

酸黄瓜南方根结线虫病抗性的解剖学及其细胞学研究

叶德友^{1,2}, 王暄³, 张燕霞¹, 钱春桃¹, 陈劲枫^{1*}

(¹作物遗传与种质创新国家重点实验室, 南京农业大学园艺学院, 南京 210095;

²甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 兰州 730070; ³南京农业大学植保学院, 南京 210095)

摘要: 为探明酸黄瓜南方根结线虫病抗性的内在机理, 以抗病材料酸黄瓜与感病材料北京截头为试材, 对南方根结线虫侵入与幼虫发育、根的解剖学及线虫侵入诱导形成的取食位点的细胞学结构进行了比较研究。结果表明, 抗病材料酸黄瓜根系中线虫侵入率显著低于感病材料北京截头 ($P < 0.01$), 酸黄瓜能够有效抵抗南方根结线虫的侵入; 抗、感材料根系中雌雄虫个体比例分别为 1:12 和 1:5 ($P < 0.01$), 抗性反应能够抑制线虫取食和幼虫发育; 酸黄瓜根的解剖结构与普通栽培黄瓜相似, 酸黄瓜的根不具有结构抗性; 抗病反应中细胞发生过敏性坏死, 感病反应中无此类现象发生。抗侵入、抑制取食和坏死反应是抗病材料酸黄瓜抗性反应的主要特征。

关键词: 酸黄瓜; 南方根结线虫; 抗性; 解剖学; 细胞学

Anatomy and cytology of sour cucumber for its resistance to the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* YE De-you^{1,2}, WANG Xuan³, ZHANG Yan-xia¹, QIAN Chun-tao¹, CHEN Jin-feng¹ (¹State Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Institute of Vegetables, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; ³College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: To understand the inherent mechanism of resistance to root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* in sour cucumber, the differences of invasion and development of the nematode, the anatomy of root and cytology of feeding site by nematode induction were compared by using resistant sour cucumber and susceptible Beijingjietou. The results showed that the percentage of root invasion in resistant sour cucumber was significantly lower than that in susceptible Beijingjietou ($P < 0.01$). The individual ratio of female and male nematodes was 1:12 and 1:5 in resistant and susceptible cucumber roots, respectively ($P < 0.01$). The resistant reaction observed in sour cucumber could inhibit nematodes from feeding and juvenile development. The anatomy of the root of sour cucumber was similar to that of ordinary cultivated cucumber. The hypersensitive necrosis of cells occurred in resistant reaction, while couldn't be detected in susceptible one. Limited invasion, inhibited feeding of nematodes and necrosis response of feeding site cells were the main features occurred in sour cucumber resistant to *M. incognita*.

Key words: sour cucumber; *Meloidogyne incognita*; resistance; anatomy; cytology

中图分类号: S642.2

文献标识码: A

文章编号: 0412-0914(2010)05-0495-09

收稿日期: 2009-06-01; 修回日期: 2010-05-15

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30830079); 国家“863”项目(2008AA10Z150); 国家科技支撑计划项目(2006BAD13B06-3-5)

通讯作者: 陈劲枫, 教授, 主要从事蔬菜遗传育种与分子生物学研究; Tel: 025-84396279, E-mail: jfchen@njau.edu.cn

第一作者: 叶德友(1972-), 男, 甘肃民勤人, 博士研究生, 主要从事蔬菜遗传育种与分子生物学研究; E-mail: ydy_287.my265@yahoo.com.cn.

酸黄瓜 (*Cucumis hystrix* Chakr., $2x = 2n = 24$) 为原产我国云南的甜瓜属野生种^[1]。酸黄瓜和栽培黄瓜 (*Cucumis sativus* L., $2x = 2n = 14$) 的成功杂交标志着甜瓜属种间杂交的重大突破^[2,3], 为利用甜瓜属野生资源进行黄瓜品种的遗传改良开辟了新的研究思路。抗性鉴定结果表明, 酸黄瓜对南方根结线虫具有高度抗性^[4,5], 这是迄今为止甜瓜属中唯一可利用的抗南方根结线虫病的种质资源, 为转移野生黄瓜中的抗线虫基因进入栽培黄瓜、培育抗线虫黄瓜品种提供了一条切实可行的有效途径。

本文从利用酸黄瓜对南方根结线虫病优良抗性的目的出发, 以对南方根结线虫病抗、感差异明显的 2 份甜瓜属种质为试材, 通过比较其线虫侵入、幼虫发育、根的解剖结构及细胞学方面的变化差异, 旨在探讨线虫与寄主之间亲和与非亲和性互作的形成机制, 为进一步阐明其抗病机理与抗南方根结线虫病种质的合理利用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

甜瓜属野生种酸黄瓜 (*C. hystrix* Chakr.)、普通栽培黄瓜北京截头 (*C. sativus* L.) 由南京农业大学作物遗传与种质创新国家重点实验室黄瓜育种组提供, 二者分别高抗、高感南方根结线虫病^[4,5]。南方根结线虫由南京农业大学植保学院线虫实验室提供, 接种在感病番茄品种苏粉 2 号上于温室中进行常年繁殖。

