



南方大豆皱叶症诱因分析研究

陈文杰¹, 梁江¹, 宁德娇², 韦清源¹, 汤复跃¹, 郭小红¹, 梁俊³, 陈渊¹

(1. 广西农业科学院 经济作物研究所, 广西南宁 530007; 2. 广西农业科学院 农产品安全与检测技术研究所, 广西南宁 530007; 3. 广西益谱检测技术有限公司, 广西南宁 530007)

摘要:为找出导致南方大豆皱叶症发生的诱因,本研究选用桂春8号(皱叶症级为0)、粤春2017-1(皱叶症级为4)、20W51-46(皱叶症级为4)和南农1138-2(皱叶症级为0)为试验材料,考虑生产上除草剂使用情况及皱叶常见诱因等,进行了除草剂、病毒检测、嫁接、土壤盆栽等试验,分析并探究导致南方大豆皱叶症发生的因素。结果表明:除草剂导致的大豆叶片皱缩形态与本研究关注的皱叶症状不同;从南方皱叶大豆材料取幼叶进行人工接种后,南农1138-2未表现出皱叶症状;ELISA检测、透射电镜扫描、small RNA测序等结果显示,本研究关注的皱叶中均未检测出可能导致大豆皱叶的病毒;土壤盆栽试验结果显示,皱叶材料的根在南方土壤中的比例越大,叶片皱缩程度越高,根在南方土壤的比例为1时,皱叶症级为4;根在南方土壤的比例为0时,皱叶症级为0;嫁接试验结果显示,叶片表现皱缩与否只与接穗有关,而与砧木无关,大豆对皱叶诱因敏感的部位为叶片。综上结果,南方大豆皱叶症诱因与除草剂、病毒无关,最主要的诱因来自土壤,推测无论皱叶敏感型材料还是正常材料的根均将某种因子向上运输至叶片。

关键词:南方大豆;皱叶症;诱因;除草剂;病毒;嫁接;土壤

Study on Inducement of Soybean Crinkle Leaf in Southern China

CHEN Wen-jie¹, LIANG Jiang¹, NING De-jiao², WEI Qing-yuan¹, TANG Fu-yue¹, GUO Xiao-hong¹, LIANG Jun³, CHEN Yuan¹

(1. Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 2. Agro-products Quality Safety and Testing Technology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 3. Guangxi Yipu Testing Technology Co., Ltd, Nanning 530007, China)

Abstract: In order to find out the inducement of crinkle leaf disease in southern China, we took Guichun 8 (crinkle grade was 0), Yuechun 2017-1 (crinkle grade was 4), 20W51-46 (crinkle grade was 4) and Nannong 1138-2 (crinkle grade was 0), as materials, considered the use of herbicides in production and the common causes of crinkle leaf, carried out experiments on herbicides, virus detection, grafting and soil pot culture to explore the causes of crinkle leaf of southern soybean. The results showed that the shape of soybean crinkle leaf caused by herbicide was different from the crinkle leaf symptom appearing in southern China. The SMV sensitive variety Nannong 1138-2 did not show leaf crinkle symptoms after artificial inoculation. No virus that might cause the soybean crinkle leaf was detected by ELISA testing, transmission electron microscope scanning and small RNA sequencing in crinkle leaves. The grafting test showed that the leaf was sensitive to the inducement of crinkle leaf. Soil experiment results showed that the greater the proportion of roots in the southern soil, the stronger the degree of leaf crinkle. The crinkle grade of the crinkle sensitive material was 4 which roots grew in southern China soil completely. The results of grafting experiment showed that whether the leaves shrink or not was only related to scion, but not rootstock, which indicated that the sensitive part of soybean to the inducement of wrinkled leaves was the leaf. In summary, the inducement of soybean crinkle disease in southern China is uncorrelated to herbicides and viruses. The main inducement comes from soil, and it is inferred that the roots of both leaf wrinkle sensitive materials and normal materials can interact with soil to transport some factors upward to leaves which can induce crinkle disease occurrence.

