



## 2015—2022 年黑龙江省大豆产区大豆胞囊线虫病调查

尤 佳<sup>1</sup>, 李进荣<sup>2</sup>, 甄善继<sup>2</sup>, 董丽伟<sup>2</sup>, 王建丽<sup>1</sup>, 胡岩峰<sup>3</sup>, 申忠宝<sup>1</sup>, 王家军<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 草业研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所 农业技术中心, 黑龙江 哈尔滨 150081)

**摘 要:**大豆胞囊线虫病严重制约着黑龙江省大豆产量和品质的提升。为了解黑龙江省大豆胞囊线虫病的分布及发生情况,2015—2022 年对黑龙江省大豆种植区进行大范围取样调查。结果显示,大豆胞囊线虫在全省普遍发生。2015—2018 年,除 2015 年在大庆、安达、泰康县和林甸县采集的土样中未检测到胞囊外,其余样品均检出胞囊;每 100 g 干土中胞囊数随年份的增加而增多,胞囊平均数呈正增长,但孙吴县、依安县及大庆市采样点 2017 年样品中的胞囊数量和平均增长率相对于 2016 年略有下降;2015—2016 年和 2016—2017 年胞囊检出率差值结果显示,10 个市县的胞囊检出率差值减小,表明土壤中胞囊数量趋于饱和。2019—2022 年所有取样地区均检测到 SCN,12 个市县连续 4 年的胞囊检出率达到 100%;每 100 g 干土平均胞囊介于 3.2~38.7 个,相比于 2015—2018 年略低,富锦市、泰来县和绥滨县 4 年间测定的胞囊数均小于 10 个,哈尔滨市和双城市监测的 4 年中,各年样品平均胞囊数均超过 20 个。利用 Riggs 模式鉴定生理小种,结果显示,2015—2018 年测定的 18 个市县优势生理小种以 3 号为主,此外,在依安县和大庆市同时检测出 6 号生理小种,在安达市检测出 14 号生理小种。本研究明确了黑龙江省大豆主产区大豆胞囊线虫病的发病现状,为大豆胞囊线虫病的综合防治和抗线大豆品种选育提供指导。

**关键词:**大豆胞囊线虫;黑龙江省;大豆胞囊线虫病分布;胞囊数;生理小种

## Investigation of Soybean Cyst Nematode in Soybean Production Areas of Heilongjiang Province from 2015 to 2022

YOU Jia<sup>1</sup>, LI Jinrong<sup>2</sup>, ZHEN Shanji<sup>2</sup>, DONG Liwei<sup>2</sup>, WANG Jianli<sup>1</sup>, HU Yanfeng<sup>3</sup>, SHEN Zhongbao<sup>1</sup>, WANG Jiajun<sup>2</sup>

(1. Institute of Pratacultural Science, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Soybean Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 3. Key Laboratory of Mollisols Agroecology, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China)

**Abstract:** Soybean cyst nematode severely restricts the improvement of soybean yield and quality in Heilongjiang Province. To determine the distribution and occurrence of soybean cyst nematode in Heilongjiang Province, a random sampling survey was conducted from 2015 to 2022 in the main production areas of soybean. The investigation found that cysts were detected in all regions from 2015 to 2018 except Daqing, Anda, Taikang, and Lindian in 2015. The number of cysts per 100 gram of dry soil increased with each year, showing a positive growth trend on the average. However, compared to 2016, there was a slight decrease in the number of cysts and the average growth rate in Sunwu, Yi'an, and Daqing during 2017. The results of the difference in cyst detection rates between 2015 - 2016 and 2016 - 2017 showed a decrease in 10 cities and counties, indicating that soybean cyst nematode is prevalent in soybean areas of Heilongjiang Province. Between 2019 and 2022, all samples tested positive for SCN. Detection rates of cysts in 12 areas remained consistent at 100% for four consecutive years. The average number of cysts per 100 grams of dry soil ranged from 3.2 to 38.7, which was slightly lower than the figures recorded from 2015 to 2018. Specifically, in Fujin, Tailai, and Suibin, the number of cysts detected over the four years was less than 10 per 100 grams of dry soil. In contrast, Harbin and Shuangcheng observed an average cyst count exceeding 20 per 100 grams of dry soil in the samples each year throughout 2019 - 2022. According to the identification of races, the dominant races are still race 3. In addition, race 6 was detected in Yi'an and Daqing, while race 14 was detected in Anda. This study has clarified the occurrence current situation of soybean cyst nematode in the main soybean-producing areas of Heilongjiang Province, providing guidance for the comprehensive control and breeding of resistant soybean varieties against soybean cyst nematode.

**Keywords:** soybean cyst nematode; Heilongjiang Province; distribution of soybean cyst nematode; cyst number; races

大豆[*Glycine max* (L.) Merr.]是重要的粮食兼油料作物,在我国的农业经济发展中占据重要地位。中国是世界上最大的大豆消费国,对优质大豆

的需求量巨大,任何限制大豆安全生产的因素都将制约大豆产业的发展。大豆胞囊线虫(Soybean Cyst Nematode, SCN)病是大豆产量和品质的主要制约因

收稿日期:2023-12-20

基金项目:黑龙江省农业科学院创新工程资助项目(CX23GG01);黑龙江省重点研发计划(2022ZX02B06);中国科学院青年创新促进会(2020236)。

第一作者:尤佳(1984—),女,博士,副研究员,主要从事大豆病害研究。E-mail:rokioyou@126.com。

通讯作者:王家军(1973—),男,硕士,研究员,主要从事大豆病害研究。E-mail:junjiawang@163.com;