1.2 幼虫孵化与接种方法

从感病番茄根系上挑取新鲜卵块, 将它们置于卵孵化器内, 并加入适量蒸馏水, 放入 24℃ 的培养箱于黑暗中孵化 3~5 d, 将孵化的 2 龄幼虫 (J2) 制备成悬浮液 (200 头/mL)。供试植物材料采用直播, 营养钵规格 10 cm × 10 cm, 内装经高温 (120℃) 灭菌的基质 (泥炭土: 蛭石 = 1:1), 待幼苗长到 3~4 片真叶时开始接种, 接种参照 Chen 等^[5]的方法, 接种量为 1 mL/株, 每份材料各接种 5 株, 2 次重复, 完全随机设计, 接种后进行正常的肥水管理。

1.3 线虫侵入、幼虫发育及根结构的解剖学观察

线虫侵入与幼虫发育观察参照 Daykin 等^[6]的方法进行。接种 2、4、7 和 14 d 及 8 周后, 轻轻倒出营养钵中的植株根系, 用自来水将根系的基质冲洗干净, 蒸馏水漂洗 3 次, 先在含有醋酸和乙醇 (醋酸: 乙醇 = 1:1) 的酸性品红中染色 5~10 min, 接着放入水合氯醛水溶液 (水: 水合氯醛 = 1:4) 中浸泡 30 min, 然后用蒸馏水漂洗 3 次, 再置于解剖镜下检查和统计线虫的数目。根尖样品制备参照 Fahn 等^[7]的方法进行。取供试材料根系的根尖, 取样长度 1.0~1.5 cm, 用 FAA 液固定, 梯度乙醇脱水, 石蜡切片法制片, 切片厚度 12 μm, 番红-固绿双重染色, Olympus 显微镜下观察拍照。

1.4 电镜样品制备与细胞学观察

参照 Holtmann 等^[8]的方法略加改动。接种 2、4、7 和 14 d 后, 对供试材料根系的根尖分别取样, 取样长度 1.5~3.0 mm。首先用 0.03 mol/L 二甲胂酸钠缓冲液 (pH 7.0) 配制的 2.5% 的戊二醛将根尖进行前固定, 4℃ 下固定 2 h, 0.03 mol/L 二甲胂酸钠缓冲液漂洗 3 次, 然后用 2% 钨酸对处理过的根尖样品进行后固定, 4℃ 下固定 2 h, 0.03 mol/L 二甲胂酸钠缓冲液漂洗 3 次, 30%、50%、70%、80%、90%、95% 乙醇脱水, 丙酮: Epon 812 环氧树脂 (1:1) 渗透 3 h, 丙酮: Epon812 环氧树脂 (1:3) 渗透 3 h, Epon812 环氧树脂渗透、包埋过夜, 60℃ 烘箱中聚合 48 h, LKB-V 型超薄切片机切片, 切片厚度约 70 nm, 醋酸双氧铀-柠檬酸铅双重染色, JEM-100CX II 型透射电镜观察拍照。

2 结果与分析

2.1 抗、感材料根系中线虫的侵入及其发育

接种南方根结线虫后, 抗、感材料根系中 2 龄幼虫侵入率存在较大差异 (图 1-A)。接种 2 天后, 抗病材料酸黄瓜、感病材料北京截头根系中线虫侵入率分别为 13%、31%, 感病材料线虫侵入率为抗病材料的 2 倍多。接种 4 d 后, 抗、感材料间线虫侵入率差异在进一步扩大, 抗病材料酸黄瓜未发生明显变化, 其根系中线虫侵入率为 17% ($P > 0.05$), 而感病材料北京截头根系中线虫侵入率达到了 46%。接种 7 d 后, 抗病材料酸黄瓜线虫侵入

率仅为 23%,而感病材料北京截头根系中线虫侵入率则高达 58%。接种 2 周后,抗病材料酸黄瓜与感病材料北京截头线虫侵入率分别为 26%、71%,抗、感类型间线虫侵入率表现出了同接种 1 周内相似的变化差异,感病材料北京截头线虫侵入率极显著高于抗病材料酸黄瓜($P < 0.01$)。接种 8 周后,抗病材料酸黄瓜与感病材料北京截头根系感病状况如图 1-C 和图 1-D 所示,二者根结指数为 1.38 和 4.88,分别为高抗与高感。镜检结果表明,侵入抗病材料酸黄瓜根系中的南方根结线虫 2 龄幼虫约 80% 不能发育,仅有 13% 发育到了成虫,其中雄虫占所有接种个体的 12%,而雌虫只占了 1%,雌雄虫个体比例为 1:12;侵入感病材料北京截头根系中的南方根结线虫 2 龄幼虫均能得到充分发育,其中雄虫占所有个体的 48% ($P < 0.01$),

而雌虫占了所有个体的将近 10% ($P < 0.01$),雌雄虫个体比例为 1:5 (图 1-B)。

2.2 酸黄瓜根的解剖学结构

酸黄瓜根的解剖结构简单,与普通栽培黄瓜基本相似。在初生根分生区,根毛、表皮、皮层、内皮层和中柱鞘由外向内依次分布,包裹在维管束的周围。二元型的维管束由位于中轴线上的木质部和两端的韧皮部组成。在分裂后期,原形成层细胞经过多次分裂形成形成层,形成层继续分裂形成次生木质部与次生韧皮部。中柱鞘经过平周分裂形成周皮,而内皮层、皮层和表皮趋于融合(图 2-A)。次生根伸长区由单细胞的表皮、皮层、内皮层和中柱鞘构成,初生木质部束含有 5~7 个导管,韧皮部位于木质部轴线的两侧,维管束间隙中布满原形成

