

叶面喷施四种诱导剂预防西葫芦白粉病效果

朱焕焕, 靳颖玲, 程永安, 张明科

(旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以3个西葫芦品种和6份西葫芦种质为试材,通过叶面喷施 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3$ 、 $5.706\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}\text{K}_2\text{HPO}_4$ 、 $2.62\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}\text{K}_2\text{SiO}_3$ 和RM($0.188\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 核黄素+ $0.746\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 蛋氨酸),研究了4种药剂对西葫芦白粉病的预防效果及对单株产量和叶片中可溶性糖及可溶性蛋白质含量的影响,以期探寻预防西葫芦白粉病的化学农药替代技术。结果表明:对西葫芦白粉病的预防效果表现为 $5.706\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}\text{K}_2\text{HPO}_4>5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3>2.62\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}\text{K}_2\text{SiO}_3>\text{RM}$;4种诱导剂处理均能在一定程度上有效延缓西葫芦白粉病的发展进程,且有促进植株生长的作用;各处理对西葫芦单株产量的影响没有明显的规律,但产量均较对照有所提高,以 $5.706\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}\text{K}_2\text{HPO}_4$ 和RM处理的增产效果较好。植株诱导抗性增强与产量增加呈正相关,相关系数为0.693;各处理均提高了西葫芦植株叶片中的可溶性糖和可溶性蛋白质含量,植株诱导抗性增强与可溶性糖含量增加呈正相关,相关系数为0.754。表明西葫芦可能通过调节植株内源营养物质的种类及含量来调节自身应激反应,诱导形成对白粉病的抗病机制。

关键词:西葫芦;白粉病;磷酸氢二钾;预防效果

中图分类号:S 436.429 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)01-0118-08

近年来,瓜类白粉病的发生日趋严重,已严重影响我国瓜类蔬菜的绿色生产。白粉病为西葫芦生产中的主要病害之一,分布非常广泛,各个蔬菜种植区均可能发生,春、秋两季发生最普遍,发病率为30%~100%,对产量有较大的影响,一般可以造成减产10%左右,严重时可导致减产50%以上。

西葫芦白粉病在苗期至收获期、温室及露地均可发生,属于气传性真菌病害。白粉菌主要侵染瓜类的叶片,在严重时感染叶柄、茎蔓,而对瓜果则染病较少。这不仅影响植株的光合效能,加速叶片的老化,同时可致使叶片变硬变脆,甚至导致整株黄萎干枯、早衰,甚至死亡^[1]。瓜类白粉病生理小种多达10多种,在陕西关中地区的致病生理小种为单囊壳白粉菌的生理小种2F^[2]。在生产中,通常采用抗病

品种和化学杀菌剂2种途径来预防白粉病发生。选育和使用抗病品种预防白粉病是最经济有效的措施,但长期以来,抗性育种主要使用了小种专化抗病性,由于病原菌生理小种变异,抗病品种的抗病性丧失现象日益突出,大大缩短了抗病品种的使用年限,甚至品种抗性丧失的速度超过了育种速度。实际生产中普遍采用的是化学农药防治手段,常使用的杀菌剂有菌克毒克、烯唑醇、三唑酮、福星、腈菌唑、灭菌强、世高等,随着长期频繁使用杀菌剂导致病菌产生抗药性,植物产品中的农药残留增加,环境污染以及生态系统中生物的多样性遭破坏等一系列问题,而且违背了无公害农业、绿色有机农业生产的宗旨^[3]。随着人们生活质量的提高,对绿色食品的需求日渐增长,寻找新的无污染、无公害的防治方法迫在眉睫。这就要求在生产过程中尽可能的减少污染源,限制使用或者不使用杀菌剂,以减轻对人类健康及环境的危害。因此,开发和利用新型的预防措施进而摆脱对化学农药的依赖成为人们研究的热点之一。

碳酸氢钠作为一种杀菌剂已应用于多种作物以防治白粉病,其能够破坏菌丝生长的环境,减少分生孢子的数量,从而限制分生孢子的产生,控制了病菌的蔓延^[4-6]。最早在大麦上喷施磷酸钾盐控制白粉

第一作者简介:朱焕焕(1990-),女,硕士研究生,研究方向为蔬菜育种与生物技术。E-mail:1154909220@qq.com.

