

## 粗缩病对不同抗性玉米品种叶片生理特性的影响

穆西玉<sup>1</sup>, 张海艳<sup>1,2,\*</sup>, 赵延明<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>青岛农业大学农学与植物保护学院/山东省旱作农业技术重点实验室, 山东青岛266109; <sup>2</sup>山东省小麦玉米周年高产高效生产协同创新中心, 山东泰安271018

**摘要:**以6个对玉米粗缩病(MRDV)表现不同抗性的玉米品种为材料,研究了粗缩病对玉米叶片叶绿素含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性和可溶性蛋白含量的影响。结果表明,感病后,各品种叶片叶绿素含量、SOD活性和可溶性蛋白含量显著降低,叶绿素含量和SOD活性下降幅度表现为感病品种>中抗品种>抗病品种,可溶性蛋白含量下降幅度表现为抗病品种>中抗品种>感病品种(‘青农105’除外)。对病情指数与各生理指标变化幅度的相关分析发现,叶绿素含量和SOD活性的下降幅度与病情指数均呈显著正相关,除‘青农105’外的5个品种可溶性蛋白含量的下降幅度与病情指数呈极显著负相关。这说明,品种对粗缩病的抗病性与感病后各生理指标的变化幅度有关;品种抗性越强,感病后叶绿素含量和SOD活性下降幅度越小,可溶性蛋白含量下降幅度越大。

**关键词:**玉米;粗缩病;叶绿素;超氧化物歧化酶;可溶性蛋白

## Effects of Maize Rough Dwarf Virus (MRDV) on Physiological Characteristics in Leaves of Different Maize (*Zea mays*) Varieties

MU Xi-Yu<sup>1</sup>, ZHANG Hai-Yan<sup>1,2,\*</sup>, ZHAO Yan-Ming<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University/Shandong Key Laboratory of Dry Farming Technique, Qingdao, Shandong 266109, China; <sup>2</sup>Cooperative Innovation Center of Efficient Production with High Annual Yield of Wheat and Corn, Tai'an, Shandong 271018, China

**Abstract:** Six maize (*Zea mays*) varieties with different resistance to maize rough dwarf virus (MRDV) were used to study the effects of MRDV on chlorophyll content, superoxide dismutase (SOD) activity and soluble protein content in leaf. The results showed that three physiological characteristics decreased significantly after the plants were infected by MRDV. The decline of chlorophyll contents and SOD activities appeared susceptible varieties>moderate resistant varieties>resistant varieties, and the decline of soluble protein contents appeared resistant varieties>moderate resistant varieties>susceptible varieties (except ‘QN105’). Correlation analysis indicated that the decline of chlorophyll contents and SOD activities were positively correlated with the disease index. The decline of soluble protein contents in five maize varieties except ‘QN105’ were negatively correlated with disease index. Therefore, the resistance to MRDV was related to the decline range of every physiological characteristic. The stronger resistance, the less decline of chlorophyll content and SOD activity, the greater decline of soluble protein content.

**Key words:** maize; MRDV; chlorophyll; SOD; soluble protein

玉米粗缩病(maize rough dwarf virus, MRDV)是一种世界性病害,由灰飞虱(*Laodelphax striatellus*)持久性传播,病原为水稻黑条矮缩病毒(rice black-streaked dwarf virus, RBSDV)。1949年,首次在意大利发现。1954年,首次在我国新疆南部和甘肃西部发现。1977年,在河北中南部大面积流行,造成玉米大幅度减产。20世纪90年代以来,玉米粗缩病再度爆发流行。1996年全国玉米发病面积233万hm<sup>2</sup>,仅山东省就达66.7万hm<sup>2</sup>,病株率30%以上的面积超过20万hm<sup>2</sup>,改种超过2万hm<sup>2</sup>,绝产4

000 hm<sup>2</sup>。近年来,玉米粗缩病在山东省几乎年年发生,且有逐年加重趋势,2005年发病面积约16.5万hm<sup>2</sup>,2006年约19.8万hm<sup>2</sup>,2007年约22.7万hm<sup>2</sup>,

收稿 2014-01-13 修定 2014-04-29

资助 青岛市科技计划项目[11-2-4-5-(8)-jch]、国家自然科学基金基金项目(31101100)、作物生物学国家重点实验室开放课题项目(2013KF05)、山东省农业科技成果转化资金(2011)和山东省旱地作物水分高效利用科研创新团队。