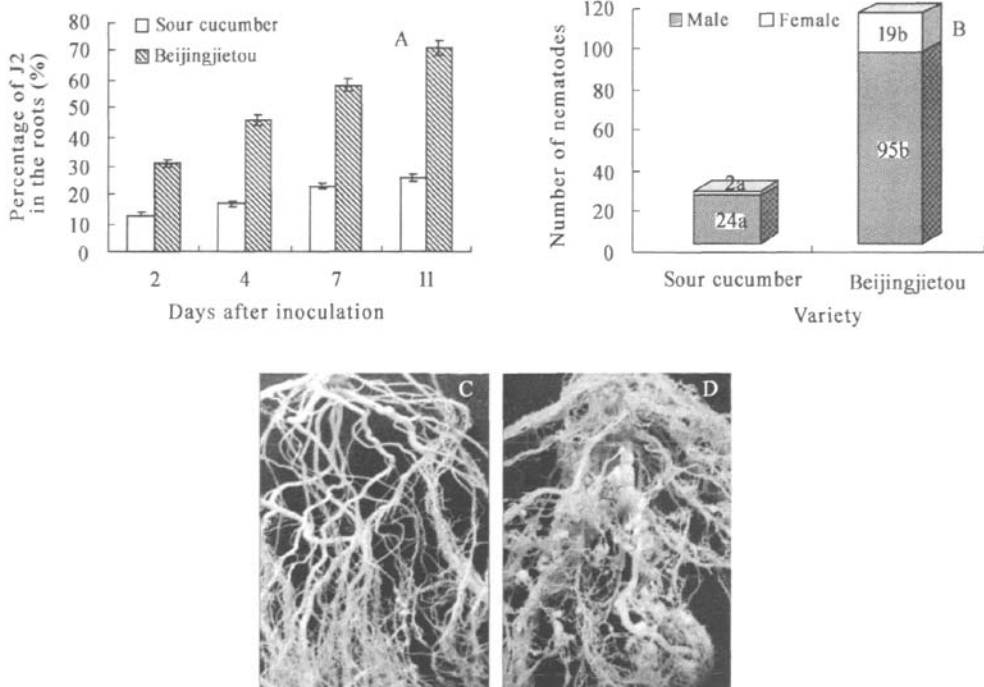


Fig. 1 Invasion, development of nematodes and reaction phenotypes of root in resistant and susceptible varieties after inoculation

A: Invasive rate in root by second-stage juveniles in resistant sour cucumber and susceptible Beijingjietou after inoculation with *Meloidogyne incognita*; B: The average number of individuals of *M. incognita* in resistant sour cucumber and susceptible Beijingjietou eight weeks after inoculation; C-D: Reaction phenotypes in roots infected by root-knot nematode *M. incognita* in resistant sour cucumber (C) and susceptible Beijingjietou (D) eight weeks after inoculation.

层细胞。在次生长过程中,外围覆盖的组织降解,由中柱鞘分裂产生的周皮取代。原形成层细胞分裂形成形成层,在形成层中形成次生导管组织(图 2-B)。

2.3 线虫侵入抗、感材料根系后细胞水平差异

2.3.1 线虫侵入及巨型细胞诱导 在线虫侵入及巨型细胞诱导过程中,南方根结线虫 2 龄幼虫侵入根系首先进入根表皮,然后在表皮内移动穿过皮层,最终到达内皮层(图 3-A)。在内皮层,线虫没有固定的移动方向。由于线虫移动,接种 2 d 后,在抗病材料酸黄瓜中,线虫身体周围细胞出现了明显的坏死(图 3-B),而感病材料北京截头中,细胞内容物及中央大液泡清晰可见,未观察到此坏死反应(图 3-C)。在由内皮层移向维管束时,线虫利用口针刺破细胞壁,有时候线虫头部的一些厚壁物质阻碍了线虫的侵入,而相邻细胞的细胞核和细胞质紧密聚集在一起(图 3-D)。线虫进入维管束后,一些原形成层和中柱鞘细胞逐渐趋于融合形成巨型细胞(图 3-E)。线虫利用口针刺破细胞壁,将口针伸入巨型细胞内,然后通过口针将分泌物释放进细胞质(图 3-F)。

2.3.2 巨型细胞发育 线虫进入维管束后,抗病与感病材料根尖组织中形成了类似合胞化的取食

结构-巨型细胞。感病材料北京截头中诱导形成的巨型细胞,细胞质浓厚,细胞壁明显加厚(图 4-A),由于细胞过于肥大,相邻细胞之间细胞壁开放程度增大(图 4-B);尽管在抗病材料酸黄瓜根系维管束组织中也能诱导形成巨型细胞,并能进一步发育,但它们的体积一般都相对较小(图 4-C),细胞壁加厚不明显,部分细胞壁溶解为薄薄的一层(图 4-D)。抗病与感病材料中,巨型细胞内均含有大量的质体、线粒体以及扩大的细胞核。感病材料北京截头中的中央大液泡发生破裂,形成了许多小液泡(图 4-(E~G)),而抗病材料酸黄瓜中的液泡较大,数量较少,细胞核高度变形(图 4-H)。感病材料北京截头巨型细胞内滑面型内质网居多,并带有一些膨胀的液泡(图 4-I);抗病材料酸黄瓜中,内质网较为平展,上面含有核糖体,因此形成了粗面型内质网(图 4-J)。随着线虫的取食,感病材料北京截头中巨型细胞在进一步扩大,原形成层、形成层及中柱鞘细胞沿纵向继续分裂,有些与巨型细胞融为一体形成更大的巨型细胞,有些则经过分裂形成薄壁组织细胞,包裹在巨型细胞的周围(图 4-K)。接种 4 d 后,在感病材料北京截头中未发现坏死反应(图 4-K),而抗病材料酸黄瓜中,靠近线虫头部的细胞出现坏死(图 4-L)。

