

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2020)02-0103-11

病虫害防治

马铃薯早熟品种与晚熟品种对马铃薯Y病毒(PVY)和马铃薯卷叶病毒(PLRV)的生理反应

张 武^{1,2}, 吴雁斌^{1,2}, 高彦萍^{1,2}, 梁宏杰^{1,2}, 吕和平^{1,2*}

(1. 甘肃省农业科学院马铃薯研究所, 甘肃 兰州 730070 ;

2. 甘肃省马铃薯脱毒种薯(种苗)病毒检测及安全性评价工程中心, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 马铃薯病毒病是导致马铃薯退化的主要原因之一, 寻找能够有效降低病毒病对马铃薯生产的影响一直是马铃薯研究和生产者的追求。通过研究马铃薯中早熟品种‘LK99’和晚熟品种‘陇薯3号’对马铃薯Y病毒(PVY)和马铃薯卷叶病毒(PLRV)的生理反应, 进一步明确和比较了中早熟品种‘LK99’和晚熟品种‘陇薯3号’在PVY或PLRV胁迫下的一些生理变化。以未感病和分别感染了PVY、PLRV的马铃薯中早熟品种‘LK99’和晚熟品种‘陇薯3号’为研究对象, 在马铃薯苗期、块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期采用紫外分光光度计测定了所取叶片中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)含量、叶绿素含量, 并进行了分析比较; 同时, 在块茎膨大期测定株高、茎粗、地上鲜重, 成熟后测产。试验结果表明, 病毒侵染马铃薯植株后, 植株生长受抑制, 块茎产量降低、有关保护酶(SOD、POD、CAT)活性增强、丙二醛含量升高、总叶绿素含量减少。植株感染了PVY或PLRV后块茎产量、有关保护酶(SOD、POD、CAT)活性、丙二醛含量、总叶绿素含量的相对变化量表明‘陇薯3号’的受损程度较‘LK99’严重。以块茎产量作为评价标准, 则PVY对马铃薯的危害程度较PLRV更为严重。马铃薯植株对PLRV的应激性反应比对PVY强烈, 表现为酶活相对增强幅度大、丙二醛含量相对增量高、总叶绿素含量相对减量高。

关键词: 马铃薯病毒; 保护酶活性; 叶绿素; 丙二醛

Physiological Responses of Early-maturing and Late-maturing Varieties to Potato Virus Y and Potato Leaf Roll Virus

ZHANG Wu^{1,2}, WU Yanbin^{1,2}, GAO Yanping^{1,2}, LIANG Hongjie^{1,2}, LU Heping^{1,2*}

(1. Potato Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Gansu Engineering Center for Virus Detection and Safety Evaluation of Potato Virus-free Seed (Seedling), Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Potato viral disease is one of the main reasons leading to the deterioration of potato and the search for effective ways to reduce the effects of viral diseases was a pursuit of both potato researchers and producers. The physiological responses of the early maturing variety 'LK99' and the late maturing variety 'Longshu 3' to potato virus Y (PVY) and potato leaf roll virus (PLRV) were studied, and the physiological changes of the early maturing variety 'LK99' and the late maturing variety 'Longshu 3' under the stresses of PVY or PLRV were further clarified and compared using

收稿日期: 2018-12-26

基金项目: 甘肃省农业科学院农业科技创新专项项目(2019GAAS04); 国家重点研发计划项目(2017YFD0201602-4, 2018YFD0200805); 兰州市人才创新创业项目(2016-RC-65)。

作者简介: 张武(1966-), 男, 研究员, 主要从事马铃薯繁育技术研究。

*通信作者(Corresponding author): 吕和平, 博士, 研究员, 主要从事植物保护研究, E-mail: 1950838470@qq.com。

normal, PVY and PLRV infected potatoes from 'LK99' and 'Longshu 3' respectively as the test materials. Superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) activity, malondialdehyde (MDA) content and chlorophyll content were determined and analyzed by ultraviolet spectrophotometer at the seedling, tuber formation, tuber bulking and starch accumulation stages. At the same time, plant height, stem diameter and fresh weight above ground were measured at the tuber bulking stage, and potato yield were measured at mature stage. After potato plants were infected with viruses, the growth was inhibited, tuber yield was reduced, activity of relevant protective enzymes (SOD, POD and CAT) were increased, MDA content was increased and total chlorophyll content was reduced. After potato plants were infected with PVY or PLRV, the relative changes of tuber yield, protective enzyme activity (SOD, POD and CAT), MDA content and total chlorophyll content showed that the damage to 'Longshu 3' was more serious than that of 'LK99'. When tuber yield was used as the evaluation standard, the harm caused by PVY to potato was more serious than that of PLRV. The stress response of potato plants to PLRV was stronger than that of PVY, which were manifested as a large increase in protective enzyme activity (SOD, POD and CAT) and MDA content, and a large decrease in the total chlorophyll content.

Key Words: potato virus; protective enzyme activity; chlorophyll; malondialdehyde

