

山东泰安春秋季节大棚番茄根内根结线虫的发育及动态

何琼¹, 吴海燕^{1*}, 王振华²

(1. 广西大学农学院, 南宁 530004; 2. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018)

摘要 于2008年秋季和2009年春季对‘毛粉’和‘金丰盛世’2个番茄品种采用网袋法收集根系,酸性品红-次氯酸钠法染色,体视显微镜下检测,记录根内各龄期根结线虫数量和形成的根结数。结果表明,单位鲜根重线虫数量在2008年温度低时,随番茄生长有下降趋势,2009年春季温度升高时则上升,2个供试品种单位鲜根重线虫数无显著差异($P>0.05$);2008年秋季J₂到J₃,J₃到J₄的发育时间均长于2009年,根部形成根结的数量变化趋势相同;当土壤平均温度为15℃时,根结线虫在番茄根内完成第1个世代需32 d,25℃时为24 d。

关键词 根结线虫; 温度; 发育; 动态; 番茄

中图分类号: S 436.412 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.04.031

Development and dynamics of root-knot nematode in tomato root under greenhouse in spring and autumn season

He Qiong¹, Wu Haiyan¹, Wang Zhenhua²

(1. Agricultural College of Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract The tomato roots of cultivar ‘Maofen’ and ‘Jinfengshengshi’ were collected with mesh bag method in 2008 autumn and 2009 spring, the nematodes in root were stained by the method of acid fuchsin-NaClO, and the number of nematodes (including juveniles at different stage) and root galls were recorded using stereomicroscope. The results in two years indicated that the number of nematodes per gram fresh root was decreased with the growth of tomato under lower temperature in 2008 and increased under higher temperature in 2009. There was no significant difference in the number of nematodes per gram fresh root between two tested cultivars ($P>0.05$). The development time from J₂ to J₃ and J₃ to J₄ was longer in 2008 than that in 2009. The number of root galls in 2008 and 2009 showed the similar curve within 48 days after transplanting. Under this experimental condition, at the average soil temperature of 15℃, the first generation of root-knot nematode lasted for 32 days after transplanting, and for 24 days at the average soil temperature of 25℃.

Key words root-knot nematode; temperature; development; dynamics; tomato

根结线虫(*Meloidogyne* spp.)是一类重要的植物寄生性线虫,常造成严重的经济损失。近年来随着番茄保护地面积的扩大,根结线虫病成为番茄的主要病害,呈逐年上升趋势。据调查,山东寿光市80%的蔬菜大棚内有根结线虫发生,瓜类、茄果类蔬菜受害严重,产量损失可达30%~50%,已成为当前设施蔬菜生产的一大障碍^[1]。根结线虫可引起真菌和细菌的复合侵染,诱发植物病害。国内外在根结线虫病的防治方面有较多的研究报告^[2-5]。根结

线虫在陕西一年发生4~5代^[6],湖北一年5代^[7],河南一年4代^[8]。孔凡玉等^[9]的研究表明,根结线虫在山东烟草种植区一年有2次侵染高峰,南方根结线虫在红麻根内一年完成4代^[10]。已有研究表明,掌握土壤中根结线虫数量动态变化是了解根结线虫病及评价防治效果的基础^[11],但未见有关根结线虫在番茄根部的发育及动态研究的报道。本研究选择两个不同时期,以番茄内根结线虫为研究对象,利用网袋法收集根系,酸性品红-次氯酸钠法染色,体视

收稿日期: 2015-08-21 修订日期: 2015-10-10

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503114);国家自然科学基金(31460464);广西自然科学基金(2014GXNSFAA118123)

* 通信作者 E-mail: wuhy@gxu.edu.cn

显微镜检测并记录根内各龄期线虫数量以及根部形成的根结数量,明确根结线虫的发育特点和规律,进而明确用药时间,减少药剂使用量,增加防治效果。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在山东省泰安市山东农业大学温室大棚内进行。分别于 2008 年秋季(10 月)和 2009 年春季(5 月)对‘毛粉’(MF)和‘金丰盛世’(JFSS)2 个供试品种根内根结线虫的发育进程及动态进行监测。2008 年土壤中线虫 2 龄幼虫和卵的群体密度分别为 1 189.0 条/100 mL 和 238.2 个/100 mL;2009 年分别为 102.4 条/100 mL 和 28 个/100 mL。