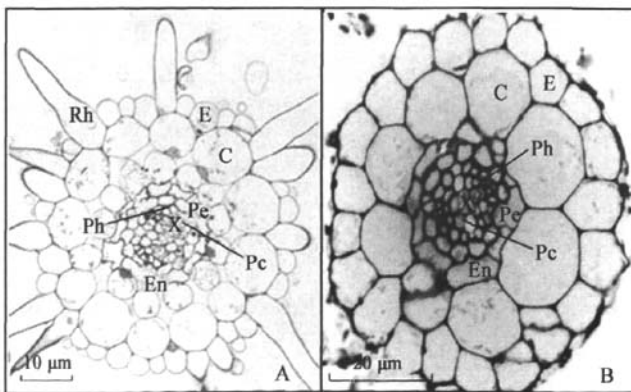


Fig. 2 Transverse section of root of sour cucumber

A: Primary root in the zone of differentiation; B: Lateral root in the zone of elongation. C: Cortex; E: Epidermis; En: Endodermis; Pc: Procambium; Pe: Pericycle; Ph: Phloem; Rh: Root hairs; X: Xylem.

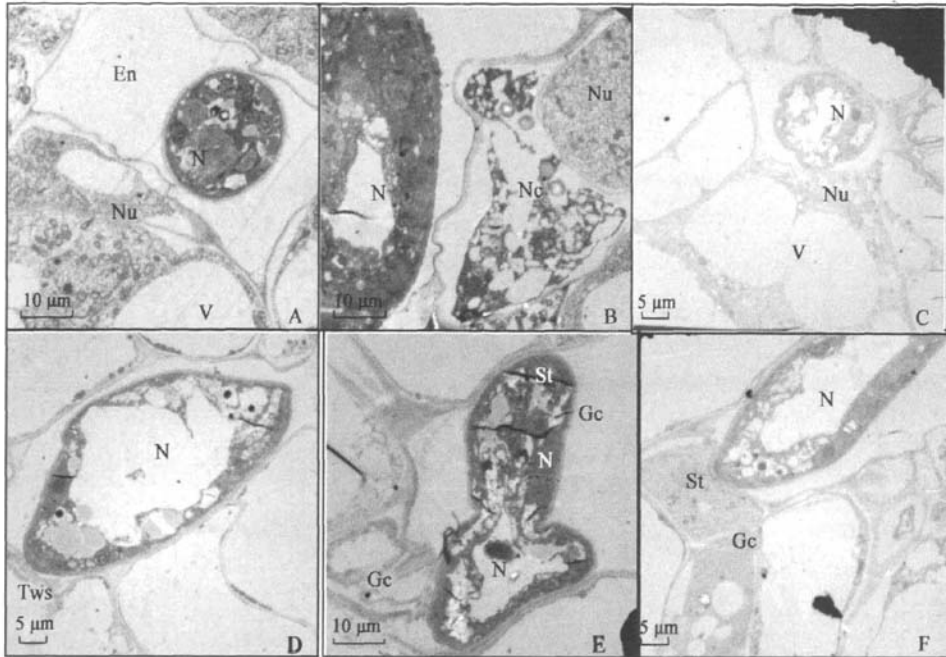


Fig. 3 The process of nematode invasion and giant cells induction

A: Nematode entering the endodermis; B: Necrosis cells around nematode in root tissue of sour cucumber; C: Integrity cells surrounding nematode in root tissue of Beijingjietou; D: Wall-thickened materials around the head of nematode in root tissue of sour cucumber prevented invasion of nematode; E: Giant cells induced by invasion of nematode; F: Nematode stretching its stylet into the giant cells. En: Endodermis; Gc: Giant cells; N: Nematode; Nc: Necrosis; Nu: Nucleus; St: Stylet; V: Vacuole.

2.3.3 巨型细胞降解 感病材料北京截头根组织中形成的巨型细胞,细胞质浓厚,线粒体、质体、小液泡及其它细胞器较多(图 5-A),在巨型细胞中未发现细胞降解,线虫继续将口针伸入巨型细胞汲取营养,线虫依赖此巨型细胞发育到了成虫(图 5-B)。抗病材料酸黄瓜中巨型细胞已开始降解,细胞内容物减少,液泡增大,细胞核高度变形(图 5-C)。在线虫到达成虫前,几乎所有的巨型细胞都已经降解。巨型细胞降解最早出现在接种后 7 d,原生质体高度泡状化,有些原生质体仅含有质体,而其它一些则只剩下质体、细胞核与大液泡的残余物(图 5-D)。在侵染后期,巨型细胞降解速度加快,线虫被一层坏死细胞包围与健康细胞完全分开。在大多数情况下,只剩下大块的降解的细胞