Keywords: southern soybean; crinkle leaf; inducement; herbicides; virus; graft; soil

大豆是我国重要的粮油兼饲作物,是人们植物蛋白摄取的重要来源。南方是我国高蛋白大豆的重要产区之一。近年来广西、广东、福建、贵州等地大豆上出现一种皱叶症,症状类似大豆花叶病毒病(SMV)引起的叶片皱缩,症状严重时,叶片皱缩不能展开,植株矮化,严重影响大豆的生长(图1)。前

期研究结果表明,该类型皱叶并非单基因突变造成的功能缺失所致,而是在大豆种质中普遍存在,且该类型皱叶症的出现受环境和基因互作影响,但光温对大豆皱叶影响较小^[1]。导致此类皱叶症出现的原因目前尚不清楚。找出导致南方大豆皱叶发生的诱因不仅可为科学鉴定大豆种质资源皱叶抗

收稿日期:2021-10-24

基金项目:国家自然科学基金(32060490);广西自然基金(2019GXNSFAA185009);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04-CES30);广西重点研发计划(桂科AB19245011);广西农业科学院科技发展基金(桂农科2021JM67);南宁市高层次创业创新人才资助项目。

第一作者:陈文杰(1982—),男,硕士,副研究员,主要从事大豆遗传育种和耐逆境研究。E-mail:cenwenji1030@163.com。

通讯作者:陈渊(1971—),男,研究员,主要从事大豆机械化栽培及育种研究。E-mail:chenyuan313@163.com。

性提供依据,还对指导南方大豆生产具有重要意义。

导致大豆植株出现皱叶的原因有多种,有的为基因突变所致^[2-3],有的由外因导致,如病毒病^[4-5]、除草剂^[6-9]、锰毒^[10]等,大豆植株缺钙也会形成皱叶^[11]。从形态上看,南方大豆皱叶与锰毒及缺钙引起的皱叶明显不同。造成大豆叶片皱缩最常见的诱因是大豆花叶病毒,能侵染大豆的病毒有 20 多种,我国报道的发生在大豆上较严重的病毒有大豆花叶病毒(Soybean Mosaic Virus,SMV)、黄瓜花叶病毒大豆萎缩株系(Cucumber Mosaic Virus - Soybean stunt strain,CMV-S)、烟草环斑病毒(Tobacco Ring

Spot Virus, TRSV) 和菜豆荚斑驳病毒(Bean Pod Mottle Virus, BPMV) 等^[12],其中以 SMV 面积最广^[13],广西以 SC15 和 SC18 株系为主^[14-15]。目前鲜见有关南方大豆皱叶与病毒病、除草剂、土壤因子之间关系的报道。为了找出导致南方大豆皱叶发生的诱因,本研究从引起大豆皱叶常见的因素,包括病毒病、除草剂、土壤等方面考虑并设计试验,逐个排除皱叶可能涉及的因子,以期找出南方大豆皱叶发生的诱因、探讨更为科学的大豆皱叶抗性鉴定方法,为研究南方皱叶症发生的遗传和分子机制奠定基础。

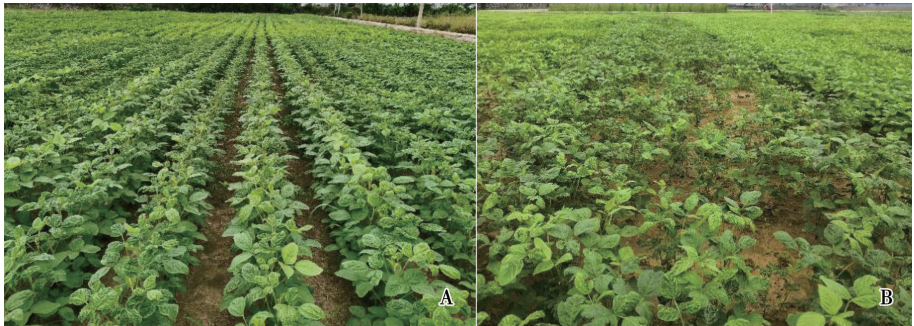


图 1 2019 年广西南宁(A)和贺州(B)大豆皱叶症表现

Fig. 1 The performance of soybean crinkle leaf disease in Nanning(A) and Hezhou(B) of Guangxi in 2019

1 材料与方法

1.1 材料

接种试验选用的材料为南农 1138-2,由南京农业大学提供。除草剂试验、嫁接试验、透射电镜试验和 small RNA 测序选用材料为皱叶症发生稳定且皱叶症级为 4 的大豆材料粤春 2017-1,由华南农业大学提供。土壤盆栽试验选用的材料是由粤春 2017-1(父本)和皱叶症级为 0 的桂春 8 号(母本)有性杂交后,不断从杂合株系世代中选育的 F₇代纯合皱叶中间材料 20W51-46。除草剂金都尔(96%精异丙甲草胺乳油)由先正达公司生产,有效成分含量 960 g·L⁻¹。盆栽和嫁接用基质为长春赛世泥炭科技有限责任公司生产,嫁接用多效唑为江西农大植保化工有限公司生产的可湿性粉剂,有效成分含量为 15%。

