山西省中南部小麦上孢囊线虫的发生、分布及种群特征

李晓琳[1]， 席天元[2]， 张耀芳[3]， 李 磊[1]， 刘 坤[1]， 郑经武[1*]

(1. 浙江大学农业与生物技术学院生物技术研究所，杭州 310058；2. 山西省农业科学院棉花研究所，运城 044000；3. 山西省晋城市植物保护站，晋城 048000)

摘要 本研究于2011—2017年对山西省主要市(县)小麦上孢囊线虫的发生与分布进行了较系统的调查研究，从运城、晋城、临汾、长治、晋中、太原等市小麦产区百余个乡镇采集和分离小麦根及根围土壤样品1 131份，其中336份检出有孢囊线虫，检出率为29.7%；运城市和临汾市小麦根及根围土壤样品孢囊检出率高，分别达到42.3%和32.5%，晋中市、长治市、太原市以及晋城市等地区也发现有不同程度的分布。因地区、栽培制度和土壤质地等的不同，土壤中线虫的群体密度也存在较大的差异，白雌虫密度最高的群体分布在运城市的一些地区(每100 mL土壤中白雌虫数平均达到101个)。通过形态学鉴定明确山西省小麦上孢囊线虫群体种类较为单一，均为禾谷孢囊线虫 *Heterodera avenae*，未发现我国小麦上另一重要的孢囊线虫种类——菲利普孢囊线虫 *H. filipjevi*。小麦孢囊线虫在山西不同地区的发生和分布情况为山西省针对性地开展小麦上孢囊线虫的综合治理提供了有价值的信息。

关键词 小麦； 孢囊线虫； 分布； 阴门锥； 鉴定

中图分类号： S 435.121 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2017305

Occurrence, distribution and species characteristics of cyst nematode on wheat in central and South region of Shanxi, China

LI Xiaolin[1], XI Tianyuan[2], ZHANG Yaofang[3], LI lei[1], LIU Kun[1], ZHENG Jingwu[1]

(1. *Institute of Biotechnology, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou* 310058, *China*; 2. *Cotton Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng* 044000, *China*; 3. *Jincheng Plant Protection Station, Shanxi* 048000, *China*)

Abstract During 2011 to 2017, occurrence and distribution of cyst nematodes on wheat were surveyed in Shanxi, China. 1 131 soil and root samples were collected in 6 major wheat production areas, including Yuncheng, Jincheng, Linfen, Changzhi, Jinzhong, and Taiyuan. 336 samples were detected with cyst nematodes, with the total incidence of 29.7%. The highest incidence occurred in Yuncheng and Linfen, with the rate of 42.3% and 32.5%, respectively. The cyst nematodes infection and distribution were also detected in Jinzhong, Changzhi, Taiyuan and Jincheng. The highest average density of white females was in Yuncheng, which reached 101 white females per 100 mL soil. All the cyst nematodes populations detected in wheat fields of Shanxi were identified as *Heterodera avenae* (CCN) based on morphological identification, while no *H. filipjevi* population was detected. The results provide the data on incidence and distribution of CCN in different localities of Shanxi Province, which would be useful for proper integrated management of CCN in the province.

Key words wheat; cyst nematode; distribution; vulva cone; identification

小麦孢囊线虫病是小麦生产上一种重要的土传病害，其病原主要是禾谷孢囊线虫 *Heterodera avenae* (CCN)，该线虫是温带禾谷类作物上最重要的植物病原之一[1]。禾谷孢囊线虫除危害小麦外，还

收稿日期： 2017-08-14 **修订日期**： 2017-11-15
基金项目： 国家公益性行业(农业)科研专项(201503114)
* 通信作者 E-mail: jwzheng@zju.edu.cn