质,偶尔也能发现中央液泡,且保持相对较为完整。在一些区域发现,坏死细胞间的距离明显增大,细胞内容物极少,大部分的巨型细胞原生质体已经完全降解,只剩下一些液泡及泡状结构(图 5-E)。接种 14 d 后,在抗病材料酸黄瓜根皮层中发现了 2 龄幼虫,线虫被一层坏死的皮层细胞所包埋,线虫周围细胞坏死区域没有扩大,然而,偶尔也能发现一些皮层、内皮层及中柱鞘细胞将线虫包埋,这些细胞已坏死或发生降解。在另 1 份取样中也发现了 2 龄幼虫,线虫位于维管束中,并发现了由形成层细胞诱导形成的巨型细胞,巨型细胞轻度增大,内含中央大液泡及薄薄的一层类似壁旁体的细胞质(图 5-F)。

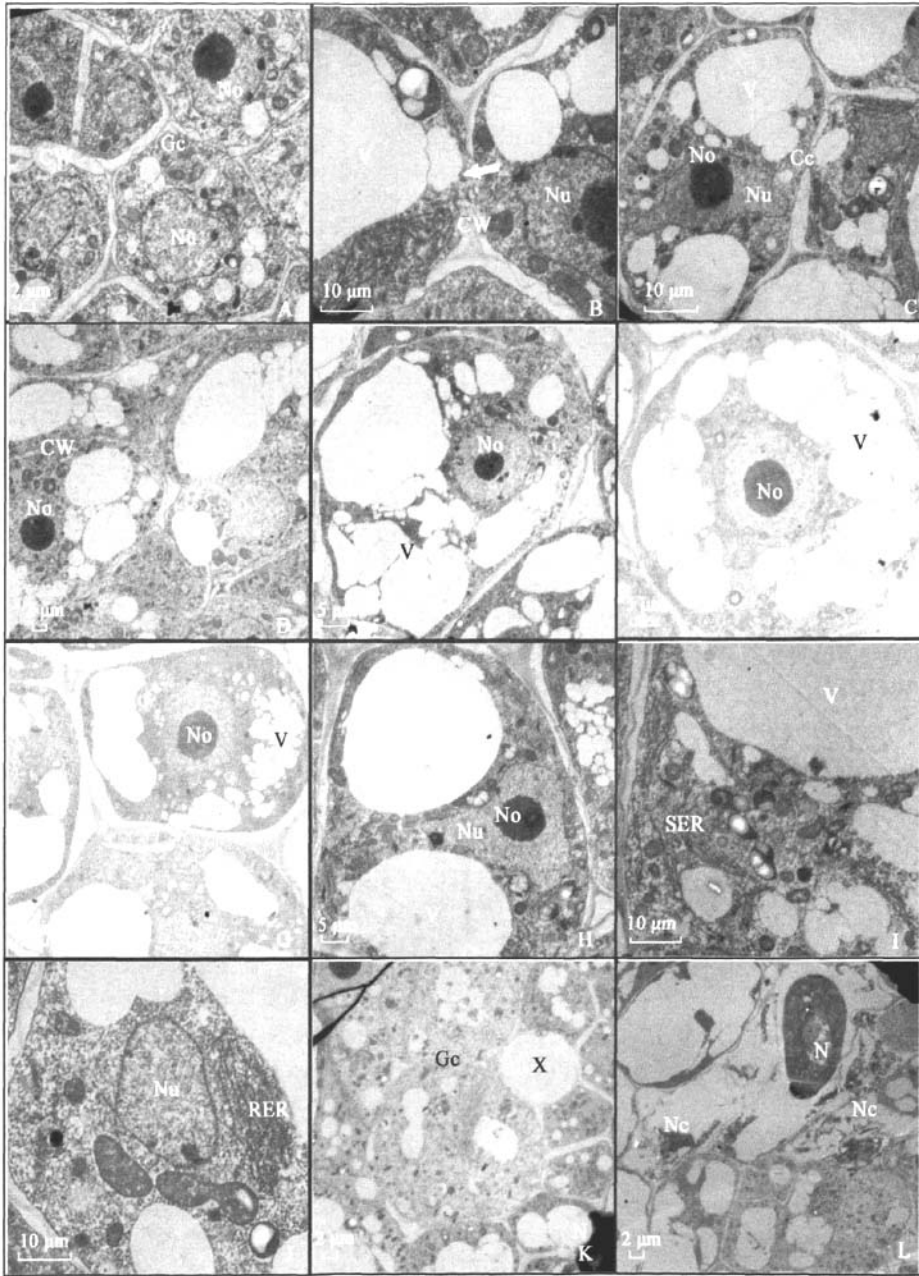


Fig. 4 The process of giant cells development

A: Giant cells formed in root tissue of Beijingjietou; B: Cell wall adjacent syncytium increased the degree of its openness; C: Giant cells formed in root tissue of sour cucumber; D: Cell wall adjacent syncytium dissolved to a thin layer; E-G: Large vacuoles cracked into many small vacuoles in root tissue of Beijingjietou; H: Big vacuoles and amoeboid nucleus in root tissue of sour cucumber; I: Smooth endoplasmic reticulum in root tissue of Beijingjietou; J: Rough endoplasmic reticulum in root tissue of sour cucumber; K: Enlarged giant cells in root tissue of Beijingjietou; L: Necrosis cells around the head of nematode in root tissue of sour cucumber. CW: Cell wall; Gc: Giant cells; N: Nematode; Nc: Necrosis; No: Nucleolus; Nu: Nucleus; RER: Rough endoplasmic reticulum; SER: Smooth endoplasmic reticulum V: Vacuole; X: Xylem.