申忠宝(1973—),男,硕士,研究员,主要从事作物分子育种研究。E-mail:shzhb1973@126.com。

素之一,世界各地大豆产区均有报道,每年造成的经济损失巨大<sup>[1-2]</sup>。黑龙江省是我国最大的非转基因大豆产区,2023 年全国大豆种植面积 1 047 万 hm<sup>2</sup>,其中黑龙江省大豆种植面积达 493 万 hm<sup>2</sup>,2022 年黑龙江省大豆产量 953.4 万 t,播种面积和产量位列第一(数据来源:中华人民共和国农业农村部,http://www.moa.gov.cn)。目前,我国约有 23 个省(市/自治区)报道有 SCN 病的发生,基于 2015 年沈阳农业大学对东北三省地区大豆病害进行的系统调查和鉴定,发现东三省地区 SCN 的发病率更是高达 82.67%,导致大豆产量降低,甚至绝收<sup>[3]</sup>。另有研究报道,黑龙江省大豆种植区的 63 个市县检测到 SCN,西部地区齐齐哈尔和大庆,北部地区黑河,东部地区佳木斯等地发病尤为严重<sup>[4-5]</sup>。

SCN 是一种专性植物寄生线虫,隶属于线虫动物门,垫刃目(*Tylenchida*),异皮科(*Heteroderidae*),异皮属(*Heterodera*)<sup>[6]</sup>。主要寄生于豆科(*Leguminosae*),也可寄生蝶形花科(*Fabaceae*)、十字花科(*Brassicaceae*)、茄科(*Solanaceae*)等<sup>[6]</sup>。SCN 危害主要在大豆根部,造成根系减小、侧根和根瘤减少、发病部位易受到其他致病菌侵染,从而引起地上植株矮小、叶片黄化、结荚率低、严重时甚至死亡,影响大豆产量和品质。根据 SCN 在鉴别寄主 Pickett、PI 54842(Peking)、PI 88788、PI 90763 上的繁殖能力差异,可将其分为不同的生理小种。SCN 传播迅速,传播途径多,有研究证实,SCN 在某一地区定殖后会快速地向其他大豆种植地扩散<sup>[7]</sup>,农耕作业、水源、风、种子等都能传播 SCN。目前,最安全、经济、有效的防治方法是种植抗线品种,但由于 SCN 抗性受多基因控制,抗线育种困难,抗性大豆品种资源有限;此外,SCN 生理小种变异性高,抗线大豆仅对特定生理小种具有抗性,长期种植单一抗性大豆品种易导致生理小种变异,使得 SCN 的防治困难重重。

为了明确黑龙江大豆产区 SCN 发病的现状,我们自 2015 年至 2018 年、2019 年至 2022 年连续两年对黑龙江省大豆主产区进行田间 SCN 监测调查,测定采样地土壤胞囊检出率、胞囊数、增长率、生理小种等指标,为黑龙江省 SCN 的防治、大豆生产安全及大豆抗线虫育种提供指导。

1 材料与方法

1.1 植物材料

Riggs 模式鉴别寄主( Lee、Peking、Pickett、PI88788 和 PI90763)由黑龙江省农业科学院大豆研究所保存,2014—2017 年在黑龙江省农业科学院国

家现代农业示范区扩繁,每年收获成熟的大豆籽粒用于大豆胞囊线虫生理小种鉴定。

1.2 土壤样品采集

2015—2018 年,对黑龙江省地级市黑河市、齐齐哈尔市、大庆市、绥化市、伊春市其下辖的 18 个县(区)进行第一次取样调查(图 1)。2019—2022 年对哈尔滨市、鸡西市、佳木斯市、双鸭山市、牡丹江、齐齐哈尔市等下辖的 30 个县(区)取样调查(图 1)。采用“S”取样法,用环刀钻取 0~20 cm 深度的土壤,取 5 次混合成 1 个样品,自封袋封装并注明样品信息,收集的土样于 4℃保存。第一次共收集 1 557 份样品,第二次共收集 370 份样品。

1.3 胞囊分离和纯化

参照黄文坤等<sup>[8]</sup>的方法略有调整。采集的土壤自然风干后混匀,称取 200 g 土壤放入塑料桶中,加水充分搅动,稍静置后将上层悬浊液依次用 20 目和 80 目筛过滤,重复数次至不再观察到漂浮的胞囊,收集 80 目筛上的胞囊进行统计。

每个样品挑取 5 个饱满的胞囊,接种在 SCN 高感品种东生 1 号大豆上进行第一代繁殖。每颗大豆接种 1 个胞囊,繁殖用土壤和沙子比例 1:1,经高温灭菌后使用,人工气候室设定温度 25℃/22℃(昼/夜),光照时间 16 h。35~40 d 后挑取单胞囊进行第二代繁殖,丢弃没有胞囊的大豆苗。连续繁殖 5 代以获得近乎同源的胞囊群并大量繁殖,用于生理小种鉴定。

1.4 生理小种鉴定

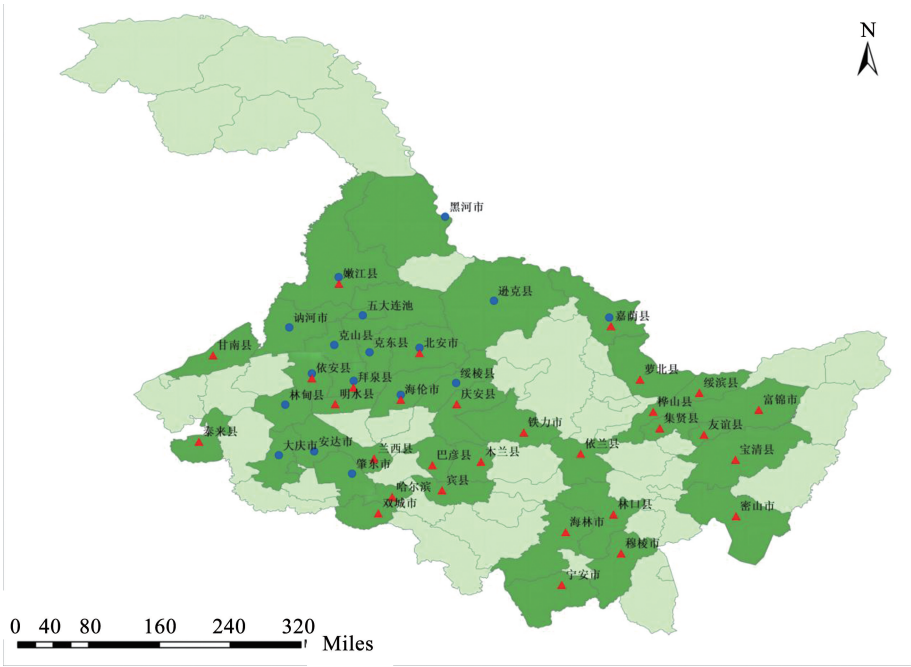
将鉴别寄主种植在灭菌的蛭石中,待萌发 3 d 后选取生长状态一致的幼苗移至直径 12 cm×8 cm 营养钵中,每钵 1 株,基质使用的土壤和沙子比例为 1:1,人工气候室设定温度为 25℃/22℃(昼/夜),光照时间 16 h。大豆幼苗生长至子叶展开接种 SCN J2,在根的两侧 1 cm 处打两个孔,每个孔接种 0.5 mL J2 悬浮液,每株大豆幼苗接种 800 条 J2。接种 21 d 后,用流水轻柔冲洗掉大豆根部沙土,统计根上的雌虫指数。