责任作者:张明科(1970-),男,博士,副研究员,研究方向为蔬菜育种与生物技术。E-mail:zhangmk1101@nwsuaf.edu.cn.

基金项目:公益性行业(农业)科研专项资助项目(201303112);国家大宗蔬菜产业技术体系建设资助项目(CARS-25)。

收稿日期:2016-09-26

病的早期形成^[7]。REUVENI 等^[8]利用磷酸盐进行叶面喷施时发现磷酸盐不仅可以抑制某些植物白粉病,同时还可提高植物对白粉病局部和系统抗病性。朱振家等^[9]研究表明,磷酸氢二钾(K_2HPO_4)在供试浓度范围内对甜瓜抗白粉病的诱导作用不显著,试验同时还表明 5 种诱导剂在供试浓度范围内对甜瓜白粉菌无抑菌活性,但在其它寄主如西葫芦上的效果未知。CRAVER 等^[10]认为,硅可能影响了真菌孢子的萌发。由于病原菌侵染点周围寄主细胞中大量硅的沉积,可能增强了植物细胞壁的机械强度,从而限制了病原菌吸器的形成及菌丝的生长。MENZIES 等^[11]认为,硅参与了受侵寄主叶片的生化反应,加硅处理后有一些小分子代谢物的出现,这也就对硅的机械抗病作用观点提出了挑战。叶面喷施硅酸钾能够缓解白粉病害的发生^[12]。魏国强等^[13]证实施加硅可减轻白粉病对黄瓜的危害。据现有报道,已有尝试使用多种物理的、化学的、生物的抗性诱导物质来防控瓜类蔬菜生产中白粉病发生的相关研究^[14-17]。

目前,国内利用对植物组织本身无害的无机盐来预防西葫芦白粉病及其抗性诱导生理生化机制的研究鲜见报道。而诱导抗性作为未来植物病害防治的新手段,已引起人们的广泛关注。现以西葫芦为试材,采用叶面喷施无机盐方法,研究 4 种无机盐对西葫芦白粉病的预防效果及诱导植物抗性产生的可能的生理生化机制,以期通过非药剂防控措施和途径,从化学诱导抗性代谢途径等角度,探寻西葫芦白粉病防控措施,为西葫芦生产提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

西北农林科技大学杨凌蔬菜育种基地(试验地 1)地处关中平原中部,属温带大陆季风性气候,冬寒夏热,四季分明。西北农林科技大学太白蔬菜试验示范站(试验地 2)位于秦巴山区腹地,四周环山,主要菜区海拔高度在 1 000~1 800 m,气候冷凉,长冬无夏,春秋相连,区内无工业和生活污染,生态环境优良,是陕西著名的夏淡高山蔬菜基地。西葫芦是当地主栽蔬菜种类之一,90%以上销往外地。

1.2 试验材料

供试西葫芦品种“春玉 5 号”(高抗)、“春玉 4 号”(感病)和“赛纳”(感病)以及‘87’(“春玉 5 号”的姊妹系)、“23”、“26”、“NS1402”、“NS1404”、“NS1405”均由西北农林科技大学园艺学院南瓜课题组提供。

试剂及仪器:5 g·L⁻¹碳酸氢钠、5.706 g·L⁻¹磷

酸氢二钾(pH 9.3)、2.62 g·L⁻¹硅酸钾(pH 5.5)、RM(0.188 g·L⁻¹核黄素(VB₂))+0.746 g·L⁻¹蛋氨酸、蒸馏水、吐温-20、蒽酮、乙酸乙酯、蔗糖、浓硫酸、考马斯亮蓝、牛血清蛋白、乙醇、磷酸,分光光度计、保温箱等。

1.3 试验方法

1.3.1 材料种植 于 2015 年 3 月 5 日在试验地 1 采用大棚穴盘育苗,待株高 15~16 cm,茎粗 0.4~0.5 cm,具有 2~3 片真叶时,选择节间短、株型紧凑、根系发达的壮苗定植(2015 年 3 月 30 日)于小拱棚中,株距为 40 cm,行距为 80 cm,每畦 2 行,待植株长至 6~8 片叶子,外界气温恒定后,揭去薄膜,进行常规的田间管理。在揭开薄膜 7 d 左右开始进行叶面喷施无机盐处理。于 2015 年 6 月 10 日在试验地 2 直播,于 7 月 13 日结果初期、于发病前进行叶面喷施无机盐处理。