危害大麦、燕麦、莜麦、黑麦等禾谷类作物[2]。其在欧洲、亚洲、北美洲、南美洲、非洲和大洋洲 40 多个国家和地区都有不同程度的危害,尤其以欧洲、美洲和大洋洲发生为重[3]。湖北省是我国最早记录发现该线虫分布及危害的地区[4],随后安徽、河南、陕西、内蒙古、新疆、西藏、甘肃、江苏、宁夏、河北、天津、山西、北京、湖南、山东、青海等省市相继发现该线虫的分布。禾谷孢囊线虫可使一些小麦产区减产 20%～40%,重者达 70%以上[5-15]。另外,彭德良等在河南采集的土样中发现菲利普孢囊线 *Heterodera filipjevi*,这是我国首次发现菲利普孢囊线虫危害小麦[16],随后在其他地区也发现菲利普孢囊线虫的分布[17]。

山西东依太行山,西、南依吕梁山、黄河,北依长城,与河北、河南、陕西、内蒙古等省区接壤,地处华北平原西部,地形多为山地、丘陵,山区面积约占全省总面积的 80%以上,是中国小麦生产的重要省份之一。年种植小麦面积约 70 多万 hm^2,主要分布在山西的中南部地区。关于山西省小麦主产区小麦上孢囊线虫的分布及发生规律一直缺乏系统的报道,详细地了解山西省小麦上孢囊线虫的发生、分布及种群特征等对于有针对性地进行防治具有重要的指导意义。

1　材料与方法

1.1　山西省不同地区小麦孢囊线虫发生情况调查

1.1.1　土样的采集

2011－2017 年,按照彭德良等的方法[18],在小麦抽穗扬花期对山西省的主要小麦种植区——运城、临汾、晋城、长治、太原和晋中等市辖属地区进行小麦孢囊线虫种群调查。每个调查点采集 3～5 块小麦田的耕作层(表土下约 5～20 cm)土壤,每块小麦田采用随机采样法和五点取样法,利用不锈钢园艺铲采集小麦全部根及根围土壤 1～1.5 kg,观察根系上是否有白色雌虫存在,装于自封塑料袋混匀,做好标记,记录下采集地点的 GPS 数据、土壤质地等信息。

1.1.2　孢囊及白雌虫的分离

采用改进的漂浮分离法收集样品中的孢囊及白雌虫[19]。具体方法:将采集回来的样品充分混匀,用小烧杯取 100 mL 土样,在强水流冲洗下经 24 目(孔径 800 μm)和 60 目(孔径 250 μm)金属网筛过滤,将下面 60 目网筛(孔径 250 μm)上的残留物冲洗到烧杯中,经定性滤纸滤干水后,在体视显微镜下用挑针将孢囊和白雌虫挑出,并计数。

1.2　山西省不同地区小麦孢囊线虫种类鉴定

按刘维志的方法[20]制作孢囊阴门锥。在体视显微镜下,将分离得到的小麦孢囊线虫孢囊挑至盛有蒸馏水的培养皿中,置于室温下 24 h;取一洁净载玻片并在上面滴加一滴纯甘油,在体视显微镜下,将浸泡过夜的孢囊移至甘油滴中,用解剖刀切下孢囊后部的阴门锥部分;用毛针仔细清除阴门锥内附着物,将阴门锥移至另一滴甘油中清洗和修正;将修好的阴门锥依次放置在盛有 95%和 100%乙醇的载玻片上脱水;将脱水后的阴门锥移到载有纯甘油的载玻片上,使阴门锥顶端向上,然后加盖盖玻片,用中性树胶封固,贴上标签。

2　结果与分析

2.1　2011－2017 年山西省小麦上孢囊线虫调查及分布

2011 年－2017 年期间,对山西省的主要小麦产区——运城、临汾、晋城、长治、太原和晋中等 6 市百余个乡镇进行了小麦孢囊线虫的系统调查。采集和分离小麦样品 1 131 份,有 336 份检出孢囊线虫,占总样品的 29.7%,其中运城市和临汾市的小麦孢囊线虫检出率最高,检出数分别占该地区总样品数的 42.3%和 32.5%(表 1)。调查发现,山西省小麦孢囊线虫主要分布在运城市的闻喜县、夏县、绛县、新绛县、稷山县、垣曲县、芮城县、平陆县、盐湖区、永济市;临汾市的侯马市、洪洞县、襄汾县、临汾市、翼城县;晋城市的阳城县;长治市的长治县、黎城县及晋中市的太谷县和太原市等地区。