1.2 试验设计

为找出南方大豆皱叶发生的诱因,考虑生产上除草剂使用情况及皱叶常见诱因等,2017 年 3 月—2021 年 5 月于广西农业科学院明阳基地先后进行了除草剂、病毒检测、嫁接、土壤盆栽等试验,以期探讨大豆皱叶范围的诱因。为了弄清皱叶诱因是

否为根部不正常(病虫害等)所致,设计了大豆嫁接试验,根据嫁接试验结果,推测皱叶诱因很有可能来自土壤,且前期播种已明确在基质中皱叶敏感材料叶片表现正常,因此设计土壤盆栽试验,通过皱叶敏感材料在南方土壤不同占比对皱叶发生的影响。

1.3 方法

1.3.1 除草剂试验 试验于 2017 年 11 月—2018 年 2 月进行。配制 H1(5 mg·L⁻¹)、H2(25 mg·L⁻¹)、H3(50 mg·L⁻¹)、H4(200 mg·L⁻¹)、H5(500 mg·L⁻¹) 共 5 种梯度的金都尔悬浮液和 1 个清水对照 H0。粤春 2017-1 播种于装有基质的花盆中(口径×底径×高=160 mm×130 mm×175 mm)。播种前先淋足水,播种后覆盖 3 cm 基质并喷施除草剂,每盆播种 8 粒,重复 3 次。出苗后每盆定苗 5 株。分别于 VC、V1 和 V2 期观察大豆叶片情况。

1.3.2 病毒检测试验 血清学检测:皱叶症发生具有普遍性,在多个种质上均有发生,为检测皱叶是否为病毒所致,2017—2018 年在大田于盛花期分别取皱叶症严重、皱叶类型稍有不同的 10 个植株的 3~5 片幼叶,编号后参考李凯^[14]的方法用酶联免

疫吸附法 (Enzyme Linked Immunosorbent Assay, ELISA) 进行病毒血清学检测。根据 OD 值均值确定样品是否携带病毒,阴性对照为南农 1138-2 正常株,样品 OD 值 $\geq 2 \times$ 阴性对照 OD 值时判为阳性,记作“1”;样品 OD 值 $< 2 \times$ 阴性对照 OD 值时判为阴性,记作“0”。重复 2 次,共从田间不同大豆种质上采集 10 个样品。

人工接种:取上述大田采集的 10 份皱叶叶片分别置于灭菌的装有 3~5 mL 0.01 mol·L⁻¹磷酸缓冲液 (pH7.4) 和少量 600 目金刚砂的研钵中,研磨成均匀浆状后用刷子摩擦接种至真叶期的南农 1138-2 真叶上,采用盆栽方法种植,每盆 3 株,重复 2 次,接种 10 d 后参考李凯^[14]的方法调查植株发病情况,发病的记作 1,不发病的记作 0。

透射电镜检测:分别取皱叶发生严重的 R2 期粤春 2017-1 皱缩新鲜叶片及正常新鲜叶片 1 mm × 3 mm,立即放入电镜固定液 (Servicebio) 中,按照固定-室温脱水-渗透包埋-聚合-超薄切片-染色的程序制成透射电镜切片^[16],在日立透射电子显微镜 HT7700 下观察样本是否有病毒。

small RNA 测序检测:取 R2 期皱叶环境和正常环境下粤春 2017-1 的皱叶和正常叶各 3 片 (每株 1 片),分别混合,锡箔纸包裹好后即刻放入液氮中临时保存,随后置于干冰中,送至上海凌恩生物科技有限公司,进行总 RNA 的提取、质检、文库构建和高通量测序等,测序平台为 Illumina Hiseq 2000。数据下机后去接头序列、污染序列和低质量碱基,获得 clean small RNA 序列,然后进行长度分布统计、公共序列统计。使用 Rfam (<http://Rfam.sanger.ac.uk/>) 数据库对测得的 small RNA 进行注释,去除非 miRNA 序列 (rRNA、tRNA 等)。最后使用软件 Blast (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/>) 将 clean small RNA 比对到病毒库上,进行已知 miRNA 表达量统计、新 miRNA 预测及表达量统计、miRNA 表达差异分析及靶基因预测。

