

# 山东省小麦禾谷孢囊线虫的分布及其 rDNA-ITS 分析

刘崇俊<sup>1,2</sup> 黄文坤<sup>1</sup> 崔江宽<sup>1</sup> 彭德良<sup>1</sup> 李红梅<sup>2</sup>

1. 中国农业科学院植物保护研究所/植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095

**摘要** 采用随机抽样的方法,对中国山东省 7 个地区 19 个乡(镇)的小麦孢囊线虫的分布和发生情况进行调查,并根据形态和 rDNA-ITS 分子特征对病原线虫种类进行鉴定。结果表明:在山东省临沂、莱芜、淄博、潍坊、东营、威海、烟台等 7 个地区发生的孢囊线虫均为禾谷孢囊线虫(*Heterodera avenae* Wollenweber),其检出率为 70.9%,且以东营市和潍坊市的孢囊数及卵量最高,烟台市的孢囊数及卵量最低。

**关键词** 禾谷孢囊线虫; 分布; 小麦; 核糖体内转录间隔区

**中图分类号** S 432.4<sup>+5</sup> **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)05-0055-06

小麦禾谷孢囊线虫(*Heterodera avenae* Wollenweber, 俗称 cereal cyst nematode, CCN)是小麦孢囊线虫病的重要病原线虫,已在全世界 40 多个国家和地区发生<sup>[1]</sup>,可寄生小麦、大麦、燕麦等 27 属禾本科作物和黑麦草、鹅冠草、苇状羊茅等 10 多种禾本科杂草,严重影响禾谷类作物的产量和品质。中国于 1989 年 7 月在湖北省天门县岳口镇首次发现小麦孢囊线虫病,随后在河南、河北、北京、山西、江苏、甘肃、宁夏、陕西、天津、新疆和西藏等地区均发现禾谷孢囊线虫危害小麦,发生面积超过 400 万  $\text{hm}^2$ <sup>[2-4]</sup>。随着全球气候的变化,干旱缺水的年份不断增多,受旱地区面积将不断扩大。了解小麦孢囊线虫病的发生分布及危害情况,对保障粮食生产安全具有重要意义。

山东省的小麦种植面积位居中国第二,常年种植面积约 350 万  $\text{hm}^2$ <sup>[5]</sup>。2005 年在山东省菏泽地区首次报道有小麦孢囊线虫病发生,随后在济南、济宁、枣庄、德州、滨州等地区也相继发现<sup>[6]</sup>。笔者对山东省以前未曾发生小麦孢囊线虫病的临沂、莱芜、淄博、潍坊、东营、威海和烟台等 7 个地区小麦田孢囊线虫的发生与危害情况进行了抽样调查,并通过形态学和分子生物学方法对小麦禾谷孢囊线虫群体进行了种类鉴定与系统发育进化分析,旨在为有效控制病害和制定综合防治策略提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查地点和取样方法

在 2012 年 4—5 月的小麦抽穗扬花期,对山东省临沂、莱芜、淄博、潍坊、东营、威海、烟台等 7 个地区 19 个乡(镇)79 块麦地进行了随机抽样调查。2 个相邻的乡(镇)取样田间隔 20 km 以上,每个取样点调查 3~13 块麦田,每块麦田采用随机 5 点取样法,即每块麦田随机选取 5 点,每点拔取小麦植株,观察根系上是否有雌虫存在。采集小麦的根系和根际土壤 1 kg 左右,将 5 个点的土样放在一起混合均匀后,从中取出 2 kg 左右土样装入塑料袋中,作为 1 个混合样品,编号后带回实验室。

利用 GPS 定位系统详细记录采集地的经度、纬度、海拔等地理信息,并记录当地作物种植情况。在山东省调查区域中,莱芜市苗山镇的经纬度最低(117°43.83', 36°20.535')、海拔最高(350 m);威海市崮山镇的经纬度最高(122°13.638', 37°26.070')、海拔为 69 m。