1.3.2 试验设计 采用叶面喷施 5 g·L⁻¹碳酸氢钠、5.706 g·L⁻¹磷酸氢二钾(pH 9.3)、2.62 g·L⁻¹硅酸钾(pH 5.5)、RM(0.188 g·L⁻¹核黄素(VB₂))+0.746 g·L⁻¹蛋氨酸及蒸馏水处理(对照)的方法,且每处理喷洒 6 株,喷洒时间在 18:00(北京时间)左右(西葫芦叶片无露珠和避免强光照射),用 400 mL 的小型喷雾,将溶液均匀地喷洒在单株的每片叶上,叶面直至有液流状。喷施始期正值西葫芦结果初期,白粉病发病之前,共喷施 8 次,间隔 7 d。每处理重复 3 次。

1.4 项目测定

1.4.1 白粉病调查统计 发病初期时记录白粉菌病斑数,发病后期记录叶片病斑面积占整个叶片的百分比(均在自然发病条件下进行)。

1.4.2 产量统计 采收商品嫩瓜,每个处理的每次重复分别测产,且产量统计为采收商品嫩瓜的累计量。

1.4.3 叶片可溶性蛋白质及可溶性糖含量的测定

在最后一次处理后采样,可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝法^[18]测定;可溶性糖含量采用蒽酮法^[19]测定。数据取各生理指标 3 次测定结果的平均值。

1.5 数据分析

利用 SPSS 18.0、Excel 等软件对试验数据进行 Duncan's 方差分析、多重比较及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 叶面喷施 4 种诱导剂预防西葫芦白粉病的效果

由表 1 可知,4 种诱导剂对 3 个西葫芦品种的白

粉病均有预防效果。对于“春玉 4 号”,第 1 次处理后 7 d, $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 处理的未发病,且与对照存在极显著性差异。4 个处理之间不存在显著性差异。进行第 2 次处理后(距离第 1 次处理 14 d),4 个处理与对照存在显著性差异,而 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 、 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 与 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 处理间不存在显著性差异。第 3 次处理后(距离第 1

次处理 21 d), $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 、 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 与对照存在显著性差异,且 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 与对照存在极显著差异。而 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 、RM 与对照不存在显著性差异,但此时 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 、 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 和 RM 处理的叶片平均病斑数稍高于对照。

表 1 叶面喷施 4 种诱导剂对 3 个西葫芦品种白粉病的预防效果

Table 1 Control efficiency of foliar spray four inducers treatments on powdery mildew of summer squash

材料 Material	处理 Treatment	病斑数目 Disease spot account/个		
		第一次喷药后 7 d 7 days after the first spraying	第一次喷药后 14 d 14 days after the first spraying	第一次喷药后 21 d 21 days after the first spraying
“春玉 4 号” “Chunyu No. 4”	对照(CK)	15.0±1.87Aa	86.2±10.66Aa	136.0±60.70Aa
	$5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$	3.4±1.33BCb	63.8±8.66BCab	171.1±76.50Bab
	$5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$	0.0±0.00CBb	29.2±6.43Cb	103.6±46.30Bb
	$2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$	6.8±2.75Bb	50.0±1.30BCb	155.5±68.55ABab
	RM	7.4±1.86Bb	58.6±10.85Bab	152.8±68.35Aa
“赛纳” “Saina”	对照(CK)	22.2±7.96Aa	190.2±47.09Aa	446.8±64.61ABa
	$5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$	3.0±1.41Bb	36.8±9.05Cc	243.4±35.77Cab
	$5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$	0.0±0.00Bb	30.8±3.51Cc	137.8±33.65Cb
	$2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$	2.2±0.37Bb	82.0±32.61Bab	288.0±90.78BCab
	RM	5.0±3.32Bb	89.8±47.13Bab	483.8±66.19Aa
“春玉 5 号” “Chunyu No. 5”	对照(CK)	19.2±5.45Aa	28.8±9.75Aa	30.0±9.16Aa
	$5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$	1.2±0.80Cb	5.2±2.35Bb	14.8±2.78ABa
	$5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$	0.0±0.00Cb	4.8±1.97Bb	9.2±1.93Ba
	$2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$	2.2±0.86Cb	5.2±2.03Bb	23.0±6.43ABa
	RM	10.4±2.67Bab	12.0±19.2Bab	15.6±1.91ABa

注:同列数据后不同大写字母表示达到差异显著水平(Duncan's 检验, $P<0.05$),小写字母表示达到差异极显著水平(Duncan's 检验, $P<0.01$)。下同。

Note: Different capital and lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$ and $P<0.01$ according to Duncan's test, respectively. The same below.

