

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2022.04.012

湖南省平江县水稻根结线虫病发生及危害评价

彭思源¹, 吕 军², 邱立新², 李奔奔², 李新文³, 叶 姗¹, 丁 中^{1*}

¹湖南农业大学植物保护学院, 湖南 长沙 410128; ²湖南省平江县植保植检站, 湖南 岳阳 414500;

³湖南省植保植检站, 湖南 长沙 410006

摘要:【目的】进一步明确湖南省平江县水稻根结线虫病发生危害情况、病原线虫种类及影响水稻发病的因素。【方法】2020年4—6月,采用5点取样法对湖南省平江县24个乡镇400块田块的水稻根结线虫病发生危害情况进行再调查及病原种类鉴定,并对水稻根结线虫病的病情指数与水稻的栽培方式、土壤类型之间的关系进行了分析。【结果】平江县水稻根结线虫病的发生较为普遍,发现病害的乡镇已由2018年的5个增加到2020年的15个,其中15个乡镇的病田率为10%~100%,病株率为2%~55%,根结指数为0.4~15.4。分离获得的病原线虫种类均为拟禾本科根结线虫。调查还发现,发病水稻在砂壤、中壤、重壤稻田的根结指数明显高于在黏土和轻壤稻田的根结指数,直播、抛秧栽培方式下发病水稻的根结指数明显高于移栽方式下的根结指数。【结论】平江县水稻根结线虫病呈蔓延趋势。本研究为有效防控平江县水稻根结线虫病提供了依据。

关键词: 水稻; 拟禾本科根结线虫; 调查; 病原鉴定; 发病因素



开放科学标识码
(OSID 码)

Occurrence and evaluation of the rice root-knot nematode in Pingjiang County, Hunan Province

PENG Siyuan¹, LÜ Jun², QIU Lixin², LI Benben², LI Xinwen³, YE Shan¹, DING Zhong^{1*}

¹College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; ²Pingjiang Plant Protection and Plant Quarantine Station of Hunan Province, Yueyang, Hunan 414500, China; ³Hunan Plant Protection and Quarantine Station, Changsha, Hunan 410006, China

Abstract: 【Aim】 This study was conducted to further elucidate the occurrence, pathogens, and other factors affecting the incidence of rice root-knot nematode in Pingjiang County, Hunan Province. 【Method】 Surveys were conducted using a five-point sampling method from April to June 2020. Four hundred paddy fields in 24 towns in Pingjiang County were examined, isolates were identified based on morphology and molecular data, relationships between infection index and rice cultivation mode, and soil types were analyzed. 【Result】 The number of towns where the pest occurred has increased from 5 in 2018 to 15 in 2020, with field presence ratios of 10%–100%, affected plant ratios of 2%–55%, and root knot indices of approximately 0.4–15.4. All isolates were identified as *Meloidogyne graminicola*. Moreover, the root-knot index of infected rice on sandy loam, medium loam, and heavy loam soils was higher than that of rice grown on clay and light loam soil, and the root-knot index of infected rice in direct seeding and seedling throwing fields was higher than that of rice on transplanted fields. 【Conclusion】 The rice root-knot nematode is widespread in Pingjiang County, and the present results can provide a basis for effective prevention and control of this serious pest of rice.

Key words: rice; *Meloidogyne graminicola*; investigation; pathogen identification; pathogenic factors

水稻 *Oryza sativa* L. 是世界上最重要的粮食作物之一,在我国粮食生产中占有极其重要的地位。 据报道,危害水稻生产的植物寄生线虫主要有 35 个属 300 多种(Upadhyay *et al.*, 2014),其中拟禾本

科根结线虫 *Meloidogyne graminicola* (Golden and Birchfield)被认为是 对水稻危害最大的线虫之一 (Dutta *et al.*, 2012)。该线虫于 1965 年在美国路易斯安那州的禾本科杂草及燕麦 *Avena sativa* L. 上被发现 (Golden & Birchfield, 1965), 主要分布于热带和亚热带地区, 在旱稻、灌溉地水稻、低洼地水稻、深水稻、水稻苗床上均可侵染危害, 发病症状主要为植株矮小稀疏、叶片黄化 (Plowright & Bridge, 1990; Soriano & Reversal, 2003), 造成的产量损失可达 11%~80% (de Waele & Elsen, 2007)。该线虫原主要在海南、广东、广西等我国的南部沿海各省危害。近年来随着气候变化、水稻种植模式的转变以及跨区作业的大型联合收割机的远程传播, 且生产上缺乏抗性品种以及高效、低毒的化学药剂的使用, 该病害在湖南、江西、福建、江苏、湖北等我国南方水稻主产区发生面积和危害逐年增加 (冯辉等, 2017; Song *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2017), 严重威胁我国的粮食安全。