1.2 试验设计与取样方法

根据苏崇森^[12]的研究结果设计尼龙网袋,网孔直径 0.18 mm,网袋直径 15 cm,网袋高 30 cm。为确保根系采集的完整性,将病土混合均匀装入网袋,大棚地面开 30 cm 沟,将装有病土的网袋嵌入沟内,周围覆盖土壤。育秧钵内育苗,出苗后 1 个月移栽到网袋中,待番茄苗长势稳定后取样。2008 年于 10 月 19 日移栽,10 月 24 日第 1 次取样,此后每隔 4 d 取样 1 次,12 月 8 日最后 1 次取样,共取样 12 次。2009 年于 5 月 13 日移栽,5 月 18 日第 1 次取样,此后每隔 4 d 取样 1 次,7 月 1 日最后 1 次取样,共取样 12 次。试验地正常除草管理,不施肥打药。取样时随机选 3 株长势相似的番茄植株,完整取出尼龙网袋,带回实验室备用。

1.3 土壤温度和含水量测定

用曲管式地温计测定 5 cm 和 10 cm 土层的温度,分别于 8:00、14:00 和 18:00 读取,每 4 d 测定 1 次,每次选取 5~8 个点进行测定,取平均值作为各时间点的温度值,然后取 3 个时间点温度值的平均值作为各土层的温度。利用便携式 TDR (Campbell Scientific Australia Pty. Ltd.)于每次取样时分别测定 3 个取样点的 12 cm 和 20 cm 土层的含水量,然后取平均值。

1.4 番茄根内根结线虫及根结数的统计

将完整的番茄根系冲洗干净,统计根结的数量,称量番茄的鲜根重,参照刘维志^[13]的方法进行根部线虫染色。在体视显微镜(Motic SMZ-168)下检查根内 2 龄幼虫(J_2)、3 龄幼虫(J_3)、4 龄幼虫(J_4)和成熟雌虫的数量,再折算成单位鲜根重线虫数(number of nematodes per gram fresh root, Np),单位为条/g 鲜根。采用 DPS 3.01 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 试验期间土壤温湿度变化

2008 年试验期间 5、10 cm 土层土壤平均温度分别为 15.7 和 15.3℃,受气温影响,变化幅度分别为 11.8~19.3℃(5 cm)、12.5~17.4℃(10 cm)。温室从 11 月 15 日开始供暖,移栽后 24 d 土壤温度逐渐上升。2009 年土壤温度较 2008 年高,试验期间 5 cm 和 10 cm 土层平均温度分别为 25.9 和 25.2℃,土层温度相对稳定,变幅分别为 22.7~28.2℃(5 cm)和 22.7~27℃(10 cm)(图 1)。

试验期间,12 cm 的土壤湿度为 17.33%~23.67%(2008 年)和 14.67%~24.67%(2009 年);20 cm 的湿度分别为 20.67%~35%(2008 年)和 19.67%~30.33%(2009 年)(图 2),由于人为定期浇灌,两年试验期间土壤湿度无明显变化。

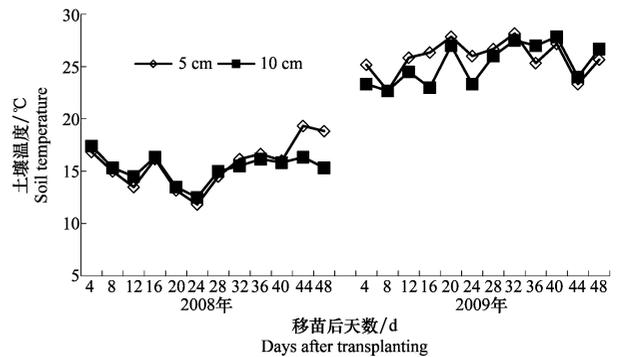


图 1 2008 年和 2009 年试验期间土壤 5 cm 和 10 cm 的平均温度

Fig. 1 Mean temperature at 5 and 10 cm soil layer after transplanting in 2008 and 2009