对于感病材料“赛纳”,第 1 次处理后 7 d, $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 、 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 、 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 、RM 与对照存在极显著性差异,但 4 种诱导剂之间差异不显著,其中 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 在控制白粉病发病效果上表现最为明显, $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 次之。在第 14 天时 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 、 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 、 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 与 RM 间存在极显著差异。 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 与 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 间差异不显著,但 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 处理的叶片平均病斑数(30.8)比 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 处理的叶片平均病斑数(36.8)稍少,虽然 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 与 RM 间不存在显著性差异,但 RM 处理效果稍优于 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 。在第 21 天时 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 、RM 与对照不存在显著性差异,但 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 也明显控制了病斑的增长。 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 、 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 与对照存在显著性差异,且 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 与对照存在极显著差异。 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 、

$5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 与 RM 处理间存在显著性差异,且 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 与 RM 差异极显著。

对于抗病材料“春玉 5 号”,第 1 次处理后 7 d(表 1),其预防效果表现为处理 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 、 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 、 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 与对照差异极显著,而 RM 与对照差异显著,且 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 、 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 、 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 与 RM 处理间存在显著性差异, $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 、 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 、 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 处理间不存在显著性差异,但 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 处理未发病,说明其预防效果更为明显,一定程度上控制了白粉病的始发期。在第 14 天时,处理 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 、 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 、 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SiO}_3$ 与对照存在极显著差异, RM 与对照差异显著,但 4 个处理间不存在显著差异。处理后的叶片平均病斑数明显低于对照,说明 4 个处理在控制白粉病上均有一定的效果。在第 21 天时,只有 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{HPO}_4$ 与对照有显著性差异,而 4 个处理间没有显著性差异。由于材料本身

对于白粉病有一定的抗性,后期发病也较轻。

由图 1 可知,在最后一次处理后(28 d)的最终效果表现为在“春玉 4 号”上, $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4$ 、 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 、 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SiO}_3$ 诱导剂处理与对照存在极显著性差异, RM 诱导剂处理与对照有显著性差异,且相对于对照,4 种诱导剂均有一定的防治效果,且均优于对照;在抗病材料“春玉 5 号”上,4 种诱导剂处理后病斑数均低于对照组,且均与对照有极显著性差异,整体病较轻;在材料“赛纳”上,28 d 时表现为 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4$ 、 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

NaHCO_3 、 $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SiO}_3$ 、RM 诱导剂处理后平均叶片病斑面积分别为 19.0%、10.0%、57.0%、74.0%,且 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4$ 、 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 分别与对照间存在极显著性差异。综上可知,在“春玉 4 号”“赛纳”“春玉 5 号”材料上的预防效果统一表现为 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4 > 5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3 > 2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SiO}_3 > \text{RM}$ 。从白粉病在参试品种上的发病进程来看,4 种诱导剂处理后对起始发病期或是白粉菌病斑的增长速度有一定的控制,确保结果盛期不会因严重的白粉病而影响品质和产量。

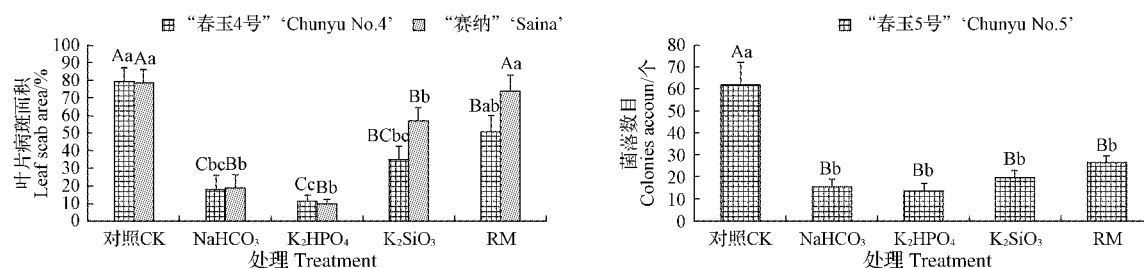


图 1 叶面喷施 4 种诱导剂 28 d 后对 3 个西葫芦品种白粉病预防效果

Fig. 1 Control efficiency of foliar spray four inducers treatment on three cultivars of summer squash at 28 days after first treatment