Lee 上平均胞囊数大于 60,则数据有效,若胞囊数不足 60,将再次扩繁该土样中的胞囊,重复接种,当 Lee 上平均胞囊数仍然达不到要求,视为样本无效。

雌虫指数(Female Index FI)=(单株平均雌虫数/感病对照“Lee”单株平均雌虫数)×100。

1.5 数据分析

数据使用 SPSS 22.0 软件 Tukey 的 HSD 法在 P<0.05 水平进行单因素方差分析。取样地地图使用 ArcGIS 10.1 软件绘制。



注:蓝色标注第一批取样地区,红色标注第二批取样地区。  
Note: Regions designated with blue annotations represent the first batch of sampling areas, while regions marked in red indicate the second batch of sampling areas.

图 1 土壤样品采集市县地理分布示意图

Fig. 1 Geographical distribution of soil sample collection in municipal counties from 2015 to 2018

2 结果与分析

2.1 2015—2018 年大豆胞囊线虫的胞囊检出率

土壤中胞囊的数量与 SCN 病发病程度成正相关。本研究自 2015—2018 年连续多年对黑龙江省大豆种植核心区及其辐射区的 18 个市县土壤进行采集,共收集土样 1 557 份,测定每 100 g 风干土的胞囊检出率(图 2)。结果发现,安达市、大庆市、林

甸县和泰康县 4 地采集的土壤在 2015 年未检测出胞囊,其余地区连续多年均检出 SCN; 2015—2017 年,大部分地区胞囊数量呈逐年增加的趋势,孙吴县在 2016 年胞囊检出数量最高,超过 45 个胞囊,依安县和大庆市 2017 年土壤胞囊检出略低于 2016 年。2017 年起,各采样地 100 g 干土土壤胞囊数均超过 25 个,安达市采集土壤 100 g 干土胞囊数高达 50 个。

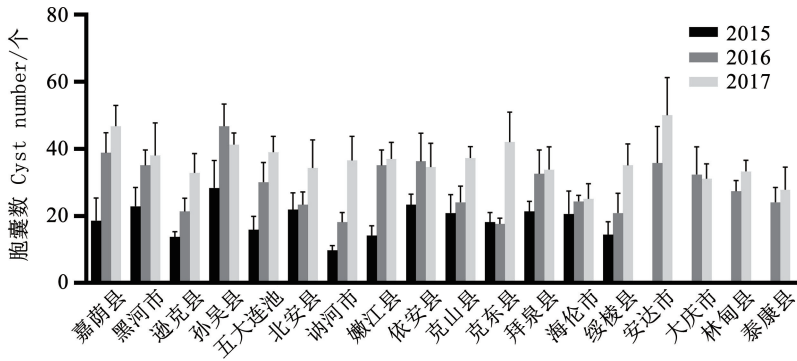


图 2 2015—2017 年黑龙江省 18 市县大豆种植主产区及辐射区土壤胞囊数  
Fig. 2 Soil cyst number in the main and surrounding soybean production areas of 8 cities and counties in Heilongjiang province from 2015 to 2017

对 2015 年至 2017 年 18 个市县胞囊检出率变化进行分析(表 1)。结果显示,相对 2015 年,孙吴县、绥棱县和依安县在 2016 年胞囊检出率分别下降了 2.1%、1.1% 和 1.5%,北安市、拜泉县、大庆市和泰康县 17 年胞囊检出率比 2016 年分别降低了

1.5%、1.2%、1.6% 和 6.2%;安达市、大庆市、林甸县及泰康县在 2015 年未检测出胞囊,其余 14 市县连续三年均检测出胞囊,且 10 个市县 2016 年和 2017 年两年胞囊检出率低于 2015 年和 2016 年间胞囊检出率。

表 1 土样胞囊检出率各年间差值(2015—2017)  
Table 1 Difference in cyst detection rates of soil samples between each year (2015 – 2017)

采样地点 Sampling site	样本 SCN 检出率年间差值			采样地点 Sampling site	样本 SCN 检出率年间差值		
	Annual difference in SCN detection rate				Annual difference in SCN detection rate		
	△16-15	△17-16	△17-15		△16-15	△17-16	△17-15
嘉荫县 Jiayin	6.7	0	6.7	克山县 Keshan	2.3	6.3	8.6
黑河市 Heihe	32.5	0	32.5	克东县 Kedong	12.1	3.5	15.6
逊克县 Xunke	16.7	0	16.7	拜泉县 Baiquan	3.3	-1.2	2.1
孙吴县 Sunwu	-2.1	2.1	0	海伦市 Hailun	8.2	0.3	8.5
五大连池 Wudalianchi	0	0	0	绥棱县 Suiling	-1.1	8.1	7.0
北安市 Beian	9.5	-1.5	8.0	安达市 Anda	-	0	-
讷河市 Nehe	14.7	5.3	20.0	大庆市 Daqing	-	-1.6	-
嫩江县 Nenjiang	12.5	0	12.5	林甸县 Lindian	-	0	-
依安县 Yian	-1.5	4.6	3.1	泰康县 Taikang	-	-6.2	-
平均 Average	-	-	-	平均 Average	8.7	1.1	9.8