在实验室将混合土样自然风干,捣碎土块并再次混匀后,每混合样品取 200 g,参照郑经武等<sup>[7]</sup>的悬浮过筛法分离孢囊,每个混合土样重复 3 次。在 OLYMPUS 解剖镜下,用毛笔和挑针将定性滤纸上的孢囊全部挑出,分别统计 3 次重复中饱满孢囊与

收稿日期: 2013-02-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(31171827)和公益性行业(农业)科研专项(200903040)

刘崇俊, 硕士研究生. 研究方向: 植物线虫分子生物学. E-mail: lovehearts@126.com

通信作者: 彭德良, 博士, 研究员. 研究方向: 植物线虫致病分子机理与控制技术. E-mail: pengdeliang@caas.cn

李红梅, 博士, 教授. 研究方向: 植物病原线虫学. E-mail: lihm@njau.edu.cn

空瘪孢囊的数量。再从饱满孢囊中随机挑取 5 个孢囊放在载玻片上的水滴中,用挑针压破孢囊,使孢囊中的虫卵全部释放后,统计单孢囊的卵量。所有数据运用 SPSS 软件进行统计方差分析。计算饱满孢囊量(每 200 g 土样中的个数,下同)、空孢囊率和卵量(粒/孢囊),公式分别为

饱满孢囊量 = 3 次重复中饱满孢囊之和的平均值

$$\text{空孢囊率} = \frac{\text{平均空孢囊数}}{\text{空孢囊数与饱满孢囊之和}} \times 100\%$$

卵量 = 5 个饱满孢囊卵量之和的平均值

## 1.2 线虫形态观察

随机挑取样品中分离到的单个饱满孢囊,用无菌水清洗后将其置于 1.5 mL eppendorf 管中,在 eppendorf 管中放入无菌水浸润的滤纸以保持孢囊的水分。在 4 °C 恒温培养箱下低温处理 10 周后,将孢囊移入带有无菌水和纱网的培养皿中,置于 16 °C 恒温培养箱孵化 2 龄幼虫;再随机挑取部分孢囊用水浸泡 24 h 以上,在体视显微镜下,用解剖刀切下孢囊的阴门锥部分,将其放在灭菌水中用解剖针仔细清除阴门锥内附着物,用 70%、95%、100% 乙醇依次脱水后,用甘油明胶制成永久玻片,在显微镜下观察并拍照。按照陈品三等<sup>[8]</sup>的方法,通过孢囊阴门锥和幼虫的形态特征等进行鉴定。

## 1.3 分子特征分析

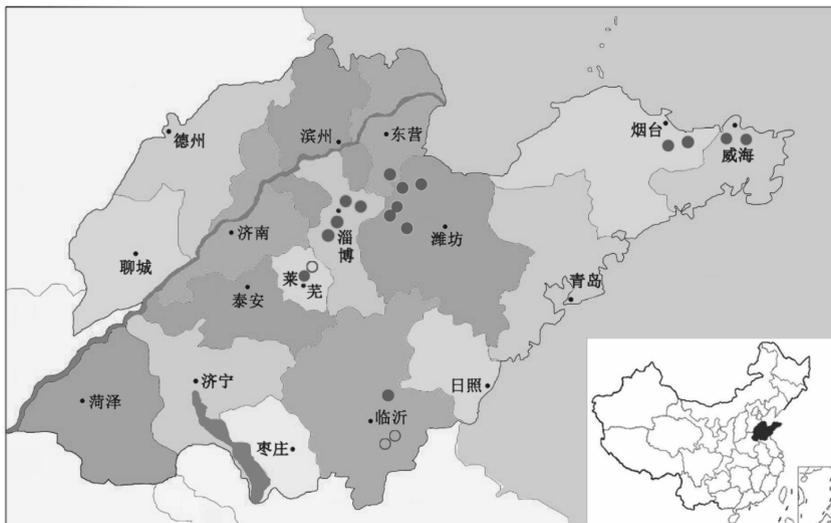
线虫 DNA 提取参照彭德良等<sup>[9]</sup>的方法进行。各样品随机挑取单个饱满孢囊,放入有 10 mL 灭菌双蒸水的 PCR 管中,在液氮中速冻,用灭菌玻璃棒研磨转动至冰融化,将孢囊研碎,释放卵和幼虫;加

