

刘雪娇 程春燕 杨树琼 等. 南方根结线虫侵染抗感黄瓜材料根系组织特征观察[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(5):69-74

南方根结线虫侵染抗感黄瓜材料根系组织特征观察

刘雪娇 程春燕 杨树琼 钱春桃 李季 陈劲枫*

(南京农业大学园艺学院/葫芦科作物遗传与种质创新实验室,江苏南京210095)

摘要:为探明抗性黄瓜材料受南方根结线虫侵染后根系组织病理学变化,以抗病黄瓜/酸黄瓜渐渗系 ILs-10-1 和感病普通栽培黄瓜‘北京截头’为试材,接种南方根结线虫后 3、6、9、12、15 和 22 d 取根系进行观察。结果表明:接种后 3 d,ILs-10-1 和‘北京截头’根尖均出现过敏性坏死;接种后 6 d 在 ILs-10-1 和‘北京截头’根系上发现膨大的根结,两者根结数和根结大小差异不明显;但随着接种时间增加,ILs-10-1 所形成的根结数明显少于‘北京截头’。对各时期横径最大的根结进行石蜡切片观察发现,ILs-10-1 巨型细胞位于薄壁细胞层,数量少,体积小,周围大量的细胞在接种后 6 d 呈延伸状和空洞化,‘北京截头’巨型细胞位于维管束附近,数量多,体积大,周围部分细胞在接种后 9 d 开始出现空洞化,且易形成重根结。结论:过敏性坏死和细胞空洞化是黄瓜抗线虫侵染共有的防御特征,而抑制巨型细胞形成、周围细胞广泛空洞化和提早空洞化为抗病材料 ILs-10-1 的主要抗性特征。

关键词:南方根结线虫;渐渗系;石蜡切片;巨型细胞

中图分类号:S682.1⁺1

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2014)05-0069-06

Histopathological observation of roots in cucumbers inoculated with *Meloidogyne incognita*

LIU Xuejiao, CHENG Chunyan, YANG Shuqiong, QIAN Chuntao, LI Ji, CHEN Jinfeng*

(College of Horticulture/Laboratory of Cucurbit Genetics and Germplasm Enhancement,
Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: To ascertain the root hispathological changes of resistant cucumber after *Meloidogyne incognita* inoculation, resistant *Cucumis sativus-hystrix* introgression line ILs-10-1 and susceptible cucumber cultivar ‘Beijingjietou’ were used in the experiment. Root samples were collected after *M. incognita* inoculation 3, 6, 9, 12, 15 and 22 d. The results showed that 3 d after inoculation, the root tips of ILs-10-1 and ‘Beijingjietou’ appeared hypersensitive reaction; 6 d after inoculation, root knots were found both in ILs-10-1 and ‘Beijingjietou’, the size and number of root knots between them were not significant; with the increase of inoculation days, the number of root knots in ILs-10-1 was significantly less than ‘Beijingjietou’. To observe paraffin sections of the largest diameter root knots, it was found that the giant cells located in the parenchyma cell layer of ILs-10-1 and vascular of ‘Beijingjietou’ respectively, and during the period of giant cells formation, the size and number of giant cells in ILs-10-1 were smaller than ‘Beijingjietou’. After inoculation 6 d, a large number of cells surrounding the giant cells appeared elongate and vacant in ILs-10-1; however, in ‘Beijingjietou’, there were a part of cells surrounding the giant cells initiated vacant after 9 d with inoculation, and formed cluster of root knots easily. Conclusions: It was indicated that plant cell hypersensitive reaction and cell vacant were the common characteristics in cucumber materials defense root knot nematode invasion, but inhibited the development of giant cell, surrounding cells were vacant widely and earlier cell vacant were the main resistant characteristics of ILs-10-1.

Keywords: *Meloidogyne incognita*; introgression line; paraffin sections; giant cell

根结线虫(*Meloidogyne* spp.)是一种内源固着性寄生线虫,因其分布广泛性、多寄主性、强侵染性和发生危害隐蔽性等特点,是威胁世界性农业生产的主要病原物^[1-2]。在甜菜和番茄^[3]、大豆^[4]、芒果^[5]、黄瓜^[6-8]、樱桃^[9]、鹰嘴豆^[10]等作物上,研究者对根结线虫侵染后根结的膨大过程进行组织病理学观察,发现根结线虫以二龄幼虫侵入植物根系,诱导寄主维管束附近的细胞形成体积为正常细胞大小50~400倍左右的巨型细胞作为其取食位点,这种寄生方式导致寄主植物水分和营养运输障碍。