在西北农林科技大学太白蔬菜试验示范站选用 6 份西葫芦材料,对上述试验结果进行验证。由于该试验地点相对比较冷凉,白粉病发生较晚,且发病进程较慢,尽管参试材料的抗病性存在差异,但 4 种诱

导剂的处理效果基本与试验地 1 一致(表 2),对白粉病预防效果整体表现为 $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4 = 5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3 > 2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SiO}_3 > \text{RM}$ 。

表 2 叶面喷施 4 种诱导剂对 6 个西葫芦材料白粉病的预防效果

Table 2 Control efficiency of foliar spray four inducers treatments on powdery mildew of six summer squash materials

材料 Material	处理 Treatment	病斑数目 Disease spot account/个		
		第一次喷药后 7 d 7 days after the first spraying	第一次喷药后 14 d 14 days after the first spraying	第一次喷药后 21 d 21 days after the first spraying
‘87’	对照(CK)	5.6±2.80Aa	10.0±8.15Aa	17.2±7.48Aa
	$5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb
	$5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4$	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb
	$2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SiO}_3$	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb
	RM	0.4±0.40Bb	2.0±1.26Bb	2.5±1.03ABab
“春玉 5 号”‘Chunyu No.5’	对照(CK)	3.8±0.37Aa	10.6±2.30Aa	28.6±8.60Aa
	$5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb
	$5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4$	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb
	$2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SiO}_3$	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb	1.0±0.77Bb
	RM	0.0±0.00Bb	0.0±0.00Bb	6.8±1.24Bb
“春玉 4 号”‘Chunyu No.4’	对照(CK)	36.0±10.00Aa	62.0±8.46Aa	76.9±9.30Aa
	$5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$	1.8±0.97Bb	6.4±2.20Cc	7.6±2.25Cc
	$5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4$	0.8±0.37Bb	4.6±2.68Cc	5.2±2.27Cc
	$2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SiO}_3$	7.6±2.37Bb	7.6±2.50Cc	5.8±2.29Cc
	RM	7.8±5.13Bb	29.6±4.80Bb	29.4±5.30Bb
‘NS1402’	对照(CK)	19.4±6.22Aa	23.2±7.06Aa	43.4±10.66Aa
	$5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$	1.6±0.93Bb	4.4±1.96Bb	12.0±3.99Bb
	$5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4$	3.2±1.39Bb	1.8±1.36Bb	10.2±3.09Bb
	$2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SiO}_3$	1.8±1.32Bb	6.4±2.73Bb	15.6±4.23Bb

表 2(续)

Table 2(Continued)

材料 Material	处理 Treatment	病斑数目 Disease spot account/个		
		第一次喷药后 7 d 7 days after the first spraying	第一次喷药后 14 d 14 days after the first spraying	第一次喷药后 21 d 21 days after the first spraying
‘NS1404’	RM	4.2±2.0Bb	12.2±3.01ABab	9.6±3.06Bb
	对照(CK)	0.0±0.00Aa	3.0±1.84Aa	20.2±5.38Aa
	5 g·L ⁻¹ NaHCO ₃	0.0±0.00Aa	0.0±0.00Aa	3.6±1.94Bb
	5.706 g·L ⁻¹ K ₂ HPO ₄	0.0±0.00Aa	0.0±0.00Aa	4.6±1.89Bb
	2.62 g·L ⁻¹ K ₂ SiO ₃	0.0±0.00Aa	0.0±0.00Aa	4.8±2.40Bb
	RM	0.0±0.00Aa	0.0±0.00Aa	19.8±4.33Aa
‘NS1405’	对照(CK)	0.0±0.00Aa	6.2±1.96Aa	26.4±6.67Aa
	5 g·L ⁻¹ NaHCO ₃	0.0±0.00Aa	0.0±0.00Bb	9.0±5.04Bb
	5.706 g·L ⁻¹ K ₂ HPO ₄	0.0±0.00Aa	0.0±0.00Bb	14.0±5.84Aa
	2.62 g·L ⁻¹ K ₂ SiO ₃	0.0±0.00Aa	0.0±0.00Bb	12.0±3.63Aa
	RM	0.0±0.00Aa	1.6±1.03Bb	17.0±4.44Aa