据研究, 有40多种病毒和2种类病毒可以感染马铃薯, 其中9种病毒和1种类病毒对马铃薯生长的影响最为严重^[1-3]。马铃薯Y病毒(Potato virus Y, PVY)和马铃薯卷叶病毒(Potato leaf roll virus, PLRV)是世界范围内影响农业生产的2种主要的马铃薯病毒病原体^[4]。如果马铃薯被PVY或PLRV感染, 一个生长季节的总产量会减少80%, 导致块茎质量不合格, 给农业生产造成巨大的经济损失^[5]。多年来, 马铃薯病毒的研究主要集中在马铃薯病毒的茎尖脱毒和检测分析^[6-8]。人们对植物抗逆性生理与酶活性的关系进行了大量的研究, 并解释了逆境环境下植物酶活性的变化^[9,10]。Fridovich^[11]的自由基理论认为, 植物存在一种膜保护系统, 可以清除植物体内多余的自由基。逆境条件下, 膜保护系统实际上是一种抗氧化系统, 由超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)等组成, 试验表明, 植物受到虫害威胁后, SOD、POD、CAT活性增加。与此同时, 有学者发现, 受病原菌侵染的植株光合速率明显降低, 叶绿体结构被破坏, 叶绿素含量下降^[12]。本试验通过测定和分析马铃薯中早熟品种'LK99'和晚熟品种'陇薯3号'感染PVY和PLRV后叶片SOD活性、POD活性、CAT活性、丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量、叶绿素含量的变化, 旨在进一步明确和比较所选两个品种分别在2种病毒胁迫下的生理变化。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2016年在甘肃省定西市渭源县会川镇甘肃省农业科学院马铃薯研究所试验基地进行, 试验地土壤为黑麻土, 土壤pH 7.6, 有机质含量18.0 g/kg, 全氮0.84 g/kg, 碱解氮78 mg/kg, 速效磷7.6 mg/kg, 速效钾109.7 mg/kg。温带大陆性气候, 马铃薯生育期均降水量300 mm, 平均气温18℃。

1.2 试验材料

试验材料为甘肃省农业科学院马铃薯研究所育成马铃薯晚熟品种'陇薯3号'(生育期出苗至成熟110 d左右), 以下简称L3和中早熟品种'LK99'(生育期85 d左右)的一级种薯。马铃薯播种期为4月26日, 出苗期后田间目测、结合免疫试纸条法[安德珍(Adgen)公司试剂盒]田间检测, 选取正常和分别感PVY和PLRV植株叶片, 经ELISA病毒检测, 确定只含PVY或PLRV的植株, 并分别用防虫网和小拱棚对此植株进行隔离, 以防蚜虫等传毒媒介传染其他病毒, 从而影响试验结果。并于6月14日(苗期)、7月2日(块茎形成期)、7月24日(块茎膨大期)、8月17日(淀粉积累期)选取正常叶和感病植株(花叶、卷叶明显), 每株取上中部3片复叶进行相关指标测定, 首次取样用免疫试纸条法[安德珍(Adgen)公司试剂盒]结合ELISA病毒检测确定, 后期取样只用免疫试纸条法[安德珍(Adgen)公司试剂盒]确认,

在块茎膨大期测定株高、茎粗、地上鲜重, 成熟后测产。

1.3 试验方法

1.3.1 酶液的制备

取0.2 g新鲜马铃薯叶片于冰浴研钵中, 加少许石英砂和5 mL预冷的酶提取液(用pH 7.8的磷酸缓冲液配制, 内含5 mmol/L EDTA, 2 mmol/L AsA, 2%PVP), 迅速匀浆, 4 ℃, 4 000 r/min离心15 min, 取上清液备用。上清液中包含POD、SOD和CAT^[13]。

1.3.2 POD活性的测定

0.3%愈创木酚法^[13]。以470 nm吸光值每分钟增加1为一个酶活性单位(U)。

1.3.3 SOD活性的测定

NBT光还原法^[14], 以抑制氮蓝四唑(NBT)在光照下被还原到50%的酶量为一个酶活性单位(U)。

1.3.4 CAT活性的测定

240 nm比色法^[14], 以240 nm吸光值每分钟减小0.1为一个酶活性单位(U)计算CAT活性。

1.3.5 MDA含量的测定

双组分分光光度计法^[15], 称取0.3 g马铃薯叶片和嫩茎, 加入5 mL三氯乙酸(TCA), 研磨后在4 000 r/min离心15 min, 吸取2 mL上清液再加入2 mL 0.6%硫代巴比妥酸(TBA)溶液, 沸水浴15 min, 迅速冷却, 测定450, 532和600 nm处吸光值。

1.3.6 叶绿素含量的测定

无水乙醇与丙酮(1:1, v/v)混合液浸泡法^[16],

0.1 g样品加10 mL提取液(无水乙醇:丙酮=1:1), 封口, 遮光, 24 h后测定470, 649和665 nm处吸光值。

1.4 数据分析

受到PVY、PLRV侵染的马铃薯叶片中POD、SOD和CAT酶活及MDA含量、叶绿素含量相对增量(减量)按以下公式计算:

酶活相对增量(%) = [处理组酶活(含量) - 对照组酶活(含量)]/[对照组酶活(含量)] × 100

酶活相对减量(%) = [对照组酶活(含量) - 处理组酶活(含量)]/[对照组酶活(含量)] × 100

使用Microsoft Excel 2007软件作图, SPSS 17.0软件进行单因素随机区组方差分析($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 病毒侵染对马铃薯生长及产量的影响

晚熟马铃薯品种‘陇薯3号’和中早熟品种‘LK99’感病植株与正常植株相比, 感病植株株高较正常植株株高降低4.7~12.1 cm; 植株茎粗2个品种均表现为正常植株 > 感染PLRV植株 > 感染PVY植株, 但差异不显著; 同时表现为植株单株鲜重和单株薯重急剧降低, 感染PVY的‘陇薯3号’和‘LK99’植株单株鲜重分别减少79和38 g、单株薯重分别减少257和145 g, 感染PLRV的‘陇薯3号’和‘LK99’植株单株鲜重分别减少44和19 g、单株薯重分别减少126和104 g(表1)。

从2种病毒对植株的影响分析, 株高方面感染PLRV的植株损伤明显重于感染PVY的植株, 而茎

表1 病毒侵染对马铃薯农艺性状的影响

Table 1 Effect of virus infection on agronomic traits of potato

处理 Treatment	株高(cm) Plant height	茎粗(mm) Stem diameter	单株鲜重(g/株) Fresh weight per plant (g/plant)	单株薯重(g/株) Tuber yield per plant (g/plant)
正常 Normal(Longshu 3)	83.6 c	10.6 a	213 e	584 e
PVY(Longshu 3)	74.3 bc	10.2 a	134 b	327 b
PLRV(Longshu 3)	71.5 b	10.3 a	169 d	458 d
正常 Normal(LK99)	72.8 b	11.4 a	156 c	461 d
PVY(LK99)	68.1 ab	10.3 a	118 a	316 a
PLRV(LK99)	65.7 a	10.5 a	137 b	357 c

注: 数据后不同字母代表0.05水平差异显著性, 采用LSD法。下同。

Note: Treatment means followed by different lowercase letter(s) in the same column differ significantly at 0.05 level of probability, according to the least significant difference (LSD) test. The same below.

