

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2024.01.007

影响四川凉山地区烟草根结线虫病发生的关键气候因子分析

江其朋¹, 邹惠宇², 王金峰¹,
陈树鸿², 王勇²

1. 西南大学 植物保护学院 重庆 400715;

2. 中国烟草总公司四川省公司凉山州公司, 四川 西昌 615000

摘要:烟草根结线虫病是一种由根结线虫(*Meloidogyne* spp.)侵染引起的重要土传病害, 目前, 对于影响烟草根结线虫病发生的关键因子研究相对缺乏, 其监测预警和防治难度依然较大, 该病的灾变机理有待进一步探索. 本研究通过田间调查和室内分析相结合的方法, 明确了2020年四川省凉山州主要植烟区烟草根结线虫病发生面积和为害程度, 其中, 以四川省会理市通安镇发病最为严重, 发生面积超过52%, 发病烟田的烟株感病率超过46%, 死棵率超过34%. 同时, 借助形态学鉴定的方法明确了从越西县、盐源县、德昌县、宁南县、会理市和会东县采集到的烟草根结线虫种类均为南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*). 进一步对会理市2010—2020年同期历史旬平均气温和旬降雨量的对比分析结果表明, 烟草根结线虫发生严重的会理通安镇, 1—4月平均气温均高于同期历史值, 温度差为0.7~5.0℃, 平均高出2.8℃, 2020年1—4月的累计降雨量较历史值高15%以上, 5—8月的累计降雨量较历史值低40%以上, 研究结果表明, 烟苗移栽前较高的温度和较多的降雨以及移栽后较少的降雨是凉山州烟草根结线虫病严重发生的重要诱因. 本研究结果也为烟草根结线虫病的监测预警和及时有效防控提供了参考.

关键词:烟草根结线虫病; 气温; 降雨量;

影响因子

中图分类号:S435.72

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号:2097-1354(2024)01-0064-08

Exploring the Key Climatic Factors Driving the Outbreak of Tobacco Root-Knot Nematodes in Southwest China

JIANG Qipeng¹, ZOU Huiyu², WANG Jinfeng¹,

收稿日期: 2023-09-19

基金项目: 中国烟草总公司四川省公司科技专项项目(202051340024416).

作者简介: 江其朋, 博士, 主要从事植物-微生物互作影响植物抗病性的机制研究.

CHEN Shuhong², WANG Yong²

1. College of Plant Protection, Southwest university, Chongqing 400715, China;

2. Liangshan Prefecture Branch of Sichuan Tobacco Company, Xichang Sichuan 615000, China

Abstract: Tobacco root-knot nematode is an important soil-borne disease caused by *Meloidogyne* spp., which is distributed in major tobacco-growing areas in China, and can cause 30%~50% of yield loss in severe cases. Even more, the severity of root-knot nematode is increasing year by year. At present, there is relatively little research on the key factors affecting the occurrence of tobacco root-knot nematode disease, and the disaster mechanism of the disease needs further exploration. By combining field investigation and laboratory analysis, this study determined the occurrence area and damage degree of tobacco root knot nematode disease in major tobacco-growing areas of Liangshan Prefecture, Sichuan Province in 2020. By morphological identification, *Meloidogyne incognita* was identified as the root knot nematode of tobacco collected from Liangshan Prefecture. Further comparative analysis of the average temperature and rainfall during 2010—2020 in Huili City showed that the average temperature from January to April in Tongan area, where tobacco root-knot nematodes occurred seriously, was higher than the historical value of the same period, with a temperature difference of 0.7~5.0 °C, which was 2.8 °C higher on average. The cumulative rainfall from January to April in 2020 was more than 15% higher than the historical value, and the cumulative rainfall from May to August was more than 40% lower than the historical value. The results showed that higher temperature and more rainfall before tobacco transplanting and less rainfall after transplanting were important effectors of the serious occurrence of tobacco root-node nematode disease in Liangshan Prefecture. The results of this study provide a reference for monitoring and warning as well as timely prevention of root knot nematode disease.