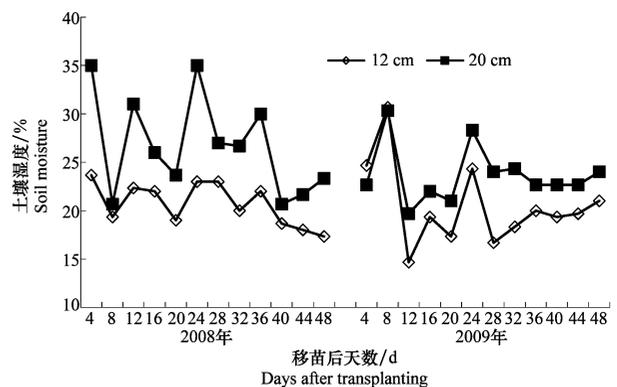


图 2 2008 年和 2009 年试验期间土壤 12 cm 和 20 cm 土壤的湿度

Fig. 2 Soil moisture at 12 and 20 cm soil depth after transplanting in 2008 and 2009

2.2 番茄移栽后根内根结线虫总数的动态变化

两年试验表明,番茄移栽后,根结线虫 2 龄幼虫即开始快速侵入根系。2008 年,由于土壤温度较低,随移栽后天数增加,2 个供试番茄品种单位鲜根重线虫数逐渐减少。根内线虫数量最多出现在移栽后 8 d,‘毛粉’和‘金丰盛世’的线虫数分别为 662.6 条/g 鲜根和 789.9 条/g 鲜根,随后逐渐下降。2009 年土壤平均温度较高,侵入根内的线虫数量平缓上升。番茄移栽后,单位鲜根重线虫数随着时间的增加,呈现上升的趋势,但整个试验期间侵入线虫数量较少,明显小于 2008 年,其中‘毛粉’根内的线虫数于移栽后 44 d 达到最大值,为 71.10 条/g 鲜根,‘金丰盛世’于移栽后 36 d 达到最大值,为 66.97 条/g 鲜根(图 3)。

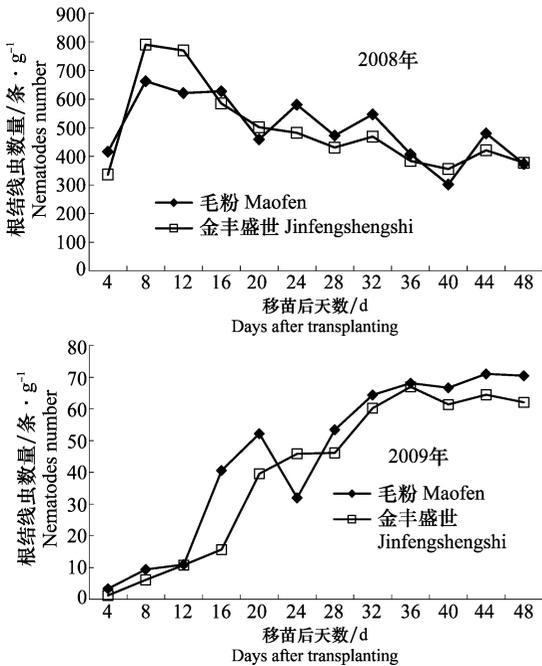


图 3 2008 年和 2009 年番茄移栽后根内线虫数量动态

Fig. 3 Dynamics of the number of total juveniles of *Meloidogyne* sp. per gram of fresh root after transplanting in 2008 and 2009