粗、单株鲜重、单株薯重则表现为感染PLRV的植株损伤明显轻于感染PVY的植株。从2个不同马铃薯品种对病毒的响应分析，感染PVY后‘LK99’在株高、单株鲜重、单株薯重方面均表现为受损程度显著低于‘陇薯3号’植株；当感染PLRV后‘LK99’在

株高、单株鲜重方面表现与感染PVY后的情况一致，但是植株分别感染2种病毒后茎粗表现呈现相反的情况(表2)。这可能表明PVY对马铃薯的危害程度较PLRV更为严重，PVY和PLRV对‘陇薯3号’的损伤程度较‘LK99’严重。

表2 病毒侵染后马铃薯农艺性状的相对减量
Table 2 Relative decrement of potato agronomic traits after virus infection

处理 Treatment	相对减量(%) Relative decrement			
	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	单株鲜重 Fresh weight per plant	单株薯重 Tuber yield per plant
PVY(Longshu 3)	11.12 c	3.77 b	37.09 d	44.01 c
PLRV(Longshu 3)	14.47 d	2.83 a	20.66 b	21.58 a
PVY(LK99)	6.46 a	9.65 d	24.36 c	31.45 b
PLRV(LK99)	9.75 b	7.89 c	12.18 a	22.56 a

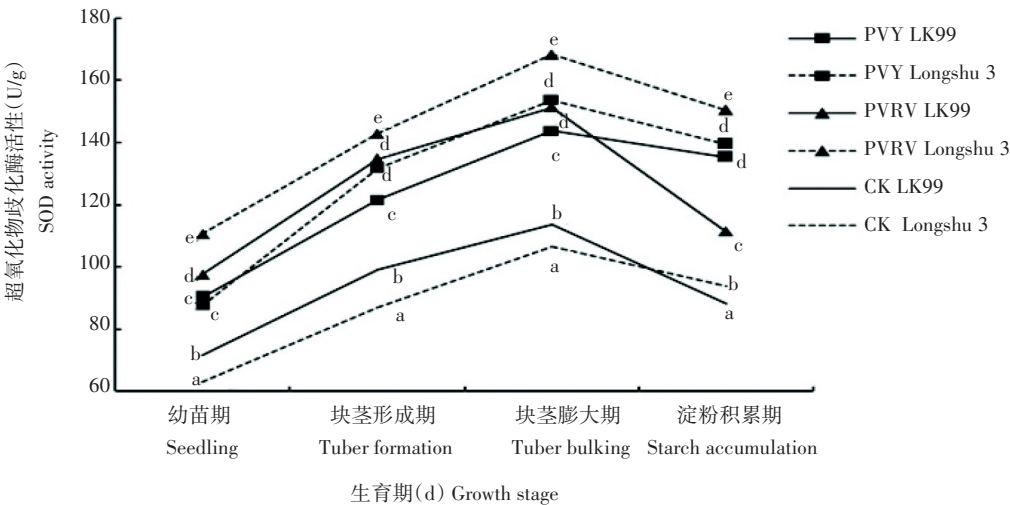
2.2 病毒侵染对马铃薯细胞保护酶活性的影响

2.2.1 超氧化物歧化酶(SOD)活性的变化

无论是正常马铃薯植株，还是分别感染PVY、PLRV的马铃薯植株，SOD活性随着生育期进程的推进均呈明显上升趋势，到块茎膨大期达到最高值，至淀粉积累期开始下降；‘陇薯3号’及‘LK99’植株

分别感染PVY、PLRV后，各生育阶段植株叶片的SOD活性相对于未感病植株均显著增强(图1)。

从品种方面分析，在4个生育期内分别感染PVY和PLRV的‘陇薯3号’植株叶片SOD活性相对增量显著高于分别感染PVY和PLRV的‘LK99’(淀粉积累期PVY除外)。从两种病毒的危害程度方



不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)，采用LSD法。下同。

Treatment means with different small letters indicate significant difference ($P < 0.05$) as tested by using least significant difference (LSD) method. The same below.

图1 病毒侵染对马铃薯植株中SOD活性的影响
Figure 1 Effects of virus infection on SOD activity in potato plant

表3 病毒侵染后马铃薯叶片SOD活性相对增量
Table 3 Relative increment of SOD activity in potato leaves after virus infection

处理 Treatment	相对增量(%) Relative increment			
	幼苗期 Seedling	块茎形成期 Tuber formation	块茎膨大期 Tuber bulking	淀粉积累期 Starch accumulation
PVY(Longshu 3)	39.23 b	51.50 c	44.53 c	48.94 b
PLRV(Longshu 3)	75.67 c	64.20 d	58.23 d	60.60 c
PVY(LK99)	26.34 a	22.60 a	26.55 a	53.23 b
PLRV(LK99)	36.57 b	35.90 b	33.31 b	26.19 a