Key words: tobacco root-knot nematodes; air temperature; rainfall; effectors

根结线虫(*Meloidogyne* spp.)是一种专化杂食性寄生线虫,可以寄生包括烟草、石榴、花生、草莓、甘蓝等在内的 3 000 多种 114 个科的植物^[1],严重为害作物根系造成农作物减产^[2-3]. 20 世纪 80 年代后期至 90 年代中期以后,根结线虫病(root-knot nematode disease)逐步成为我国烟草上的主要病害之一^[4-5]. 目前,该病在我国主要烟区均有发生分布^[6-7],部分地区发生严重,造成的烟叶产量损失可达 30%~50%,且为害程度逐年上升^[8-9],突然暴发成灾情况时有报道,但其监测预警和防治难度依然较大^[10]. 因此,明确影响烟草根结线虫病的关键因子对于该病的监测预警和防治均具有重要的现实指导意义.

根结线虫病属于典型的土传病害,其发生发展受土壤交换性钙、交换性镁等土壤理化性质^[10]以及土壤微生物群落结构和芽单胞菌属、类诺卡氏菌属等关键微生物类群的影响^[10-13],同时,与环境因子与病害的暴发成灾也有着密切的关联^[14]. 研究表明,环境和土壤温湿度对根结线虫存活及侵染有着显著的影响^[15-16],当土壤温度低于 10 °C 时线虫不发生侵染,当气温升至 14 °C 以上时线虫开始侵染,地上部表现症状,当气温达 22 °C 时线虫侵染力最强,温度高于 36 °C 线虫不能侵染. 同时,土壤湿度过高不利于线虫的生存和侵染,土壤过于干燥也不利于根结线虫的生存. 同时,通气良好的壤土和沙壤土,一般烟株受害较重,而黏土发病较轻^[11-12]. 施河丽等^[17]的研究发现,烟草根结线虫病不发病土壤毛管持水量显著高于发病土壤. 目前,对于影响线虫病发生的关键微生物因子和土壤理化性质已有很多较为全面和深入的研究,但是对于影响田间烟草根结线虫病发生的关键气候因子还缺乏系统全面的报道.

四川省凉山州是我国优质烟叶的主要产区,2020年,凉山州烟草根结线虫病大面积发生,且部分地区感病烟田烟株死棵率超过80%,造成极大的经济损失和负面影响.目前,对四川凉山州烟草根结线虫病发生情况的报道较少,对影响烟草根结线虫病发生的关键因子的系统研究也相对缺乏,该病的灾变机理有待进一步探索.本研究基于对四川省凉山州的烟草根结线虫病和烟田气候的采集和分析,系统解析了气候条件与烟草根结线虫病发生的相关性,旨在为凉山烟区根结线虫病的监测预警和及时有效防控提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 仪器、试剂与材料

烟草根结线虫病株根系及土壤采自四川省凉山州越西县、盐源县、德昌县、宁南县、会理市和会东县,烟草品种和具体采样点如表1所示.所有烟苗均采用凉山州烟草公司统一育苗和田间管理方案,移栽时间为4月下旬至5月上旬.

每个采样地块随机选择5株根结线虫病感病的烟草,慢慢将整个根系挖出,带出田间,轻轻抖动根系,将较大土块及杂质去除后装入无菌自封袋中,并低温保存.所有样品采集后均在24 h内低温(4℃)保存运送回西南大学天然产物农药研究室开展相关检测分析.