湖南是我国的水稻大省, 稻谷面积和总产量均居全国前列。近年来, 湖南衡阳、益阳、岳阳、常德、株洲和长沙等多地发现水稻根结线虫病且危害日益严重 (姚思敏等, 2018)。吕军等 (2019) 对岳阳平江县水稻根结线虫的发生及病原种类进行了初步调查和鉴定, 发现平江 23 个乡镇中有 5 个乡镇发生了水稻根结线虫病, 并通过 rDNA-ITS 扩增、测序和比对将其鉴定为拟禾本科根结线虫。但没有对其病原形态特征做观察鉴定, 且在平江的详细分布、发生危害情况尚不清楚。为此, 本研究于 2020 年 4—6 月进一步对水稻根结线虫在平江县各乡镇的发生危害、分布情况再次进行了调查与种类鉴定, 并调查了感病稻田的栽培方式及土壤的土种、土质, 以期 为平江水稻根结线虫病的科学防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

平江是典型的山区农业大县, 是国家级产粮基地县, 位于湖南省东北部, 地处汨水、罗水上游, 汨罗江自东向西贯穿全境, 境内河网密布。平江县地貌以山地和丘陵为主, 平均海拔 298 m。土壤类型以山地红壤和黄红壤为主。地势东南部和东北部高, 西南部低。平江气候属典型的亚热带季风湿润区, 多年平均降雨量为 1575 mm, 多年平均温度为

18.98 ℃ (徐志鹏等, 2020)。

1.2 调查与样品采集

2020 年 4—6 月, 对湖南省岳阳市平江县各乡镇不同栽培模式下的水稻根结线虫发生情况、发生频率及危害程度进行田间调查, 通过与当地农业局植保站技术人员交流、走访水稻种植户以及实地采样等方式, 记载水稻种植时间、栽培规模以及根结线虫病发生历史情况等。调查了安定、龙门、上塔等共 24 个乡镇, 每个乡镇随机选取 1~3 个地点进行采样, 每个采样地采 10 块田, 5 点法取样, 各点采集 2 丛水稻, 将各个点的样品混合后一起装入塑料袋中, 并记录采样地点、土质、土种、栽培方式、播期和 GPS 信息等。

洗净当天采集的水稻, 检查具根结的水稻发病株数, 统计田块病株率、各地病株率和各地病田率; 按分级标准计算田块根结指数和各地根结指数。病情分级标准采用 0~10 级的分级标准 (Sharma-poudyal *et al.*, 2005)。0 级: 健康, 无根结; 1 级: 根结小且数量极少, 不易观察; 2 级: 根结小, 根结数量稍多, 易观察; 3 级: 根结小, 数量较多且盘绕, 根系功能未受影响; 4 级: 根结数量较多, 有较大根结, 大部分根系功能健康; 5 级: 25%~49% 的根系上有根结, 小部分根系功能未受影响; 6 级: 50%~74% 的根系上有根结, 根系正常功能受到影响; 7 级: 75% 以上根系有根结, 失去根系功能; 8 级: 无健康根系, 植株仍存活; 9 级: 整个根系出现腐烂, 植株趋于死亡; 10 级: 植株死亡。

田块病株率/% = (田块病株数/田块总株数) × 100;

各地病株率/% = 田块病株率总和/各地田块数;
各地病田率/% = (病田数/调查田块总数) × 100;

田块根结指数 = [Σ (各级病株数 × 相应级数值) / (调查总株数 × 最高级代表值)] × 100;

各地根结指数 = 当地各田块根结指数总和/当地田块数。

1.3 供试虫源与单卵囊扩繁

将平江 15 个乡镇的水稻病株带回实验室进行单卵囊扩繁。在体式显微镜下破开根结, 收集卵囊, 将单卵囊孵化的线虫接种到培养的水稻上, 接种 20 d 后收集卵粒, 30 ℃ 黑暗条件下孵化; 反复接种以扩繁种群。