入 8 mL 的 10×PCR buffer 和 2 mL 蛋白酶 K 溶液(600 mg/mL)后,置于 -80 °C 条件下冷冻 2 h;将 PCR 管取出,置 65 °C 下温育 1.5 h 后,再置于 95 °C 下 10 min,经 1 000 r/min 离心 1 min,取上清 DNA 液于 -20 °C 保存备用。采用线虫通用引物对 TW81 和 AB28 扩增孢囊线虫核糖体 DNA 的内转录间隔区(rDNA-ITS)<sup>[10]</sup>。扩增获得的 ITS 片段经回收纯化后,连接到 pMD18-T 载体上,4 °C 连接过夜后转化 DH5α 感受态细胞。选择阳性克隆的重组质粒送北京六合华大基因科技有限公司进行双向序列测定。用 DNAMAN 软件对序列进行拼接,用 MEGA 5.0 的 UPGMA 方法进行系统聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 禾谷孢囊线虫的分布和发生危害

在山东省中东部 7 个地区 19 个乡(镇)采集的 79 个样品中,有 56 份检出了禾谷孢囊线虫,检出率达 70.9%。其中东营市大王镇的 13 个样品中都检出了孢囊,潍坊市 5 个镇 24 份土样检出 22 份有孢囊,淄博市 4 个镇 12 份土样中检出了 11 份,烟台市 2 个镇 6 份土样中检出 3 份,威海市 2 个镇 6 份土样中检出 2 份,莱芜市孝义镇 6 份土样检出 4 份孢囊,临沂市沂水县 3 份土样中检出 1 份。调查结果表明,除莱芜市的苗山镇以及临沂市的石门镇和店头镇未调查到小麦孢囊线虫外,其他调查乡镇均有发生,分布范围自山东省南部的临沂市至北部的东营市、自中部的莱芜市至东部的威海市(图 1)。



●发现 CCN 的取样点 Places where CCN was found; ○未发现 CCN 的取样点 Places where CCN was not found.

图 1 山东省中东部地区小麦禾谷孢囊线虫病发生情况

Fig. 1 Occurrence of *H. avenae* in Middle and Eastern Shandong Province

调查结果表明,有 CCN 分布的 56 份样品平均孢囊量达 26.9 个,其中以潍坊市古城镇的孢囊量最高(134.7 个),东营市大王镇,潍坊市高柳镇、黄楼镇、化龙镇和朱良镇,淄博市双杨镇、城南镇和临淄区的平均孢囊量大于 40 个,而淄博市张店区、莱芜市孝义镇、临沂市沂水县、威海市崮山镇和羊亭镇、烟台市姜格庄镇和大窑镇的平均孢囊量为 1.0~12.7 个(表 1)。调查的 16 个乡镇其孢囊饱满程度也存在较大差别,潍坊市朱良镇的空孢囊率最高,为 74.4%,烟台市大窑镇的空孢囊率最低,为 40.0%。单孢囊卵量以潍坊市古城镇最高,显著高于大王镇、高柳镇、化龙镇、黄楼镇、双杨镇、临淄区、朱良镇和

城南镇这 8 个镇单孢囊卵量( $P < 0.05$ ),张店区、孝义镇、沂水县、羊亭镇、大窑镇、姜格庄镇和崮山镇等 7 个镇单孢囊卵量较低,且没有显著差异( $P > 0.05$ )。由表 1 可知,东营和潍坊 2 个地区孢囊群体密度较大、单孢囊卵量高,小麦孢囊线虫病发生较为严重,而其他 5 个地区小麦田间的孢囊群体密度较低,单孢囊卵量也相对较少,病害发生较轻。

调查发现土壤质地为沙壤土时,禾谷孢囊线虫的发病较为严重;同时还发现在这 7 个地区的所有调查点,常年采用小麦与玉米、小麦与花生、小麦与辣椒进行轮作或套作的栽培方式,但在各种轮作或套作地中,均不同程度地检出了孢囊线虫(表 1)。