2.2 叶面喷施 4 种诱导剂对西葫芦单株产量的影响

在西北农林科技大学杨凌蔬菜育种基地,叶面喷施 4 种诱导剂对 3 个西葫芦品种的单株产量影响结果见表 3。叶面喷施 5 g·L⁻¹ NaHCO₃、5.706 g·L⁻¹ K₂HPO₄、2.62 g·L⁻¹ K₂SiO₃ 和 RM 均能提高西葫芦单株产量。其中,在材料“春玉 4 号”上,4 个处理后的单株产量均高于对照组,其中经 5.706 g·L⁻¹

K₂HPO₄ 处理的单株产量最高,较对照组提高了 24.8%;在“赛纳”上,单株产量为 RM 处理后的效果最好,较对照组提高了 50.71%;在品种“春玉 5 号”上,处理后的单株产量的表现结果为 RM 处理后的结果最好,较对照组提高了 83.21%。4 种处理对提高产量的作用效果不同。从整体上来看,RM 和 2.62 g·L⁻¹ K₂SiO₃ 的效果较好,其次为 5.706 g·L⁻¹ K₂HPO₄。

表 3 叶面喷施 4 种诱导剂对 3 个西葫芦品种单株产量的影响

Table 3 Effects of four inducers on individual plant yield of three zucchini cultivars by foliar spray treatment kg

材料 Material	处理 Treatment				
	对照 (CK)	5 g·L ⁻¹ NaHCO ₃	5.706 g·L ⁻¹ K ₂ HPO ₄	2.62 g·L ⁻¹ K ₂ SiO ₃	RM
“春玉 4 号”“Chunyu No. 4”	2.609	2.970	3.258	3.020	3.108
“赛纳”“Saina”	1.913	2.500	2.473	2.620	2.883
“春玉 5 号”“Chunyu No. 5”	2.775	3.813	3.895	4.492	5.084

在西北农林科技大学太白蔬菜试验示范基地,叶面喷施 4 种诱导剂后,对参试的 6 份西葫芦材料的单株产量见表 4,对西北农林科技大学杨凌蔬菜育种基地所得到的结果进行验证。材料‘87’为“春玉 5 号”的姊妹系,处理后的单株产量的表现为 2.62 g·L⁻¹ K₂SiO₃ 处理后的单株产量最高,较对照组提高了 48.86%;对于品种“春玉 5 号”而言,K₂SiO₃ 处理后的单株产量最高,较对照提高了 36.02%;对品种“春玉 4 号”,进行叶面喷施 5 g·L⁻¹ NaHCO₃、5.706 g·L⁻¹ K₂HPO₄、2.62 g·L⁻¹ K₂SiO₃、RM 处理,相对于对照其单株产量分别提高了 55.20%、126.91%、25.16%和 78.17%。叶面喷施 5 g·L⁻¹ NaHCO₃、5.706 g·L⁻¹ K₂HPO₄、2.62 g·L⁻¹ K₂SiO₃ 和 RM 后对于西葫芦单株产量均有一定的提高,但不同的材料的作用效果不同。不同处理在各材料上的位次表现表明,RM 和 5.706 g·L⁻¹ K₂HPO₄ 处理的效果较好,其次