近年来,研究者试图比较不同抗性材料根结的形成过程以阐述抗病材料的组织形态学防御机制。王

收稿日期:2014-02-19

基金项目:国家863计划项目(2012AA100202);国家科技支撑计划项目(2013BAD01B04-10);国家公益性行业(农业)科研专项(201403032);国家自然科学基金重点项目(31430075);江苏省科技支撑计划项目(BE2009310);江苏省农业科技自主创新基金[CX(11)1002];江苏省科技支撑计划(农业)项目(BE2012323);中央高校基本科研业务费专项

作者简介:刘雪娇,硕士研究生,*通信作者:陈劲枫,教授,博导,研究方向为瓜类蔬菜作物细胞分子遗传及育种,E-mail:jfchen@njau.edu.cn。

刚等^[11]分析认为抗病烟草的防御机制是巨型细胞的崩解使线虫缺乏营养而死亡; Walters 等^[8]对野生抗病黄瓜‘Hardwickii’和感病栽培黄瓜‘Smuter’接种北方根结线虫、爪哇线虫、花生根结线虫后形成的根结进行石蜡切片观察,认为抗病材料中巨型细胞的伸长是导致线虫不能正常发育的主要机制。因此,利用组织病理学手段研究抗病材料巨型细胞的形成及其机制对控制根结线虫病害具有重要的指导意义。

在黄瓜抗南方根结线虫种质资源发掘研究中,除了野生‘酸黄瓜’(*Cucumis hystrix* Chakr. $2n=24$) 与普通栽培黄瓜‘北京截头’(*Cucumis sativus* L. $2n=14$) 种间杂交所获得的渐渗系 ILs-10-1 对南方根结线虫具有抗性外,尚未发现其他的黄瓜抗性资源^[12]。叶德友等^[13]对甜瓜属野生材料‘酸黄瓜’进行解剖学观察发现抗侵入、抑制取食和坏死是抗性反应的主要特征。本试验旨在分析黄瓜抗病渐渗系 ILs-10-1 和感病‘北京截头’接种南方根结线虫后根系组织病理变化,以阐明抗病和感病黄瓜材料组织形态学防御机制,并为推广 ILs-10-1 作为抗病资源提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 线虫收集

南方根结线虫由江苏省农业科学院植物保护研究所提供,常年接种在感病番茄上,于温室中繁殖。接种前挑取发病番茄根系上的根结线虫卵块,置于 0.5% (体积分数) 的 NaClO 溶液中消毒 5 min,无菌水冲洗 4 次,放入装有纱布的培养皿中,置于 26 °C 恒温箱中孵化,收集 2 龄幼虫,计数备用。

1.2 育苗及接种

供试抗病黄瓜材料为黄瓜/酸黄瓜渐渗系 ILs-10-1,感病材料为普通栽培黄瓜‘北京截头’,均由南京农业大学葫芦科作物遗传与种质创新实验室提供。基质为泥炭土和蛭石(质量比为 1:1),使用前高温灭菌(121 °C, 25 min),以杀死其中的微生物和线虫。将灭菌后的基质放入大小为 5 cm×5 cm×6 cm 的盆钵中,待种子出芽后进行直播,各 25 株,置于光照培养箱中(日温 25 °C, 12 h; 夜温 20 °C, 12 h)。幼苗长至 2 片真叶时接种,参照陈劲枫等^[14]的接种方法,在黄瓜根系周围用玻璃棒打孔,直径 0.6 cm,深 2~3 cm,每盆 3 个孔,将收集的 2 龄幼虫悬浮液注入孔中,接种量为 400 条,然后覆土。接种后转置于日光温室中生长(日温 25~30 °C, 夜温 20~25 °C),正常肥水管理。

1.3 接种后根结取样

接种后 3、6、9、12、15 和 22 d,分别取 ILs-10-1 和‘北京截头’整株完整的根系,各 3 株,用无菌水小心洗净,在双目解剖镜下观察根结线虫侵染后根系的变化并统计各单株上所形成的根结数目。各取 3 株 ILs-10-1 和‘北京截头’的根系,测量各个单株上横径较大的根结,最后挑选每个单株上横径最大的 2 个根结,共 6 个(3 个用于横切,3 个用于纵切),用 FAA 固定液固定。