2.2 不同采样年份间胞囊增长率

对 18 个样品采集市县 2015 年至 2017 年间胞囊增长情况进行分析(图 3)。结果表明,2015—2016 年克东县、孙吴县、依安县和大庆市胞囊数呈现负增长,增长率分别为 -2.7%、-11.5%、-5.2% 和 -3.7%,其余市县 2015—2017 年间胞囊增长率为正;讷河市增长率在 2015—2017 年达到最高,为

282.3%,此外,嘉荫县、逊克县、五大连池、嫩江县、克东县和绥棱县的 2015—2017 年胞囊增长率超 100%;18 个市县胞囊的平均增长率在 2015—2016 年为 54.5%、在 2016—2017 年为 25.0%、在 2015—2017 年为 93.1%,黑龙江省大豆产区土壤胞囊数逐年增长,但当胞囊达到一定数量后,增长速度明显减缓。

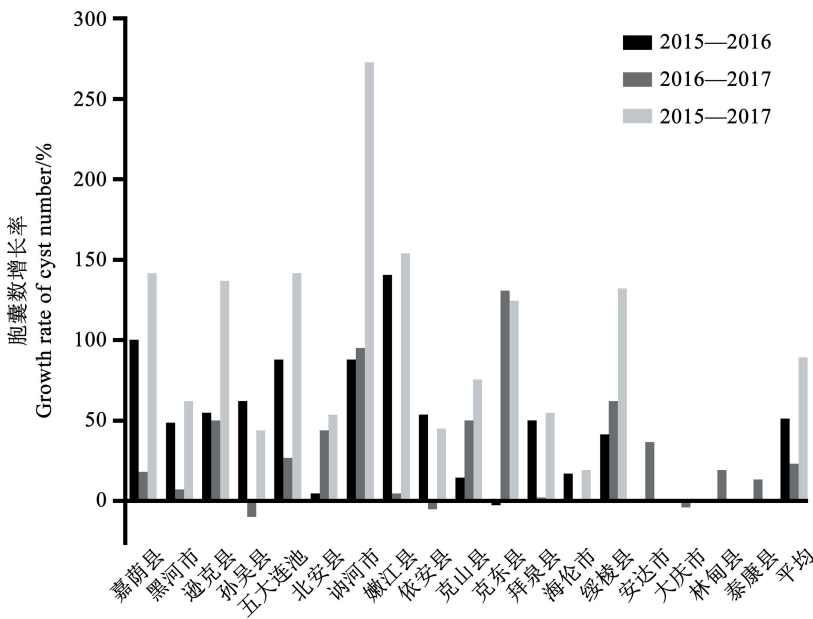


图 3 2015—2017 年各取样点胞囊数平均增长率  
Fig.3 Average growth rate of cyst number at sampling points from 2015 to 2017



2.3 大豆胞囊线虫生理小种鉴定

为监测大豆种植区及其辐射区 SCN 生理小种变化,对截止 2018 年收集到的 1 557 份土样进行生理小种鉴定,其中 323 份土样能有效确定生理小种类型,占总样品量的 20.7%,18 个市县胞囊检出率为 89.2%~100%(表 2)。试验结果显示,3 号生理

小种是黑龙江省大豆产区的优势种,在 18 个市县均有检出;除此之外,也检测出 6 号和 14 号生理小种,分别位于依安县第二良种场(6 号生理小种)、安达市太平镇德胜屯(14 号生理小种)、安达市安达镇吉利屯(14 号生理小种)和大庆市红旗泡(6 号生理小种)。

表 2 18 个市县 SCN 生理小种检测结果  
Table 2 Detection of SCN races in 18 counties of Heilongjiang Province

样本地点 Sampling site	样本总数 Total sample number/ 份	检出样 本总数 Number of samples detected/ 份	样本检出 率 Detection rate/ %	小种鉴定有效 样本数 Number of valid samples/ 份	小种鉴定有效 样本率 Valid sample rate/ %	生理小种 类型 Race	小种发生 变异地点 Mutation site of race
嘉荫县 Jiayin	95	93	97.8	19	20.0	3	
黑河市 Heihe	105	92	89.2	17	16.2	3	
逊克县 Xunke	85	80	94.4	21	24.7	3	
孙吴县 Sunwu	94	93	99.3	12	12.8	3	
五大连池 Wudalianchi	110	110	100.0	18	16.4	3	
北安市 Beian	95	88	93.3	10	10.5	3	
讷河市 Nehe	107	97	91.6	16	15.0	3	
嫩江县 Nenjiang	103	98	90.0	23	22.3	3	
依安县 Yian	107	100	93.8	19	17.8	3、6	第二良种场
克山县 Keshan	103	98	95.0	20	19.4	3	
克东县 Kedong	87	81	93.6	17	19.5	3	
拜泉县 Baiquan	104	100	96.1	21	20.2	3	
海伦市 Hailun	111	103	93.1	19	17.1	3	
绥棱县 Suiling	68	61	90.0	11	16.2	3	
安达市 Anda	56	53	94.6	18	32.1	3、14	太平镇德胜屯 安达镇吉利屯
大庆市 Daqing	46	44	95.5	21	45.7	3、6	红旗泡
林甸县 Lindian	47	42	89.4	23	48.9	3	
泰康县 Taikang	34	33	96.9	18	52.9	3	

2.4 2019—2022 年黑龙江部分地区 SCN 检出率

2015—2018 年检测经过显示,SCN 在取样地区普遍发生,为明确 2018 年后黑龙江中部、东部等大豆种植区 SCN 的发病情况,除随机选取拜泉县、依安县、北安市、嫩江县、嘉荫县和海伦市持续检测,同时,在 24 个 2015—2018 年未监测地区也进行取样测定(表 3)。结果表明,多有地区均检测到 SCN,除嘉荫县在 2019 年和 2022 年未检测到胞囊,拜泉