表 1 山东省中东部地区小麦禾谷孢囊线虫的发生情况<sup>1)</sup>

Table 1 Occurrence of *H. avenae* in Middle and Eastern Shandong Province

| 城市<br>City   | 乡镇或县<br>Town or county | 饱满孢囊量/个<br>Number of alive<br>cysts per 200 g soil | 空孢囊率/%<br>Empty cyst rate | 卵量(粒/孢囊)<br>Number of<br>eggs per cyst | GenBank 登录号<br>GenBank accession |
|--------------|------------------------|--|---------------------------|--|----------------------------------|
| 威海市 Weihai   | 崮山镇 Gushan             | (2.0±0.6) a  | 66.7                      | (27.0±4.7) ab                          | KC428092                         |
|              | 羊亭镇 Yangting           | (2.7±0.7) a  | 50.0                      | (76.8±8.5) cd                          | KC428093                         |
| 烟台市 Yantai   | 大窑镇 Dayao              | (1.0±0.0) a  | 40.0                      | (41.6±5.5) bc                          | KC428094                         |
|              | 姜格庄镇 Jianggezhuang     | (1.3±0.3) a  | 50.0                      | (31.6±4.4) ab                          | KC428095                         |
| 潍坊市 Weifang  | 黄楼镇 Huanglou           | (48.7±1.5) b                                       | 67.3                      | (130.2±17.4) ef                        | KC428088                         |
|              | 高柳镇 Gaoliu             | (63.3±5.5) cd                                      | 47.9                      | (147.8±14.3) f                         | KC428087                         |
|              | 朱良镇 Zhuliang           | (41.7±3.3) b                                       | 74.4                      | (118.2±9.7) ef                         | KC428089                         |
|              | 化龙镇 Hualong            | (46.3±2.9) b                                       | 69.1                      | (132.8±19.5) ef                        | KC428091                         |
|              | 古城镇 Gucheng            | (134.7±5.4) e                                      | 43.7                      | (223.4±13.6) g                         | KC428090                         |
| 东营市 Dongying | 大王镇 Dawang             | (75.0±8.9) d                                       | 47.7                      | (148.6±10.2) f                         | KC428084                         |
| 淄博市 Zibo     | 临淄区 Linzi              | (42.7±4.4) b                                       | 56.3                      | (120.8±15.3) ef                        | KC428097                         |
|              | 城南镇 Chengnan           | (47.7±8.5) b                                       | 70.6                      | (116.4±15.2) ef                        | KC428096                         |
|              | 双杨镇 Shuangyang         | (53.7±13.2) bc                                     | 64.1                      | (119.4±13.1) ef                        | KC428098                         |
|              | 张店区 Zhangdian          | (12.7±1.8) a                                       | 65.8                      | (99.8±21.2) de                         | KC428099                         |
| 临沂市 Linyi    | 石门镇 Shimin             | 0  | 0                         | 0                                      | —                                |
|              | 店头镇 Diantou            | 0  | 0                         | 0                                      | —                                |
|              | 沂水县 Yishui             | (3.7±0.7) a  | 72.5                      | (77.8±12.8) cd                         | KC428086                         |
| 莱芜市 Laiwu    | 孝义镇 Xiaoyi             | (4.7±0.9) a  | 71.4                      | (95.6±18.1) de                         | KC428085                         |
|              | 苗山镇 Miaoshan           | 0  | 0                         | 0                                      | —                                |

1)表中数据为平均值±标准差,同列数据小写字母不相同者表示差异显著( $P < 0.05$ )。

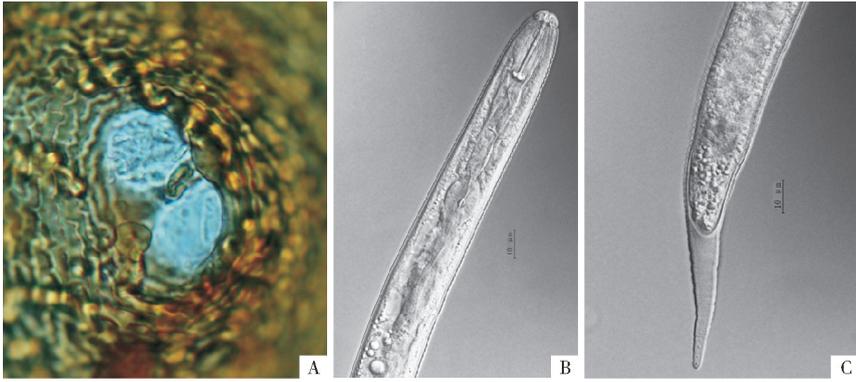
Values in the table are mean±standard error. Different lowercases within a array mean significant difference( $P < 0.05$ ).