表 1　2011－2017 年山西省小麦孢囊线虫分布调查情况

Table 1　Distribution of CCN on wheat in Shanxi Province during 2011－2017

地区 Location	样品数/个 No. of samples	检出孢囊的样品数/个 No. of samples with cysts	检出率/% Percentage of samples with cysts
运城市 Yuncheng	466	197	42.3
晋城市 Jincheng	100	21	21.0
临汾市 Linfen	246	80	32.5
长治市 Changzhi	90	17	18.9
晋中市 Jinzhong	175	16	9.1
太原市 Taiyuan	54	5	9.3
合计 Total	1131	336	29.7

2.2 2011－2017 年山西省不同地区小麦上白雌虫的分布

运城、晋城、临汾、长治、晋中和太原等市发生小麦孢囊线虫的地块，都在田间观察到当年新形成的白色雌虫(表 2)。这 6 个市共检出有孢囊样品 336 个，其中运城市、临汾市是小麦孢囊线虫的高发地带，但土壤中线虫的群体密度各不相同。根据当年新形成的白雌虫数显示，运城市有 24 个调查地块的群体密度很高，样品中当年新形成的白雌虫平均数达到为 94 个/100 mL土壤；运城市有 36 个地块，临汾市有 18 个地块，晋中市有 14 个地块白雌虫的密度超过 20 个/100 mL土壤。此外，晋城市、长治市、太原市检出小麦孢囊线虫白雌虫的地块群体密度较低(＜20 个/100 mL土壤)。显示小麦孢囊线虫在山西省主要小麦种植区分布不均匀，危害程度也存在一定的差异。

因地区、栽培制度和土壤质地等的不同，土壤中线虫的群体密度也存在较大的差异。不同地区土壤中新形成的白雌虫的群体密度差异明显，最少的临汾市襄汾县采集的一个样品，新形成的白雌虫的群体密度为 3 个/100 mL土壤，而最多的运城市盐湖区古南庄一群体则达到 101 个/100 mL土壤；同一地区，不同县市甚至不同村落，小麦孢囊线虫的分布也十分不均，即使地理位置较近，白雌虫密度也显示出较大差异，如运城市夏县白雌虫密度最大的水头镇的南乔村与密度最小的仪门村，平均白雌虫数目差距达 66 个/100 mL土壤。

2.3 山西省小麦上孢囊线虫的鉴定

经形态学鉴定，山西省中南部发生的小麦孢囊线虫病的病原为禾谷孢囊线虫 *Heterodera avenae* (CCN)。观察山西小麦上 CCN 成熟孢囊阴门锥切片，其整体具有相似性，但不同地区之间具有一定差异。整体来看，孢囊呈柠檬形且比较丰盈，深褐色，内充满卵。有突出的颈部并且颈较长，阴门锥显著。阴门膜孔为双膜孔，并且膜孔接近圆形，十分显著。无下桥结构，有泡状突起。从调查来看，运城市采集的孢囊阴门锥泡状突较多并且明显，而晋城、临汾、长治等市采集的孢囊阴门锥具泡状突，泡状突相对较小(图 1)。这说明不同地区间孢囊线虫的形态存在一定的差异，但从整体特点来看，山西省内采集到的虫体孢囊比较符合禾谷孢囊线虫的特征。

表 2 2011－2017 年山西省有白雌虫地块的 CCN 发生程度[1)]

Table 2 Occurrence of CCN white females collected from Shanxi Province during 2011－2017