1.4 石蜡切片的制作

FAA 固定液固定材料 36 h 后,分别使用 70%、80%、95%、100% 和 100% 的乙醇(体积分数)溶液逐级脱水,每级脱水 1 h;二甲苯透明 2 次,每次 1 h;在 48 °C 下用二甲苯和纯蜡(体积比为 1:1)混合溶液处理 24 h;58 °C 下纯石蜡溶液处理 12 h,然后包埋。旋转切片机制片,厚度为 10 μm,将材料横切面或纵切面最大面积处的蜡带粘于载玻片上烘片;苏木精-伊红染色,加拿大树胶封固^[15]。每个根结样品选取 2 张切片,在 Olympus 光学显微镜下观察并拍照记录。

2 结果与分析

2.1 黄瓜抗、感材料接种南方根结线虫后的根结数

由图 1 可见,ILs-10-1 和‘北京截头’均在接种后 6 d 开始形成膨大的根结,ILs-10-1 的根结数随接种时间增加缓慢上升,而‘北京截头’根结数随着接种时间的增加呈迅速上升的趋势;接种后 22 d,ILs-10-1 平均根结数为 19.5 个,此时‘北京截头’为 59 个。接种后 22 d ‘北京截头’根系上的根结数明显多于 ILs-10-1(图 2)。

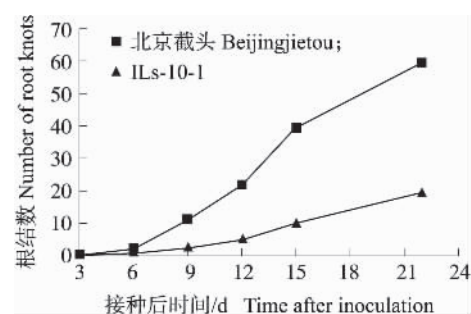


图 1 ILs-10-1 和‘北京截头’接种南方根结线虫后的根结数

Fig. 1 The number of root knots in ILs-10-1 and ‘Beijingjietou’ after *Meloidogyne incognita* inoculation

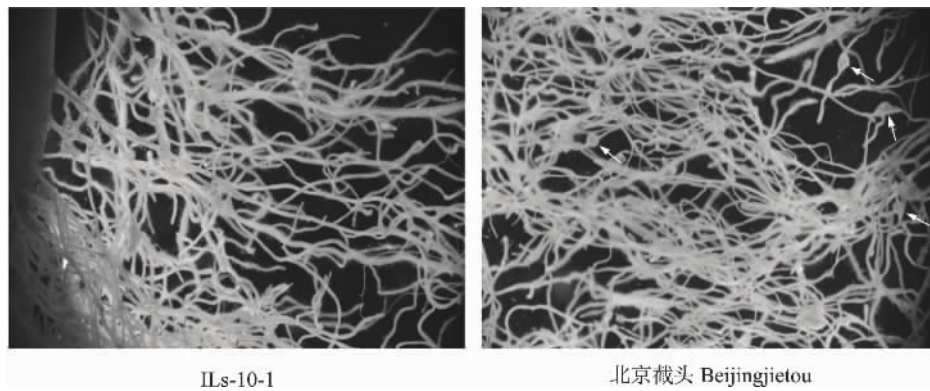


图 2 ILs-10-1 和 ‘北京截头’ 接种南方根结线虫后 22 d 部分根系的根结(×10)

Fig. 2 The root knots of part roots in ILs-10-1 and ‘Beijingjietou’ after *M. incognita* inoculated 22 day

箭头所指出为根结。Arrows show root knots.

2.2 黄瓜抗、感材料接种南方根结线虫后最大根结横径

由表 1 可见 抗、感材料均在接种后 6 d 形成根结。接种后 6 d ILs-10-1 根结横径为 0.21 mm; 接种后 9 ~ 12 d 横径从 0.463 mm 增加到 0.817 mm ,但接种后 12 ~ 22 d 最大根结的横径增加缓慢 ,接种后 22 d 最大根结横径为 1.203 mm。 ‘北京截头’ 接种后 6 ~ 12 d ,最大根结横径成倍增加; 接种后 12 ~ 22 d 最大根结横径增加量明显大于同期 ILs-10-1 的增加量 ,且接种后 22 d 最大根结横径达 1.5 mm。

表 1 黄瓜抗、感材料接种南方根结线虫后不同时期最大根结横径($\bar{x} \pm SD$)

Table 1 The largest diameter of root knot in resistant and susceptible materials of cucumber inoculated with *M. incognita*

材料 Material	接种后时间/d Time after inoculation					
	3	6	9	12	15	22
ILs-10-1	0	0.210±0.000	0.463±0.015	0.817±0.021	0.920±0.030	1.203±0.0320
北京截头 Beijingjietou	0	0.230±0.020	0.510±0.010	0.923±0.025	1.223±0.025	1.500±0.0210