面分析, 感染PVY后‘陇薯3号’植株叶片SOD活性相对增量显著低于感染PLRV的‘陇薯3号’植株, 除淀粉积累期以外, ‘LK99’也具有相似的表现(表3)。

2.2.2 过氧化物酶(POD)活性的变化

感染了PVY的2个品种植株各生育时期叶片POD活性均显著高于正常植株叶片POD活性, 感染PLRV的两个品种植株除淀粉积累期外叶片POD活性均显著高于正常植株叶片POD活性。其总体趋势表现为幼苗期POD活性值较低(16.73~36.28 U/g), 到块茎形成期急剧升高, 达到最大值(29.80~71.21 U/g), 到块茎膨大期急剧下降(21.64~35.77 U/g, 和幼苗期POD酶活性值相近), 到淀粉积累期下降到最低点(14.17~21.37 U/g)(图2)。

从品种方面分析, 在4个生育期内感染PLRV的‘陇薯3号’植株叶片POD活性相对增量显著高于感染PLRV的‘LK99’; 感染PVY的‘陇薯3号’植株叶片POD活性相对增量在幼苗期和淀粉积累期内显著高于感染PVY的‘LK99’, 而在块茎形成期和块茎膨大期感染PVY的‘陇薯3号’植株叶片POD活性相对增量显著低于感染PVY的‘LK99’。从两种病毒的危害程度方面分析, 感染PVY后‘陇薯3号’植株叶片POD活性相对增量在幼苗期、块茎形成期、块茎膨大期显著低于感染PLRV的‘陇薯3号’, 在淀粉积累期却相反; 感染PVY后‘LK99’植株叶片POD活性相对增量在幼苗期、块茎形成期显著低于感染PLRV的‘LK99’, 而在块茎膨大期、淀粉积累期却相反(表4)。

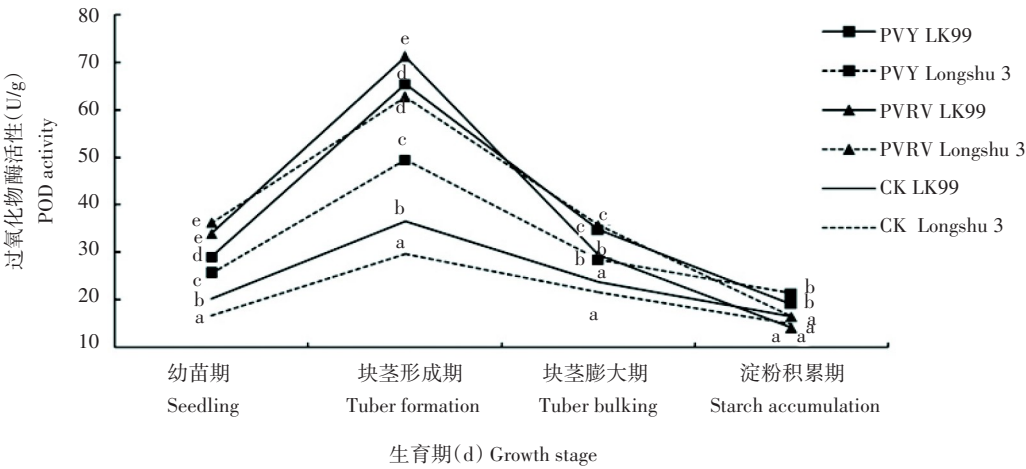


图2 病毒侵染对马铃薯植株中POD活性的影响
Figure 2 Effects of virus infection on POD activity in potato plant

表4 病毒侵染后马铃薯叶片POD活性相对增量
Table 4 Relative increment of POD activity in potato leaves after virus infection

处理 Treatment	相对增量(%) Relative increment			
	幼苗期 Seedling	块茎形成期 Tuber formation	块茎膨大期 Tuber bulking	淀粉积累期 Starch accumulation
PVY(Longshu 3)	53.13 b	66.05 a	31.50 b	43.53 c
PLRV(Longshu 3)	116.89 d	110.46 d	65.24 d	11.09 b
PVY(LK99)	42.68 a	79.14 b	45.70 c	15.29 b
PLRV(LK99)	66.68 c	95.04 c	23.40 a	-14.74 a

2.2.3 过氧化氢酶(CAT)活性的变化

无论是未感染病毒的马铃薯品种, 还是已被PVY、PLRV感染的马铃薯品种, 其植株体内CAT活性的变化随着生育期进程的推进呈线性升高趋势, 到淀粉积累期植株体内CAT活性值上升到最高点。

并且同一品种内, 除感染了PLRV的‘陇薯3号’在幼苗期与未感病的‘陇薯3号’没有显著差异之外, 其他生育期内感染了PVY或PLRV的两个马铃薯品种植株叶片的CAT活性均显著高于未感病植株叶片的CAT活性, 且差异显著(图3)。