表1 2020年凉山州烟草根结线虫采集信息

地区	烟草品种	采样点
会理市	云烟87、中川208、红花大金元	木古、太平、杨河、通安、新发、大村、白果、马宗、益门、槽元
德昌县	云烟87	德州、煌龙、河西
宁南县	云烟85	竹寿、西瑶、石梨
盐源县	云烟87	干海
越西县	云烟85	板桥、新民
会东县	云烟87、红花大金元	嘎吉、参鱼、大桥、姜州、鲁吉、松坪、新街

1.2 试验方法

1.2.1 凉山州烟草根结线虫病发生情况调查

2020年6—10月,对四川省凉山州地区烟草根结线虫发生情况进行田间调查,记录调查面积、病害发生面积、发病地块病株率和烟株死株率等信息,根据以下公式记录病害发生率、发病地病株率和死棵率:

病害发生率(%)=(病害发生面积/调查总面积)×100%;

发病地病株率(%)=(发病地病株数/发病地总株数)×100%;

发病地死棵率(%)=(发病地死棵数/发病地总株数)×100%.

1.2.2 根结线虫雌虫的分离和观察鉴定

将发病植株根系清洗干净,随后将其置于解剖镜下挑选根结线虫雌成虫置于生理盐水中备用.根据冯志新^[18]的方法制作根结线虫雌虫头部和会阴花纹的临时玻片,并在显微镜下观察,记录口针平均长度、背食道腺开口到口针基部球的距离和排泄孔到头端的距离,根据雌虫会阴花纹和头部特征进行种类鉴定.

1.2.3 旬平均气温和旬降雨量数据采集

2010—2020 年,会理市旬平均气温和旬降雨量数据由四川省烟草公司凉山州公司提供.

1.3 数据分析方法

利用 Excel 2013 对数据进行整理,使用 SPSS 17.0 软件通过单因素方差分析(ANOVA)与显著性差异检验($p < 0.05$)计算每组数据的平均值和标准误,使用 Origin 2019 b 进行绘图.

2 结果与分析

2.1 四川省凉山州烟草根结线虫病发生及为害情况

2020 年,四川省凉山州烟草根结线虫病发生及为害情况调查结果如图 1 和图 2 所示.整体来看,凉山州不同烟区烟草根结线虫病发生情况有所不同,会理市和会东县线虫病表现为集中暴发,而宁南县、越西县和德昌县烟草根结线虫病表现为普遍发生,个别烟区严重发生.2020 年,凉山州烟草根结线虫病发生面积超过 3 000 hm^2 ,其中,宁南县和越西县烟草根结线虫病发病面积分别为 466.67 hm^2 和 215.33 hm^2 ,发病面积占总植烟面积的 47.03%和 11.33%,且烟田烟株受害较重,发病烟田的烟株平均感病率超过 62%,发病烟田死棵率约为 20%.会东县和会理市发生面积较大,发病面积均超过 1 000 hm^2 ,但仅占总植烟面积的 16.41%.会理市通安镇受根结线虫病为害最重,表现为病害发生面积大、为害重,烟草根结线虫病发生面积占总植烟面积的 52.04%,发病烟田的烟株感病率为 46%~88%,死棵率为 34%~85%;会理市杨河站和白果站烟草根结线虫病表现为集中严重发生,其发生面积较少,但是发病烟田烟株感病率均超过 70%,死棵率最高达 80%;会理市木古站和益门站则为普遍轻微发生,表现为其发生面积虽均超过 25%,但是烟株受害程度较轻,均不超过 15%(表 2).