2.3 番茄移栽后根内根结线虫的发育特点和进程

试验结果显示,两年试验温度条件下,根结线虫均能侵入移栽后的 2 个供试品种根内并顺利发育,移栽后 4 d 均可检测到 J₂(表 1)。试验期间,番茄根内的线虫均以 J₂ 为优势虫态,2 个品种根内不同龄期线虫动态无明显差异,且温度对线虫发育的影响较大。从各龄期线虫所占比例可知,初次侵染的线虫数量较大,线虫在根内发育的同时,还不断有 J₂ 侵入。2008 年试验表明(图 4a),在移栽后 48 d 内,2 个番茄品种‘毛粉’和‘金丰盛世’根内 J₂ 所占比例分别为 74.7%~100%和 77.3%~100%,而 J₃ 和 J₄ 比例较小,‘毛粉’和‘金丰盛世’J₃ 所占比例分别为 5.6%~21.2%和 2.9%~18.7%;J₄ 比例分别为 4.0%~8.9%和 3.8%~12.1%,J₃ 和 J₄ 的高峰分别出现在移栽后 28 d 和 32 d。2009 年根内各虫态百分比的变化趋势明显不同于 2008 年(图 4b),J₂ 的比例有下降的趋势,J₃ 和 J₄ 有上升的趋势,‘毛粉’和‘金丰盛世’根内 J₂ 比例分别为 41.8%~100%和 45.3%~100%;J₃ 比例分别为 9.4%~46.0%和 12.5%~40.6%;J₄ 比例分别为 4.14%~30.67%和 5.32%~29.5%,J₃ 和 J₄ 占的比例明显高于 2008 年。另外,图 3 显示移栽后 48 d 内单位鲜重根内的线虫数量是增加的,说明 J₃ 和 J₄ 幼虫的比例增加受温度的影响较大。

2008 年,J₃ 和 J₄ 分别在移栽后 12 d 和 28 d 被检测到,J₂ 到 J₃ 约需 8 d,J₃ 到 J₄ 约需 16 d。2009 年检测到 J₃ 和 J₄ 的时间均提前,移栽后 20 d 可检测到 J₄,J₂ 发育到 J₃,以及 J₃ 到 J₄ 所需要的时间缩短为 4 d 和 8 d。成熟雌虫比 2008 年提前 8 d 检测到(2008 年在移栽后 32 d,2009 年在移栽后 24 d),2008 年平均土温为 15℃,根结线虫在番茄根内完成第一个世代约 32 d,2009 年平均土温为 25℃,根结线虫完成第一个世代约 24 d(表 1)。

表 1 番茄移栽后最早检测到各龄期根结线虫的时间

Table 1 Days that different stages of root-knot nematodes can be detected after tomato transplanting

年 Year	土壤温度/℃ Soil mean temperature		品种 Variety	移苗后天数/d Days after transplanting			
	5 cm	10 cm		J ₂	J ₃	J ₄	Mature female
2008	15.7	15.3	MF	4	12	28	32
			JFSS	4	12	28	32
2009	25.9	25.2	MF	4	8	20	24
			JFSS	4	12	20	24

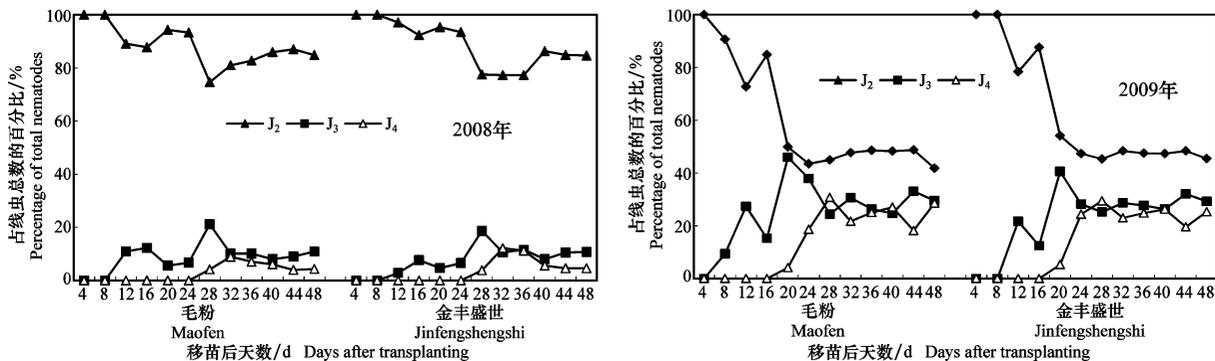


图 4 2008 年和 2009 年番茄移苗后根结线虫 J₂、J₃ 和 J₄ 在根内的分布动态

Fig. 4 Distribution dynamics of root-knot nematode J₂, J₃ and J₄ in the root after tomato transplanting in 2008 and 2009