1.3.3 嫁接试验 试验于 2019 年 2 月 20 日在明阳基地温室大棚进行。粤春 2017-1 和桂春 8 号相互嫁接,G1:砧木为粤春 2017-1,接穗为桂春 8 号;G2:砧木为桂春 8 号,接穗为粤春 2017-1;G3:砧木和接穗均为粤春 2017-1;G4 砧木和接穗均为桂春 8 号。砧木用苗于 2 月 20 日播种,接穗用苗于 2 月 25 日播种。砧木和接穗均播于装有基质的营养钵

中,待砧木苗生长后用浓度为 50 mg·L⁻¹的多效唑悬浮液喷洒,待接穗苗后子叶半张开时用插接法嫁接^[17]。嫁接完后淋水,置于遮荫处的小拱棚内,小拱棚用白色地膜覆盖。7 d 后炼苗 4 d,移栽至大田。每个材料嫁接 10 株,观察皱叶症出现的情况。

1.3.4 土壤盆栽试验 试验于 2021 年 3—5 月在明阳基地试验地进行。试验设 5 个处理,T1:对照,大豆种子直接种植于大田;T2:大豆种植于 70 孔装有基质的育秧盘并放置于装有基质的蓝色塑料周转箱 (长 × 宽 × 高 = 765 mm × 480 mm × 200 mm) 中;T3:大豆种植于 72 孔装有基质的育秧盘,并放置于大田;T4:大豆种植于装有基质的花盆 (口径 × 底径 × 高 = 160 mm × 130 mm × 175 mm),并置于塑料保鲜盒 (195 mm × 106 mm × 90 mm) 中;T5:大豆种植于装有基质的花盆,并置于大田。育秧盘每个孔穴底部剪出 1 cm² 孔,每个花盆底部留有 4 个 1 cm² 孔,观察不同处理大豆皱叶发生的时间、皱叶症级,皱叶症级鉴定方法参考陈文杰等^[1]的方法。每个花盆中定植 2 株,育秧盘孔隔行且间隔种植大豆、每孔定植 1 株,3 次重复。分别记录各个处理大豆皱叶出现的时期,并根据皱叶程度进行症级鉴定。大豆长至 R5 期时,挖出各个处理的根,把基质和土壤中的根分开清洗干净,108 ℃ 下杀青 30 min,然后烘干至恒重后称重,计算每个处理土壤中根占总根重的比值 R。

1.4 数据分析

采用 Excel 2013 进行试验数据的整理及分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度除草剂对大豆叶片形态的影响

试验结果表明,金都尔浓度为 5~500 mg·L⁻¹ 时对大豆进行封闭处理均会发生药害,随着金都尔浓度的增加,药害症状逐渐变重。金都尔药害明显的症状为大豆子叶和真叶顶端发生钝化或者形成“V”字型缺口,苗期药害表现最重,子叶顶部出现焦枯状,靠叶缘有一定程度的黄化,叶脉间有轻微皱褶 (图 2A),而南方大豆皱叶症叶片较为典型的症状为叶片顶部向下弯曲,整片叶片呈“勾手”状,叶片正面沿褶皱的叶脉有“泡状”凸起^[1]。随着大豆植株的生长,药害症状逐渐消失,浓度越高,症状消失的越迟,500 mg·L⁻¹ 浓度处理的大豆在第三片复叶上已无明显症状 (图 2B)。



注:A. 500 mg·L⁻¹金都尔处理下 VC 期表现; B. 500 mg·L⁻¹金都尔处理下 V2 期表现;
C. 清水对照组 VC 期表现; D. 清水对照组 V2 期表现。

Note:A. Soybean at VC stage under 500 mg·L⁻¹s-metolachlor; B. Soybean at V2 stage under 500 mg·L⁻¹s-metolachlor; C. CK at VC stage; D. CK at V2 stage.

图 2 金都尔处理后大豆叶片形态变化

Fig.2 The morphological changes of soybean leaves under s-metolachlor treatment

2.2 大田 SMV 鉴定结果

2.2.1 ELISA 检测及皱叶形态分析 从田间分别采集形态稍有不同 的 10 份大豆种质皱缩幼叶, ELISA 检测结果显示,仅有样品 D 检测出了 SMV,

其余均未检测出(表 1)。但 10 份样品中,样品 A、B、C、E、F、G、H、I 和 J 叶沿难展开,呈“勾手”状,样品 D 叶片皱缩形状明显不同于其他 9 份(图 3)。