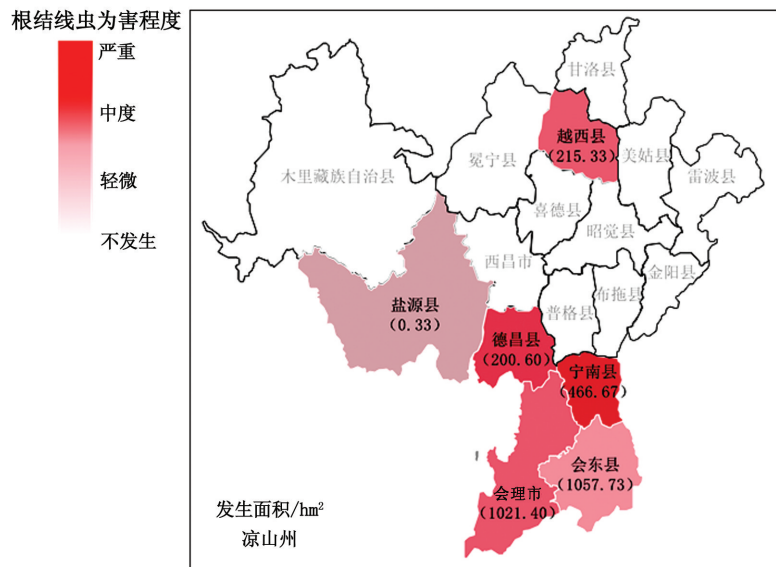


图 1 凉山州烟草根结线虫病发生情况

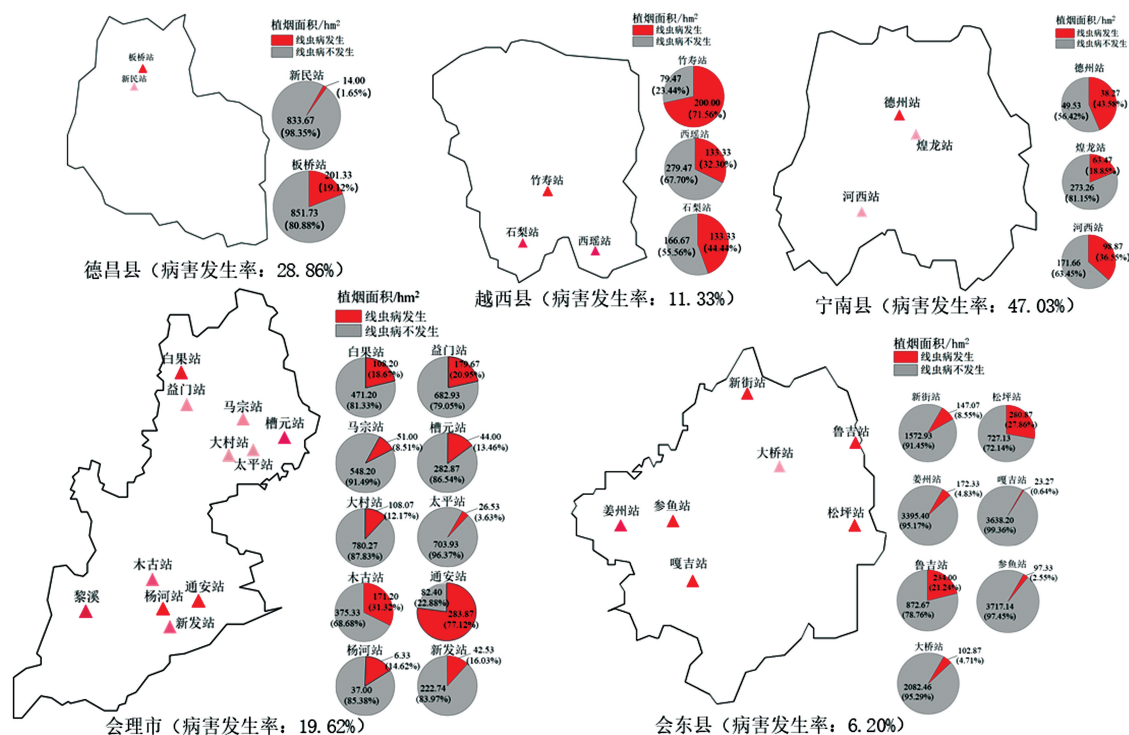


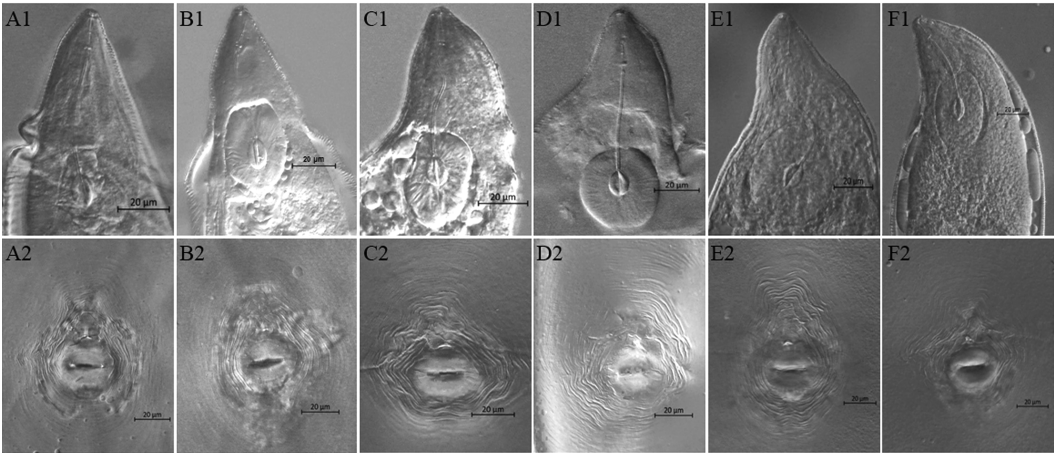
图2 凉山州主要烟区烟草根结线虫病发生及为害情况

表2 2020年凉山州根结线虫病发生情况

地区	总面积/hm ²	发病面积/hm ²	发病率/%	发病地病株率/%	发病地死棵率/%
会理市	5 205.07	1 021.40	19.62	44.01	29.78
德昌县	695.07	200.60	28.86	35.23	15.54
宁南县	992.27	466.67	47.03	62.86	22.86
盐源县	13.33	0.33	2.50	15.00	1.20
越西县	1 900.73	215.33	11.33	79.44	20.58
会东县	17 063.67	1 057.73	6.20	44.78	22.21
合计	25 870.13	2 962.07	11.45	49.23	24.35

2.2 四川省凉山州烟草根结线虫形态鉴定

将采自四川省凉山州越西县、盐源县、德昌县、宁南县、会理市和会东县的烟草根结线虫雌虫的会阴花纹、虫体前部制成临时玻片,在光学显微镜下进行形态学观察和拍照,结果如图3所示。同时,对雌虫口针长度、背食道腺开口到口针基部球的距离以及排泄孔到头端的距离进行测量,结果如表3所示。