2.3 黄瓜抗、感材料接种南方根结线虫后的根系

由图 3-A 可见 未受到根结线虫侵染的黄瓜根系形态和颜色正常。正常根系根尖部位组织排列分布正常 根冠区细胞形态完整 ,分生区细胞排列规则紧密(图 3-B)。ILs-10-1 和 ‘北京截头’ 接种南方根结线虫后 3 d 均会产生过敏性坏死的现象。由图 3-C、D 可见 ,产生过敏性坏死的根系表现为根尖部位膨大且呈黄褐色 ,出现此类过敏性坏死的根尖部位组织疏松易腐烂; 根冠区细胞细胞壁增厚 ,部分细胞碎裂坏死 ,细胞排列紧密无规则; 分生区细胞排列松散 ,部分区域出现空洞、细胞萎缩的现象。

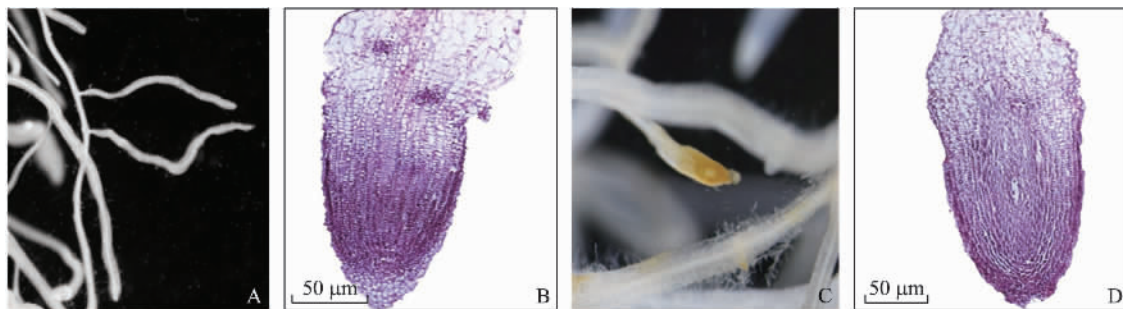


图 3 黄瓜正常根系和接种南方根结线虫产生的过敏性坏死根系解剖图

Fig. 3 Pathological anatomy picture of cucumber normal root and hypersensitive root inoculated with *M. incognita*

A. 正常根系(×20) Normal root; B. 正常根系的解剖图 Histopathology of normal root; C. 过敏性坏死的根系(×40) Hypersensitive root;

D. 过敏性坏死根系的解剖图 Histopathology of hypersensitive root

2.4 黄瓜抗、感材料接种南方根结线虫后的根结石蜡切片

由图 4 可见 ,ILs-10-1 和 ‘北京截头’ 的正常根系维管束由木质部和韧皮部组成 ,正常根系维管束周围的细胞有序排列。且 ILs-10-1 和 ‘北京截头’ 正常根系在形态结构学上无明显差异。

由图 5-A 可见 ,受根结线虫诱导后 ,ILs-10-1 初生韧皮部附近的薄壁细胞层形成巨型细胞 ,维管束完整未受到破坏; 接种 6 d 后 ,巨型细胞呈延伸状 ,细胞壁出现降解 ,且巨型细胞邻近的个别细胞空洞化

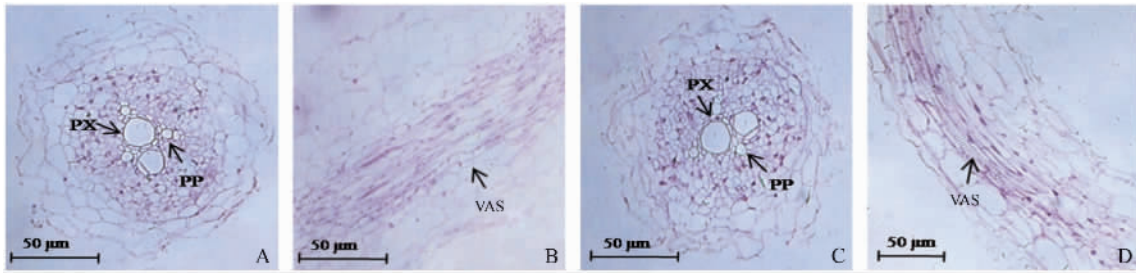


图 4 ILs-10-1 和 ‘北京截头’ 正常根系解剖图

Fig. 4 Pathological anatomy picture of normal roots in ILs-10-1 and ‘Beijingjietou’

A, B. ILs-10-1 正常根系横切面、纵切面 Normal root cross section and vertical section of ILs-10-1; C, D. ‘北京截头’ 正常根系横切面、纵切面 Normal root cross section and vertical section of ‘Beijingjietou’.