县、依安县、北安市、嫩江县以及海伦市第二次采集的所有样品都检测到胞囊,其中拜泉县、嫩江县和海伦市胞囊检出率连续 4 年达 100%。第二次新采集的 24 个地区,萝北县和绥滨县 2021—2022 两年收集的土样中没有提取到胞囊,集贤县在 2021 年胞囊未检出,其余市县连续 4 年收集的土样中检测到胞囊,且 12 个市县 2019—2022 年的胞囊检出率达到 100%。

表 3 黑龙江省 30 个市县 2019—2022 年 SCN 检出率和平均胞囊数

Table 3 SCN detection rate and cyst amount in 30 counties of Heilongjiang Province from 2019 to 2022

采样地点 Sampling site	样本数量 Sample number				检出率 Detection rate/%				平均胞囊数量 Average of cyst number			
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
哈尔滨市 Harbin	3	3	2	3	100	100	100	100	25.3	27.6	31.8	35.8
双城市 Shuangcheng	2	3	2	2	100	100	100	100	32.6	37.2	27.3	31.8
宾县 Binxian	4	5	3	4	100	80	100	100	22.4	38.7	22.5	19.3
依兰县 Yilan	8	3	5	4	75	100	80	100	11.3	15.6	10.8	12.7
木兰县 Mulan	5	5	4	5	100	100	100	100	19.8	22.1	14.7	16.5
拜泉县 Baiquan	2	8	7	8	100	100	100	100	16.7	28.9	24.5	24.6
依安县 Yian	5	7	8	5	80	57	50	100	16.5	19.1	14.8	17.8
桦川县 Huachuan	5	—	3	6	80	—	100	67	10.6	—	14.8	15.5
富锦市 Fujin	2	3	3	2	100	100	100	50	3.6	6.2	5.4	4.8
兰西县 Lanxi	3	3	4	2	33	100	50	100	12.4	10.3	15.7	8.3
宝清县 Baoqing	11	10	10	7	91	100	90	86	13.3	12.0	12.4	11.2
泰来县 Tailai	3	2	2	—	100	100	100	—	5.7	3.2	9.5	—
萝北县 Luobei	3	3	2	2	33	33	0	0	6.8	13.2	0.0	0.0
绥滨县 Suibin	2	3	1	2	50	33	0	0	4.4	6.2	0.0	0.0
集贤县 Jixian	4	2	1	2	50	100	0	50	16.8	21.7	0.0	9.8
友谊县 Youyi	3	3	2	2	67	67	50	100	23.5	27.3	16.4	12.6
密山市 Mishan	3	3	2	1	100	67	100	100	14.4	15.7	12.9	8.5
北安市 Beian	3	4	2	3	100	50	100	67	23.2	16.7	18.5	18.4
嫩江县 Nenjiang	4	2	3	2	100	100	100	100	15.7	18.8	25.3	13.6
明水县 Mingshui	4	3	3	3	100	100	100	100	16.3	15.4	12.8	11.7
巴彦县 Bayan	6	5	4	7	83	100	100	86	13.3	15.9	10.7	13.1
嘉荫县 Jiayin	1	2	1	1	0	100	100	0	0.0	16.3	18.4	0.0
铁力市 Tieli	2	1	2	1	100	100	100	100	13.2	17.3	10.4	16.3
海伦市 Hailun	3	2	3	1	100	100	100	100	23.4	16.4	26.2	11.3
林口县 Linkou	1	2	3	2	100	100	100	100	12.4	15.7	10.4	16.2
穆棱县 Suiling	1	2	—	2	100	50	—	100	8.3	13.2	—	9.3
宁安市 Ning'an	1	2	1	1	100	100	100	100	7.3	5.2	13.2	10.5
甘南县 Gannan	1	3	2	2	100	100	100	100	10.3	12.6	8.3	11.3
庆安县 Qing'an	3	2	1	1	100	100	100	100	12.4	15.6	11.3	15.0
海林市 Hailin	2	2	2	1	100	100	100	100	23.4	15.7	17.2	18.2

2.5 2019—2022 年黑龙江部分地区 SCN 胞囊数

土壤中的胞囊数与 SCN 发病程度呈正相关。2015—2018 年拜泉县、依安县、北安市、嫩江县、嘉荫县和海伦市检测到的平均胞囊数每 100 g 干土为 10 ~ 50 个,2019—2022 年这 6 个市县的平均胞囊数为每 100 g 干土 11.3 ~ 28.9 个,其中拜泉县 2020 年的胞囊数量最多,海伦市 2022 年的胞囊数最低。其余 24 个市县平均胞囊数为每 100 g 干土 3.2 ~ 38.7 个,其中以宾县 2020 年最高,泰来县 2020 年最低。

富锦市、泰来县和绥滨县连续 4 年检测到的胞囊数均小于 10 个,依兰县、桦川县、兰西县、宝清县、萝北县、密山市、明水县、巴彦县、铁力市、林口县、穆棱县、宁安市、甘南县和庆安县 2019—2022 年平均胞囊数范围为每 100 g 干土 10 ~ 20 个,其余 10 个市县在 4 年的胞囊数检测中至少有 1 年的土样中胞囊数大于每 100 g 干土 20 个,哈尔滨市和双城市 2019—2022 年连续 4 年的测定中每 100 g 干土胞囊数超过 20 个(表 3)。