2.4 番茄根部根结数量的动态变化

2 个品种移栽后 48 d 内根部形成根结数的变化趋势如图 5 所示。2008 年根结数量显著高于 2009 年 ($P < 0.05$), 但根结数量的变化趋势一致。可以看出, 两年试验分别在移栽后 20~28 d 之间 (2008 年) 和 24~28 d 之间 (2009 年) 有一个根结增加的停滞期, 在此前期和后期根结数量均增加较快。最后 1 次检测结果表明, 2008 年‘毛粉’和‘金丰盛世’的根结数量分别为 366.0 个和 410.7 个; 2009 年两者分别为 238.7 个和 219.0 个。根结数量 (y) 与移栽后天数 (x) 之间的关系可用多项式 $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ 拟合。2008 年‘毛粉’和‘金丰盛世’的多项式分别为 $y = 0.7183x^3 - 13.299x^2 + 95.688x - 76.38$ ($R^2 = 0.9414$) 和 $y = -0.4135x^3 + 9.0738x^2 - 32.078x + 28.633$ ($R^2 = 0.9743$); 2009 年‘毛粉’和‘金丰盛世’的拟合式分别为 $y = -0.4135x^3 + 9.0738x^2 - 32.078x + 28.633$ ($R^2 = 0.9743$) 和 $y = -0.4312x^3 + 9.8093x^2 - 40.687x + 40.714$ ($R^2 = 0.9743$)。

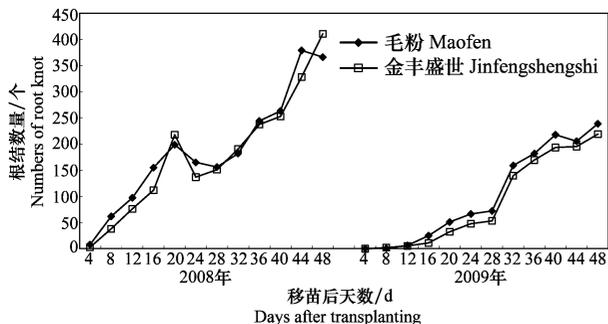


图 5 2008 年和 2009 年番茄根部根结数量的动态变化

Fig. 5 Dynamics of the root knot number in tomato roots in 2008 and 2009

3 讨论

温室条件下对根结线虫在番茄根内的发育及动态进行监测, 结果表明, 移栽后 48 d 内番茄根内单位鲜根重线虫数量因试验条件不同而表现出差异。2008 年在土壤平均温度 15.7℃ (5 cm) 和 15.3℃ (10 cm), 湿度为 17.33%~23.67% (12 cm), 20.67%~35% (20 cm) 条件下, 初始群体密度较大, 根内线虫密度总体呈下降趋势; 2009 年在土壤平均温度 25.9℃ (5 cm) 和 25.2℃ (10 cm), 湿度为 14.67%~24.67% (12 cm), 19.67%~30.33% (20 cm) 条件下, 根内线虫密度有上升趋势。温度是影响线虫生长发育的重要因素, 根结线虫生长温度范围 8~32℃, 最适温度 25~30℃^[14-17]; 其发育的低温阈值为 9℃, 高温阈值为 28℃, 超出这个温度阈值, 发育明显迟缓。此外其他因素, 如湿度、光照及寄主的状况 (包括年龄和营养) 也影响根结线虫的发育, 而且在不同发育阶段起着不同的作用^[18]。本研究结果说明, 在山东省, 在温度较低的情况下, 温室土壤中的根结线虫可正常侵染, 虽然线虫的发育受阻, 但仍会导致番茄根系形成较多的根结, 对根系造成伤害。温度适宜的情况下, 土壤中卵的孵化、幼虫的侵染及在根内的发育均较快。