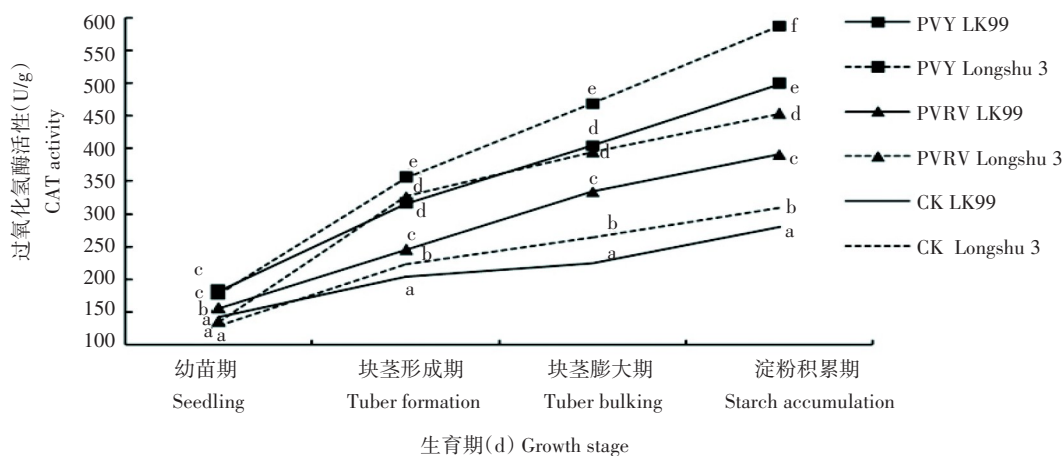


图3 病毒侵染对马铃薯植株中CAT活性的影响

Figure 3 Effects of virus infection on CAT activity in potato plant

从品种方面分析, 在4个生育期内感染了PVY的‘陇薯3号’植株叶片CAT活性相对增量均高于感染PVY了的‘LK99’, 但是只在幼苗期和淀粉积累期差异显著; 感染了PLRV的‘陇薯3号’植株叶片CAT活性相对增量在块茎形成期和淀粉积累期内显著高于感染了PLRV的‘LK99’, 而在幼苗期和块茎膨大期差异不显著。从2种病毒的危害程度方面分析, 感染了PVY的‘陇薯3号’和‘LK99’植株叶片CAT活性相对增量在4个生育期内均显著高于感染了PLRV

的‘陇薯3号’和‘LK99’(表5)。

2.3 丙二醛(MDA)含量的变化

无论是未感染病毒的马铃薯品种, 还是已被PVY、PLRV病毒感染的马铃薯品种, 其植株体内MDA含量的变化随着生育期进程的推进呈上升趋势, 到淀粉积累期达到最高, 这可能与植株的老化进程有关。从两个品种整体而言, 植株体内MDA含量均表现为感染了PLRV的植株 > 感染了PVY的植株 > 未感染病毒植株, 这可能表明PLRV对植株细

胞膜的破坏程度较PVY严重(图4)。

从品种方面分析, 在4个生育期内感染了PVY的‘陇薯3号’植株叶片MDA含量相对增量均显著高于感染了PVY的‘LK99’; 感染了PLRV的‘陇薯3号’植株叶片MDA含量相对增量在幼苗期、块茎形成期和淀粉积累期内显著高于感染了PLRV的‘LK99’, 而在块茎膨大期表现相反。从两种病毒的危害程度方面分析, 感染了PVY的‘陇薯3号’和‘LK99’植株叶片MDA含量相对增量在4个生育期内均显著低于感染了PLRV的‘陇薯3号’和‘LK99’(表6)。

表 5 病毒侵染后马铃薯叶片 CAT 活性相对增量
Table 5 Relative increment of CAT activity in potato leaves after virus infection

处理 Treatment	相对增量(%) Relative increment			
	幼苗期 Seedling	块茎形成期 Tuber formation	块茎膨大期 Tuber bulking	淀粉积累期 Starch accumulation
PVY(Longshu 3)	36.40 c	59.61 c	77.16 b	89.63 d
PLRV(Longshu 3)	4.48 a	46.83 b	49.12 a	46.39 b
PVY(LK99)	28.10 b	55.33 c	79.96 b	78.29 c
PLRV(LK99)	9.47 a	20.49 a	48.61 a	39.72 a

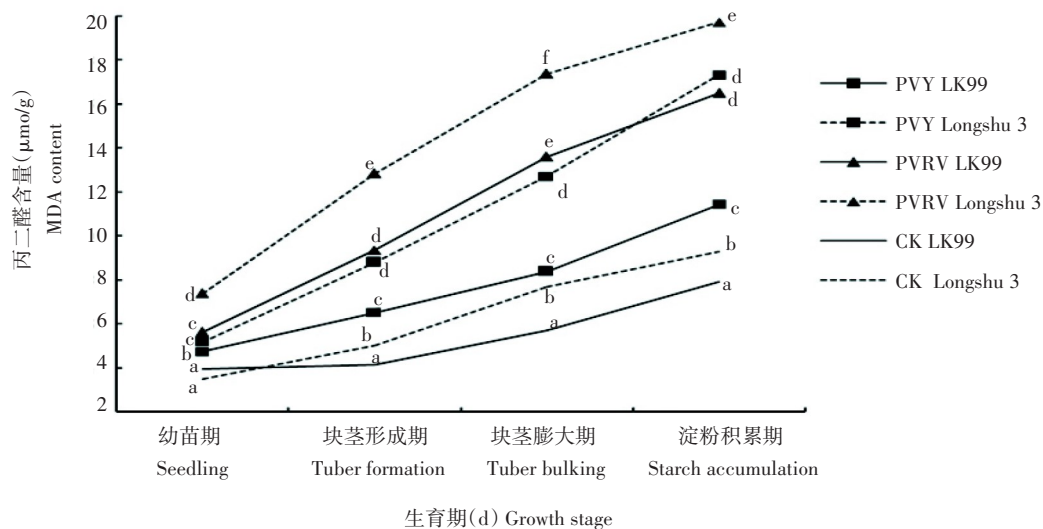


图 4 病毒侵染对马铃薯植株中 MDA 含量的影响
Figure 4 Effects of virus infection on MDA content in potato plant

表 6 病毒侵染后马铃薯叶片 MDA 含量相对增量
Table 6 Relative increment of MDA content in potato leaves after virus infection

处理 Treatment	相对增量(%) Relative increment			
	幼苗期 Seedling	块茎形成期 Tuber formation	块茎膨大期 Tuber bulking	淀粉积累期 Starch accumulation
PVY(Longshu 3)	48.09 c	76.15 b	65.22 b	87.07 b
PLRV(Longshu 3)	111.24 d	157.27 d	126.13 c	113.05 d
PVY(LK99)	20.01 a	58.40 a	47.25 a	44.78 a
PLRV(LK99)	42.47 b	127.60 c	139.17 d	108.98 c