### 3 讨论

世界范围内大豆主要种植国家每年因 SCN 造成数十亿的经济损失<sup>[9]</sup>。我国有两个大豆主产区,黄淮海地区和东北地区,其中黑龙江省是我国面积最大的大豆产区之一<sup>[10]</sup>。1899 年黑龙江省西部地区首次发现 SCN<sup>[11]</sup>,截止 2022 年,20 余个省份报道 SCN 病发生<sup>[10]</sup>。东北地区是 SCN 高发区,1936 年和 1942 年黑龙江省 13 个县报道 SCN 病发生<sup>[12-13]</sup>。刘汉起等<sup>[14]</sup>自 1976 年开始调查,至 1986 年,除抚远、嘉荫、逊克、孙吴以及呼玛县未调查,全省每个县均发现 SCN。孙玉秋等<sup>[15]</sup>对黑龙江 35 个市县的 112 份土壤进行调查,SCN 的检出率达 100%。黑龙江省每年因 SCN 导致大豆减产超 4 亿 kg,西部地区齐齐哈尔和大庆,北部地区黑河和东部地区佳木斯等地发病较重<sup>[4]</sup>。自 2015 年至 2022 年,我们对黑龙江省大豆种植区进行了两次大范围的 SCN 发病调查,第一批调查以嫩江平原为中心,第二批以三江平原为中心,所有取样市县均检测到 SCN,这与其他学者的研究结果相一致。2015—2018 年 18 个大豆种植区除大庆市、安达市、林甸县、泰康县在 2015 年可能由于取样的问题,采集的土壤样品中未检测到胞囊外,其余市县连续多年采集的土壤样品均检测到胞囊,整体上胞囊检测率呈上升趋势。第二次调查从 2015—2018 年监测的市县中随机选取的 6 个地区,嘉荫县 2019 年和 2022 年可能由于样本数量较少,没有 SCN 检出,同样,萝北县、绥滨县和集贤县的部分调查年限未检测出胞囊推测是同样原因。多年的监测结果说明黑龙江大豆种植区 SCN 病发病仍然严重,且有加重趋势,一旦发病,自然条件下,不受种植模式的影响,SCN 病无法清除,该病的防治面临着严峻的考验。

SCN 属于土传病害,以胞囊的形式在土壤中越冬,在遇到适宜的条件前,卵可在胞囊内存活数年,导致防治困难<sup>[16]</sup>。SCN 病的发病程度与田间胞囊密度密切相关<sup>[14]</sup>,对胞囊密度与大豆产量的关联性进行研究,结果发现,当 100 g 土中接种 1 个胞囊,大豆产量损失 15%,当胞囊数目达到每 100 g 干土 100 个时,大豆减产近 75%<sup>[17]</sup>。土壤中胞囊数逐年增加,危害逐年严重。调查发现,9 个地区胞囊增长率呈正增长,其余地区胞囊数达到最大值后呈降低或动态变化,推测土壤中胞囊数随着种植年限可能趋于饱和,但达到最大容量后增长速度减缓或降低。影响 SCN 传播的途径很多,种子来源、土壤理化性质、耕作方式、水源等<sup>[18]</sup>。黑龙江大豆种植历史悠久,大豆种植面积大,SCN 病遍及全省,在主产

区大豆连作问题严重,导致 SCN 发病日趋严重<sup>[15, 19]</sup>。机械化面积的扩大,也是造成胞囊线虫侵染期幼虫及胞囊跨地区传播的因素之一。有研究证实,SCN 对土壤的酸碱具有偏好性,在 pH 值 8.40 ~ 8.78 和 9.52 ~ 9.99,胞囊线虫二龄幼虫表现出趋向性<sup>[20]</sup>,黑龙江西部有 56.08 万  $\text{hm}^2$  盐碱土地,占松嫩平原现有耕地的 7%<sup>[21]</sup>,除嘉荫县,实验选取的 17 个取样地均位于松嫩平原,土壤盐碱化可能是土壤中胞囊数逐年增加的原因之一。

不同大豆品种上 SCN 的繁殖能力存在差异,以此将 SCN 分为不同的生理小种,常用的分类方法有 Riggs 和 Schmitt 建立的 16 个“Race 类型”的生理小种模式,以及 Niblack 等建立的“HG 类型”模式<sup>[22-25]</sup>。两种生理小种划分模式适用范围不同,“HG 类型”将 SCN 分为 128 个小种,过于细致的分类不利于抗性资源的选育,因此,育种专家习惯采用 Riggs 分类模式。本研究同样采用 Riggs 模式对采集的样品进行 SCN 生理小种鉴定。根据现有研究结果,我国现已发现 10 个生理小种,分别是中 1、2、3、4、5、6、7、9、13 和 14 号<sup>[19, 26-30]</sup>。生理小种的分布具有地域性,黄淮海地区生理小种复杂,优势小种为 2 号生理小种,此外还有 1 号、3 号、4 号、5 号、6 号和 11 号生理小种<sup>[31]</sup>。黑龙江地区鉴定到 5 个生理小种,分别是 1 号、3 号、4 号、6 号和 14 号,以致病力最弱的 3 号生理小种为优势种<sup>[32]</sup>。2015 年陈双等<sup>[33]</sup>在安达地区分别鉴定到 3 号、4 号和 14 号生理小种。另有研究对哈尔滨、大庆、绥化、佳木斯、牡丹江、双鸭山、伊春、鹤岗、鸡西、齐齐哈尔和黑河地区 SCN 生理小种调查,各地生理小种分别是哈尔滨 1 号、3 号、6 号,大庆(大庆、林甸县、泰安县)1 号、3 号、6 号,绥化(安达市、海伦市、绥棱县)1 号、3 号、4 号、6 号、14 号,佳木斯 3 号、4 号,牡丹江 3 号、6 号,双鸭山 3 号,伊春(嘉荫县)3 号,鹤岗 3 号,鸡西 3 号,齐齐哈尔(讷河市、克山县、克东县、拜泉县、依安县)3 号,黑河(黑河市、嫩江县、孙吴县、逊克县、五大连池、北安市)3 号、6 号<sup>[32]</sup>。本研究所采土样都位于上述地区内。明确生理小种对研究 SCN 防治策略及抗病育种具有重要的意义。对采集的 1 557 份土壤进行了 SCN 生理小种鉴定,结果表明,3 号生理小种依然是黑龙江大豆主产区的优势小种,所有采集地均检测出 3 号,但同时也在依安和大庆鉴定出 6 号生理小种,在安达鉴定出 14 号生理小种,这一结果与前人研究结果略有差异,未鉴定到部分生理小种类型,推测与土样中不同生理小种胞囊数量或者取样地位置、耕作模式等有关。2019—2022 年未对取样地 SCN 生理小种进行