1.4 平江根结线虫的种类鉴定

1.4.1 分子鉴定 对平江县 15 个发生水稻根结线虫病乡镇的线虫分别进行分子鉴定,以南方根结线虫 *M. incongnita* (Kofold & White) Chitwood 作空白对照,单条线虫的 DNA 提取方法参照吴文涛等 (2014)。rDNA ITS 基因片段 (369 bp) 扩增鉴定引物 Mg-F3 (5'-TTATCGCATCATTTTATTTG-3')、Mg-R2 (5'-CGCTTTGTTAGAAAATGACCCT-3') 及程序参照 Htay *et al.* (2016)。PCR 产物在 1.5% 琼脂糖凝胶电泳分离,凝胶成像系统拍照。

1.4.2 形态学鉴定 将分离出来的 2 龄幼虫热杀死固定后,采用甘油-乙醇快速脱水法对线虫进行脱水,将脱水后的线虫挑入甘油滴中,用石蜡封片,制作成玻片。在光学显微镜下进行形态观察并拍

照以进行形态学鉴定,并采用 de Man 公式对线虫进行测计。

1.5 数据统计方法

运用 SPSS 20.0 软件对所有数据进行统计分析,采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 平江水稻根结线虫病田间症状和线虫形态特征

调查发现,水稻直播或移栽后 20 d 左右,发病田块水稻呈区域黄化、稀疏状,发病水稻长势差,严重时黄化,纤弱矮小 (图 1A),在田埂边的发生概率高于水田中部;受害水稻根系发育受阻,长有根结,幼根根结膨大后弯曲成棒状、钩状或纺锤状并伴有大量须根,老根变棕褐色易腐烂 (图 1B)。



图 1 拟禾本科根结线虫危害症状

Fig.1 Symptoms in *M. graminicola* in fested fields

A: 田间症状; B: 根部根结。

A: Field symptoms; B: Roots showing severe root galling.

2.1.1 形态特征分析 会阴花纹:椭圆形至近圆形,背弓高、近方形,未见侧线,纹线连续、细密、环绕会阴,尾尖明显,尾端及肛门附近有明显纹线,阴门区一般无线纹 (图 2A)。

2 龄幼虫:蠕虫状,热杀死后虫体腹略弯或僵直,体长为 442~504 μm (图 2B);头架较弱,口针纤细,基部球小,中食道球及瓣门明显 (图 2C),椭圆形;食道腺覆盖肠腹面;尾部细、长,尾末端呈细棍棒状 (图 2D)。

雄虫:虫体蠕虫状 (图 2E),头架中等发达,头冠低、圆,与虫体连接处缢缩不明显;口针基杆圆柱状,基部球卵圆形,前缘平或略后斜 (图 2F);精巢长、单条 (图 2G);交合刺发达,引带杆状;尾短、钝圆 (图 2H)。

雌虫:虫体梨形或圆形,有明显的细颈 (图 2I),口针纤细 (图 2J)。

2 龄线虫测量值和 de Man 参数值见表 1,平江各地理群体测量值略有差异。其中长寿镇群体的平均体长最长,为 504.2 μm ,福寿山镇群体的平均体长最短,为 442.6 μm ;木金乡群体的体宽值最大,为 23.0 μm ,福寿山镇群体的体宽值最小,为 16.9 μm 。平江线虫体宽均较相似纬度的浙江富阳、福建政和的测量值偏大,平江各群体的尾长较富阳、政和的偏短 (刘国坤等,2011;刘乐乐等,2018)。

2.1.2 分子生物学鉴定 对各地采集的样品利用 rDNA ITS 特异性引物进行分子鉴定。结果表明,从安定镇、龙门镇居、福寿山镇和加义镇等 15 个乡镇的样品中均扩增出 369 bp 的 DNA 片段 (图 3)。由此确定,平江县安定镇、龙门镇居、福寿山镇和加义镇 15 个乡镇的水稻根系上发现的根结线虫均属于拟禾本科根结线虫。