为 2.62 g·L⁻¹ K₂SiO₃。经相关性分析,植株诱导抗性与产量增加呈正相关,相关系数为 0.693。

2.3 叶面喷施诱导剂对西葫芦植株叶片中可溶性蛋白质及可溶性糖含量的影响

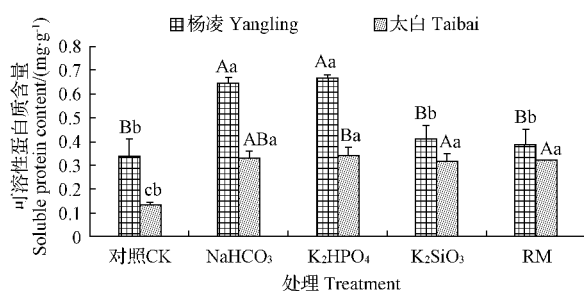
2.3.1 对西葫芦叶片可溶性蛋白质含量的影响

经 4 种诱导剂处理后,不同西葫芦品种叶片中的可溶性蛋白质含量均较对照有所提高(图 2~4),总体上表现为 5.706 g·L⁻¹ K₂HPO₄ = 5 g·L⁻¹ NaHCO₃ > 2.62 g·L⁻¹ K₂SiO₃ > RM,且试验地 1 和试验地 2 的变化趋势基本一致。另外,对植株抗性与可溶性蛋白质含量进行相关性分析,结果表明,植株诱导抗性增强与可溶性蛋白质含量的增加在发病 21 d(距第一次处理)前呈正相关,相关系数为 0.424,在发病 28 d(距第一次处理)后呈负相关,相关系数为 -0.524,相关性不高。

表 4 叶面喷施 4 种诱导剂对 6 个西葫芦种质单株产量的影响

Table 4 Effects of four inducers on individual plant yield of six zucchini cultivars by foliar spray treatment

材料 Material	处理 Treatment				
	对照 (CK)	5 g · L ⁻¹ NaHCO ₃	5.706 g · L ⁻¹ K ₂ HPO ₄	2.62 g · L ⁻¹ K ₂ SiO ₃	RM
87	2.753	2.760	3.875	4.098	2.610
“春玉 5 号”“Chunyu No. 5”	3.465	3.141	3.645	4.713	4.432
“春玉 4 号”“Chunyu No. 4”	1.828	2.837	4.148	2.288	3.257
‘NS1402’	1.835	2.120	3.320	2.843	3.297
‘NS1404’	1.683	1.920	1.950	1.765	2.120
‘NS1405’	1.710	1.945	2.683	2.428	2.282



注:图中大写字母表示达到差异显著水平(Duncan's 检验, $P < 0.05$),小写字母表示达到差异极显著水平(Duncan's 检验, $P < 0.01$)。下同。

Note: Different capital and lowercase letters indicate significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ according to Duncan's test, respectively. The same below.

图 2 4 种诱导剂处理后“春玉 5 号”西葫芦叶片中可溶性蛋白质含量的变化

Fig. 2 Changes of soluble protein content of foliar spray four inducers treatments in 'Chunyu No. 5' cultivar

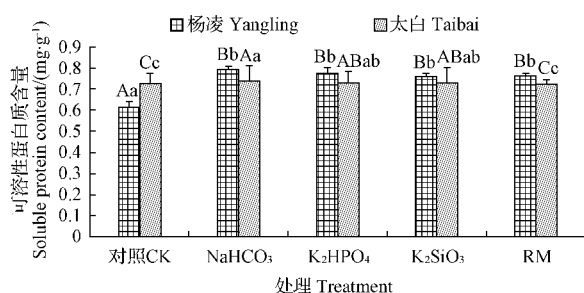


图 3 4 种诱导剂处理后“春玉 4 号”品种叶片中可溶性蛋白含量变化

Fig. 3 Changes of soluble protein content of foliar spray four inducers treatment in 'Chunyu No. 4' cultivar

2.3.2 叶面喷施 4 种诱导剂对西葫芦叶片中可溶性糖含量的影响 4 种诱导剂处理西葫芦不同品种,叶片中的可溶性糖含量均较对照有所提高(图 5~7),且以 5.706 g · L⁻¹ K₂HPO₄ 和 5 g · L⁻¹ NaHCO₃ 处理的提高幅度较大。另外,对植株诱导抗性可溶性糖含量增加进行相关性分析,结果表明植株诱导抗性增强与可溶性糖含量增加之间呈正相关,相关系数为 0.754,相关性较高。

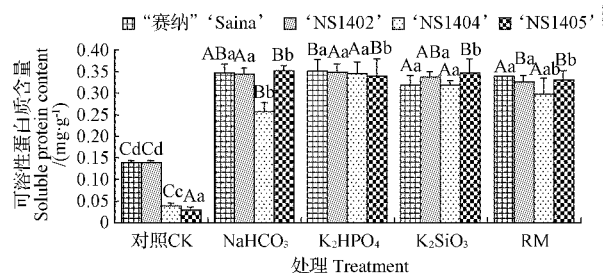


图 4 4 种化学诱导剂处理后 4 个西葫芦材料叶片中可溶性蛋白质含量变化

Fig. 4 Changes of soluble protein content of foliar spray four inducers treatment in four zucchini materials