2.4 病毒侵染对马铃薯植株叶片叶绿素含量的影响

2个品种正常植株叶片中总叶绿素含量均显著高于感病植株，且‘LK99’植株叶片中总叶绿素含量显著低于‘陇薯3号’，感染了PVY植株的叶片叶绿素含量显著高于感染了PLRV的植株；同时，两个正常品种植株随着生育进程的推进，叶片中总叶绿素含量逐步升高，在块茎膨大期达到最大值，为幼苗期的119.7%~158.0%，然后叶片中总叶绿素含量开始降低到低于幼苗期总叶绿素含量；感染PVY或PLRV植株叶片中总叶绿素含量到块茎形成期达到最高，然后开始下降，到淀粉积累期下降到幼苗期的7.7%~20.6%(图5)。可能说明马铃薯植株感染PVY或PLRV后，叶绿体结构和功能受到破坏或干扰，

使体内叶绿素的合成受阻，也可能是病毒导致叶绿素分解酶活性上升，从而使叶绿素含量下降。

从品种方面分析，在幼苗期两个品种总叶绿素含量相对减量无显著差异，在其他3个生育期内分别感染了PVY和PLRV的‘陇薯3号’植株叶片总叶绿素含量相对减量均显著高于分别感染了PVY和PLRV的‘LK99’。从2种病毒的危害程度方面分析，感染了PVY的‘陇薯3号’和‘LK99’植株叶片总叶绿素含量相对减量在4个生育期内均低于感染了PLRV的‘陇薯3号’和‘LK99’，但是只有在块茎形成期的‘陇薯3号’和幼苗期、块茎膨大期的‘LK99’植株叶片总叶绿素含量相对减量差异显著(表7)。

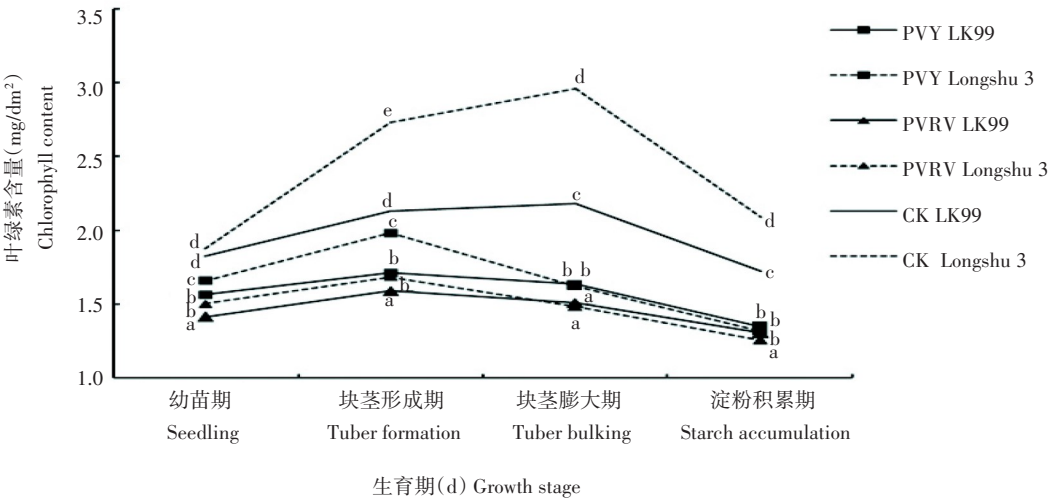


图5 病毒侵染对马铃薯总叶绿素含量的影响

Figure 5 Effects of virus infection on the total chlorophyll content in potato leaves

表7 病毒侵染后马铃薯叶片叶绿素含量相对减量

Table 7 Relative decrement of chlorophyll content in potato leaves after virus infection

处理 Treatment	相对减量(%) Relative decrement			
	幼苗期 Seedling	块茎形成期 Tuber formation	块茎膨大期 Tuber bulking	淀粉积累期 Starch accumulation
PVY(Longshu 3)	11.50 a	27.47 b	45.21 c	37.05 b
PLRV(Longshu 3)	19.80 ab	38.35 c	49.97 c	39.95 b
PVY(LK99)	14.26 a	19.69 a	25.12 a	21.78 a
PLRV(LK99)	22.52 b	25.50 ab	30.92 b	24.21 a

3 讨 论

本研究测定了马铃薯植株农艺性状以及马铃薯叶片的一些生理生化指标,在一定程度上解释了马铃薯植株感染马铃薯Y病毒(PVY)和马铃薯卷叶病毒(PLRV)后的植株变化。植株的株高、茎粗、单株鲜重、单株薯重都是评价马铃薯农学特性的重要指标,研究中马铃薯植株感染病毒后,株高、茎粗、单株鲜重、单株薯重都不同程度的表现为降低的趋势,这与理论上的预期是相符的,植株感病后细胞受到病毒的伤害,细胞的正常生理生化受到影响,进而影响了细胞的物质合成,最终导致植株的部分农艺特性降低,例如株高变矮、鲜重及薯重降低(表1)。本试验显示PLRV对植株株高的影响显著大于PVY,而在茎粗、鲜重、薯重方面PVY的影响更为显著;数据也显示了PVY对‘陇薯3号’的影响显著大于‘LK99’,PLRV对‘陇薯3号’的影响也显著大于‘LK99’(表2)。综合以上结果可能说明在农艺性状方面PVY对植株的损伤程度较PLRV严重,晚熟品种‘陇薯3号’对PVY或PLRV的反应比中早熟品种‘LK99’敏感。

