草饲料开发利用及草产品加工，E－mail：xchti@126. com，richou-han@163. net
收稿日期 Received：2020－03－12；接受日期 Accepted：2020－05－12

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

to control *G. alpherakii* in the alpine grasslands of the Qinghai-Tibet Plateau.

Key words: Biological control; entomopathogenic nematodes; *Gynaephora alpherakii*; infection time; pathogenicity

青海省地处青藏高原腹地，是我国五大牧区之一。青海省有可利用草地面积 3 161.03 万 hm^2，其中可利用高寒草甸草地面积 2 141.25 万 hm^2，占全省可利用草地面积的 68%。全省草原毛虫分布面积 106.19 万 hm^2，虫口密度≥30 头/m^2，为害面积 70.17 万 hm^2，是青海省草地的重要害虫(何德孝，2003)。

草原毛虫中文学名为黄斑草毒蛾 *Gynaephora alpherakii*，属鳞翅目 Lepidoptera 毒蛾科 Lymantriidae 草原毛虫属 *Gynaephora*，属青海省特有草原害虫，我国草原毛虫属的 8 个种均分布于青藏高原（张棋麟，2013），为害青海省高寒草甸类草地的主要种是青海草原毛虫 *Gynaephora qinghaiensis*（青海草原毛虫幼虫的足、前胸和肛上板均为黄色）。高寒草甸类草地中丰富的莎草科、嵩草科及禾本科植物（张卫国，2005）为草原毛虫提供了凉爽、湿润的生长及繁衍环境。

草原毛虫一年发生一代，各龄期生长发育时间随环境气候的变化而变化。通常情况下，草原毛虫 1～3 龄幼虫生长发育期处于 5 月中旬至6 月中旬，1 龄幼虫发育周期平均 14 d，2 龄幼虫发育周期 12 d，3 龄幼虫发育周期 13 d；草原毛虫 4～5 龄幼虫生长发育期处于 6 月下旬至 7 月中旬，该期间气温偏低、雨水较大，毛虫幼虫的活动受到一定制约，幼虫生长缓慢，龄期较长，4 龄幼虫发育周期平均 17 d，5 龄幼虫发育周期 18 d；草原毛虫 6 龄幼虫生长发育期处于 7 月下旬至 8 月上旬，该期间气候凉爽，牧草营养丰富，完成一个龄期仅需 12 d（马玉海，1994；张棋麟，2013）。

针对草原毛虫的防治，现阶段的防治方法主要是通过 2% 苦参碱水剂（余慧芩，2016）和 0.5% 蛇床子素水乳剂对草原毛虫进行防治，而生物防治草原毛虫的研究未见报道。

昆虫病原线虫（Entomopathogenic nematodes，EPN）是近年来新型的生物防治手段，是一种安全有效的生物制剂。线虫侵染期幼虫可以通过口器、肛门、气孔或直接刺破寄主壁进入寄生昆虫体内，释放共生菌，共生菌在血淋巴中迅速繁殖，使被寄生昆虫患败血病死亡（韩日畴，2007；范芳芳，2015）。这类线虫具有能够自主搜寻寄生并杀死害虫，对人畜、环境安全，能够以人工培养基低成本大量培养等优点，是国际上新型的高效生物杀虫剂（Georgis，2006）。目前我国各地区应用昆虫病原线虫防治鳞翅目害虫的报道有很多，如桃透翅蛾 *Synanthedonexitiosa*、葡萄根透翅蛾 *Paranthrene regalis* Butler、黄地老虎 *Agrotis segetum*、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*（Fabricius）、腰果云翅斑螟等（Shapiro-Ilan *et al.*，2010；Williams *et al.*，2011；张安邦，2015；王丽丽，2015；张中润，2017），但尚未见过在高寒草甸类草地利用昆虫病原线虫防治草原毛虫的研究。为探究昆虫病原线虫对草原毛虫的侵染效果，本研究通过筛选昆虫病原线虫品系，探究不同环境温度下、不同剂量的昆虫病原线虫对草原毛虫幼虫的室内致病力，以期为草原害虫生物防治工作提供基础和依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 昆虫病原线虫