PX. 初生木质部 Primary xylem; PP. 初生韧皮部 Primary phloem; VAS. 维管束 Vascular bundle. The same as follows.

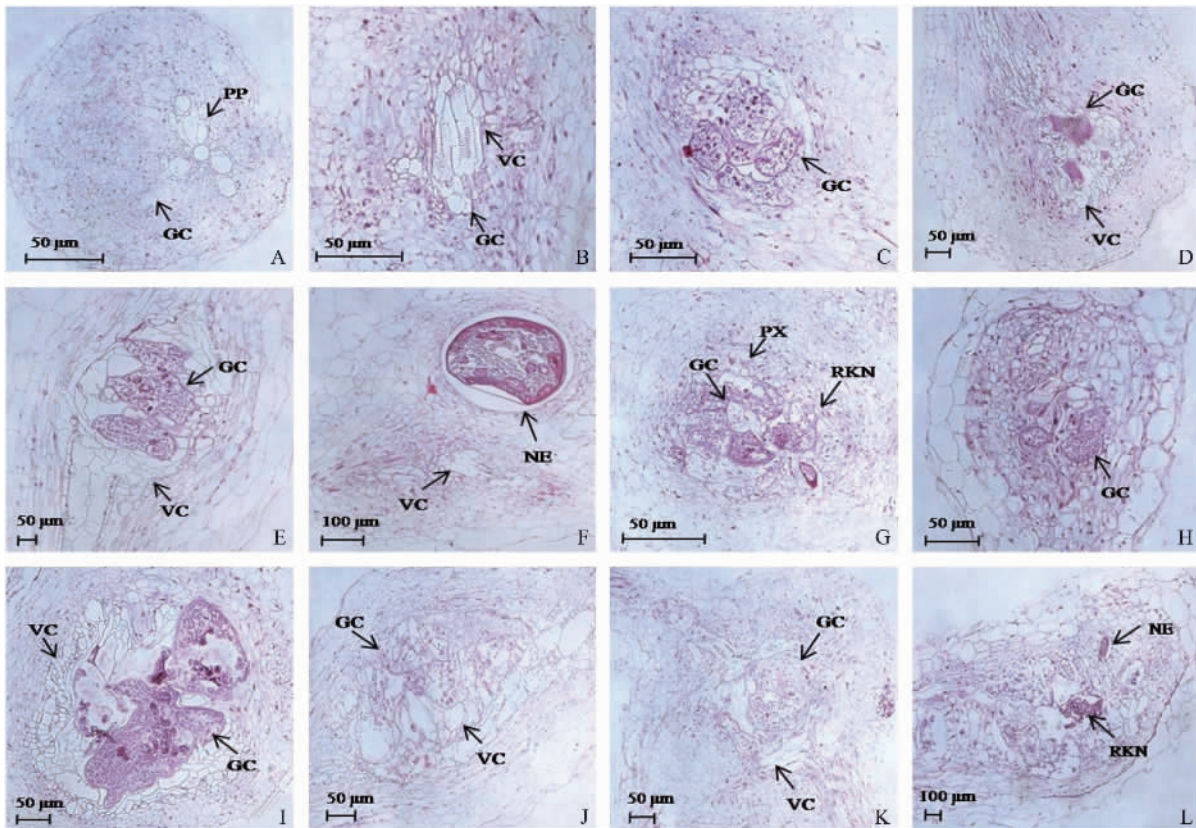


图 5 ILs-10-1 和 ‘北京截头’ 接种南方根结线虫后根结组织学观察

Fig. 5 Observation on the histological changes of root knots in ILs-10-1 and ‘Beijingjietou’ after *M. incognita* inoculation

A, B. ILs-10-1 接种后 6 d 根结横切面和纵切面 Cross section and vertical section of knots in ILs-10-1 inoculated 6 d; C ~ F. ILs-10-1 接种后 9、12、15 和 22 d 的根结纵切面 Vertical section of knot in ILs-10-1 inoculated 9、12、15、22 d; G, H. ‘北京截头’ 接种后 6 d 根结横切面和纵切面 Cross section and vertical section of knots in ‘Beijingjietou’ inoculated 6 d; I ~ L. ‘北京截头’ 接种后 9、12、15 和 22 d 的根结纵切面 Vertical section of knot in ‘Beijingjietou’ inoculated 9、12、15、22 d

GC. 巨型细胞 Giant cell; VC. 空洞细胞 Vacant cell; NE. 卵囊 Nematode eggs; RKN. 根结线虫 Root knot nematode. The same as follows.