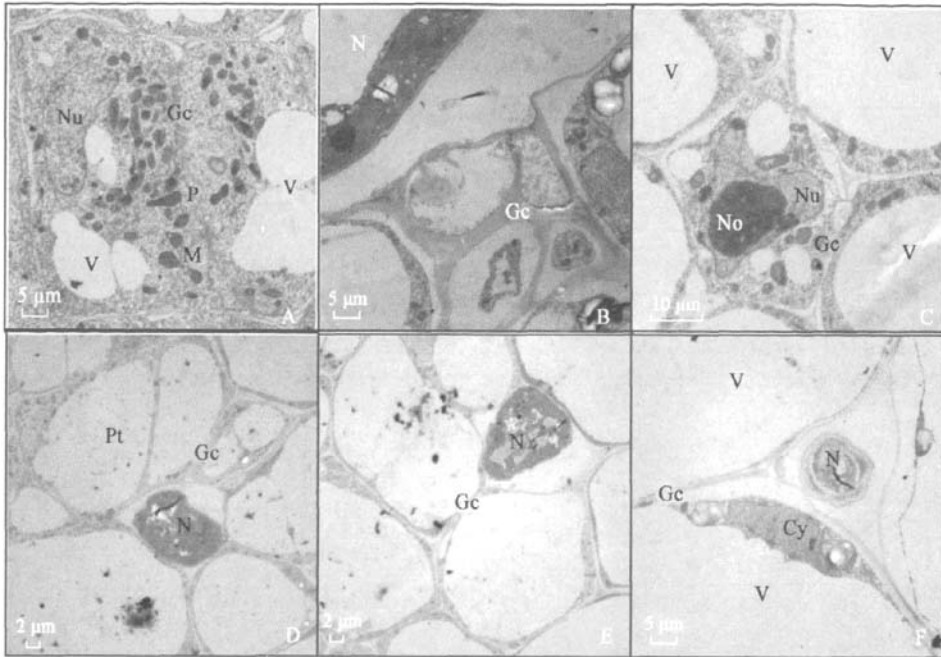


Fig.5 The process of giant cells degradation

A: Giant cells in root tissue of Beijingjietou contains many organelles; B: Nematodes absorb nutrients from giant cells; C: Degradation of giant cells occurred in root tissue of sour cucumber; D: Degrading giant cells and protoplasts in a high degree of alveolar; E: Protoplasts in giant cells degraded into bubble or bubble-like structure; F: Giant cell containing central vacuole and paramural-body-type cytoplasm. Cy: Cytoplasm; Gc: Giant cells; N: Nematode; No: Nucleolus; Nu: Nucleus; M: Mitochondrion; P: Plastid; Pt: Protoplast; V: Vacuole.

3 讨论

本研究表明,抗病材料酸黄瓜根系中幼虫侵入数目较少,这说明抗病材料酸黄瓜根系较感病材料北京截头对线虫不具有吸引力,能够有效抵抗南方根结线虫的侵入。抗侵入是许多抗病植物抵御根结线虫侵染的普遍特征^[9,10]。酸黄瓜根的解剖结构与普通栽培黄瓜基本相似,因此,酸黄瓜对南方根结线虫的抗侵入特性并非是由其根的特殊结构引起,从而排除了酸黄瓜的根具有结构抗性这一推测。Zhao等^[11]报道,抗病材料通过释放有毒化学物质或机械屏障,从而阻止线虫的侵入。本研究发现,抗病材料酸黄瓜根组织中的厚壁物质构成了线虫侵入的机械屏障。抗病材料酸黄瓜根系中的POD(过氧化物酶)、PAL(苯丙氨酸解氨酶)活性增强,通过编码木质素的生物合成而使细胞壁加

厚,从而限制线虫侵入。有关酸黄瓜根系中是否含有对根结线虫有害或有毒的化学物质,还有待进一步研究。

本研究还发现,侵入感病材料北京截头根系中的南方根结线虫2龄幼虫均能得到充分发育,而抗病材料酸黄瓜根系中仅有极少量的幼虫能够克服此障碍,这一特征表明抗病反应中线虫生长发育遭受严重的营养不良,线虫取食受到抑制。抑制取食是抗病植物抵御根结线虫侵染的重要特征^[12]。在根结线虫世代发育进程中,线虫必须贮存足够的养分和能量才能到达下一个发育阶段,而且雌虫发育对养分的需求往往要高于雄虫^[13]。侵入抗病材料酸黄瓜根系中的幼虫只有少量(13%)发育为成虫,其中大部分为雄虫(12%),雌虫仅占了将近1%,这可能是由于抗病材料酸黄瓜根组织中诱导形成的巨型细胞体积较小,养分较少,大部分的细