\* 通讯作者(E-mail: hyzhang608@126.com; Tel: 0532-86080447)。

2008年达80万 $\text{hm}^2$ 。据调查, 2011年山东省春玉米发病面积又创历史新高, 并且大面积毁种或绝产。玉米粗缩病已成为危害我国玉米生产的主要病害之一, 是亟待解决的问题, 因此备受科技工作者的关注(马侠等2010)。目前对玉米粗缩病的研究多侧重于抗性鉴定(杨兴飞等2010)、抗性基因筛选(马侠等2010; 李常保等2002)、常规防治(刘方明等2005; 陈巽祯等1986)及病理分析(尚佑芬等2007)。关于粗缩病对不同抗性玉米品种叶片生理特性的影响报道较少。本文以不同抗粗缩病玉米品种为材料, 研究粗缩病对其叶片叶绿素含量、SOD活性和可溶性蛋白含量的影响, 分析玉米抗感粗缩病与叶片生理指标的关系, 为抗病育种和病害防治提供一定的理论基础。

## 材料与方 法

2012年5月25日, 在青岛和丰种业有限公司胶州试验基地网室内、外分别播种不同抗性玉米(*Zea mays* L.)品种, 抗病品种为‘青农105’和‘青农8’, 中抗品种为‘登海3622’和‘农大108’, 感病品种为‘先玉335’和‘郑单958’, 其病情指数参见前文(穆西玉等2013)。6个品种的抽雄期(7月25~29日)基本一致, 在7月27日分别取处在抽雄期的网室内健株叶片和网室外病株叶片, 采集其倒数第2片完全展开叶, 于 $-84\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱保存, 用于超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性和可溶性蛋白含量测定。

随机选取处在抽雄期的网室内健株、网室外病株的穗位叶, 用CCM-200型手持式叶绿素含量测定仪测定叶绿素含量指数(chlorophyll content index, CCI), 用以表示叶绿素的相对含量(王爱玉等2008)。用氮蓝四唑法(李合生2000)测定SOD活性, 用考马斯亮蓝法(郝建军和康宗利2006)测定可溶性蛋白含量。

采用Excel 2007及DPS 7.05软件对数据进行统计和方差分析, SPSS 11.5软件进行相关分析。

## 实验结果

### 1 粗缩病对玉米叶片叶绿素含量的影响

叶绿素是植物光合色素中最重要的一类色素, 其含量可受多种逆境的胁迫而下降(张明生等2003)。由表1可见, 病毒侵染植株后, 各品种叶绿

表1 粗缩病对不同玉米品种叶片叶绿素含量指数的影响

Table 1 Effects of MRDV on CCI in leaves of different maize varieties

品种	叶绿素含量指数	
	健株	病株
‘青农105’	54.72±3.43 <sup>a</sup>	28.97±2.53 <sup>b</sup>
‘青农8’	52.09±3.52 <sup>a</sup>	35.06±3.48 <sup>b</sup>
‘登海3622’	40.96±3.08 <sup>a</sup>	16.18±1.88 <sup>b</sup>
‘农大108’	38.45±2.87 <sup>a</sup>	14.18±1.75 <sup>b</sup>
‘先玉335’	53.94±4.39 <sup>a</sup>	12.81±1.53 <sup>b</sup>
‘郑单958’	45.42±3.92 <sup>a</sup>	13.51±1.73 <sup>b</sup>

同一品种中不同字母表示差异达5%显著水平。下表同此。

素含量指数均显著下降, 表明病毒刺激影响了叶绿素的正常代谢, 导致其含量降低。6个玉米品种叶绿素含量指数的下降幅度分别为47.1%、32.7%、60.5%、63.1%、76.3%和70.3%, 表现为感病品种>中抗品种>抗病品种。对病情指数和叶绿素含量指数的下降幅度进行相关分析, 发现两者呈显著正相关, 相关系数为0.87<sup>\*</sup>。因此, 粗缩病能显著降低玉米叶片叶绿素的含量。品种抗性越弱, 叶绿素含量下降越明显; 品种抗性越强, 机体适应和防御能力越强, 叶绿素含量下降越少。

### 2 粗缩病对玉米叶片SOD活性的影响

感病后, 6个玉米品种的叶片SOD活性显著下降(表2)。说明病毒的刺激使植株体内防御活性氧的能力降低, 细胞内自由基水平提高, 膜质过氧化程度加剧, 导致膜系统损伤, 植物生长受抑制。感病后, SOD活性下降幅度表现为感病品种>中抗品种>抗病品种。相关分析表明, 病情指数和SOD活性下降幅度之间呈极显著正相关, 相关系数为0.93<sup>\*\*</sup>。表明, 品种对粗缩病的抗感病性与感病后