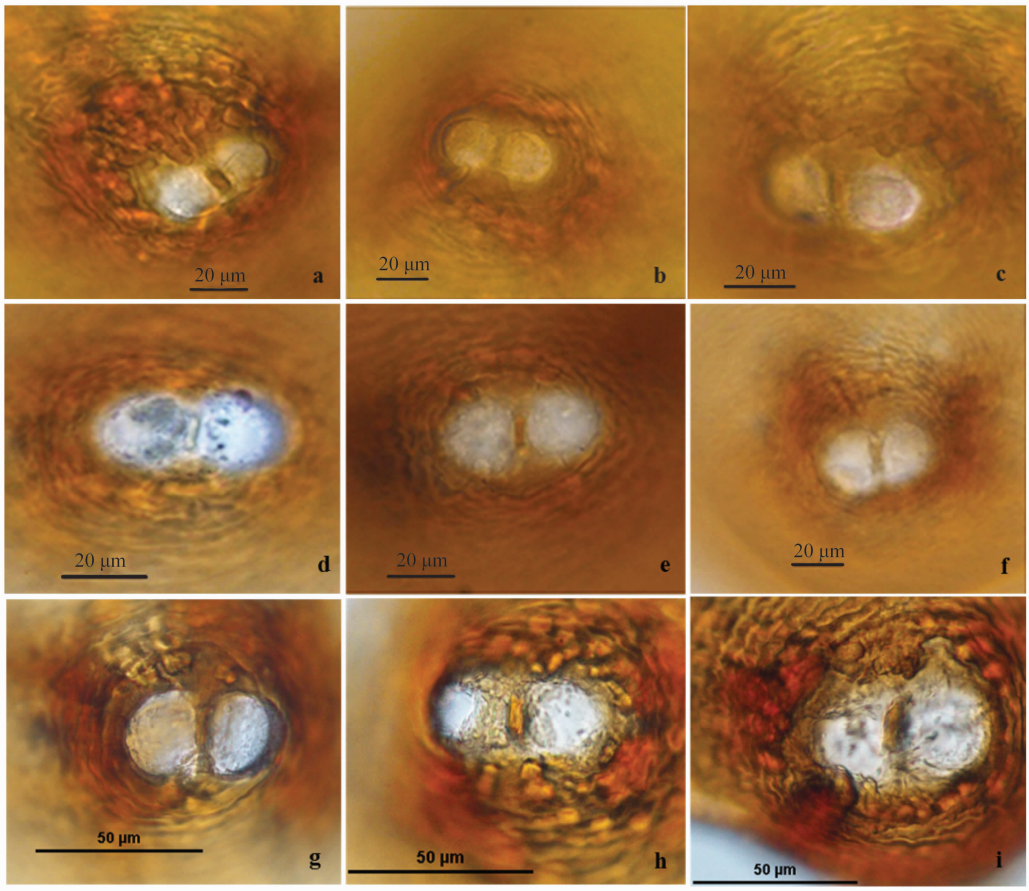
市 Location	发生程度 Occurrence degree	检出孢囊的样品数/个 No. of samples with cysts	平均白雌虫数/个·(100 mL)$^{-1}$ Average density of white female	田块类型 Field type
运城市 Yuncheng	＋	137	12	水浇地
	＋＋	36	32	
	＋＋＋	24	94	
晋城市 Jincheng	＋	21	7	旱地
临汾市 Linfen	＋	62	7	水浇地
	＋＋	18	48	
长治市 Changzhi	＋	17	9	水浇地
晋中市 Jinzhong	＋	2	5	水浇地
	＋＋	14	39	
太原市 Taiyuan	＋	5	13	水浇地

1) 土壤中白雌虫的群体密度："＋"，平均白雌虫数 1～20 个/100 mL 土壤；"＋＋"，平均白雌虫数 21～50 个/100 mL 土壤；"＋＋＋"，平均白雌虫数＞50 个/100 mL 土壤。
Population density of white females in soil："＋", 1－20 white females per 100 mL soil; "＋＋", 21－50 white females per 100 mL soil; "＋＋＋", ＞50 white females per 100 mL soil.

3 讨论

我们对山西中南部等地区小麦根围分离获得的孢囊线虫群体进行了形态学鉴定，明确山西省目前只有禾谷孢囊线虫，未发现菲利普孢囊线虫，鉴于菲利普孢囊线虫在与山西毗邻的河南省有分布，要密切监测其传播和蔓延。