Steinernema longicaudum X-7，*S. carpocapsae* All，*S. feltiae* SN，*Heterorhabditis indica* LN2 和 *H. bacteriophora* H06 的感染幼虫（Infective juveniles，IJs）由广东省科学院动物研究所昆虫病原线虫潍坊生产基地提供。

1.1.2 草原毛虫 5 龄幼虫

采自青海省玉树州称多县珍秦乡（北纬 33°24′38″，东经 97°18′17″，海拔 4 261 m）。

1.1.3 供试线虫的制备

取两药匙昆虫病原线虫粉剂分别溶解至装有 400 mL 无菌水的三角瓶中，摇匀，得到线虫稀释液。用微量取样器汲取 25 μL 线虫稀释液滴至培养皿上，解剖镜下计算存活线虫浓度。

1.2 方法

1.2.1 昆虫病原线虫的筛选

制备 5 种供试线虫制剂，浓度设置为 2 500 IJs/mL。

在培养皿（9 cm）中垫两层中速滤纸，并放入 10 片 7 cm 牧草嫩叶，每皿放入 5 头草原毛虫幼虫，分别向各培养皿中滴加 1 mL 2 500 IJs/mL 的各

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

供试线虫。每种线虫侵染处理重复 3 次，设置无菌水对照。将培养皿置于 20 ± 2℃、RH 80% ~ 85%，无光照培养箱中，每 24 h 补充更换饲料。处理 24 h、48 h 和 72 h 后观察毛虫幼虫的死亡情况，记录总虫数及死虫数。

1.2.2 不同温度下昆虫病原线虫对草原毛虫幼虫的致病力

制备供试线虫制剂，线虫浓度设置为 2 500 IJs/mL，温度梯度设为 11℃，18℃，25℃、32℃。

每个培养皿（9 cm）底垫两层中速滤纸，放入 5 头 5 龄幼虫和 10 片 7 cm 牧草嫩叶，滴加 1 mL 2 500 IJs/mL 供试线虫。每种线虫侵染处理重复 3 次，设置无菌水对照。将每个处理分别放置到不同温度的人工气候培养箱中（相对湿度为 80% ~ 85%、无光照），每 24 h 补充更换饲料；每 24 h 观察一次，连续观察 144 h，统计死虫数目。

1.2.3 不同剂量的昆虫病原线虫对草原毛虫幼虫的致病力

针对夏季高寒草甸草地气候条件，测定低温环境下（11℃）不同剂量线虫对草原毛虫的致病力的影响。供试线虫 4 个梯度浓度液分别为 2 000 IJs/mL、2 500 IJs/mL、3 000 IJs/mL、3 500 IJs/mL。

每个培养皿（9 cm）底垫两层中速滤纸，每个培养皿中放入 5 头 5 龄幼虫并放入 10 片 7 cm 牧草嫩叶，滴加 1 mL 相应浓度的供试线虫至培养皿中。每种线虫侵染处理重复 3 次，设置无菌水对照。置于温度 11 ± 2℃、RH 80% ~ 85%、无光照的人工气候培养箱中；每 24 h 观察 1 次，连续观察 144 h，统计死虫数目并按时补充更换饲料。

1.3 数据统计

所有数据均在 Excel 2003 与 SPSS 19 for Windows（SPSS Inc.，Chicago，IL，USA）统计分析软件上完成，处理间经反正弦转换及方差分析统计差异显著后，用 Duncan 氏多重比较方法进行显著性测定。

死亡率(%) = 线虫寄生致死虫数 ÷ 处理总虫数 × 100

校正死亡率(%) = (处理死亡率 − 对照死亡率) ÷ (1 − 对照死亡率) × 100

2 结果与分析

2.1 昆虫病原线虫的筛选

5 种昆虫病原线虫处理草原毛虫 72 h 后，*Steinernema carpocapsae* All 和 *Steinernema feltiae* SN 线虫对草原毛虫的致死率（幼虫死亡率分别为 83.75%、100%）显著高于 *S. longicaudum* X-7、*H. indica* LN2 和 *H. bacteriophora* H06（F = 23.300，df = 5，12，P < 0.05）（表 1）。随着处理时间的延长，*H. indica* LN2 和 *H. bacteriophora* H06 线虫对草原毛虫的致死力没有显著地增长，72 h 内草原毛虫死亡率均低于 20%，而 *S. carpocapsae* All、*S. feltiae* SN 线虫对草原毛虫的致死率则高达 80% 以上。