## 2.2 禾谷孢囊线虫的形态鉴定

根据陈品三等<sup>[8]</sup>对禾谷孢囊线虫鉴别特征的描述,本调查所采集的小麦孢囊线虫群体,依据孢囊阴门锥和 2 龄幼虫的形态特征,都鉴定为禾谷孢囊线虫。孢囊为柠檬形,未成熟的雌虫乳白色,成熟的雌虫黄褐色至暗褐色;阴门锥为双膜孔,无阴门下桥,膜孔椭圆至近圆形,阴门裂短小,有明显的泡状突(图 2-A);二龄幼虫体长约为 504~557  $\mu\text{m}$ ,头部骨架发达,口针粗壮,长 21~24  $\mu\text{m}$ ,口针基部球稍凹(图 2-B);二龄幼虫尾部透明区长 33~37  $\mu\text{m}$ ,有缢缩和明显的环纹(图 2-C)。

## 2.3 禾谷孢囊线虫的分子鉴定

对小麦孢囊线虫 16 个山东群体 rDNA-ITS 区扩增产物的测序结果表明,ITS 片段长度为 1 045~1 046 bp。序列比对结果揭示,它们与 GenBank 中小麦禾谷孢囊线虫(*H. avenae*)的 ITS 序列同源相似性高达 99.9%,部分群体的序列同源性达 100%(表 1)。从 GenBank 中下载小麦孢囊线虫组复合种群及其近源种的 ITS 序列,与 16 个山东群体的 ITS 序列进行多重比对,用 MEGA 5.05 软件的 UPGMA 法构建系统发育树,以马铃薯金线虫(*Globodera rostochiensis*)为外群。从图 3 的系统发