Subbotin 基于 *cox* Ⅰ基因序列等特征差异将来自中国的 *Heterodera avenae* 群体描述为一新种—*Heterodera sturhani*[21]，因其孢囊的主要鉴别特征如阴门锥的特征(如阴门膜孔的类型、泡状突)等比较稳定，我们认为其与 *H. avenae* 有关的分子及形态测量值的差异应为 *H. avenae* 种内群体的差异。



a: 运城市夏县群体; b: 运城市闻喜县群体; c: 运城市稷山县群体; d: 晋城市沁水县群体; e: 临汾市洪洞县群体; f: 长治市长治县群体; g: 运城市芮城县群体; h: 运城市盐湖区群体; i: 运城市永济群体
a: Xiaxian population in Yuncheng; b: Wenxi population in Yuncheng; c: Jishan population in Yuncheng; d: Qinshui population in Jincheng; e: Hongtong population in Linfen; f: Changzhi population in Changzhi; g: Ruicheng population in Yuncheng; h: Yanhu population in Yuncheng; i: Yongji population in Yuncheng

图 1　山西省不同地区部分小麦孢囊线虫群体阴门锥的主要特征

Fig. 1　Characteristics of vulva cone of different CCN populations from Shanxi Province

山西省地处我国华北西部的黄土高原地带,气候复杂,南北跨度较大,80%以上为山地,主要农作物为小麦和玉米等,其东西南北分别与河北、陕西、河南、内蒙古相邻。而小麦孢囊线虫在此四省均有发生,且河南省发病程度较重。已证实农事耕作,联合收割机跨地区作业加快了小麦孢囊线虫病害的传播与流行[22-23]。近年小麦孢囊线虫在山西传播很可能和上述因素密切相关。

土壤质地、耕作制度和灌溉水平也对小麦孢囊线虫的发生影响较大。山西省因土壤质地和灌溉水平差异较大,CCN 在所调查地区的发病程度也存在一定的差异。本研究调查发现,CCN 发生和分布较严重的是运城市和临汾市辖属的地区,这可能跟运城和临汾系山西省主要小麦种植区且位于山西南部,土壤质地以砂壤土和壤土为主,灌溉条件相对较好有关;而晋城市和长治市等地的土壤质地为棕壤黏土,灌溉条件相对较差,小麦的种植面积相对较小,CCN 的发生和分布较少。

小麦孢囊线虫病属于积年流行病害,其病原物小麦孢囊线虫一年只发生一个世代,由于该线虫对不良环境条件如干旱和高温具有很强的适应性,土壤中孢囊量会逐年递增,危害会逐年加重。调查发现小麦孢囊线虫发生较为严重的地块,从外观上看小麦长势仍然很好,而且小麦孢囊线虫危害小麦后表现的症状很容易和缺水、缺营养素等生理病害混淆,从而被许多农业技术人员和农民所忽视,因此要引起有关农业职能部门的重视和关注。此外,不同生态环境条件下,禾谷孢囊线虫致病型也存在差异,这也增加了抗病育种工作的难度[24-25]。因此,详细地了解 CNN 在山西省内的分布规律,明确不同地区

的致病型等，有助于其防治策略的制定及综合治理。

4 结论

本研究在山西省中南部的运城、晋城、临汾、晋中、长治和太原等主要小麦种植区均发现有孢囊线虫的分布，但各地区小麦田间孢囊密度差别较大，显示出小麦上孢囊线虫发生的不均衡性，其中，以运城市和临汾市等地区分布较普遍。山西省的孢囊线虫群体均为禾谷孢囊线虫 *Heterodera avenae*，未检出菲利普孢囊线虫 *H. filipjevi*。

参考文献

[1] RICOAL R, NICOL J M. Past research on the cereal cyst nematode complex and future needs [M]// Riley I T, Nicol J M, Dababat A A. Cereal cyst nematodes: status, research and outlook: Proceedings of the first workshop of the international cereal cyst nematode initiative, 21 - 23 October, 2009, Antalya, Turkey. CIMMYT, 2009: 3 - 10.

[2] MICHEL L, RICHARD A S, JOHN B. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture [M]. CABI, 2005: 131 - 191.

[3] NICOL J M, RICOAL R. Global knowledge and its application for the integrated control and management of nematodes on wheat [M]// Ciancio A, Mukerji K G. Integrated management and biocontrol of vegetable and grain crops nematodes. New York: Springer Press, 2008: 251 - 294.

[4] 陈品三，王明祖，彭德良. 我国小麦禾谷孢囊线虫（*Heterodera avenae* Wollenweber）的发现与鉴定初报[J]. 中国农业科学，1991，24(5)：89.