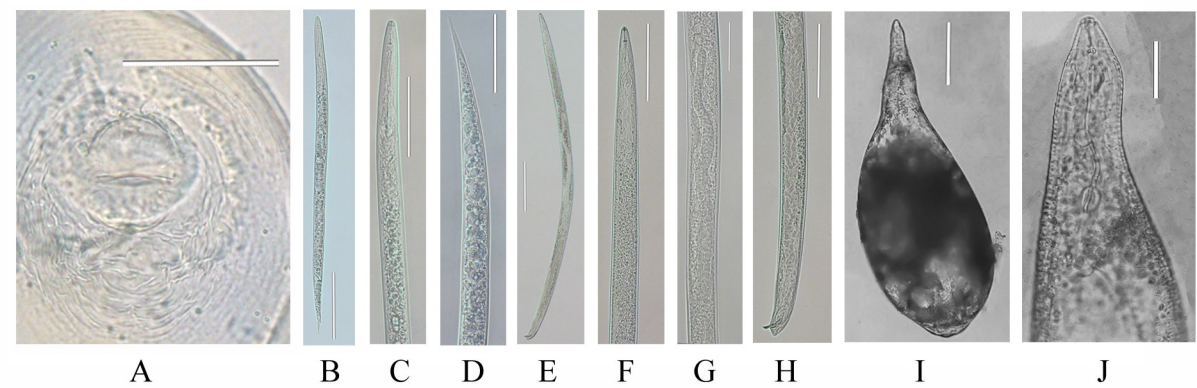


图 2 拟禾本科根结线虫形态特征

Fig.2 Morphological characters of *M. graminicola*

A: 会阴花纹; B: 2 龄幼虫; C: 2 龄幼虫头部; D: 2 龄幼虫尾部; E: 雄虫; F: 雄虫头部; G: 雄虫精巢; H: 雄虫尾部; I: 雌虫; J: 雌虫头部;
A~J 比例尺: 50、100、50、50、200、100、50、100、100、20 μm。
A: Female perineal patterns ; B: Second-stage juvenile (J2); C: Head of J2; D: J2 tail region; E: Male; F Head of male; G: Male testis;
H: Male tail region; I: Female; J: Head of female; A~J scale bar: 50, 100, 50, 50, 200, 100, 50, 100, 100, 20 μm.

表 1 拟禾本科根结线虫平江分离群体 2 龄幼虫形态特征测计值

Table 1 Morphological characters of second-stage juveniles of *M. graminicola* of Pingjiang isolates

采集地 Collection site	<i>L</i> /μm	<i>W</i> /μm	<i>ST</i> /μm	<i>DKO</i> /μm	<i>Tail</i> /μm	<i>H</i> /μm	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
安定 Anding	479.4±12.6	18.0±2.5	12.0±0.7	3.8±0.7	59.2±5.2	20.4±1.3	26.6	3.9	8.1
福寿山 Fushoushan	442.6±16.5	16.9±2.0	10.9±0.4	3.6±0.4	52.0±2.6	20.5±1.1	26.3	4.1	8.5
三市 Sanshi	466.9±21.7	22.0±1.6	11.8±1.0	3.4±0.3	64.0±3.0	23.6±3.5	21.3	3.9	7.3
长寿 Changshou	504.2±12.1	22.2±1.5	12.2±0.6	3.6±0.4	63.9±2.9	20.8±1.1	22.7	4.1	7.9
上塔 Shangta	484.0±20.4	21.9±1.8	11.6±0.5	3.7±0.4	54.3±2.8	19.2±1.3	22.1	3.8	8.9
向家 Xiangjia	471.3±26.3	20.4±1.2	11.0±0.9	3.6±0.5	60.0±5.0	19.5±1.9	23.1	4.1	7.9
木金 Mujin	461.9±17.0	23.0±1.2	10.3±0.6	4.1±0.7	60.5±3.6	21.0±1.3	20.1	4.1	7.6
梅仙 Meixian	480.6±22.5	21.8±0.9	10.7±0.6	4.1±0.4	65.2±3.9	21.3±1.2	22.0	3.8	7.4
虹桥 Hongqiao	472.2±12.9	22.4±0.9	11.3±0.5	3.7±0.6	63.0±4.4	20.5±1.6	21.1	3.8	7.5
三阳 Sanyang	478.6±12.3	17.9±2.4	11.6±1.2	3.5±1.0	59.1±5.1	20.3±1.4	26.7	3.9	8.1
龙门 Longmen	503.8±11.5	22.2±1.6	13.0±0.9	3.5±0.5	63.9±3.0	20.7±1.1	22.7	4.1	7.9
大洲 Dazhou	465.6±18.6	22.1±1.1	11.1±1.1	4.0±0.7	63.4±5.0	21.0±2.3	21.1	3.9	7.3
岑川 Cenchuan	463.5±23.4	19.3±2.1	11.1±1.0	3.7±0.9	60.6±4.7	20.2±1.6	24.0	4.2	7.7
伍市 Wushi	472.3±14.5	18.5±2.3	10.8±0.7	3.2±0.8	59.7±4.2	19.7±1.5	25.5	4.4	7.9
加义 Jiayi	471.7±22.7	21.3±1.7	11.2±0.7	4.0±0.8	63.2±3.2	21.2±1.4	22.2	4.0	7.5
富阳 Fuyang	449.5±8.7	15.7±1.1	12.2±0.4	3.4±0.3	74.3±2.5	21.6±1.5	28.8		6.1
政和 Zhenghe	433.0±27.0	15.2±1.3	13.7±1.2	4.6±0.6	70.2±4.6	19.7±1.7	29.9		6.1