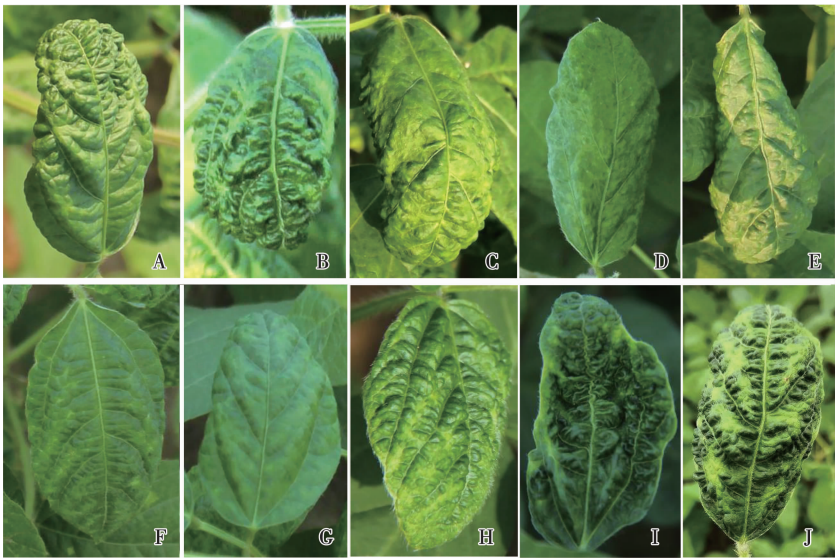
表 1 采集样本的 ELISA 检测结果

Table 1 The ELISA testing results of collected samples

样品编号 Sample number	样品 OD 值 Sample OD value	样品 OD/阴性对照 OD Sample OD value/negative control OD value	ELISA 结果 ELISA testing results	接种结果 Inoculation results
A	0.065	0.32	0	0
B	0.041	0.21	0	0
C	0.068	0.34	0	0
D	1.610	14.04	1	1
E	0.090	0.43	0	0
F	0.050	0.25	0	0
G	0.080	0.39	0	0
H	0.070	0.36	0	0
I	0.080	0.40	0	0
J	0.030	0.14	0	0

2.2.2 人工接种 分别取 2.2.1 中的 10 份皱缩幼叶,部分叶片研磨,然后接种至 VC 期南农 1138-2 的真叶上的结果表明,除接种样品 D 的南农 1138-2 表

现 SMV 症状外,接种其余样品的南农 1138-2 均未表现 SMV 症状(表 1)。

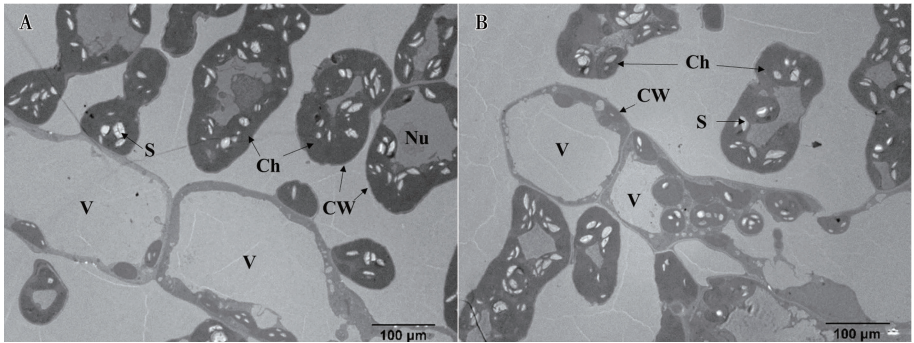


注:A~J. 样品1~10。
Note:A-J. Sample 1-10.

图3 大田采集的不同皱叶类型的大豆叶片样本

Fig.3 The soybean leaf samples of different crinkled leaf types collected in the field

2.2.3 透射电镜扫描结果 透射电镜扫描结果显示,正常叶和皱缩叶中均未发现“风轮状”“棒状”“球状”等病毒形态结构(图4)。



注:A. 正常叶片;B. 皱缩叶片。
Note:A. Normal leaves; B. Crinkle leaves.