A. 阴门锥 Vulval cone (×100); B. 2 龄幼虫头部 Head and tail of second stage juvenile (×250); C. 尾部 Tail (×250).

图 2 禾谷孢囊线虫的形态

Fig.2 Morphology of *H. avenae*

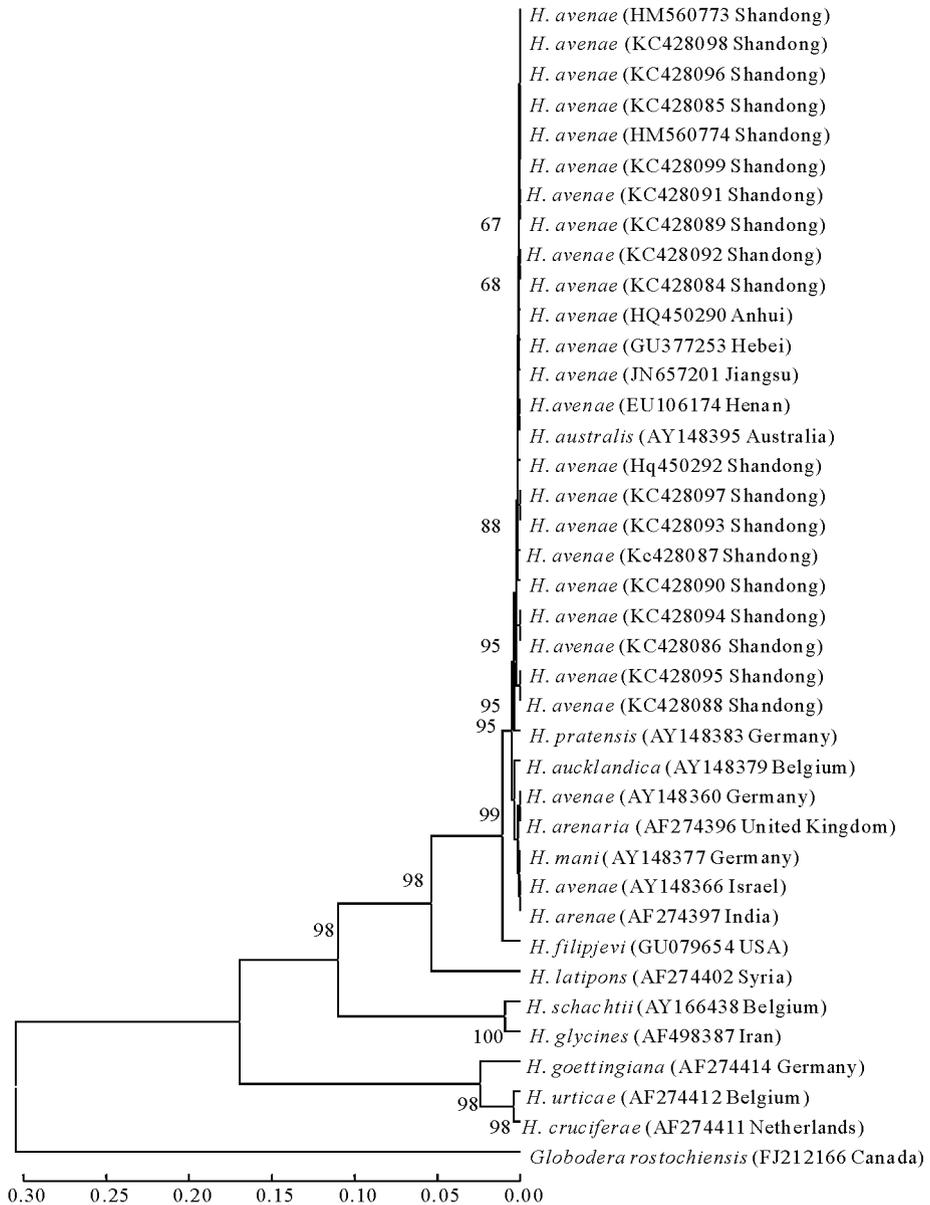


图 3 用 UPGMA 法构建的禾谷孢囊线虫群体及近源种 rDNA-ITS 区的系统发育树

Fig.3 Phylogenetic tree of *H. avenae* and the close related species based on rDNA-ITS sequences using UPGMA method

育树可以看出,所有山东群体均与 Subbotin 等<sup>[11]</sup>报道的 *H. avenae* complex 9 个种群中的禾谷孢囊线虫(*H. avenae*)、草地孢囊线虫(*H. pratensis*)、澳洲孢囊线虫(*H. australis*)、稀少孢囊线虫(*H. mani*)、奥克兰孢囊线虫(*H. aucklandica*)、蚤级孢囊线虫(*H. arenaria*)和菲利普孢囊线虫(*H. filipjevi*)处于同一个大的进化分支簇,置信度达到了 97%,且这一分支与禾谷孢囊线虫(*H. latipons*)种群聚在一起,构成了异皮孢囊属下的禾谷孢囊线虫组(*H. avenae* group)<sup>[12]</sup>。从发育树上,所有山东线虫群体均处于 *H. avenae* complex 分支上,与异皮孢囊属(*Heterodera*)其他线虫组,如甜菜孢囊线虫组(*schachtii* group)和大豆孢囊线虫组(*glycines* group)的遗传距离相对较远。聚类分析结果表明,小麦禾谷孢囊线虫(*H. avenae*)可明显划分为 2 个类群,印度、以色列、德国的禾谷孢囊线虫可划分为一个类群,中国山东、河南、河北、江苏、安徽等地区的禾谷孢囊线虫可划分为另一个类群。这说明禾谷孢囊线虫山东群体与国外种群的亲缘关系较远,而与中国河南、江苏、安徽等地区的亲缘关系较近。