L:最长处体长;*W*:最宽处体宽;*ST*:口针长度;*DKO*:背食道腺开口至口针基部球距离;*Tail*:尾长;*H*:尾部透明区长;*a*=体长/体宽;*b*=体长/头至食道与肠连接处;*c*=体长/尾长。
L: Maximum length; *W*: Body width at the widest point; *ST*: Length of needle; *DKO*: The distance from the opening of dorsal esophageal gland to the base ball of oral needle; *Tail*: Tail length; *H*: Tail transparent district; *a*: Body length/body width; *b*: Body length/head to the junction of esophagus and intestine; *c*: Body length/tail length.

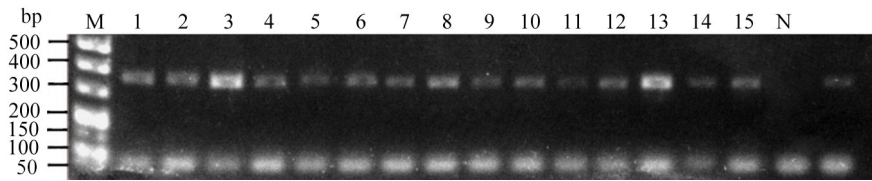


图 3 拟禾本根结线虫特异性 ITS 引物 PCR 扩增片段电泳检测结果

Fig.3 PCR amplification patterns for 15 *M. graminicola* populations generated with the specific rDNA-ITS primers

M: Marker; 1~15: 大洲、岑川、加义、龙门、三阳、向家、三市、伍市、梅仙、木金、福寿山、上塔、长寿、安定、虹桥; N: 阴性对照。
M: Marker; 1~15: Dazhou, Cenchuan, Jiayi, Longmen, Sanyang, Xiangjia, Sanshi, Wushi, Meixian, Mujin, Fushoushan, Shangta, Changshou, Anding, Hongqiao; N: Negative control.

2.2 平江县水稻根结线虫病的发生和分布

调查结果表明,安定镇、龙门镇等 15 个乡镇的田块中发现水稻根结线虫病,发生率达 63%。不同乡镇的发生程度也存在差异,其中长寿、安定的病田率达 100%,岑川、梅仙等地的病田率低于 20%;同时长寿、安定的病株率分别为 51%、55%;安定、

福寿山和长寿等 3 地水稻的根结指数大于 10,岑川镇水稻受害较轻,根结指数为 0.4(表 2)。

全县水稻根结线虫病的发生在地理分布上呈现东南重、西北中等、中部轻的趋势,南靠汨罗江两岸的稻田水稻根结线虫病发生较严重。

表 2 平江县水稻根结线虫病的发生情况
Table 2 Occurrence of the rice root-knot nematode in Pingjiang County