胞在发生坏死之前不能给幼虫提供足够的养分,幼虫在 2 龄阶段就停止了发育,少量养分供应较好的细胞使得幼虫发育为雌虫,而极少有细胞能够满足雌虫发育的营养需求。

细胞学研究表明,抗病材料酸黄瓜根组织中取食位点细胞发生了明显的过敏性坏死,坏死细胞的形态与其它抗根结线虫作物中发生的过敏反应相似^[14]。此外,坏死细胞不仅发生在线虫头部,与线虫身体直接接触的细胞也发生了坏死反应,这可能是抗病寄主本身的一种防卫反应。作物受线虫侵染后,取食位点细胞发生过敏性坏死反应是许多作物防御线虫入侵及进一步扩展的主要特征^[15,16]。Bendezu 等^[17]发现,抗病花生品种 COAN 体内酚类物质与氧化性酶类含量较高,这些物质与过敏反应有关,作为线虫的排斥物阻止花生根结线虫(*M. arenaria*)的侵染。本研究中,抗病材料酸黄瓜根组织中取食位点细胞发生坏死及坏死细胞释放的一些化学物质可能将侵染性的 2 龄幼虫排斥在根系之外。在抗性反应中,接种后 7 d 巨型细胞开始降解,后期降解速度加快,线虫被一层坏死细胞包埋,坏死细胞与健康细胞发生了分离,从而抑制线虫取食及坏死区域的进一步扩展。本研究还发现,在巨型细胞形成及发育过程中,感病材料巨型细胞中滑面型内质网居多,而抗病材料中则主要以粗面型内质网为主。粗面型内质网的比例增多,糖蛋白合成增加,这些糖蛋白可能在抗病反应中发挥重要作用。

本研究表明,抗病材料酸黄瓜中发生的抗性反应表现为抗侵入、抑制取食及坏死反应,当然这还有待从分子水平上加以研究证实,从而进一步揭示抗病种质酸黄瓜南方根结线虫病抗性的分子机理,为深入阐明线虫和寄主之间的作用机制奠定基础。

参考文献

- [1] Chen J F, Zhang S, Zhang X. The Xishuangbanna gourd, a traditional cultivated plant of the Hanai people, Xishuangbanna, Yunnan, China [J]. Cucurbit Genetic Cooperative Report, 1994, 17: 18-20.
- [2] Chen J F, Staub J E, Tashiro Y, et al. Successful interspecific hybridization between *Cucumis sativus* L. and *C. hystrix* Chakr [J]. Euphytica, 1997, 96: 413-419.
- [3] Chen J F, Adelberg J. Interspecific hybridization in *Cucumis*-progress, problems and perspectives [J]. HortScience, 2000, 35: 11-15.
- [4] Chen J F, Lewis S. New source of nematode resistance was identified in *Cucumis* [J]. Cucurbit Genetic Cooperative Report, 2000, 23: 32-35.
- [5] Chen J F, Lin M S, Qian C T, et al. Identification of *Meloidogyne incognita* resistance in *Cucumis hystrix* and the progenies of its interspecific hybrid with cucumber (in Chinese) [J]. Journal of Nanjing Agricultural University (南京农业大学学报), 2001, 24(1): 21-24.
- [6] Daykin M E, Hussey R S. Staining and histopathological techniques in nematology [J]. In: Baker K R, Carter C C, Sasser J N (Eds). An advanced treatise on *Meloidogyne*. Volume II: Methodology. Raleigh, NC, USA, North Carolina State University Graphics, 1985, 39-48.
- [7] Fahs A, Wu S M. Plant anatomy (in Chinese) [M]. Tianjing: Nankai University Press(天津:南开大学出版社), 1990, 331.
- [8] Holtmann B, Kleine M, Grundler F M W. Ultrastructure and anatomy of nematode-induced syncytia in roots of susceptible and resistant sugar beet [J]. Protoplasma, 2000, 211: 39-50.
- [9] Anwar S A, Trudgill D L, Phillips M S. The contribution of variation in invasion and development rates of *Meloidogyne incognita* to host status differences [J]. Nematologica, 1994, 40: 579-586.
- [10] Ehwaeti M E, Fargette M, Phillips M S, et al. Host status differences and their relevance to damage by *Meloidogyne incognita* [J]. Nematology, 1999, 1: 421-432.
- [11] Zhao X, Schmitt M, Hawes M C. Species dependent effects of border cell and root tip exudates on nematode behaviour [J]. Phytopathology, 2002, 90: 1239-1245.
- [12] Sarr E, Prot J C. Pénétration et développement des juvéniles d'une souche de *Meloidogyne javanica* et d'une race B de *M. incognita* dans les racines de fonio (*Digitaria exilis* Stapf) [J]. Revue de Nématologie, 1985, 8: 59-65.
- [13] Müller J, Rehbock K, Wyss U. Growth of *Heterodera schachtii* with remarks on amounts of food consumed [J]. Revue de Nématologie, 1982, 4: 227-234.
- [14] Blevé-Zacheo T, Bongiovanni M, Melillo M T, et al.

- The pepper resistance genes *Me1* and *Me3* induce differential penetration rates and temporal sequences of root cell ultrastructural changes upon nematode infection [J]. *Plant Science*, 1998, 133: 79–90.
- [15] Paulson R E, Webster J M. Ultrastructure of hypersensitive reaction in roots of tomato, *Lycopersicon esculentum* L., to infection by the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 1972, 2: 227–234.
- [16] Grundler F M W, Sobczak M, Lange S. Defense responses of *Arabidopsis thaliana* during invasion and feeding site induction by the plant parasitic nematode *Heterodera glycines* [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 1997, 50: 419–429.
- [17] Bendezu I F, Starr J L. Mechanism of resistance to *Meloidogyne arenaria* in the peanut cultivar COAN [J]. *Journal of Nematology*, 2003, 35: 115–118.