(图 5-B); 接种 9 d 后, 巨型细胞紧密排列, 细胞内含物密度增加并出现多核现象, 巨型细胞邻近的大量细胞空洞化(图 5-C); 接种 12 和 15 d 后, 巨型细胞细胞质浓厚, 数量少且偏小, 周围多数细胞呈现空洞化, 巨型细胞与周围的薄壁细胞接触面少, 孤立于中央(图 5-D、E); 接种 22 d 后, 可观察到根结中正在形成的卵囊, 卵囊周围的细胞较为完整(图 5-F)。由图 5-G 可见, ‘北京截头’ 接种根结线虫 6 d 后, 初生木质部出现严重的变形, 分布在根系初生木质部和初生韧皮部周围的巨型细胞形状不规则, 细胞壁较厚, 且细胞内含物丰富; 由图 5-H 可见, 巨型细胞的形成导致根系的直径变大形成根结; 接种 9 d 后, 巨型细胞直径急剧增加, 细胞内含物饱满, 同时在巨型细胞周围出现直径或大或小、细胞壁破裂的空洞化细胞(图 5-I); 接种 12 d 后, 巨型细胞细胞质稀疏, 附近细胞延伸产生破裂, 并呈现出细胞空洞化(图 5-J); 接种 15 d 后, 形

成较大直径根结,根系的薄壁细胞层变厚,巨型细胞形状无规则且排列混乱,内含物稀疏(图5-K);接种22 d后,巨型细胞开始大量降解,周围完整的细胞较少,组织中有虫体和产生的卵囊(图5-L)。

在对根系进行根结取样过程中,发现‘北京截头’从接种后9 d起就可以形成重根结(图6-A),而在ILs-10-1中未观察到此现象。由重根结的纵切面图可见,维管束组织结构扭曲且薄壁组织混乱,细胞出现大量的空洞现象(图6-B)。

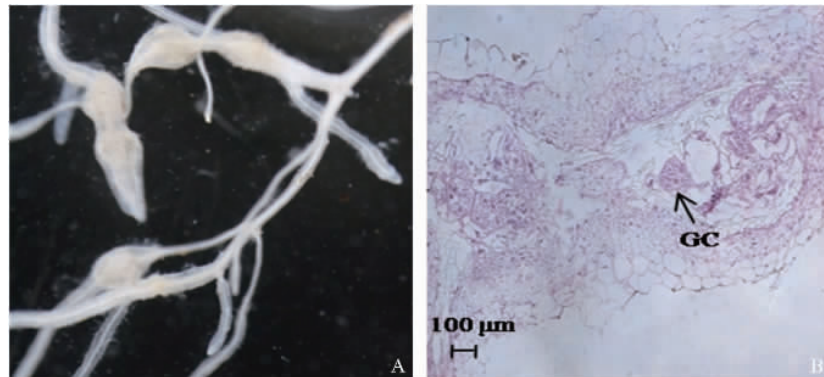


图6 ‘北京截头’接种南方根结线虫后根系上的重根结

Fig. 6 The cluster of root knots in ‘Beijingjietou’ after *M. incognita* inoculation

A. 重根结($\times 40$) Root knots cluster; B. 重根结解剖图 Histopathology of root knots cluster

3 讨论

本研究表明:黄瓜抗病材料ILs-10-1和感病品种‘北京截头’在接种南方根结线虫后3 d,根尖部位均产生过敏性坏死,表明植物过敏反应并不是抗病材料所特有的抗性特征,而是植物的主动抗性防御机制。植物过敏性坏死反应是指病原体侵染植物过程中,被侵染部位及邻近部位细胞会出现坏死的现象^[16-17]。坏死的部位不仅阻碍了线虫的侵染,同时诱导附近细胞木质素的积累,使细胞壁增厚以阻止病原菌侵入^[18]。本研究通过观察过敏根系的组织病理图,发现在根冠部位的细胞有碎裂坏死的痕迹,且根尖表层细胞的细胞壁明显增厚,细胞排列紧密。这也与叶德友等^[13]研究结果相似。