鉴定,有待后续持续研究。SCN 的最经济、有效的防治手段是非寄主作物和抗性寄主作物轮作,但连年的种植抗性材料易造成 SCN 群体毒力增加,产生新的生理小种<sup>[34-36]</sup>。本研究中鉴定的生理小种在早前已有报道,未鉴定到新的生理小种,但现有抗线大豆品种有限,抗性单一,长期种植 SCN 毒力变化必然发生,探索利用有限的抗性大豆品种进行合理的轮作和倒茬的种植技术,减轻 SCN 对大豆生产造成的损失十分重要。

黑龙江省作为我国最大的大豆产区,SCN 发病普遍,是大豆生产中亟需解决的问题,但从现有的研究结果发现,缺乏长期针对 SCN 发病的跟踪监控及对生理小种的系统分析,相比于黄淮海地区,对黑龙江省 SCN 的研究相对落后,不利于 SCN 的防治和抗线育种,因此本研究在生产上具有重要意义,有促于推进黑龙江地区 SCN 综合防治方法开发,指导适种于黑龙江地区新抗线品种的选育以及探索大豆种植新模式。

4 结论

本研究对 2015—2022 年黑龙江省主要的大豆主产区 SCN 发病现状进行调查的结果表明:SCN 在黑龙江省的大豆种植区发病较为普遍,且有加重的趋势;生理小种鉴定显示,3 号生理小种仍是黑龙江省 SCN 的优势生理小种,同时鉴定到 6 号和 14 号生理小种。黑龙江省作为我国重要的大豆产区,连续多年对 SCN 发病的监控和调查有利于综合防治策略的制订,并为抗线虫育种提供指导。

参考文献

[1] ALLEN T W, BRADLEY C A, SISSON A J, et al. Soybean yield loss estimates due to diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2010 to 2014 [J]. Plant Health Progress, 2017, 18: 19-27.

[2] KOENNING S R, WRATHER J A. Suppression of soybean yield potential in the continental United States by plant diseases from 2006 to 2009 [J]. Plant Health Progress, 2010, 11(1). DOI: 10.1094/PHP-2010-1122-01-RS.

[3] 李沐慧,王媛媛,陈井生,等. 2015 年东北地区大豆田病害种类与危害程度调查研究[J]. 大豆科学, 2016, 35(4): 643-648, 671. (LI M H, WANG Y Y, CHEN J S, et al. Incidence and disease index of soybean diseases in the northeast of China in 2015[J]. Soybean Science, 2016, 35(4): 643-648, 671.)

[4] 侯丽. 黑龙江省大豆胞囊线虫病防治对策[J]. 黑龙江农业科学, 2017(4): 159-160. (HOU L. Control countermeasures of soybean cyst nematode disease in Heilongjiang Province [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2017(4): 159-160.)

[5] 朱治佳,袁明,韩冬伟,等. 浅析黑龙江省大豆胞囊线虫病防

治现状[J]. 大豆科技, 2022(4): 34-37. (ZHU Z J, YUAN M, HAN D W, et al. Current situation of soybean cyst nematode control in Heilongjiang Province [J]. Soybean Science & Technology, 2022(4): 34-37.)

[6] 谢晖. 植物线虫分类学[M]. 北京:高等教育出版社, 2005. (XIE H. Plant nematology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005.)

[7] TYLKA G L, MARETT C C. Distribution of the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines*, in the United States and Canada: 1954 to 2014[J]. Plant Health Progress, 2014, 15, 13-15.

[8] 黄文坤,叶文兴,王高峰,等. 宁夏地区禾谷孢囊线虫的发生与分布[J]. 农业大学学报, 2011, 30(1): 74-77. (HUANG W K, YE X W, WANG G F, et al. Occurrence and distribution of *Heterodera avenae* Wollenweber in Ningxia Hui Autonomous Region[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2011, 30(1): 74-77.)

[9] XU M Y, LI Y H, ZHANG Q X, et al. Novel miRNA and phasiRNA biogenesis networks in soybean roots from two sister lines that are resistant and susceptible to SCN Race 4 [J]. Plos One, 2014, 9(10): e110051.

[10] LIAN Y, KOCH G, BO D, et al. The spatial distribution and genetic diversity of the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines*, in China: It is time to take measures to control soybean cyst nematode[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 927773.

[11] LIU X Z, LI J Q, ZHANG D S. History and status of soybean cyst nematode in China. [J]. International Journal of Nematology, 1997, 7: 18-25.

[12] 桑山觉. 萎黄病病原线虫伪满洲国主要作物病虫害分布相及被害状况调查报告[J]. 满洲国主要农作物害虫分布相及被害状况调查报告,1936: 61. (JUE S S. A survey report on the distribution and damage status of major crop diseases and pests caused by the pathogen nematode of wilt disease in Manchukuo [J]. Survey Report on the Distribution and Damage Status of Major Crop Pests in Manchukuo, 1936:61

[13] 石川正示. 市、县旗别大豆根瘤菌着生状况及大豆线虫寄生状况调查成绩[J]. 第一期农事实验研究时报, 1942, 39:42. (ISHIKAWA Z S. Survey results on the growth status of soybean rhizobia and parasitic status of soybean nematodes in city and county flags [J]. The First Journal of Agricultural Experimental Research, 1942, 39:42)

[14] 刘汉起,商绍刚,霍虹,等. 黑龙江省大豆孢囊线虫发生危害及研究现状[J]. 大豆科学, 1987, 6(2): 141-150. (LIU H Q, SHANG S G, HUO H, et al. Present status of occurrence, injury and research of soybean cyst nematode in heilongjiang province[J]. Soybean Science, 1987, 6(2): 141-150.)