表2 粗缩病对不同玉米品种叶片SOD活性的影响

Table 2 Effects of MRDV on SOD activities in leaves of different maize varieties

品种	SOD活性/ $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW)	
	健株	病株
‘青农105’	127.91±20.70 <sup>a</sup>	93.38±7.67 <sup>b</sup>
‘青农8’	135.77±8.73 <sup>a</sup>	89.79±9.77 <sup>b</sup>
‘登海3622’	153.26±14.31 <sup>a</sup>	90.42±9.96 <sup>b</sup>
‘农大108’	96.46±29.32 <sup>a</sup>	58.84±8.34 <sup>b</sup>
‘先玉335’	175.92±14.96 <sup>a</sup>	54.32±3.86 <sup>b</sup>
‘郑单958’	135.37±23.78 <sup>a</sup>	63.62±4.80 <sup>b</sup>

SOD活性变化幅度密切相关, 品种抗性越强, 感病后SOD活性下降幅度越小, 机体适应和防御病原物的能力越强。

### 3 粗缩病对玉米叶片可溶性蛋白含量的影响

感病后, 6个玉米品种的叶片可溶性蛋白含量均显著下降(表3), 下降幅度总体表现为抗性品种>中抗品种>感病品种(‘青农105’除外)。对‘青农105’以外的5个品种的病情指数和可溶性蛋白含量下降幅度进行相关分析, 发现两者呈极显著负相关关系, 相关系数为-0.95<sup>\*\*</sup>。因此, 品种对粗缩病的抗感病性与感病后可溶性蛋白含量变化幅度密切相关, 品种抗性越强, 感病后可溶性蛋白含量下降幅度越大, 机体对病毒引起的自身代谢失调的保护反应越强。

表3 粗缩病对不同玉米品种叶片可溶性蛋白含量的影响

Table 3 Effects of MRDV on soluble protein contents of different maize varieties

品种	可溶性蛋白含量/mg·g <sup>-1</sup>	
	健株	病株
‘青农105’	7.90±0.08 <sup>a</sup>	6.11±0.46 <sup>b</sup>
‘青农8’	6.07±0.12 <sup>a</sup>	2.58±0.16 <sup>b</sup>
‘登海3622’	6.00±0.10 <sup>a</sup>	2.63±0 <sup>b</sup>
‘农大108’	5.27±0.02 <sup>a</sup>	2.20±0.14 <sup>b</sup>
‘先玉335’	5.37±0.08 <sup>a</sup>	3.08±0.08 <sup>b</sup>
‘郑单958’	5.66±0.10 <sup>a</sup>	2.97±0.04 <sup>b</sup>

## 讨 论

### 1 粗缩病对玉米叶片叶绿素含量的影响

光合作用是植物代谢的基础, 而叶绿素是光能吸收和转换的原初物质, 其含量是植物生理研究的重要指标(王爱玉2008)。本研究中, 感病后, 玉米叶片叶绿素含量指数显著下降, 且下降幅度表现为感病品种>中抗品种>抗病品种。说明, 品种抗性越弱, 叶片叶绿素含量受病毒影响越大, 反之亦然。李照会等(2002)研究发现, 受玉米粗缩病毒侵染后, 玉米叶肉细胞中叶绿体的数量有所减少, 叶绿体膨胀, 叶绿体被膜破裂, 内部的基质类囊体出现明显的空泡化, 叶绿体片层结构变得疏松, 甚至被破坏消解。这意味着病变叶片内叶绿素的合成也受到抑制, 并逐步丧失吸收传递光能的作用, 同时光合作用失调导致叶绿体内活性氧

积累, 使叶绿素分解加快。因此, 病毒刺激后, 叶绿素合成受抑、分解加快, 是感病植株叶片叶绿素含量降低的主要原因。

### 2 玉米抗感粗缩病与玉米叶片SOD活性的关系

SOD在生物体活性氧代谢过程中处于关键的位置。在植株诱导抗性系统中, SOD是最早出现的与抗性相关的酶, 它可以阻碍超氧阴离子自由基等在植株体内的积累(Peng和Kuc 1992)。本研究中, 玉米植株感病后, 叶片SOD活性显著降低。这与梁琼和侯明生(2004)的研究结果一致。一方面可能是因为RBSDV的侵染会激发植株自身的防御反应, 消耗部分SOD用于清除体内过多的活性氧, 使活性氧维持在较低的水平, 以减轻其对机体的损伤; 另一方面可能是感病后植株体内活性氧的积累超越了防御酶的清除能力, 积累的活性氧损害细胞结构, 攻击胞内有机大分子, 如核酸、蛋白质等, 导致酶受损伤, SOD活性下降。不同抗性品种间比较, SOD活性下降幅度存在差异, 表现为感病品种>中抗品种>抗病品种。说明, SOD活性下降幅度越大, 品种抗病性越弱; 反之, 品种抗病性越强。这可能是因为病毒侵染后, 抗病性强的品种叶片内SOD生成体系受损伤程度小, 能更好地抵御病原物的危害。