责任编辑:李晖

中文核心期刊

中国科技核心期刊

中国农业核心期刊

美国《化学文摘》(CA)、英国《国际农业与生物科学研究中心文摘》(CABI)及《动物学记录》(ZR)、波兰《哥白尼索引》(IC)收录期刊汤姆森-路透数据库(Thomson Reuters)源期刊

《草地学报》欢迎投稿欢迎订阅

《草地学报》是中国科协主管、中国草学会主办、中国农业大学草地研究所承办的学术刊物,是了解草地科学前沿科技、创新成果和草业发展的重要窗口。刊登国内外草地科学研究及相关领域的新成果、新理论、新进展,以研究论文为主,兼发少量专稿、综述、简报和博士论文摘要,主要面向从事草地科学、草地生态、草地畜牧业和草坪业及相关领域的高校师生和科研院、所、站的科研人员。2009年将增加期发稿量,缩短发稿时滞,一般按受理先后次序刊发,重大成果、重大项目可优先发表。稿件要求详见本刊《稿约》。

《草地学报》被国内外多家重要检索机构收录,曾荣获首届《CAJ-CD规范》执行优秀期刊奖。近3年影响因子均在0.9以上(据中信所《中国科技期刊引证报告》核心版),《草地学报》为双月刊,全铜版印刷,彩色四封,逢单月月末出版,国内外公开发行(国内邮发代号:80-135;国外代号:Q1949),每期定价20元,全年120元。若错过邮订时间,可直接向本刊编辑部订购(中国草学会会员订阅可优惠25%)。

地 址:北京市海淀区圆明园西路2号中国农大 神内楼318室

邮 编:100193 电话:010-62733894

E-mail:cdxb@cau.edu.cn http://www.cau.edu.cn/dongke/cdxb

开户银行:京农商行西北旺支行农大分理处

开户名:中国草学会 开户帐号:0407030103000000056

作者: 叶德友, 王暄, 张燕霞, 钱春桃, 陈劲枫, YE De-you, WANG Xuan, ZHANG Yan-xia, QIAN Chun-tao, CHEN Jin-feng

作者单位: 叶德友, YE De-you (作物遗传与种质创新国家重点实验室, 南京农业大学园艺学院, 南京, 210095; 甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 兰州, 730070), 王暄, WANG Xuan (南京农业大学植保学院, 南京, 210095), 张燕霞, 钱春桃, 陈劲枫, ZHANG Yan-xia, QIAN Chun-tao, CHEN Jin-feng (作物遗传与种质创新国家重点实验室, 南京农业大学园艺学院, 南京, 210095)

刊名: 植物病理学报 **ISTIC PKU**

英文刊名: ACTA PHYTOPATHOLOGICA SINICA

年, 卷(期): 2010, 40(5)

参考文献(17条)

1. [Chen J F;Zhang S;Zhang X The Xishuangbanna gourd, a traditional cultivated plant of the Hanai people, Xishuangbanna, Yunnan, China 1994](#)
2. [Bendezu I F;Starr J L Mechanism of resistance to Meloidogyne arenaria in the peanut cultivar COAN 2003](#)
3. [Grundler F M W;Sobczak M;Lange S Defense responses of Arabidopsis thaliana during invasion and feeding site induction by the plant parasitic nematode Heterodera glycines \[外文期刊\] 1997](#)
4. [Zhao X;Schmitt M;Hawes M C Species dependent effects of border cell and root tip exudates on nematode behaviour 2002](#)
5. [Ehwaeti M E;Fargette M;Phillips M S Host status differences and their relevance to damage by Meloidogyne incognita \[外文期刊\] 1999\(4\)](#)
6. [Anwar S A;Trudgill D L;Phillips M S The contribution of variation in invasion and development rates of Meloidogyne incognita to host status differences 1994](#)
7. [Holtmann B;Kleine M;Grundler F M W Ultrastructure and anatomy of nematode-induced syncytia in roots of susceptible and resistant sugar beet \[外文期刊\] 2000\(1/2\)](#)
8. [Fahn A;Wu S M Plant anatomy 1990](#)
9. [Daykin M E;Hussey R S Staining and histopathological techniques in nematology 1985](#)
10. [Chen J F;Lin M S;Qiall C T Indentification of Meloidogyne incognita resistance in Cucumis hystrix and the progenies of its interspecific hybrid with cucumber 2001\(01\)](#)
11. [Chen J F;Lewis S New source of nematode resistance was identified in Cucumis 2000](#)
12. [Chen J F;Adelberg J Interspecific hybridization in Cucumis-progress, problems and perspectives 2000](#)
13. [Chen J F;Staub J E;Tashiro Y Successful interspecific hybridization between Cucumis sativus L. and C hystrix Chakr \[外文期刊\] 1997\(3\)](#)
14. [Paulson R E;Webster J M Ultrastructure of hypersensitive reaction in roots of tomato, Lycopersicon esculentum L., to infection by the root-knot nematode Meloidogyne incognita 1972](#)
15. [Bleve-Zacheo T;Bongiovanni M;Melillo M T The pepper resistance genes Mel1 and Me3 induce differential penetration rates and temporal sequences of root cell ultrastructural changes upon nematode infection \[外文期刊\] 1998\(1\)](#)
16. [Müller J;Rehbock K;Wyss U Growth of Heterodera schachtii with remarks on amounts of food consumed](#)

17. Sarr E;Prot J C Pénétration et développement des juvéniles d'une souche de Meloidogyne javanica et d'une race B de M incognita dans les racines de fonio(Digitaria exilis Stapf) 1985

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zwblxb201005008.aspx