采样点 Sampling point	田块数 Number of fields	病田率 Occurrence field ratio/%	病株率 Affected plants/%	根结指数 Root-knot index	采样点 Sampling point	田块数 Number of fields	病田率 Occurrence field ratio/%	病株率 Affected plants/%	根结指数 Root-knot index
安定 Anding	20	100	55	15.4±6.6	伍市 Wushi	20	30	13	4.5±8.7
岑川 Cenchuan	20	10	2	0.4±1.2	向家 Xiangjia	20	80	19	4.8±5.0
大洲 Dazhou	20	60	20	4.3±5.2	长寿 Changshou	20	100	51	11.6±8.7
福寿山 Fushoushan	20	70	37	11.5±9.4	余坪 Yuping	10	0	—	—
虹桥 Hongqiao	20	40	9	2.3±3.1	汉昌 Hanchang	10	0	—	—
加义 Jiayi	20	50	25	5.4±7.8	南江 Nanjiang	10	0	—	—
龙门 Longmen	20	60	26	2.3±3.0	板江 Banjiang	10	0	—	—
梅仙 Meixian	20	10	5	2.2±6.7	童市 Tongshi	10	0	—	—
木金 Mujin	20	20	11	2.0±3.7	三墩 Sandun	10	0	—	—
三市 Sanshi	30	47	18	5.9±4.3	石牛寨 Shiniuzhai	10	0	—	—
三阳 Sanyang	20	20	16	5.0±10.0	瓮江 Wengjiang	10	0	—	—
上塔 Shangta	20	60	26	8.8±9.4	浯口 Wukou	10	0	—	—

根结指数为平均数±标准差。
Root-knot index are mean±SD.

2.3 平江县不同生态条件水稻根结线虫病危害比较

比较平江县不同生态条件下水稻根结线虫病危害情况,发现直播、抛秧田平均根结指数值(7.0、7.8)显著高于手插和机插田块的根结指数(0.7、0.4)($P<0.05$);不同土种田块的病情指数差异不

明显,河沙泥、红黄泥、麻沙泥和酸紫沙泥的水稻田的水稻根结线虫病病情指数分别为 6.7、8.8、5.4、7.4;种植于砂壤、中壤和重壤水稻的病情指数(8.2、8.8、9.3)明显高于种植于黏土和轻壤水稻的病情指数(4.3、3.0)(表 3)。

表 3 水稻根结线虫病在不同稻田的发生情况
Table 3 Occurrence of rice root-knot nematode in fields with different cultivation mode

栽培条件 Cultivation condition		田块数 Number of samples	根结指数 Root-knot index (Mean±SD)
栽培方式 Cultivation mode	直播 Direct seeding	120	7.0±4.8
	抛秧 Seedling throwing	120	7.8±5.3
	手插 Transplant by hand	20	0.7±0.5
	机插 Transplant by machine	20	0.4±0.3
土种 Soil species	河沙泥 Alluvial sandy soil	100	6.7±5.2
	红黄泥 Reddish clay soil	40	8.8±4.9
	麻沙泥 Masa mud soil	60	5.4±5.1
	酸紫沙泥 Purple mud soil	40	7.4±5.2
土质 Soil types	黏土 Clay loam soil	20	4.3±0.6
	轻壤 Light loam soil	70	3.0±2.5
	砂壤 Sandy loam soil	40	8.2±5.7
	中壤 Medium loam soil	60	8.8±5.2
	重壤 Heavy loam soil	60	9.3±4.7

3 讨论与结论

21 世纪以来,随着农村劳动力的大量流失和劳

动力成本的不断上涨,水稻种植方式发生转变,直播、抛秧等轻简化栽培措施逐渐取代移栽,种植面

积逐年扩大(Farooq *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2015)。直播稻播种后一般不建立水层,且在水稻三叶期前保持田间土壤湿润,这种水分管理模式有利于拟禾本科根结线虫的发生和危害,并导致直播田根结线虫的群体数量高于移栽田(Prot *et al.*, 1994)。直播田根结线虫群体数量的常年积累,导致近些年来水稻根结线虫病在直播稻种植区频发(López-Fando & Bello, 1995)。本研究发现,水稻根结线虫病在平江县的发现乡镇已由 2018 年的 5 个乡镇发展到 15 个,呈蔓延趋势。特别是平江县东部和南部靠近汨罗江沿岸的乡镇水稻根结线虫病发生严重,需对该病害引起足够重视。