结果显示,凉山州主要烟区烟草根结线虫雌虫会阴花纹近方形,背弓高,线纹平滑呈波浪形,但侧线不明显,线纹在侧区处有较明显的间断和分岔。烟草根结线虫雌虫口针平均长度为14.17~14.97 μm ,口针基部球同基杆有明显界线,背食道腺开口到口针基部球的平均距离为2.50~3.13 μm ,排泄孔到头端的平均距离为25.45~28.60 μm ,位置较靠前。综上,本研究采集到的凉山州各烟区的烟草根结线虫雌虫会阴花纹和头部各项特征值基本符合南方根结线虫的特征,故而鉴定为南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)。



A: 越西县; B: 盐源县; C: 德昌县; D: 宁南县; E: 会理市; F: 会东县. 1: 雌虫虫体前部; 2: 会阴花纹.

图 3 雌虫口针和会阴花纹形态

表 3 四川省凉山州根结线虫雌虫形态学特征

样本	口针长度/ μm		背食道腺开口到口 针基部球的距离/ μm		排泄孔到头端 的距离/ μm	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
越西县	14.89	0.36	2.72	0.30	28.60	2.21
盐源县	14.80	0.30	2.50	0.20	25.60	1.14
德昌县	14.22	0.22	2.95	0.33	27.88	1.45
宁南县	14.17	0.74	3.13	0.52	28.00	3.65
会理市	14.78	0.29	2.90	0.36	25.45	1.29
会东县	14.97	0.08	2.85	0.23	26.25	1.35