本研究中,‘北京截头’中巨型细胞位于根系维管束后生木质部和初生韧皮部附近;而ILs-10-1中巨型细胞位于维管束附近的薄壁细胞层。根结线虫选择以该部位作为取食位点有利于巨型细胞的形成。根结线虫可以在感病材料的维管束部位与其成功建立取食位点,而在ILs-10-1中,却难以诱导其维管束形成其巨型细胞。随着接种时间的增加,‘北京截头’和ILs-10-1中根结的大小差异也逐渐显著,‘北京截头’接种后9 d起,巨型细胞体积大,数量多,且巨型细胞毗邻的部分薄壁细胞开始出现空洞化,其余部分的薄壁细胞仍与巨型细胞相连,以保证巨型细胞从附近细胞汲取营养;而ILs-10-1接种后6 d起,巨型细胞较小、数量也少于感病材料,且巨型细胞毗邻的几乎所有薄壁细胞逐渐出现细胞壁破裂、细胞延伸和空洞化,巨型细胞被孤立中央,大小发育受到了限制,这也表明ILs-10-1更早利用自身细胞的降解以阻碍线虫与其建立寄生关系。接种后22 d,在抗、感材料的根结内观察到卵囊的产生,但此时感病材料中出现组织崩塌,ILs-10-1中组织未受到明显的破坏。表明ILs-10-1在抗性结构特征上,主要表现为抑制巨型细胞的形成位置和抑制巨型细胞发育两个方面。

前人研究认为过敏性坏死,抑制巨型细胞的形成或将线虫排除在维管束之外为寄主对根结线虫侵染所产生的抗性反应^[19],本研究结果也与之相符。ILs-10-1和‘北京截头’的抗性特征在形态组织学上存在过敏反应和细胞空洞化的共性,差异在于抗病ILs-10-1中巨型细胞的分布位置、毗邻细胞空洞化范围、空洞化时间更能有效抑制巨型细胞的形成。王刚等^[11]认为巨型细胞提早空洞化是抗病烟草的抗性特点,本研究中观察到根结线虫侵染黄瓜后并不是巨型细胞空洞化,而是巨型细胞邻近细胞空洞化的现象,这为探索植物形态组织学防御提供了新的发现。此研究结果也为继续探索黄瓜/酸黄瓜渐渗系ILs-10-1抗南方根结线虫的其他抗性机制提供了理论基础。

参考文献 Reference:

[1] 赵鸿,彭德良,朱建兰. 根结线虫的研究现状[J]. 植物保护, 2003, 29(6): 6-9

[Zhao H, Peng D L, Zhu J L. Reviews on the root-knot nematodes [J]. Plant Protection, 2003, 29(6): 6-9 (in Chinese with English ab-