### 3 讨论

禾谷孢囊线虫的主要传播途径是土壤和水流<sup>[13]</sup>,同时也通过农机具、农事操作、人及畜携带的方式传播<sup>[14]</sup>。近几年来,随着耕作制度的改变和联合收割机的推广应用,禾谷孢囊线虫病扩散迅速、发生面积逐年扩大,中国已在 16 个省市发现孢囊线虫危害小麦<sup>[4]</sup>,对我国北部冬麦区、黄淮冬麦区、长江中下游冬麦区及北部春麦区的小麦生产带来严重影响。山东省联合收割机收割面积占 90% 以上,已成为禾谷孢囊线虫远距离传播的另一重要途径<sup>[14]</sup>。在本次调查中,山东省潍坊市和淄博市等地区的小麦孢囊线虫平均检出率分别为 93.3% 和 91.7%,且这些地区孢囊群体密度大、孢囊中的卵量较高,有报道在澳大利亚南部,每克土壤中禾谷孢囊线虫的卵量达 5 粒时可使小麦减产 10%<sup>[15]</sup>,而调查的山东部分地区的每克土的禾谷孢囊线虫卵量已高达 15.5 粒,群体密度已经超过澳大利亚小麦禾谷孢囊线虫的防治指标 2 倍以上。如果个别高密度地区的孢囊线虫扩散速度和危害程度加剧,势必对山东省小麦产量造成严重影响。

小麦孢囊线虫病是积年流行病害,具有逐年加重的特性。山东省位于中国东部沿海、黄河下游、京

杭大运河的中北段,省内河湖众多,地形以丘陵、平原为主,作物耕作制度比较复杂。在山东中东部地区,主要以小麦与玉米的旱地轮作,利用河水进行灌溉,采用联合收割机进行收割<sup>[16]</sup>。这样的耕作和管理制度,在土壤质地为沙壤土的地区非常有利禾谷孢囊线虫的大面积传播<sup>[17]</sup>。推测短期进行小麦/玉米、花生、辣椒轮作或套作的栽培方式不一定能有效地控制禾谷孢囊线虫的危害。

目前,许多农户对禾谷孢囊线虫缺乏认识,大部分地区未开展禾谷孢囊线虫病的防治工作,加之禾谷孢囊线虫危害后的地上部症状与缺水、缺肥等田间症状相似,极易被农业技术人员和广大农户忽视,这也是禾谷孢囊线虫发生面积逐年扩大、危害逐年加重的主要原因之一<sup>[16]</sup>。在禾谷孢囊线虫发生较重的地区,主要通过种植耐病品种、采用种衣剂拌种和返青期使用化学药剂等方式进行防治<sup>[17-18]</sup>。由于化学药剂防治成本高、操作比较繁杂,难以在小麦种植区大面积推广,从而加剧了禾谷孢囊线虫的危害程度<sup>[15]</sup>。通过对山东省主栽品种抗病性的鉴定,结果表明山东省种植的大部分品种为感病品种,只有部分品种表现中抗和耐病,缺少高产抗病的优良品种,因此,加强抗病品种的筛选和推广工作,是保障山东省小麦主产区粮食生产安全的一个重要途径。禾谷孢囊线虫在土壤中可以存活 10 年甚至更长时间,在 40 cm 以下土壤中还有孢囊分布。山东省不同地区可能存在不同致病型的类群,其致病力和毒性表现有很大差异,这给抗病品种的应用提出了严峻的挑战。山东省是中国粮食生产的大省,禾谷孢囊线虫在山东省的发生和分布非常广泛,群体的数量十分庞大,已经达到危害阈值水平,故应加强不同地区小麦主栽品种抗病性与禾谷孢囊线虫致病型的研究,有针对性地筛选出高产、优质、抗病品种,及时采取安全、高效、低毒的药剂进行防治,有效地控制禾谷孢囊线虫的扩散与危害,确保小麦增产丰收和粮食安全。

### 参 考 文 献

- [1] RIVOAL R, NICOL J M. Past research on the cereal cyst nematode complex and future needs [C]//RILEY I T, NICOL J M, DABABAT A A. Cereal cyst nematodes: status, research and outlook. Ankara: CIMMYT, 2009: 3-10.
- [2] 彭德良,李惠霞,王锡锋,等. 我国小麦禾谷孢囊线虫的新发生分布地区[M]//廖金铃,彭德良,段玉玺. 中国线虫学研究(第 2 卷). 北京:中国农业科学技术出版社, 2008: 344-345.