线虫的口针、体长、尾长等是用于鉴定根结线虫种类的重要参数。但拟禾本科根结线虫不同地理群体的体长、口针长度等参数变异较大。本检测结果表明,福寿山镇山区群体的体长、体宽、尾长等值较其他乡(镇)群体的值偏小,与 Bellafiore & Briges (2010)结果相似,反映了不同地理群体存在一定的形态差异(Pokharel *et al.*, 2010),也表明了环境气候条件及寄主可能是影响线虫形态特征的重要因素(Jepson, 1983)。

根结线虫病作为一种土传病害,土壤的质地、温度、pH 值、氧化还原状态和水分含量均能影响水稻根结线虫病的发生(Soriano *et al.*, 2000; Win *et al.*, 2011, 2013)。调查发现,安定、长寿等水稻根结线虫病严重发生地多为砂壤、中壤或重壤,且不保水,有利于水稻根结线虫病发生(Bridge *et al.*, 2005),而伍市镇等地稻田土质为黏土,保水性能较好,不利于线虫的侵染和繁殖(Griffin & Darling, 1964),发病较轻。调查中还发现,水稻根结线虫病在当地的早、中稻上发生较严重,晚稻上发生较轻,这可能与湖南 6—8 月份 30 ℃ 以上高温不利于根结线虫卵的孵化(Rao & Israel, 1973; Rao *et al.*, 1971)及夏季翻晒降低了根结线虫群体数量有关(Khan & Singh, 2008; Singh *et al.*, 2005)。

参考文献

冯辉, 聂国媛, 陈曦, 张金凤, 周冬梅, 魏利辉, 2017. 拟禾谷根结线虫江苏分离群体形态学和分子鉴定. 江苏农业学报, 33(4): 794–801.

吕军, 余艺涛, 邱立新, 李奔奔, 谢群生, 吴猛香, 2019. 湖南平江县水稻根结线虫病发生调查及病原种类分子鉴

定. 中国植保导刊, 39(8): 15–19.

刘国坤, 王玉, 肖顺, 张绍升, 2011. 水稻根结线虫病的病原鉴定及其侵染源的研究. 中国水稻科学, 25(4): 420–426.

刘乐乐, 方亦午, 陈先锋, 杜宇, 顾建锋, 2018. 拟禾本科根结线虫形态和分子鉴定. 植物检疫, 32(6): 32–37.

吴文涛, 李梅云, 许姗姗, 薛美静, 张靖, 魏环宇, 王扬, 2019. 植物罹病组织中南方, 爪哇, 花生根结线虫的 LAMP 快速检测. 生物安全学报, 28(1): 59–64.

徐志鹏, 刘文飞, 沈芳芳, 段洪浪, 吴建平, 陈官鹏, 徐晋, 2020. 基于扩展的 Budyko 模型定量评估平江流域森林恢复和气候变异对季节性径流的影响. 生态学报, 40(23): 412–422.

姚思敏, 丁中, 周建宇, 袁涛, 黄勇椿, 叶姗, 2018. 水稻拟禾本科根结线虫生防细菌的分离鉴定与防治效果评价. 中国生物防治学报, 34(4): 606–615.

BELLAFIORE S, BRIGGS S P, 2010. Nematode effectors and plant responses to infection. *Current Opinion in Plant Biology*, 13(4): 442–448.

BRIDGE J, PLOWRIGHT R A, PENG D, 2005. *Nematode parasites of rice. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. Wallingford: Cabi Publishing.

DE WAELE D, ELSEN A, 2007. Challenges in tropical plant nematology. *Annual Review of Phytopathology*, 45: 457–485.

HTAY C C, PENG H, HUANG W K, KANG L G, HE W T, HOLGADO R, PENG D L, 2016. The development and molecular characterization of a rapid detection method for rice root-knot nematode (*Meloidogyne graminicola*). *European Journal of Plant Pathology/European Foundation for Plant Pathology*, 146(2): 281–291.

DUTTA T K, GANGULY A K, GAUR H S, 2012. Global status of rice root-knot nematode, *Meloidogyne graminicola*. *African Journal of Microbiology Research*, 6(31): 6016–6021.

FAROOQ M, SIDDIQUE K H M, REHMAN H, AZIZ T, LEE D J, WAHID A, 2011. Rice direct seeding: experiences, challenges and opportunities. *Soil & Tillage Research*, 111(2): 87–98.

GOLDEN A M, BIRCHFIELD W, 1965. *Meloidogyne graminicola* (Heteroderidae) a new species of root-knot nematode from grass. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, 32(2): 228–231.