两年试验均在番茄移栽后 4 d 的根内检测到线虫, 2008 年单位重量鲜根内线虫数明显大于 2009 年, 但 2 个品种之间单位鲜根重线虫数没有显著差异 ($P > 0.05$)。对本研究中 2009 年番茄根内单位鲜根重线虫数量较 2008 年少的原因分析如下: ①移栽前土壤中根结线虫密度不同, 2008 年试验时土壤中大量的根结线虫已经侵入番茄根部, 造成土壤里

线虫量降低,2009年未重新接种,土壤中线虫的群体密度显著低于2008年。因此,2009年番茄根内单位鲜根重线虫数量比2008年番茄根内线虫数量少,说明在适宜的范围内,接种量越大线虫侵染量也越大^[19]。同时研究结果表明,在实际生产中可以利用休棚期间种植感病番茄,并于移栽后40~50 d拔除,能显著降低土壤中根结线虫的群体密度。②根据前人的研究结果,孵化后21 d的幼虫,只有19%侵入寄主植物,而刚刚孵化的幼虫有71%侵入寄主植物^[8]。2009年移栽前的土壤温度适合根结线虫卵的孵化,当移栽时这部分孵出的2龄幼虫感染能力已下降。③2009年的温度(22~24℃)适宜番茄生长,移栽后4 d时‘毛粉’和‘金丰盛世’根系的单株鲜根重分别为0.67 g和0.65 g,而2008年番茄长势较弱,分别为0.34 g和0.24 g,利于线虫的侵染。

线虫能在一个较宽的温度范围内繁殖,但温度对于根结线虫的发育影响较大^[20-22],在低温条件下根结线虫J₃和J₄发育缓慢^[23]。本研究中2008年J₂发育成J₃,以及J₃发育成J₄的时间均比2009年长,且2008年移栽后32 d检测到成熟雌虫,2009年则提前8 d,在移栽后24 d检测到。两年试验表明,从线虫的侵染、发育上看,普通品种‘毛粉’和耐病品种‘金丰盛世’有相似的动态变化,两者之间没有显著差异,但‘金丰盛世’根内线虫的总数及根结数量均小于‘毛粉’。

目前有关根结线虫发生规律的报道,多从环境条件^[24-25]或植物抗性^[26-28]等方面加以描述。而关于根内根结线虫发育进程及动态的系统研究未见报道。一方面线虫能否成功发育及发育速度可用于评价作物品种对线虫的抗性;另一方面研究线虫在根内的发育动态,明确线虫的发育进程及生活史可为生产上防控该病提供重要的生物学信息。根据线虫生活史中敏感虫态发生时间确定用药时期,避免不必要的多次施药,提高农药的使用效率,达到减药增效的目的,减少农药污染,节约成本。