2.3 影响四川省凉山州烟草根结线虫病发生的气候因子分析

为明确气候因子对烟草根结线虫病发生的影响,以 2010—2019 年历史旬平均气温和旬降雨量数据为对照,对比分析了 2020 年烟草根结线虫发病最重的会理市通安烟站的同期旬平均气温和旬降雨量. 同期旬平均气温的对比分析结果表明,相对于往年(2010—2019 年),2020 年会理市呈高温干燥的特点,表现为越冬期气温较高(12 月下旬至次年 4 月中旬)、烟草生育期内降雨较少(4 月下旬至 8 月下旬),尤以通安镇最为明显(图 4). 除 2 月中旬,通安镇越冬期旬平均气温均高于会理市历史值,温度差为 0.7~5.0℃,平均高出 2.8℃,且通安镇 1 月上旬、中旬和 2 月上旬平均气温均高于 10℃,而会理市历史同期旬平均气温均低于 10℃,会理市 2020 年越冬期旬平均气温与历史值差为-2.4~3.0℃,平均高出 0.8℃. 7 月中旬至 8 月下旬,通安镇的旬平均温度较会理同期历史值低 3.0~7.4℃,比 2020 年会理同期值低 3.7~7.4℃(图 5).

同期旬降雨量的对比分析结果表明(图 6),2020 年烟草生育期内,旬降雨随时间呈逐步递增趋势,会理旬降雨表现出前期少(1—5 月中旬)、后期多(6—8 月)的特征,但与会理市同期历史值相比,通安镇降雨表现出前期比历史值多(1—5 月中旬)、后期比历史值少的特征(5 月下旬至 8 月).

1—5 月中旬,会理市降雨均较少,旬降雨量不超过 30 mm,累计降雨量低于 100 mm,但通安镇 1 月至 5 月中旬累计降雨量较历史值高出 16.76%. 5 月下旬后,会理市降雨增多,截至 8 月下旬,会理市累计降雨量历史平均值为 814 mm,2020 年累计降雨量为 837 mm,通安镇累计降雨量仅为 477 mm,较历史值低 41.36%. 同时,烟苗移栽后(4 月下旬至 8 月下旬),通安镇累计降雨量较历史值低 47.23%(图 7).