GRIFFIN G D, DARLING H M, 1964. An ecological study of *Xiphinema americanum* Cobb in an ornamental spruce nursery. *Nematologica*, 10(3): 471–479.

JEPSON S B, 1983. Identification of *Meloidogyne*: a general assessment and a comparison of male morphology using light microscopy, with a key to 24 species. *Revue Nematologie*, 6:

- 291–309.
- KHAN A R, SINGH S S, 2008. Nematode management in rice production system through deep tillage. *International Nematology*, 18(1): 83–85.
- LIU H Y, HUSSAIN S, ZHENG M M, PENG S B, HUANG J L, CUI K H, NIE L X, 2015. Dry direct-seeded rice as an alternative to transplanted-flooded rice in Central China. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1): 285–294.
- LÓPEZ-FANDO C, BELLO A, 1995. Variability in soil nematode populations due to tillage and crop rotation in semiarid Mediterranean agrosystems. *Soil & Tillage Research*, 36(1/2): 59–72.
- PLOWRIGHT R, BRIDGE J, 1990. Effect of *Meloidogyne craminicola* (Nematoda) on the establishment, growth and yield of rice cv ir36. *Nematologica*, 36(1): 81–89.
- PROT J C, SORIANO I R S, MATIAS D M, 1994. Major root-parasitic nematodes associated with irrigated rice in the Philippines. *Fundamental and Applied Nematology*, 17(1): 75–78.
- POKHAREL R R, ABAWI G S, DUXBURY J M, SMAT C D, WANG X, BRITO J A, 2010. Variability and the recognition of two races in *Meloidogyne graminicola*. *Australasian Plant Pathology*, 39: 326–333.
- RAO Y S, ISRAEL P, 1973. Life history and bionomics of *Meloidogyne graminicola*, the rice root-knot nematode Indian. *Phytopathology*, 9(1): 87–91.
- RAO Y S, ISRAEL P, RAO Y R V J, RAO V N, 1971. Studies on nematodes of rice and rice soil. IV. Survey of nematodes. *J Ass Rice Res Workers*, 1971, 8(2): 47–51.
- SHARMA-POUDYAL D, POKHAREL R R, SHRESTHA S M, KHATRI-CHHETRI G B, 2005. Effect of inoculum density of rice root knot nematode on growth of rice cv. Masuli and nematode development. *Australasian Plant Pathology*, 34(2): 181–185.
- SINGH S S, HAIDAR M G, KHAN A R, 2005. Biodiversity and management of nematodes associated with rice in Eastern India. *International Nematology*, 15(2): 141–144.
- SORIANO I R S, PROT J C, MATIAS D M, 2000. Expression of tolerance for *Meloidogyne graminicola* in rice cultivars as affected by soil type and flooding. *Journal of Nematology*, 32(3): 309–317.
- SORIANO I R S, REVERSAT G, 2003. Management of *Meloidogyne graminicola* and yield of upland rice in South Luzon, Philippines. *Nematology*, 5(6): 879–884.
- SONG Z Q, ZHANG D Y, LIU Y, CHENG F X, 2017. First report of *Meloidogyne graminicola* on rice (*Oryza sativa*) in Hunan province, China. *Plant Disease*, 101(8): 1554.
- UPADHYAY V, BHARDWAJ N R, NEELAM, SAJEESH P K, 2014. *Meloidogyne graminicola* (Golden and Birchfield): threat to rice production. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*. 2(3): 31–36.
- WANG G F, XIAO L Y, LUO H G, PENG D L, XIAO Y N, 2017. First report of *Meloidogyne graminicola* on rice (*Oryza sativa*) in Hubei province of China. *Plant Disease*, 101(6): 1056–1057.
- WIN P P, KYI P P, WAELE D D, 2011. Effect of agroecosystem on the occurrence of the rice root-knot nematode *Meloidogyne graminicola* on rice in Myanmar. *Australasian Plant Pathology*, 40(2): 187–196.
- WIN P P, KYI P P, MAUNG Z T Z, DE WAELE D, 2013. Population dynamics of *Meloidogyne graminicola* and *Hirschmanniella oryzae* in a double rice-cropping sequence in the lowlands of Myanmar. *Nematology*, 15(3): 795–807.

(责任编辑:郭莹)