参考文献

- [1] 祝海燕. 寿光设施蔬菜根结线虫病流行原因及防控[J]. 长江蔬菜, 2015(1): 53-54.
- [2] 彭德良. 蔬菜病虫害的综合治理(十) 蔬菜线虫病害的发生和防治[J]. 中国蔬菜, 1998(4): 57-58.
- [3] Jacquet M, Bongiovanni M, Martinez M, et al. Variation in resistance to the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in tomato genotypes bearing the *Mi* gene [J]. Plant Pathology, 2005, 54(2): 93-99.
- [4] Siguenza C, Schochow M, Turini T, et al. Use of *Cucumis metuliferus* as a rootstock for melon to manage *Meloidogyne incognita* [J]. Journal of Nematology, 2005, 37(3): 276-280.
- [5] Piedrabuena A, Garcia-Alvarez A, Diez-Rojo M A, et al. Use of crop residues for the control of *Meloidogyne incognita* under laboratory conditions [J]. Pest Management Science, 2006, 62(10): 919-926.
- [6] 陈志杰, 张淑莲, 李泽宽, 等. 陕西温室番茄根结线虫病发生规律与绿色防治技术[J]. 陕西农业科学, 2008(5): 49-51.
- [7] 王明祖. 猕猴桃根结线虫病的研究[J]. 山西果树, 1989(3): 26-27.
- [8] 刘维志. 植物病原线虫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 255.
- [9] 孔凡玉, 王年, 王从丽, 等. 烟草根结线虫数量动态变化及田间流行规律研究[J]. 中国烟草科学, 1998(4): 35-37.
- [10] 吴家琴, 薛召东. 红麻根结线虫病的初步调查及优势虫种世代的研究[J]. 中国麻作, 1984(2): 42-45.
- [11] Nusbaum C J, Ferris H. The role of cropping systems in nematode population management [J]. Annual Review of Phytopathology, 1973, 11: 423-440.
- [12] 苏崇森. 瓜菜新优品种高效栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 34.
- [13] 刘维志. 植物病原线虫学研究技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1995: 71-72.
- [14] Darban D A, Pembroke B, Gowen S R. The relationships of time and temperature to body weight and numbers of endospores in *Pasteuria penetrans*-infected *Meloidogyne javanica* females [J]. Nematology, 2004, 6(1): 33-36.
- [15] Pascal P Y, Dupuy C, Richard P, et al. Bacterivory of a mudflat nematode community under different environmental conditions [J]. Marine Biology, 2008, 154(4): 671-682.
- [16] Tzortzakakis E A, Trudgill D L. A comparative study of the thermal time requirements for embryogenesis in *Meloidogyne javanica* and *M. incognita* [J]. Nematology, 2005, 7(2): 313-315.
- [17] 雷敬超, 黄惠琴. 南方根结线虫生物防治研究进展[J]. 中国生物防治, 2007, 23(S1): 76-81.
- [18] Lamberti F, Taylor C E. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* species) systematics, biology and control [M]. Elsevier Science, 1979: 173-191.
- [19] 郭衍银, 徐坤, 王秀峰, 等. 南方根结线虫初始接种密度对生姜生长的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2135-2139.
- [20] Inserra R N, Giffin G D, Sisson D V. Effects of temperature and root leachates on embryogenic development and hatching of *Meloidogyne chitwoodi* and *M. hapla* [J]. Journal of Nematology, 1983, 15(1): 123-127.
- [21] Vrain T C, Barker K R, Holtzman G I. Influence of low temperature on rate of development of *Meloidogyne incognita* and *M. hapla* larvae [J]. Journal of Nematology, 1978, 10(2): 166-171.

虫发生量较低;6 月底至 7 月上旬的内蒙古中西部和东南部,平均气温正常或略偏低、降水偏多 20%~50%,气象条件基本适宜,因此在越冬代成虫有一定种群规模的区域一代幼虫密度较高。另据康保县田间监测,5-6 月越冬代成虫发生期,河北坝上地区气温偏低、大风日数多、土壤墒情快、空气湿度小,气象条件对越冬代成虫卵巢发育、交尾不利,尽管出现蛾峰,但迁入后很快又迁出,在当地滞留的较少;通过田间捕捉和室内饲养观察发现,成虫体型较常年偏小,多数成虫未交尾,卵巢发育慢,级别低,抱卵量少;单雌产卵量,最少 48 粒、最多 300 粒,50~100 粒的比率为 50%、200~300 粒的比率仅为 14%。

4 结论与讨论

2014 年我国草地螟(幼虫)发生面积为 1996 年第三个暴发周期以来最小,各代次各虫态发生期偏晚、盛期持续短、种群密度低,分布范围集中而有限。从我国草地螟发生的长时间历史序列上看,无论是以年度(幼虫)发生面积的总体指标,还是以发生期出现早晚、发生盛期持续时间长短、发生区域多少的具体指标,2014 年都具有轻发年份的显著特征^[7],延续了 2010 年以来我国草地螟处于种群数量低谷期的态势^[3-6]。草地螟具有间歇性暴发的特点,其种群主要是在农牧交错区进行繁殖,只有当种群增大到一定程度时,才会大量迁入农田为害农作物^[9];对我国 1949-2012 年草地螟种群发生周期波动的分析也表明^[7],无论是在暴发周期内,还是间歇期内,轻发年份总是占大多数。因此,在草地螟轻发年