表 1　5 种昆虫病原线虫对草原毛虫幼虫的致死率

Table 1　Mortality of *Gynaephora alpherakii* 5th instar larvae treated by 5 entomopathogenic nematode species

品系 EPN strains	72 h 后死亡率（%） 72h mortality (Mean ± SE)
Heterorhabditis indica LN2	33.33 ± 6.67 cd
H. bacteriophora H06	26.67 ± 6.67 d
Steinernema longicaudum X-7	60.00 ± 11.55 c
S. carpocapsae All	86.67 ± 6.67 b
S. feltiae SN	100.00 ± 0.00 a
CK	20.00 ± 0.00 d

注：表中数据为平均值 ± 标准误；同一列不同字母为 Duncan 氏多重比较差异显著（P < 0.05）。表 2 和表 3 同。Data are presented as mean ± SE. Noe: Data following by different letters in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test (P < 0.05). Same to Table 2 and Table 3.

2.2 不同温度下 *S. carpocapsae* All，*S. feltiae* SN 线虫对草原毛虫幼虫的致病力

2.2.1 不同温度下 *S. carpocapsae* All 线虫对草原毛虫幼虫的致病力

不同温度下 *S. carpocapsae* All 线虫对草原毛虫的致死率见表 2。当温度为 11℃，处理 48 ~ 72 h 草原毛虫死亡率为 0%；当温度为 18℃、25℃ 和 32℃，处理 48 h 毛虫幼虫死亡率分别为 13.33%、86.67%、13.33%；处理后 72 h 草原毛虫死亡率分别为 86.67%、100%、66.67%。处理后 72 h，25℃ 毛虫死亡率显著高于其他 3 个温度下毛虫的死亡率（F = 32.486，df = 3，8，P < 0.05），过高和过低的温度均对 *S. carpocapsae* All 线虫的侵染力有一定的影响，且随着侵染时间的延长，毛虫死亡率提高。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 在不同温度下 *Steinernem carpocapsae* All 线虫（2 500 IJS/mL）对草原毛虫幼虫的致死率

Table 2 Corrected mortality of *Gynaephora alpherakii* 5th instar larvae treated by *Steinernema carpocapsae* All at 2 500 IJS/mL at different temperatures

温度（℃）Temperature	校正死亡率（%）Corrected mortality（Mean ± SE）		
	48 h	72 h	96 h
11	0 cB	0 dB	13.33 ± 6.67 bA
18	13.33 ± 6.67 bC	86.67 ± 6.67 bB	100.00 ± 0.00 aA
25	93.33 ± 6.67 aA	100.00 ± 0.00 aA	100.00 ± 0.00 aA
32	13.33 ± 6.67 bC	66.67 ± 6.67 cB	100.00 ± 0.00 aA

2.2.2 不同温度下 *S. feltiae* SN 线虫对草原毛虫幼虫的致病力

不同温度下 *S. feltiae* SN 线虫对草原毛虫的致死率见表 3。随着侵染时间的增长，毛虫幼虫的致死率逐渐增长。处理 48 h 后，11℃、18℃、25 和 32℃ 温度下草原毛虫死亡率分别为 13.33%、20%、66.67%、13.33%；处理 72 h 后，11℃、18℃、25℃ 和 32℃ 温度下草原毛虫死亡率分别为 40%、60%、93.33%、46.67%。25℃ 时，*S. feltiae* SN 线虫对草原毛虫的致死率显著高于其他 3 个温度下的致死率（$F = 8.130$，df = 3，8，$P < 0.05$），且随着侵染时间的延长，幼虫死亡率提高。25℃ 相对于其他 3 个温度更适宜 *S. feltiae* SN 线虫的侵染活动。