图4 正常叶片和皱缩叶片的透射电镜扫描图

Fig.4 The scanning of normal and crinkle leaves by transmission electron microscope

2.2.4 small RNA 测序结果 粤春 2017-1 皱叶和正常叶 small RNA 测序获得的总 RNA 分别为 13 982 436和 12 331 436 条,平均测序深度分别为 24.53 和 24.62(表 2),Rfam 注释到的 Rfam 信息序列详见表 3。去除 rRNA、snoRNA、snRNA、tRNA 等非已知 miRNA 序列后,将 small RNA 序列比对到病

毒库上,共注释到 4 种病毒序列:NC_042125.1、NC_042013.1、NC_028955.1 和 NC_018464.1(表 4)。其中,NC_042125.1 和 NC_042013.1 为皱叶和不皱叶共有,NC_028955.1 和 NC_018464.1 为正常叶特有,说明南方大豆皱叶症状并非因病毒病引起。

表 2 small RNA reads 统计表 (depth≥2)

Table 2 The statistical table of small RNA reads (depth≥2)

样本 Sample	总 small RNA Total small RNA	特有 small RNA Unique small RNA	平均深度 Average depth
皱叶 Crinkle leaf	13982436	570070	24.53
正常叶 Normal leaf	12331436	500933	24.62

表 3 Rfam 信息序列数 (depth≥2)

Table 3 The number of Rfam information sequences (depth≥2)

样本 Sample	tRNA	rRNA	snoRNA	其他 Others	总计 Total
皱叶 Crinkle leaf	30565	30721	1226	3636	66148
正常叶 Normal leaf	50202	42847	1368	4370	98787

表 4 small RNA 病毒库注释结果

Table 4 The virus library annotation results of small RNA

基因 ID Gene ID	描述 Description	皱叶样品 Crinkle leaf sample	正常叶样品 Normal leaf sample
NC_042125.1	Enterococcus phage LY0322 肠球菌噬菌体	1	1
NC_042013.1	Agrobacterium phage Atu_ph07 农杆菌噬菌体	1	1
NC_028955.1	Prochlorococcus phage P-TIM68 原绿球菌噬菌体	0	1
NC_018464.1	Shamonda virus N and NSs genes, segment S, genomic RNA, isolatelb An 5550 沙蒙达病毒 N 和 NSs 基因	0	1

注:“1”表示注释到病毒,“0”表示未注释到病毒。
Note: ‘1’ mean that the sample is annotated to virus; ‘0’ mean that the sample is not annotated to virus.

2.3 嫁接对大豆皱叶症的影响

嫁接结果表明,砧木为粤春 2017-1,接穗为桂春 8 号时,接穗桂春 8 号的皱叶症级为 0;砧木为桂春 8 号,接穗为粤春 2017-1 时,接穗粤春 2017-1 的皱叶症级为 3,与砧木和接穗均为粤春 2017-1 的对照症级相同(表 5)。说明皱叶材料粤春 2017-1 皱叶的发生受根影响小,并非根部不正常所致,叶片为主要的敏感部位。

表 5 嫁接对大豆皱叶症的影响

处理 Treatment	砧木 Stock	接穗 Scion	皱叶症级 Crinkle grade
G1	粤春 2017-1	桂春 8 号	3
G2	桂春 8 号	粤春 2017-1	0
G3	粤春 2017-1	粤春 2017-1	3
G4	桂春 8 号	桂春 8 号	0

2.4 不同土壤处理对大豆皱叶症的影响

皱叶材料 20W51-46 正常播种于大田时(T1),生长至第 3~4 片复叶时期开始逐渐出现皱叶(图 5A),20W51-46 生长于基质中时(T2 和 T4)其叶片表现为正常(图 5B、图 5D),但当 20W51-46 生长在基质中的根生长于大田土壤内时(T3 和 T5),其叶片表现为皱叶(图 5C,图 5D)。T3 中 20W51-46 第 5~6 片复叶时期开始出现皱叶,T5 则在第 6~7 片复叶时才出现皱叶现象。皱叶敏感材料的皱叶程度与大豆根生长于大田土壤中的量有关,20W51-46 的 74%根生长于南方土壤中时,植株皱叶症级为 3.5(图 5B),27%根生长于南方土壤中时,植株皱叶症级为 2.5(图 5C)。R 值越高,即皱叶敏感材料的根生长在大田土壤中的比例越高,皱叶发生越早,皱叶症级越高(表 6)。



注:A. 20W51-46 在大田正常播种表现为皱叶;B. T2 处理下 20W51-46 叶片表现为正常;C. T3 处理下 20W51-46 叶片表现为皱叶;D. T4 条件下 20W51-46 叶片表现正常,T5 条件下则皱叶。

Note:A. Leaves of 20W51-46 was wrinkled under field condition; B. Leaves of 20W51-46 was normal under T2 treatment; C. Leaves of 20W51-46 was wrinkled under T3 treatment; D. Leaves of 20W51-46 was normal under T4 treatment, but wrinkled under T5 treatment.