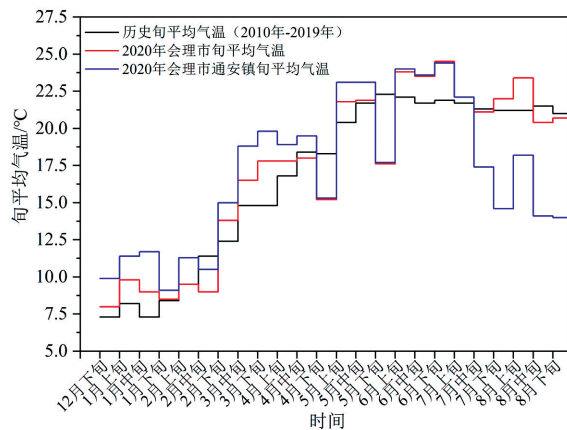


图4 会理市2012—2020年旬平均气温对比

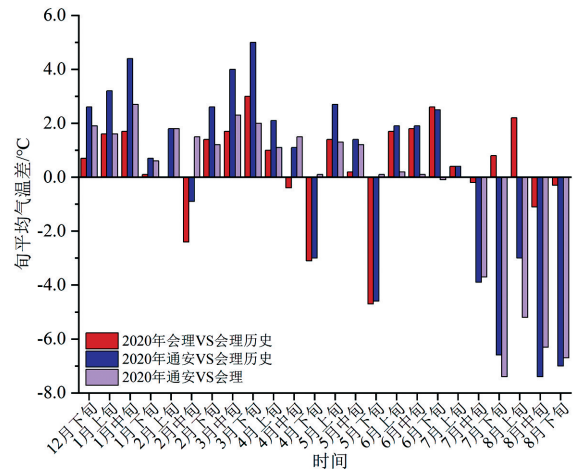


图5 会理市同期旬平均气温差

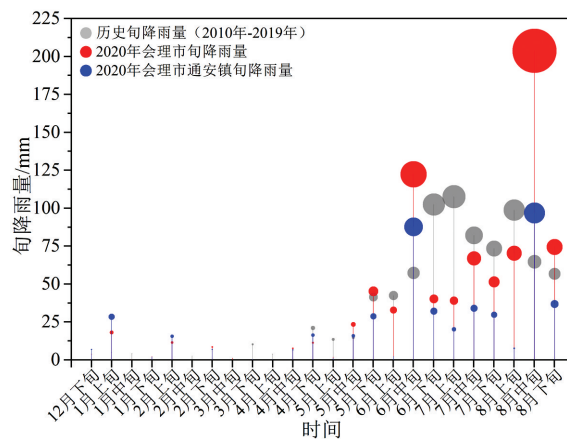


图6 会理市2012—2020年旬降雨量对比

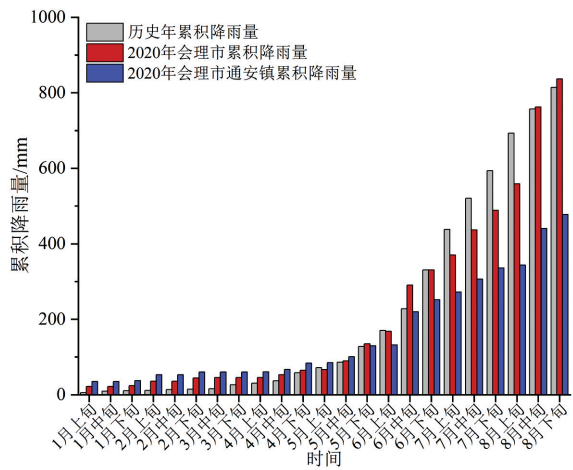


图7 会理市同期累积降雨量

3 结论与讨论

环境因子能显著影响病害三角关系中病原生物的活性,进而影响整个病害进程^[14]. 温湿度与根结线虫的活性有密切的关联. 研究发现,当温度低于 15 °C 时南方根结线虫卵孵化受到抑制^[18]. 陈立杰等的研究进一步表明, -15 °C 处理 3 d 可使南方根结线虫二龄幼虫丧失侵染能力^[19]. 同时,试验也证明 0~5 °C 时南方根结线虫的二龄幼虫不可存活,但其卵具有一定的耐受性^[20]. 范平成等的研究发现井窖式移栽提高了土壤温度 1.02~6.39 °C,其土壤中根结线虫二龄幼虫数量随即提升了 2.67 倍^[21]. 本研究发现,2020 年烟草根结线虫发病严重的地区,越冬期气温明显高于该地区历史同期水平,且持续时间较长,这一现象基本符合前人对于适当高温有利于根结线虫生存和病害发生的研究结果. 同时,越冬期 10 °C 以上的温度有利于根结线病的发生这一结果也和前人的研究相吻合^[22-23],说明当越冬期田间温度稳定在 10 °C 以上时,土壤中的根结线虫活性更高,后期烟田根结线虫病加重. 另外,本研究发现凉山州会理烟区的沙壤土质及其 2020 年干旱的土壤条件也可能是导致烟草根结线虫病大面积发生的重要影响因子,这也与王静等^[15]的报道相吻合.