[5] 齐淑华，彭德良，张东升，等. 禾谷孢囊线虫在我国的新寄主及新分布区初报[J]. 植物保护，1994，20(4)：52.

[6] 郑经武，林茂松，程瑚瑞，等. 安徽省小麦上两个孢囊线虫群体的鉴定[J]. 江苏农业学报，1996，12(1)：31 - 35.

[7] 吴慧平，杨传广，陈良宏，等. 安徽省小麦根际线虫的鉴定和分布[J]. 安徽农业大学学报，2010，37(2)：189 - 195.

[8] 欧师琪，彭德良，李玉，等. 河南郑州小麦禾谷孢囊线虫（*Heterodera avenae*）的核糖体基因 ITS 序列和 RFLP 分析[J]. 植物病理学报，2008，38(4)：407 - 413.

[9] 赵杰，张管曲，康振生. 陕西省小麦禾谷孢囊线虫病的新发生地区与田间侵染规律[J]. 中国农业科学，2013，46(16)：3496 - 3503.

[10] 陈新，周洪友，马玺. 内蒙古中西部地区小麦禾谷孢囊线虫的发生分布[J]. 植物保护，2009，35(5)：114 - 117.

[11] 李惠霞，柳永娥，魏庄. 新疆和西藏发现禾谷孢囊线虫的分布[M]// 廖金铃，彭德良，段玉玺，等. 中国线虫学研究（第 4 卷），北京：中国农业科学技术出版社，2012：164 - 165.

[12] 李惠霞，刘永刚，朱锐东，等. 甘肃省小麦禾谷孢囊线虫的发生及分布[J]. 植物保护，2016，42(3)：170 - 174.

[13] 王暄，梁中伟，裴世安，等. 江苏省小麦禾谷孢囊线虫群体核糖体 DNA-ITS 区序列分析[J]. 南京农业大学学报，2010，33(6)：55 - 62.

[14] 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]. 华中农业大学学报，2011，30(1)：74 - 77.

[15] 彭德良，黄文坤，孙建华，等. 我国天津发现小麦禾谷孢囊线虫[M]// 廖金铃，彭德良，段玉玺，等. 植物线虫学研究（第 4 卷），北京：中国农业科学技术出版社，2012：162 - 163.

[16] PENG D L, YE W X, PENG H, et al. First report of the cyst nematode (*Heterodera filipjevi*) on wheat in Henan Province, China [J]. Plant Disease, 2010, 94(10): 1262.

[17] 徐姣，刘佳，代君丽，等. 中国黄淮麦区菲利普孢囊线虫淮阳和博爱致病型群体特异性 SCAR 标记的建立[J]. 麦类作物学报，2016，36(4)：523 - 530.

[18] 彭德良，张东生，齐淑华，等. 禾谷孢囊线虫调查适期和方法[J]. 植物保护，1993，19(6)：48.

[19] 谢辉，冯志新. 植物线虫的分类现状[J]. 植物病理学报，2000，30(1)：1 - 6.

[20] 刘维志. 植物病原线虫学[M]. 北京：中国农业出版社，2000：399 - 400.

[21] SUBBOTIN S A. *Heterodera sturhani* sp. n. from China, a new species of the *Heterodera avenae* species complex (Tylenchida: Heteroderidae) [J]. Russian Journal of Nematology, 2015, 23(2): 145 - 152.

[22] MEAGHER J W. World dissemination of the cereal-cyst nematode (*Heterodera avenae*) and its potential as a pathogen of wheat [J]. Journal of Nematology, 1977, 9(1): 9.

[23] 刘刚. 农业部种植业管理司提醒：跨区收割可传带小麦孢囊线虫[J]. 农药市场信息，2009(16)：42.

[24] 陈品三，王明祖，彭德良. 我国小麦禾谷孢囊线虫（*Heterodera avenae* Wollenweber）鉴定研究[J]. 植物病理学报，1992，22(4)：339 - 379.

[25] 郑经武，程瑚瑞，方中达. 小麦禾谷胞囊线虫致病型研究[J]. 植物病理学报，1997，27(4)：309 - 314.

（责任编辑：杨明丽）