表 3 在不同温度下 *Steinernema feltiae* SN 线虫（2500IJS/mL 浓度）对草原毛虫幼虫的致死力

Table 3 Corrected mortality of *Gynaephora alpherakii* 5th instar larvae treated by *Steinernema feltiae* SN at 2 500 IJS/mL at different temperatures

温度（℃）Temperature	校正死亡率（%）Corrected mortality（Mean ± SE）		
	48 h	72 h	96 h
11	13.33 ± 6.67 bC	40.00 ± 11.55 bB	73.33 ± 6.67 bA
18	20.00 ± 11.55 bC	60.00 ± 11.55 bB	80.00 ± 11.55 aA
25	66.67 ± 6.67 aB	93.33 ± 11.55 aA	100.00 ± 0.00 aA
32	13.33 ± 6.67 bC	46.67 ± 6.67 bB	80.00 ± 11.55 bA

2.3 不同剂量 *S. carpocapsae* All 和 *S. feltiae* SN 对草原毛虫幼虫的致死力

2.3.1 不同剂量 *S. carpocapsae* All 线虫对草原毛虫幼虫的致死力

在 11℃ 下处理后 120 h，2 500 IJs/mL、3 000 IJs/mL 和 3 500 IJs/mL 剂量下 *S. carpocapsae* All 线虫对草原毛虫的致死率无显著性差异，草原毛虫死亡率分别为 40%、60%、66.67%，显著高于 2 000 IJs/mL 剂量下草原毛虫的死亡率（$F = 8.333$，df = 3，8，$P < 0.05$）（图 1）。高于 2 500 IJs/mL 的线虫剂量对草原毛虫的致死率差异不显著。

2.3.2 不同剂量 *S. feltiae* SN 线虫对草原毛虫幼虫的致死率

在 11℃ 下处理后 120 h，3 500 IJs/mL 剂量下 *S. feltiae* SN 线虫对草原毛虫的致死率为 93.33%，显著高于 2 000 IJs/mL、2 500 IJs/mL 剂量下毛虫的死亡率（$F = 8.333$，df = 3，8，$P < 0.05$），与 3 000 IJs/mL 剂量下 *S. feltiae* SN 线虫的致病力无明显差异。随着线虫剂量的增加，*S. feltiae* SN 线虫对草原毛虫的致死率显著提高。

3 讨论与结论

我国成功应用斯氏线虫防治鳞翅目害虫的例子有很多，如赵奎军（1996）应用斯氏线虫防治 8 种鳞翅目、鞘翅目害虫的研究中，*S. feltiae* Beijing 品系线虫对鳞翅目害虫的侵染效果均在 70% 以上，其中对向日葵螟 *Homoeosoma nebulellum* 和小菜蛾 *Plutella xylostell* 的侵染效果均达到 94.7% ~100%。张安邦（2015）等利用昆虫病原线虫对黄地老虎

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

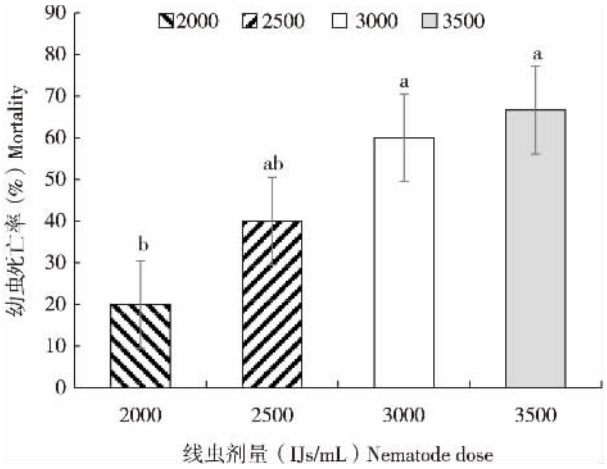

图 1　11℃时不同浓度 *Steinernema carpocapsae* All 线虫对草原毛虫幼虫的致死率

Fig. 1　Corrected mortality of *Gynaephora alpherakii* 5th instar larvae treated by *Steinernema carpocapsae* All at different concentrations at 11℃

注：不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下图同。Note: The same lines with different letters indicate significant differences between different treatments ($P < 0.05$). Same below.