- strac)]
- [2] Bird D M ,Kaloshian I. Are roots special? Nematodes have their say[J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 2003 62:115-123
- [3] Steel A F. Morphological changes in roots of sugarbeet and tomato infected with *Heterodera schachtii* Schmidt 1871[J]. *Journal of the ASSBT* , 1971 ,16(7) :561-567
- [4] Ibrahim I K A ,Massou S I. Development and pathogenesis of a root-knot nematode *Meloidogyne javanica* [J]. *Proceedings of the Helminthological Society* ,1974 41(1) :68-72
- [5] Sayed M ,Khan A ,Khatoun N ,et al. Histopathology of mango roots infected by root-knot nematode[J]. *Pakistan Journal of Nematol* 2010 28(2) :335-340
- [6] 刘奇志 李娜 王丽 等. 南方根结线虫侵染黄瓜幼根组织的病理学观察[J]. *中国农业大学学报* 2008 13(4) :51-56
[Liu Q Z ,Li N ,Wang L ,et al. Histopathological structure of cucumber radicle infected by root-knot nematode[J]. *Journal of China Agricultural University* 2008 13(4) :51-56(in Chinese with English abstract)]
- [7] 王玉玲 刘奇志 周海鹰 等. 黄瓜南方根结线虫病的根结大小与线虫各虫态数量间的关系[J]. *中国蔬菜* 2012(24) :80-85
[Wang Y L ,Liu Q Z ,Zhou H Y ,et al. Relationship between size of root knot and quantity of different instars of *Meloidogyne incognita* in cucumber[J]. *China Vegetables* 2012(24) :80-85(in Chinese with English abstract)]
- [8] Walters S A ,Wehner T C ,Daykin M E ,et al. Penetration rates of root knot nematodes into *Cucumis sativus* and *C. metuliferus* roots and subsequent histological changes[J]. *Nematropica* 2006 36(2) :231-242
- [9] 刘青 乔峰 朱翔 等. 南方根结线虫诱发新疆野生櫻桃李形成的根结形态和发育[J]. *中国农业大学学报* 2013 18(1) :101-107
[Liu Q ,Qiao F ,Zhu X ,et al. Morphology and development of root knot in Xinjiang wild Myrobalan plum infected by *Meloidogyne incognita* [J]. *Journal of China Agricultural University* 2013 18(1) :101-107(in Chinese with English abstract)]
- [10] Vovlas N ,Rapoport H F ,Jiménez Díaz R M ,et al. Differences in feeding sites induced by root-knot nematodes *Meloidogyne* spp. in chickpea[J]. *Phytopathology* 2005 95(4) :368-375
- [11] 王刚 沈永红 王俊芳 等. 南方根结线虫侵染不同抗性烟草品种的组织病理学观察[J]. *河南农业科学* 2006(2) :61-63
[Wang G ,Chen Y H ,Wang J F ,et al. Histopathological changes of different tobacco varieties infected by *Meloidogyne incognita* [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences* 2006(2) :61-63(in Chinese with English abstract)]
- [12] 史建磊 娄群峰 钱春桃 等. 黄瓜染色体片段导入系的构建与遗传评价[J]. *南京农业大学学报* ,2011 34(1) :20-24. doi: 10. 7685/j. issn. 1000-2030. 2011. 01. 004
[Shi J L ,Lou Q F ,Qian C T ,et al. Construction and genetic evaluation of chromosome segment introgression lines in cucumber[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University* 2011 34(1) :20-24(in Chinese with English abstract)]
- [13] 叶德友 王暄 张燕霞 等. 酸黄瓜南方根结线虫病抗性的解剖学及其细胞学研究[J]. *植物病理学报* 2010 40(5) :495-503
[Ye D Y ,Wang X ,Zhang Y X ,et al. Anatomy and cytology of sour cucumber for its resistance to the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* [J]. *Acta Phytopathologica Sinica* 2010 40(5) :495-503(in Chinese with English abstract)]
- [14] 陈劲枫 林茂松 钱春桃 等. 甜瓜属野生种及其与黄瓜种间杂交后代抗根结线虫初步研究[J]. *南京农业大学学报* 2001 24(1) :21-24. doi: 10. 7685/j. issn. 1000-2030. 2001. 01. 006
[Chen J F ,Lin M S ,Qian C T ,et al. Identification of *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood resistance in *Cucumis hystrix* Chakr. and the progenies of its interspecific hybrid with cucumber(*C. sativus* L.) [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University* 2001 24(1) :21-24(in Chinese with English abstract)]
- [15] 张婷 房伟民 蒋甲福 等. 菊花毛刺的形态及显微结构[J]. *南京农业大学学报* ,2014 37(1) :43-46. doi: 10. 7685/j. issn. 1000-2030. 2014. 01. 008
[Zhang T ,Fang W M ,Jiang J F ,et al. Morphology and microstructure of chrysanthemum burr[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University* , 2014 37(1) :43-46(in Chinese with English abstract)]
- [16] 张红生 吴云雨 鲍永美. 水稻与稻瘟病菌互作机制研究进展[J]. *南京农业大学学报* 2012 35(5) :1-8. doi: 10. 7685/j. issn. 1000-2030. 2012. 05. 001
[Zhang H S ,Wu Y Y ,Bao Y M ,et al. Advances on the mechanism of interaction between rice and blast fungus[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University* 2012 35(5) :1-8(in Chinese with English abstract)]
- [17] 王新荣 纪春燕 朱孝伟 等. 根结线虫调控其寄主巨型细胞信号研究进展[J]. *广东农业科学* 2006(5) :113-116
[Wang X R ,Ji C Y ,Zhu X W ,et al. Review on cell signals secreted by root-knot nematodes *Meloidogyne* spp. for mediating its feeding cells in its host[J]. *Guangdong Agricultural Sciences* 2006(5) :113-116(in Chinese with English abstract)]
- [18] 李波 王军 孙思. 植物诱导抗病机制的研究进展[J]. *中国植保导刊* 2013 33(9) :19-24
[Li B ,Wang J ,Sun S. Research progress on mechanism of plant induced disease resistance[J]. *China Plant Protection* 2013 33(9) :19-24(in Chinese with English abstract)]
- [19] 茆振川 谢丙炎 杨之为 等. 根结线虫与植物的分子互作[J]. *园艺学报* 2006 33(4) :901-907
[Mao Z C ,Xie B Y ,Yang Z W ,et al. Molecular interaction between root-knot nematode and plant [J]. *Acta Horticulturae Sinica* 2006 33(4) :901-907(in Chinese with English abstract)]

责任编辑: 范雪梅