活性氧的变化可以作为植物生理生化变动的指标^[17,18],病毒病是影响植物正常生理生化代谢以及导致植物过早衰老的重要因素,当植株受到病原物感染后植株体内活性氧含量将会增加,此时SOD、POD、CAT等重要的内源性活性氧清除剂会被启动,并产生一系列不同程度的生化反应^[19,20]。有研究发现葡萄花叶病毒会导致葡萄活性氧的积累,当番茄和黄瓜受到病毒侵染后叶片中SOD活性明显升高^[21,22],本试验研究结果也显示植株感病后SOD、POD、CAT活性明显增强,可能说明在病毒胁迫下植株体内产生了更多的活性氧自由基,植株需要启动并增强活性氧自由基的清除能力,以保证植株自身的正常生长(图1、2、3)。同时,试验结果也表明晚熟品种‘陇薯3号’感染PVY或PLRV后植株SOD、CAT活性相对增量高于中早熟品种‘LK99’,而2个品种的POD活性在不同生育期表现并不一致;以SOD、POD活性相对增量分析两个品种都表现为对PLRV的应激反应比对PVY强烈,因为植株感染PLRV后SOD、POD活性相对增量比感染PVY后的要高,而

以CAT活性分析结果呈现相反趋势,综合分析可能说明晚熟品种‘陇薯3号’对PVY或PLRV的反应比中早熟品种‘LK99’敏感,植株对PLRV的应激反应比对PVY强烈(表3、4、5)。

MDA是植株细胞膜脂质过氧化作用的重要指示物,可以用来反应细胞膜脂质过氧化程度和植株抗应激反应的强度,MDA在植株的浓度可以表示植株细胞膜受到破坏的程度^[23]。MDA含量表现为受到病毒感染的植株>正常植株,可能表明马铃薯植株细胞膜受到了PVY或PLRV的破坏(图4);感染了PVY或PLRV的‘陇薯3号’植株叶片MDA含量相对增量明显高于感染了PVY或PLRV的‘LK99’,感染了PLRV的‘陇薯3号’和‘LK99’植株叶片MDA含量相对增量均显著高于感染了PVY的‘陇薯3号’和‘LK99’,这可能说明PVY或PLRV对晚熟品种‘陇薯3号’细胞膜的破坏较中早熟品种‘LK99’严重,PLRV对植株细胞膜的破坏比PVY严重(表6)。在感染PVX和烟草花叶病毒(TMV)的番茄植株中,也有叶绿素含量降低的报道^[24,25]。黄瓜花叶病毒和番茄黄曲叶病毒,以及在许多其他被不同病毒感染的寄主植株中,叶绿素含量都表现出降低的趋势^[23,26-30]。叶绿素含量的变化是植株在渗透胁迫下的重要特征之一,Barutçular等^[31]认为叶绿素的变化是一个很好的指示植株渗透压力的指标。PVY或PLRV感染马铃薯植株后,马铃薯植株叶片的叶绿体被破坏,叶绿素含量会明显下降^[32]。本研究也显示了相同的趋势(图5);感染了PVY和PLRV的‘陇薯3号’植株叶片总叶绿素含量相对减量均显著高于分别感染了PVY和PLRV的‘LK99’,感染了PLRV的‘陇薯3号’和‘LK99’植株叶片总叶绿素含量相对减量均高于感染了PVY的‘陇薯3号’和‘LK99’(表7),试验结果可能说明PVY或PLRV对晚熟品种‘陇薯3号’的影响较中早熟品种‘LK99’严重,PLRV对植株的破坏比PVY严重。综上所述,本研究结果可能表明感染了PVY或PLRV的马铃薯植株衰老速度明显快于正常植株,PVY或PLRV均能够显著影响马铃薯植株的一些正常生理功能,从而导致马铃薯植株生长受到抑制,产量降低。从块茎产量降低、有关保护酶(SOD、POD、CAT)活性增强、丙二醛含量升高、总叶绿素含量减少的情况分析,

晚熟品种‘陇薯3号’对PVY或PLRV的反应比中早熟品种‘LK99’敏感, 受到病毒的损害程度也比中早熟品种‘LK99’严重; 同时以块茎产量作为评价标准, 也表明PVY对植株的损伤程度较PLRV严重。

[参 考 文 献]