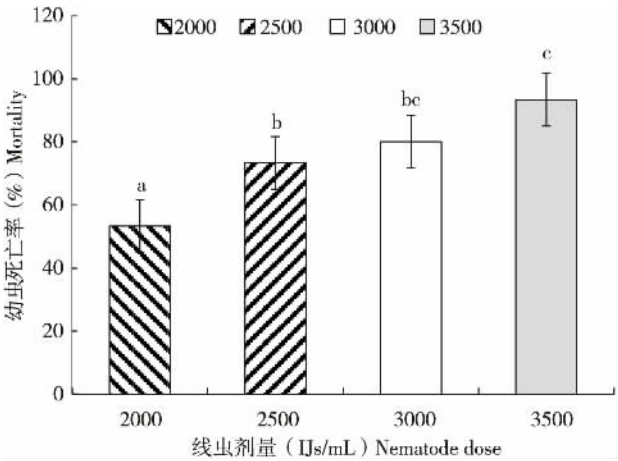

图 2　11℃时不同浓度 *Steinernema feltiae* SN 线虫对草原毛虫幼虫的致死率

Fig. 2　Corrected mortality of *Gynaephora alpherakii* 5th instar larvae treated by *Steinernema feltiae* SN at different concentrations at 11℃

Agrotis segetum 致病力的研究中，表明其对黄地老虎有着较高的致病力，防治效果高达 96.67%。姚红燕（2015）等在防治斜纹夜蛾幼虫的研究中，利用斯氏线虫对其进行侵染测定，在一定条件下，48 h 和 72 h 线虫对斜纹夜蛾幼虫的致病力分别达到了 86.67% 和 93.33%。2018 年报道过 *S. carpocapsae* All 线虫对 6 龄舞毒蛾 *Lymantrid dispar* 幼虫侵染效果的研究（滑莎，2018），室内侵染效果达到 100%。

本研究结果表明，温度在 25℃ 时 *S. carpocapsae* All、*S. feltiae* SN 线虫对草原毛虫幼虫均有较高的致死率，且随着线虫剂量的增加，线虫对草原毛虫幼虫的致死率也随之提高，处理 72 h 草原毛虫死亡率均达 90% 以上；温度在 11℃ 时 *S. feltiae* SN 线虫对草原毛虫的致病力强于 *S. carpocapsae* All 线虫，处理 144 h 后草原毛虫的死亡率高达 100%，而 *S. carpocapsae* All 线虫处理的草原毛虫死亡率仅为 60%，且随着线虫浓度的增加，草原毛虫死亡率无显著提升。本论文结果可为利用 *S. feltiae* SN 线虫于低温的草原环境下防控草原毛虫幼虫提供参考和依据。

参考文献（References）

Fan FF. Study on the Use of Entomopathogenic Nematodes to Control *Polyphylla Gracilicornis* in Alpine Regions［D］. Xining: Qinghai University, 2015: 12 – 15. ［范芳芳. 高寒地区利用昆虫病原线虫防治草坪蛴螬的研究［D］. 西宁: 青海大学, 2015: 12 – 15］

Georgis R. Successes and failures in the use of parasitic nematodes for pest control［J］. *Biological Control*, 2006, 38: 103 – 123.