图 5 不同土壤环境对大豆 20W51-46 皱叶的影响

Fig.5 The effects of different soil environment on crinkled leaves of 20W51-46

表6 不同土壤处理下大豆皱叶表现

Table 6 The crinkle leaf phenomenon under different soil planting treatments

处理 Treatment	R	皱叶发生时期 Crinkle leaf appearing stage	皱叶症级 Crinkle grade
T1	1	V3-V4	4
T2	0	不皱叶	0
T3	0.74	V5-V6	3.5
T4	0	不皱叶	0
T5	0.27	V6-V7	2.5

3 讨论

3.1 除草剂对大豆叶片皱缩的影响

引起大豆叶片皱缩的常见除草剂为麦草畏和2,4-D 丁酯^[6-8],主要表现叶沿向上呈“杯”状,与南方大豆叶片皱缩呈“勾手”状的症状明显不同。前期对广西大豆发生皱叶的不同地点的除草剂使用情况调查表明,本研究土壤试验地点广西农业科学院明阳基地大豆试验田近8年大面积使用的为苗前除草剂金都尔,靖西、贺州等大豆田使用的主要为金都尔和乙草胺。本研究设置不同浓度金都尔梯度试验,发现浓度越高,皱叶越严重,表现为子叶和真叶顶端发生钝化或形成“V”字型缺口,此症状同研究的南方大豆皱叶症状明显不同。但目前尚未有除草剂在大田降解过程中产生其他产物导致大豆皱叶发生的相关报道。

3.2 南方大豆皱叶的诱因分析

导致大豆叶片皱缩的一个重要因素为病毒病^[13],本研究从血清免疫、透射电镜及 small RNA 测序等多个角度证明了南方大豆皱叶非病毒所致。陈文杰等^[1]利用皱叶差异大的材料在多个地点研究不同环境下皱叶差异,发现南方大豆皱叶发生具有明显的地域性,且不同地点间遗传率为99.51%,说明南方大豆皱叶症受基因和环境互作影响。

本研究进一步从土壤的角度进行分析,发现皱叶材料的根不接触皱叶发生的土壤时,不表现皱叶症,而当皱叶材料的根生长于皱叶发生的土壤时,表现出明显的皱叶,说明导致南方大豆皱叶发生的诱因源自南方土壤,且并非缺素所致。

嫁接试验结果表明,无论是嫁接皱叶敏感材料的根还是正常材料的根,皱叶材料的叶片均表现出皱叶症状,推测无论是皱叶敏材料的根还是正常材料的根,均可以把某种能够诱发皱叶的因子向上运输至叶片部位引起皱叶敏感材料叶片皱缩,但究竟这种个因子来自土壤中的生物因素还是非生物因素还需要进一步研究。

4 结论

本研究中类似花叶病毒引起的南方大豆叶片皱缩的诱因并非除草剂、病毒,而是来自南方土壤,无论皱叶敏感材料还是正常材料的根部均可以同南方土壤互作,把某种能诱发大豆皱叶的因子向上运输至叶片。

致谢:由衷感谢广西农业科学院植物保护研究所秦碧霞研究员团队、南京农业大学李凯教授团队、华南农业大学年海教授团队和贵州省农业科学院油料所朱星陶研究员团队对本研究给予的帮助与支持!

参考文献

[1] 陈文杰, 陈渊, 韦清源, 等. 一种大豆皱叶症发生特性分析及材料症级鉴定[J]. 大豆科学, 2020, 39(3): 431-441. (CHEN W J, CHEN Y, WEI Q Y, et al. Occurrence characteristics and identification of resistant materials for soybean crinkle leaf disease[J]. Soybean Science, 2020, 39(3): 431-441.)

[2] SONG X F, WEI H C, CHENG W, et al. Development of INDEL markers for genetic mapping based on whole genome resequencing in soybean[J]. Genes Genomes Genetics, 2015, 5(12): 2793-2799.

[3] WANG Y Q, CHEN W, ZHANG Y, et al. Identification of two duplicated loci controlling a disease-like rugose leaf phenotype in soybean[J]. Crop Science, 2016, 56(4): 1611-1618.

[4] CAMPOS R E, BEJERMAN N, NOME C, et al. Bean yellow mosaic virus in soybean from Argentina[J]. Journal of Phytopathology, 2013, 162(5): 322-325.

[5] YANG X D, NIU L, ZHANG W, et al. Increased multiple virus resistance in transgenic soybean overexpressing the double-strand RNA specific ribonuclease gene PAC1[J]. Transgenic Research, 2019, 28: 129-140.