- [3] 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.
- [4] 李惠霞,柳永娥,魏庄,等.新疆和西藏发现禾谷孢囊线虫[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,2012:164-165.
- [5] 陈传印,雷振山.作物生产技术(北方本)[M].北京:化学工业出版社,2011:29.
- [6] 杨远永,赵洪海,彭德良.小麦禾谷孢囊线虫在山东省的分布新报道[J].青岛农业大学学报:自然科学版,2010,27(1):17-20.
- [7] 郑经武,程瑚瑞,方中达.小麦禾谷孢囊线虫致病型研究[J].植物病理学报,1995,27(4):309-314.
- [8] 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):89-91.
- [9] 彭德良, SUBBOTIN S, MOENS M. 小麦禾谷孢囊线虫(*Heterodera avenae*)的核糖体基因(rDNA)限制性片段长度多态性研究[J].植物病理学报,2003,33(4):323-329.
- [10] JOYCE S A, REID A, DRIVER F, et al. Application of polymerase chain reaction(PCR) methods to identification of entomopathogenic nematodes [C]//BUMELL A K M, EHLERS R U, MASSON J P. Cost 812 biotechnology: genetics of entomopathogenic nematode bacterium complexes. Belgium: European Commission, DGXII, 1994:178-187.
- [11] SUBBOTIN S A, STURHAN D, RUMPENHORST H J, et al. Molecular and morphological characterisation of the *Heterodera avenae* complex(Tylenchida: Heteroderidae)[J]. Nematology, 2003, 5(4): 515-538.
- [12] HANDOO Z A. A key and compendium to species of the *Heterodera avenae* group(Nematoda: Heteroderidae)[J]. Journal of Nematology, 2002, 34(3): 250-262.
- [13] FISHER J M, HANCOCK T W. Population dynamics of *Heterodera avenae* in South Australia [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1991, 42: 53-68.
- [14] 汪涛, 戚仁德, 吴向辉, 等. 小麦孢囊线虫病传播扩散途径研究初报[J]. 植物保护, 2012, 38(1): 98-100.
- [15] BROWN R H. Ecology and control of cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) in Southern Australia [J]. Journal of Nematology, 1984, 16(3): 216-222.
- [16] 刘静, 吴海燕, 彭德良. 小麦孢囊线虫的发生防治及控制策略的思考[J]. 安徽农业科学, 2010(3): 12-14.
- [17] 裴世安, 王暄, 耿立新, 等. 不同杀线剂对小麦孢囊线虫病的防治效果[J]. 植物保护, 2012, 38(1): 166-170.
- [18] 王明祖, 黎少波, 刘涛玉, 等. 小麦禾谷孢囊线虫湖北群体活动特性[J]. 植物保护学报, 1998, 25(1): 37-40.

## Distribution and rDNA-ITS analysis of cereal cyst nematode in Shandong Province

LIU Chong-jun<sup>1,2</sup> HUANG Wen-kun<sup>1</sup> CUI Jiang-kuan<sup>1</sup> PENG De-liang<sup>1</sup> LI Hong-mei<sup>2</sup>

1. Institute of Plant Protection/State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China;

2. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

**Abstract** The cereal cyst nematode (*Heterodera avenae* Wollenweber) is the most threatening nematode on wheat and cereal crops in China. The occurrence and distribution of *Heterodera* spp. were investigated by random sampling method from 19 town or counties of Shandong Province. The species was identified as *Heterodera avenae* with the morphological and rDNA-ITS analysis. The cereal cyst nematode was detected from 70.9 percent samples collected from Linyi City, Laiwu City, Zibo City, Weifang City, Dongying City, Weihai City and Yantai City. The highest cyst and egg number appeared in Dongying City and Weifang City, the lowest cyst and egg number appeared in Yantai City.

**Key words** *Heterodera avenae* Wollenweber; distribution; wheat; rDNA-ITS

(责任编辑:陈红叶)