He DX, Wang WJ. Preliminary study on the distribution of *Gynaephora alpherakii* and the classification of damage levels in Qinghai Province［J］. *Pratacultural Science*, 2003, 20 (8): 45. ［何孝德, 王薇娟. 青海省草原毛虫分布区域及为害等级划分初探［J］. 草业科学, 2003, 20 (8): 45］

Hua S, Wang CL, Zhao HY, *et al.* Infectivity of entomopathogenic nematode to larva of *Lymantria dispar*［J］. *Journal of Northeast Forestry University*, 2018, 46 (5): 90 – 91. ［滑莎, 王从丽, 赵红盈, 等. 昆虫病原线虫对舞毒蛾幼虫的侵染能力［J］. 东北林业大学学报, 2018, 46 (5): 90 – 91］

Han RC, Li HP. Research progress on the host behavior of entomopathogen nematodes［J］. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2007, 44 (5): 637 – 642. ［韩日畴, 李慧萍. 昆虫病原线虫感染寄主行为研究进展［J］. 昆虫知识, 2007, 44 (5): 637 – 642］

Ma YH. Occurrence and control of *Gynaephora alpherakii* in Yushu County［J］. *Qinghai Pratacultural*, 1994, 3 (2): 20 – 24. ［马玉海. 玉树县草原毛虫的发生及其防治［J］. 青海草业, 1994, 3 (2): 20 – 24］

Shapiro – Ilan DI, Cottrell TE, Mizell RF, *et al.* Efficacy of *Steinernema carpocapsae* for control of the lesser peachtree borer, *Synanthedon pictipes*: Improved aboveground suppression with anovel gel application［J］. *Biological Control*, 2010, 54 (1): 23 – 28.

Williams RN, Fickle DS, Grewal PS, *et al.* Laboratory virulence and orchard efficacy of entomopathogenic nematodes against the lesser

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

peachtree borer (Lepidoptera: Sesiidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2011, 104 (1): 47 – 53.

Yao HY, Wang LL, Wang F. Effect of *Steinernema carpocapsae* on the mortality of *Spodoptera litura* larvae [J]. *Zhejiang Agricultural Sciences*, 2015, 56 (3): 374 – 376. [姚红燕, 王丽丽, 汪峰. 斯氏线虫对斜纹夜蛾幼虫致死率的影响 [J]. 浙江农业科学, 2015, 56 (3): 374 – 376]

Yu HQ, Yu HY, Li LX, *et al*. Efficacy test of 2% matrine solution for controlling *Gynaephora alpherakii* [J]. *Qinghai Pratacultural*, 2016, 25 (4): 10 – 11. [余慧芩, 于红妍, 李林霞, 等. 2%苦参碱液剂防治草原毛虫药效试验 [J]. 青海草业, 2016, 25 (4): 10 – 11]

Zhao KJ, Zhang LK, Song J, *et al*. Study on the application of *Steinernematid* nematodes against eight Lepidopterous and Coleopterous insect pests [J]. *Journal of Plant Protection*, 1996, 23 (1): 21 – 24. [赵奎军, 张丽坤, 宋捷, 等. 应用斯氏线虫防治 8 种鳞翅目鞘翅目昆虫的研究 [J]. 植物保护学报, 1996, 23 (1): 21 – 24]

Zhang AB, Song P, Wang QY, *et al*. Study on the pathogenicity of the entomopathogenic nematodes to *Agrotis segetum* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (3): 591 – 597. [张安邦, 宋萍, 王勤英, 等. 昆虫病原线虫对黄地老虎致病力的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (3): 591 – 597]

Zhang QL, Yuan ML. Current status and prospects of *Gynaephora alpherakii* research [J]. *Pratacultural Science*, 2013, 30 (4): 639 – 643. [袁明龙, 张棋麟. 草原毛虫研究现状与展望 [J]. 草业科学, 2013, 30 (4): 639 – 643]

Zhang ZR, Huang HZ, Wang JH, *et al*. Indoor pathogenicity of entomopathogenic nematodes on *Nephopteryx* sp. [J]. *Plant Protection*, 2017, 43 (1): 210 – 213. [张中润, 黄海杰, 王金辉, 等. 昆虫病原线虫对腰果云翅斑螟的室内致病力 [J]. 植物保护, 2017, 43 (1): 210 – 213]

Zhang WG, Wan XL. The feeding habits and spatial pattern of *Gynaephora alpherakii* larvae [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14 (2): 116 – 120. [张卫国, 万秀莲. 草原毛虫幼虫的食性及其空间格局 [J]. 草业学报, 2005, 14 (2): 116 – 120]

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net