- [1] Barker H, Dale M F B. Natural resistance mechanisms of plants to viruses [M]. Dordrecht: Springer, 2006.
- [2] Palukaitis P. Resistance to viruses of potato and their vectors [J]. Plant Pathology, 2012, 28(3): 248–258.
- [3] Chung B N, Yoon J Y, Palukaitis P. Engineered resistance in potato against potato leaf roll virus, potato virus A and potato virus Y [J]. Virus Genes, 2013, 47: 86–92.
- [4] Brice D. The movement of potato virus Y (PVY) in the vascular system of potato plants [J]. European Journal of Plant Pathology, 2016, 147: 365–373.
- [5] Bantari E E, Ellis P J, Khurana S M P. Management of diseases caused by viruses and viruslike pathogens [M]//Rowe R C. Potato health management. St. Paul, MN: American Phytopathological Society (APS) Press, 1993.
- [6] Jones R A C. Strain group specific and virus specific hypersensitive reactions to infection with potyviruses in potato cultivars [J]. Annals of Applied Biology, 1990, 117(1): 93–105.
- [7] Ogawa T, Tomitaka Y, Nakagawa A, *et al.* Genetic structure of a population of potato virus Y inducing potato tuber necrotic ringspot disease in Japan; comparison with North American and European populations [J]. Virus Research, 2008, 131(2): 199–212.
- [8] Nie B H, Sing M, Murphy A, *et al.* Response of potato cultivars to five isolates belonging to four strains of potato virus Y [J]. Plant Disease, 2012, 96(10): 1422–1429.
- [9] Mohan R, Kolattukudy P E. Differential activation of expression of a suberization associated anionic peroxidase gene in near-isogenic resistant and susceptible tomato lines by elicitors of *Verticillium albo-atrum* [J]. Plant Physiology, 1990, 92(1): 276–280.
- [10] Vitali A, Botta B, Monache G D, *et al.* Purification and partial characterization of a peroxidase from plant cell cultures of *Cassia didymobotrya* and biotransformation studies [J]. Biochemical Journal, 1998, 331(2): 513–519.
- [11] Fridovich I. Free radical in biology Vol 1 [M]. New York: Academic Press, 1976.
- [12] Funayama S, Sonoike K, Terashima I. Photosynthetic properties of leaves of *Eupatorium makinoi* infected by a geminivirus [J]. Photosynthesis Research, 1997, 53: 253–261.
- [13] 孙群, 胡景江. 植物生理学研究技术 [M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2006.
- [14] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 赵世杰, 许长成, 邹琦, 等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进 [J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207–210.
- [16] 白宝璋, 朱广发, 陈颖, 等. 光合色素含量快速测定 [J]. 玉米科学, 1994, 2(2): 77–79.
- [17] Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance [J]. Trends in Plant Science, 2002, 7(9): 405–410.
- [18] Pitzschke A, Forzani C, Hirt H. Reactive oxygen species signaling in plants [J]. Antioxidants and Redox Signaling, 2006, 8(9/10): 1757–1764.
- [19] Karuppanapandian T, Wang H W, Prabakaran N, *et al.* 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid-induced leaf senescence in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) and senescence inhibition by co-treatment with silver nanoparticles [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2011, 49(2): 168–177.
- [20] Wojtaszek P. Oxidative burst: an early plant response to pathogen infection [J]. Biochemical Journal, 1997, 322: 681–692.
- [21] Sgherri C, Ranieri A, Quartacci M F. Antioxidative responses in *Vitis vinifera* infected by grapevine fanleaf virus [J]. Journal of Plant Physiology, 2013, 170(2): 121–128.
- [22] Song X S, Wang Y J, Mao W H, *et al.* Effect of cucumber mosaic virus infection on electron transport and antioxidant system in chloroplasts and mitochondria of cucumber and tomato leaves [J]. Physiologia Plantarum, 2009, 135(3): 246–257.
- [23] Bailly C, Benamar A, Corbineau F. Change in malondialdehyde content and in superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower seed as related to deterioration during accelerated aging [J]. Plant Physiology, 1996, 97: 104–110.
- [24] Shevchenko A V, Budzanivska I G, Shevchenko T P, *et al.* Plant virus infection development as affected by heavy metal stress [J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2004, 37(2): 139–146.
- [25] Mohamed H, Muharrem A K. The response to potato virus X infection of tomato plants treated with ISR2000 [J]. European

- Journal of Plant Pathology, 2017, 149: 807–815.
- [26] Khalil R R, Bassiouny F M, El-DougDoug K A, *et al.* A dramatic physiological and anatomical changes of tomato plants infecting with tomato yellow leaf curl geminivirus [J]. Journal of Agricultural Technology, 2014, 10(5): 1213–1229.
- [27] Pazarlar S, Gumus M, Oztekin G B. The effects of tobacco mosaic virus infection on growth and physiological parameters in some pepper varieties (*Capsicum annuum* L) [J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici, 2013, 41(2): 427–433.
- [28] Spoustová P, Synková H, Roland V, *et al.* Chlorophyll a fluorescence as a tool for a study of the potato virus Y effects on photosynthesis of nontransgenic and transgenic Pssu-*ipt* tobacco [J]. Photosynthetica, 2013, 51(2): 191–201.
- [29] Mofunanya A A J, Owolabi A T, Nkang A. Effects of Telfairia mosaic virus (TeMV) on the chlorophyll content and photosynthetic capabilities of two ecotypes of *Telfairia occidentalis* Hook. f. (fluted pumpkin) [J]. International Journal of Plant Pathology, 2014, 5: 54–62.
- [30] Mofunanya A A J, Edu E A. Physiological and biochemical changes in *Cucurbita moschata* Duch. Ex. Poir inoculated with a Nigerian strain of Moroccan Watermelon Mosaic Virus (MWMV): *Lagenaria breviflora* isolate [J]. International Journal of Plant Pathology, 2015, 6: 36–47.
- [31] Barutçular C, Yildirim M, Koc M, *et al.* Evaluation of SPAD chlorophyll in spring wheat genotypes under different environments [J]. Fresenius Environmental Bulletin, 2016, 25(4): 1258–1266.
- [32] Reinero A, Beachy R N. Association of TMV coat protein with chloroplast membranes in virus-infected leaves [J]. Plant Molecular Biology, 1986, 6(5): 291–301.

格 瑞 得 集 团 简 介

内蒙古格瑞得马铃薯种业(集团)有限公司是股份制民营企业,成立于2003年,注册资金12000万元,固定资产2.57亿元,公司总部设在内蒙古太仆寺旗高新技术园区,下设六个分公司、一个研究所和一所学校。

公司是国家级高新技术企业,内蒙古自治区农牧业产业化重点龙头企业,内蒙古自治区扶贫龙头企业。



年种植马铃薯种薯超过20000亩,年生产脱毒苗超过5000万株,生产微型薯超过10000万粒。年生产优质脱毒种薯超过70000吨,实现马铃薯种薯生产的全产业链。

作为马铃薯种业的专业公司,我们引进欧美种薯生产技术、设备及管理模式,实现了机械化、专业化、程序化、标准化、数字化的生产模式,为客户提供优质、高端的种薯,成为中国马铃薯种薯行业的领导者,市场化的先驱者和行业的标杆。