本研究采用田间调查和室内分析相结合的方法,系统解析影响烟草根结线虫病发生的关键气候因子,为凉山烟区根结线虫病的监测预警和及时有效防控提供理论依据,后续相关工作可

对这些关键因子开展进一步的验证研究,以明确其影响根结线虫病发生的内在机制。

参考文献:

- [1] 刘维志. 植物病原线虫学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 1-2.
- [2] WESEMAEL W, VIAENE N, MOENS M. Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Europe [J]. *Nematology*, 2011, 13(1): 3-16.
- [3] MWAGENI W, BLOK V, DAUDIA, et al. The Importance of Tropical Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* spp.) and Factors Affecting the Utility of *Pasteuria Penetrans* as a Biocontrol Agent [J]. *Nematology*, 2000, 2(8): 823-845.
- [4] 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, 19(4): 35-37.
- [5] 杨铭, 秦西云, 段玉琪, 等. 云南烟草根结线虫病发生及防治研究 [J]. *云南农业大学学报*, 1995, 10(2): 134-135.
- [6] 徐兴阳, 杨艳梅, 端永明, 等. 昆明烤烟种植区根结线虫种类的初步鉴定 [J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2017, 32(5): 947-951.
- [7] 马俊平, 陈丽, 黄月揖, 等. 滇中美烟品种主要引种区根结线虫的种类及优势种变化 [C]. 海口: 全国植物线虫学术研讨会, 2014.
- [8] CHINHEYA C C, YOBO K S, LAING M D. Biological Control of the Rootknot Nematode, *Meloidogyne javanica* (Chitwood) Using *Bacillus* Isolates, on Soybean [J]. *Biological Control*, 2017, 109: 37-41.
- [9] 张宗锦, 闫芳芳, 孔垂旭, 等. 烤烟菽麻间作对烟草根结线虫防效及烟叶产质量的影响 [J]. *中国烟草科学*, 2019, 40(2): 52-56.
- [10] 江其朋, 江连强, 龚杰, 等. 影响四川凉山地区烟草根结线虫病发生的关键因子分析 [J]. *中国烟草学报*, 2021, 27(6): 89-98.
- [11] 黄阔, 江其朋, 姚晓远, 等. 微生物菌剂对烟草根结线虫及根际微生物群落多样性的影响 [J]. *中国烟草科学*, 2019, 40(5): 36-43.
- [12] 黄阔. 烟草根际微生物与根结线虫发生的关系及调控作用研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- [13] HUANG K, JIANG Q P, LIU L H, et al. Exploring the Key Microbial Changes in the Rhizosphere that Affect the Occurrence of Tobacco Root-Knot Nematodes [J]. *AMB Express*, 2020, 10(1): 1-11.
- [14] 祝明亮, 李天飞, 夏振远, 等. 云南省烟草根结线虫发病土壤生态因子分析 [J]. *中国烟草学报*, 2003, 9(4): 30-34.
- [15] 王静, 孔凡玉. 烟草根结线虫病综合防治技术 [J]. *烟草科技*, 2002, 35(9): 43-44.
- [16] 莫熙礼, 武华文, 黄蔚, 等. 黔西南州烟草根结线虫初步调查 [J]. *园艺与种苗*, 2016, 36(3): 18-19.
- [17] 施河丽, 向必坤, 左梅, 等. 恩施烟区烟草根结线虫发生与土壤理化性状的关系 [J]. *中国烟草科学*, 2020, 41(1): 81-86.
- [18] 冯志新. 植物线虫学 [M]. 北京: 农业出版社, 2001.
- [19] 陈立杰, 魏峰, 段玉玺, 等. 温湿度对南方根结线虫卵孵化和二龄幼虫的影响 [J]. *植物保护*, 2009, 35(2): 48-52.
- [20] 于洪岩. 温度胁迫对北方根结线虫及与番茄互作相关基因影响研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [21] 范成平, 代飞, 李熙全, 等. 烤烟井窖式移栽中“井窖”对烟草根结线虫数量的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(17): 164-166.
- [22] 郭永霞, 金永玲. 蔬菜根结线虫综合防治研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2007, 23(3): 376-379.
- [23] STANTON J M, EYRES M. Hatching of Western Australian Populations of Cereal Cyst Nematode, *Heterodera avenae*, and Effects of Sowing Time and Method of Sowing on Yield of Wheat [J]. *Australasian Plant Pathology*, 1994, 23(1): 1-7.