份坚持系统调查、进行持续监测,不但可以总结当年的总体发生情况的时空分布特点,也能从越冬基数、气象条件和天敌控制等方面进行原因分析,从而进一步认识草地螟发生的年度变化规律,掌握其种群缩减或扩张的波动指标,为进行草地螟长周期预测、制定暴发应对措施提供科学依据。

参考文献

- [1] 屈西锋,邵振润,王建强. 我国北方农牧区草地螟暴发周期特点及原因剖析[J]. 昆虫知识,1999,36(1):11-14.
- [2] 曾娟,姜玉英,张野. 2009 年草地螟发生特点及原因分析[J]. 中国植保导刊,2010,30(5):33-36.
- [3] 曾娟,姜玉英. 2010 年我国草地螟轻发年份的新特点与成因探讨[J]. 中国农学通报,2011,27(18):273-281.
- [4] 曾娟,姜玉英. 2011 年草地螟轻发原因分析[J]. 中国植保导刊,2012,32(8):37-39.
- [5] 曾娟,姜玉英. 2012 年草地螟发生特点与原因分析[J]. 植物保护,2014,40(1):142-148.
- [6] 曾娟,姜玉英. 2013 年草地螟轻发特点与原因分析[J]. 中国植保导刊,2014,34(11):46-51,52.
- [7] 曾娟. 我国草地螟轻发年份时空特征及其气候背景[J]. 生态学报,2015,35(6):1899-1909.
- [8] 国家气候中心. 气候系统监测公报[EB/OL]. <http://cmdp.ncc-cma.net/Monitoring/Bulletin/201405/historybulletinc.htm>. (2014-05)[2015-06-08].
- [9] 国家气候中心. 中国气候基本要素监测[EB/OL]. http://cmdp.ncc-cma.net/Monitoring/cn_moni_china.php?product=cn_moni_china_basic. [2014-08-02].
- [10] 中国农业科学院植物保护研究所. 中国农作物病虫害[M]. 第 2 版. 北京:中国农业出版社,1995:808.

(责任编辑:杨明丽)

(上接 188 页)

- [22] Laughlin C W, Williams A S, Fox J A. The influence of temperature on development and sex differentiation of *Meloidogyne graminis*[J]. Journal of Nematology, 1969, 1(3): 212-215.
- [23] Wong T K, Mai W F. Effect of temperature on growth, development and reproduction of *Meloidogyne hapla* in lettuce [J]. Journal of Nematology, 1973,5(2):139-142.
- [24] Seinhorst J W. Dynamics of populations of plant parasitic nematodes [J]. Annual Review of Phytopathology, 1970,8:131-156.
- [25] Dropkin V H. Cellular responses of plants to nematode infections [J]. Annual Review of Phytopathology, 1969, 7: 101-122.
- [26] Jablonska B, Ammiraju J S S, Bhattarai K K, et al. The *Mi-9*

Gene from *Solanum arcanum* conferring heat-stable resistance to root-knot nematodes is a homolog of *Mi-1* [J]. Plant Physiology, 2007, 143(2):1044-1054.

- [27] Ho J Y, Weide R, Ma H M, et al. The root-knot nematode resistance gene (*Mi*) in tomato: construction of a molecular linkage map and identification of dominant cDNA markers in resistant genotypes [J]. Plant Journal, 1992, 2(6):971-982.
- [28] Brito J A, Stanley J D, Kaur R, et al. Effects of the *Mi-1*, *N* and *tabasco* genes on infection and reproduction of *Meloidogyne mayaguensis* on tomato and pepper genotypes [J]. Journal of Nematology, 2007, 39(4): 327-332.

(责任编辑:杨明丽)