[6] KELLEY K B, WAX L M, HAGER A G, et al. Soybean response to plant growth regulator herbicides is affected by other post emergence herbicides[J]. Weed Science, 2005, 53: 101-112.

[7] ANDREW P R, DAVID M S, WILLIAM G J. Response of glyphosate tolerant soybean yield components to dicamba exposure[J]. Weed Science, 2013, 61(4): 526-536.

[8] SILVA E D N, AGUIAR A C M, NOVELLO B D P, et al. Drift of 2, 4-D and dicamba applied to soybean at vegetative and reproductive growth stage[J]. Ciencia Rural, 2018, 48(8): 1-7.

[9] ALANNA B S, BENJAMIN P S, DANIEL B R, et al. Effect of soybean growth stage on sensitivity to sublethal rates of dicamba and 2, 4-D[J]. Weed Technology, 2019, 33(4): 555-561.

[10] ELCIO F S, JOSÉ M K S, AMANDA P P, et al. Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2017, 113: 6-19.

[11] HOPKINS E W. Leaf-wrinkle, a nutritional disorder of soybean [J]. Plant Physiology, 1933, 8(2): 333-336.

[12] 张明厚, 吕文清, 魏培文. 我国大豆病毒病发生、危害情况发展趋势及其原因分析和防治建议[J]. 大豆科学, 1986, 5(4): 305-314. (ZHANG M H, LYU W Q, WEI P W. The occurrence and developing tendency of soybean virus diseases in China and suggestion for the disease management [J]. Soybean Science, 1986, 5(4): 305-314.)

[13] 王大刚, 李凯, 智海剑. 大豆抗大豆花叶病毒病基因研究进展[J]. 中国农业科学, 2018, 51(16): 3040-3059. (WANG D G, LI K, ZHI H J. Progresses of resistance on soybean mosaic virus in soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(16): 3040-3059.)

[14] 李凯. 中国南方大豆花叶病毒株系的鉴定、抗性遗传和抗性基因的定位[D]. 南京: 南京农业大学, 2009: 31-58. (LI K. Identification of soybean mosaic virus and inheritance and gene mapping of its resistance in soybeans in southern China [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009: 31-58.)

[15] 唐向民, 杨守臻, 陈怀珠, 等. 160 份广西春大豆种质对大豆花叶病毒株系 SC15 和 SC18 的抗性评价[J]. 大豆科学, 2019, 38(2): 181-188,197. (TANG X M, YANG S Z, CHEN H Z, et al. Resistance evaluation of 160 Guangxi spring-sowing soybean germplasms to soybean mosaic virus strains SC15 and SC18[J]. Soybean Science, 2019, 38(2): 181-188,197.)

[16] 邱强, 饶德民, 赵婧, 等. 不同铁效率大豆品种叶片和根系超微结构的比较研究[J]. 大豆科学, 2017, 36(6): 927-931. (QIU Q, RAO D M, ZHAO J, et al. Comparative study of leaf and root ultrastructure of different iron efficiency soybean varieties [J]. Soybean Science, 2017, 36(6): 927-931.)

[17] 付星, 高植, 李欣欣, 等. 一种大豆苗期嫁接方法的建立[J]. 大豆科学, 2018, 37(6): 891-895. (FU X, GAO Z, LI X X, et al. Estalishment of a grafting process at seedling stage of soybean [J]. Soybean Science, 2018, 37(6): 891-895.)

欢迎订阅 2022 年《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农业科学院主管、主办的大豆专业性学术期刊,被国内外多家重要数据库和文摘收录源收录的重点核心期刊。主要刊登有关大豆遗传育种、品种资源、生理生态、耕作栽培、植物保护、营养肥料、生物技术、食品加工、药用功能及工业用途等方面的学术论文、科研报告、研究简报、国内外研究述评、学术活动简讯和新品种介绍等。

《大豆科学》主要面向从事大豆科学研究的科技工作者,大专院校师生、各级农业技术推广部门的技术人员及广大农民。

《大豆科学》为双月刊,16 开本,国内外公开发行。国内每期定价:40.00 元,全年 240.00 元,邮发代号:14-95。国外每期定价:40.00 美元(含邮资),全年 240.00 美元,国外邮发代号:Q5587。全国各地邮局均可订阅,也可向编辑部直接订购。

地址:哈尔滨市松北区创新三路 800 号国际农业科技创新中心 1321 室
邮编:150028
电话:0451-51522862
网址:<http://ddkx.haasep.cn>
E-mail:soybeanscience@vip.163.com