### 3 玉米抗感粗缩病与玉米叶片可溶性蛋白含量的关系

蛋白质是基因表达的产物, 也是形成植株外观性状的物质基础, 植株在受到病原物危害时, 体内可溶性蛋白和氨基酸代谢会发生相应变化(李佐同等2009)。植物体内的可溶性蛋白大多是参与各种代谢的酶, 它们的种类和含量在一定程度上可以反映“植物-病原物”互作中生理生化反应的强度。本文研究中, 感病后, 6个玉米品种叶片可溶性蛋白含量显著降低。说明, 病毒刺激激发了植株的自身防御反应, 使其消耗部分可溶性蛋白物质来应对病原物的入侵。然而, 陆京杰和陈永萱(1994)研究指出, 大豆花叶病毒的侵染导致大豆叶片可溶性蛋白质明显增加, 说明病毒侵染促进了寄主氮化合物代谢, 有利于病毒的增殖。这与本文研究结果不一致, 可能与病原和寄主种类不同及可溶性蛋白的品种特异性有关。不同抗性类型间比较, 感病后, 叶片可溶性蛋白含量下降幅度表

现为抗病品种>中抗品种>感病品种(‘青农105’除外)。段灿星等(2011)研究发现,灰飞虱危害水稻后,抗虫品种会分泌某种物质,使灰飞虱取食造成的伤口愈合,起到保护植物的作用,而感虫品种无类似反应。因此,除了抵御RBSDV的危害外,还会用于修复灰飞虱取食造成的机械损伤,可能是本实验中抗病品种可溶性蛋白含量下降幅度大的一个原因。

### 参考文献

- 陈巽祯, 杨满昌, 刘信义, 杨本荣(1986). 玉米粗缩病发病规律及综合防治研究. 华北农学报, 1 (2): 90~97
- 段灿星, 彭高松, 朱振东, 李洪杰, 王晓鸣(2011). 抗感水稻品种受灰飞虱为害后叶片活性氧及超微结构的变化. 华北农学报, 26 (6): 207~211
- 郝建军, 康宗利(2007). 植物生理学实验技术. 北京: 化学工业出版社, 107~109
- 李常保, 宋建成, 姜丽君, 杨春英, 王启柏, 王守义(2002). 玉米抗粗缩病病毒(MRDV)基因的RAPD标记及其辅助选择效果研究. 作物学报, 28 (4): 564~568
- 李合生(2000). 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 167~169
- 李照会, 叶保华, 郭兴启(2002). 感染玉米粗缩病毒后玉米植株的超微结构病变研究. 中国农业科学, 35 (3): 264~266
- 李佐同, 靳学慧, 张亚玲, 吴成龙(2009). 水稻幼苗可溶性糖及可溶性蛋白含量与抗瘟性的关系. 北方水稻, 39 (4): 6~9
- 梁琼, 侯明生(2004). 玉米品种抗感玉米粗缩病毒与过氧化物酶关系的研究. 云南农业大学学报, 19 (5): 546~549
- 刘方明, 梁文举, 闻大中(2005). 耕作方法和除草剂对玉米田杂草群落的影响. 应用生态学报, 16 (10): 1879~1882
- 陆京杰, 陈永萱(1994). 大豆花叶病毒的侵染对大豆碳氮化合物代谢的影响. 南京农业大学学报, 17 (2): 43~47
- 马侠, 崔德周, 刘怀华, 刘旭, 宁丽华, 陈化榜(2010). 玉米抗粗缩病基因STS分子标记的筛选. 玉米科学, 18 (3): 61~64, 67
- 穆西玉, 赵延明, 张海艳(2013). 粗缩病对玉米产量和籽粒品质的影响. 植物生理学报, 49 (11): 1233~1237
- 尚佑芬, 赵玖华, 王升吉, 路兴波, 孙红炜, 杨崇良(2007). 山东省玉米病毒病原鉴定与防治研究. 玉米科学, 15 (5): 128~132
- 王爱玉, 张春庆, 吴承来, 高明伟(2008). 玉米叶绿素含量快速测定方法研究. 玉米科学, 16 (2): 97~100
- 杨兴飞, 温广波, 杨轶(2010). 玉米不同种质对粗缩病的抗性鉴定和分析. 玉米科学, 18 (3): 144~146
- 张明生, 谢波, 谈锋, 张启堂(2003). 甘薯可溶性蛋白、叶绿素及ATP含量变化与品种抗旱性关系的研究. 中国农业科学, 36 (1): 13~16
- Peng M, Kuc J (1992). Peroxidase-generated hydrogen peroxide as a source of antifungal activity in vitro and on tobacco leaf disks. Phytopathol, 82 (6): 696~699