[15] 孙玉秋,许艳丽,李春杰,等. 黑龙江省大豆胞囊线虫种群分布和卵密度研究[J]. 大豆科学, 2011, 30(2): 250-253, 258. (SUN Y Q, XU Y L, LI C J, et al. Distribution of soybean cyst nematode and population density in Heilongjiang Province [J]. Soybean Science, 2011, 30(2): 250-253, 258.)

[16] DAVISEL E L, TYLKA G L. Soybean cyst nematode disease[J]. The Plant Health Instructor, 2000, 196. DOI: 10.1094/PHI-I-2000-0725-01.

[17] 周书其,王振荣,高同春,等. 大豆孢囊线虫危害大豆损失率研究[J]. 植物病理学报, 1990, 20(2): 116. (ZHOU S Q,



WANG Z R, GAO T C, et al. Study on soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) damage and yield loss rate [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 1990, 20(2): 116. )

[18] 刘维志. 植物病原线虫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. (LIU W Z. Plant pathogenic nematology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000. )

[19] 董丽民, 许艳丽, 李春杰, 等. 黑龙江省大豆胞囊线虫胞囊密度和生理小种鉴定[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(1): 108-111. (DONG L M, XU Y L, LI C J, et al. Cyst density and subspecies idntification of soybean cyst nematode in Heilongjiang Province[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008, 30(1): 108-111. )

[20] 华萃. 大豆胞囊线虫致病性变异及趋化性研究[D]. 哈尔滨: 中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所), 2018. (HUA C. Virulence variation and chemotaxis of soybean cyst nematode *Heterodera glycines*[D]. Harbin: Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, 2018. )

[21] 王浩民, 吴明官. 黑龙江省松嫩平原盐碱地治理方略[J]. 黑龙江水利科技, 2015, 43(10): 1-6. (WANG H M, WU M G. Saline alkali land control strategy of Songnen Plain in Heilongjiang Province [J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2015, 43(10): 1-6. )

[22] ROSS F P. Physiological strains of *Heterodera glycines*[J]. Plant Disease Reporter, 1962, 46: 766-769.

[23] GOLDEN A, ET A. Terminology and identity of infraspecific forms of the soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) [J]. Plant Disease Reporter, 1970, 54: 544-546.

[24] RIGGS R D, SCHMITT D P. Complete characterization of the race scheme for *Heterodera glycines*[J]. Journal of Nematology, 1988, 20(3): 392-395.

[25] NIBLACK T L, ARELLI P R, NOEL G R, et al. A revised classification scheme for genetically diverse populations of *Heterodera glycines* [J]. Journal of Nematology, 2002, 34(4): 279-288.

[26] 陈品三, 张东生, 陈森玉. 大豆胞囊线虫(*Heterodera glycines*) 7号生理小种的研究初报[J]. 中国农业科学, 1987, 20(2): 94. (CHEN P S, ZHANG D S, CHEN S Y. First report on a new physiological race (race 7) of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1987, 20(2): 94. )

[27] 刘汉起, 商绍刚, 霍虹, 等. 大豆胞囊线虫(*Heterodera glycines*)生理小种研究初报[J]. 大豆科学, 1985, 4(2): 131-136. (LIU H Q, SHANG S G, HUO H, et al. Study on physiological race of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) [J]. Soybean Science, 1985, 4(2): 131-136. )

[28] 刘晔, 刘维志. 大豆胞囊线虫的生理小种鉴定结果(II)[J]. 沈阳农业大学学报, 1989, 20: 41-44. (LIU Y, LIU W Z. Identification of races in soybean cyst nematode [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1989, 20: 41-44. )

[29] 卢为国, 盖钧镒, 李卫东. 黄淮地区大豆胞囊线虫生理小种的抽样调查与研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(2): 306-312. (LU W G, GAI J Y, LI W D. Sampling survey and identification of races of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines* ichinohe) in Huang-Huai valleys [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(2): 306-312. )

[30] 杨柳, 田中艳, 周长军, 等. 大庆、安达地区大豆胞囊线虫生理小种鉴定[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(6): 76-79. (YANG L, TIAN Z Y, ZHOU C J, et al. Identification of subspecies of soybean cyst nematode in Daqing and Anda areas [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2015, 40(6): 76-79. )

[31] 练云, 王金社, 李海朝, 等. 黄淮大豆主产区大豆胞囊线虫生理小种分布调查[J]. 作物学报, 2016, 42(10): 1479-1486. (LIAN Y, WANG J S, LI H C, et al. Race distribution of soybean cyst nematode in the main soybean producing area of Huang-Huai Rivers valley [J]. Acta Agronomica Sinica, 2016, 42(10): 1479-1486. )

[32] 陈井生. 黑龙江省大豆胞囊线虫毒力类型分析及品种抗性研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019. (CHEN J S. Analysis of *Heterodera glycines* virulence phenotype and soybean cultivars resistance in Heilongjiang Province [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019. )

[33] 陈双, 潘凤娟, 周长军, 等. 黑龙江省安达地区大豆胞囊线虫生理小种遗传分化现象[J]. 土壤与作物, 2015, 4(1): 42-47. (CHEN S, PAN F J, ZHOU C J, et al. Genetic variation of soybean cyst nematode races in Anda area of Heilongjiang Province [J]. Soil and Crop, 2015, 4(1): 42-47. )

[34] CHEN S, LANG P, CHRONIS D, et al. In planta processing and glycosylation of a nematode clavata3/endosperm surrounding region-like effector and its interaction with a host clavata2-like receptor to promote parasitism[J]. Plant Physiology, 2014, 167(1): 262-272.

[35] NIBLACK T L, COLGROVE K B, COLGROVE A C. Soybean cyst nematode in Illinois from 1990 to 2006; Shift in virulence phenotype of field populations. Journal of Nematology, 2006, 38: 285.

[36] 田中艳, 高国金, 周长军, 等. 大豆胞囊线虫生理小种变异的研究[J]. 大豆科学, 2007, 26(2): 290-292. (TIAN Z Y, GAO G J, ZHOU C J, et al. Study on the variation of soybean cyst nematode [J]. Soybean Science, 2007, 26(2): 290-292. )