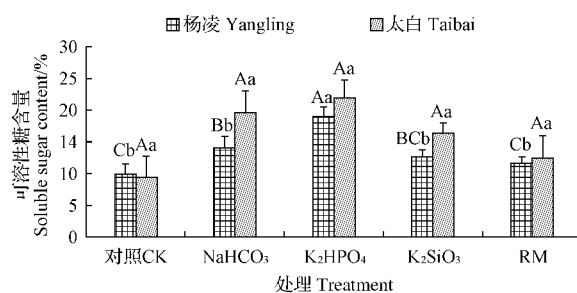


图 5 4 种诱导剂处理后“春玉 5 号”品种叶片中可溶性糖含量变化

Fig. 5 Changes of soluble sugar content with foliar spray four inducers treatment in 'Chunyu No. 5' cultivar

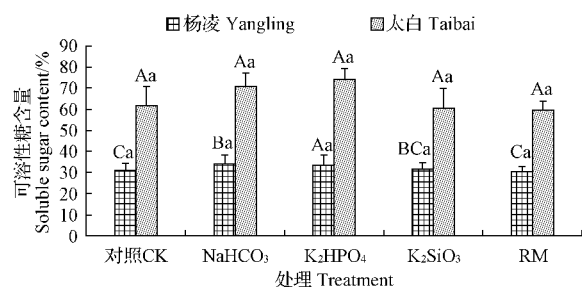


图 6 4 种诱导剂处理后“春玉 4 号”品种叶片中可溶性糖含量变化

Fig. 6 Changes of soluble sugar content with foliar spray four inducers treatment to 'Chunyu No. 4' cultivar

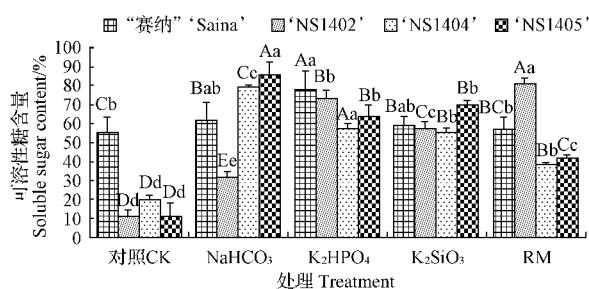


图7 4种诱导剂处理后4个西葫芦材料叶片中可溶性糖含量变化

Fig. 7 Changes of soluble sugar content with foliar spray four inducers treatment in four zucchini materials

3 讨论

当西葫芦植株感染白粉病,商品瓜则渐渐地畸形发育,不能作为商品出售,大大降低其经济效益。该研究在西葫芦白粉病发生之前,采用 $5\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 碳酸氢钠、 $5.706\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷酸氢二钾(pH 9.3)、 $2.62\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 硅酸钾(pH 5.5)、RM等4种诱导剂进行叶片处理,并在杨凌蔬菜育种基地和西北农林科技大学太白蔬菜试验示范站进行了重复试验,结果表明所选用的诱导剂浓度均对西葫芦白粉病有一定的预防效果,但在不同参试材料上,其预防效果不尽相同。总体上,以 $5\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 和 $5.706\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ K_2HPO_4 处理的预防效果较好。4种诱导剂在品种“春玉4号”和“赛纳”上的预防效果与“春玉5号”上的表现基本一致。这与REUVENI等^[8]在黄瓜上研究的结果基本一致,但与朱振家等^[9]在甜瓜上的研究结果不同。在不同作物上,对白粉病进行预防时所使用的诱导剂浓度应该有所差异。即使在该试验不同西葫芦品种上,诱导剂的效果也有所差异,可能是人为因素影响所致或是其它因素的干扰,其原因有待于进一步试验分析。

在黄瓜上,叶面喷施无机盐在一定程度上为植物提供营养,促进了生长^[8]。另外,刘海清等^[20]研究了硅与黄瓜白粉病抗性、产量的关系,结果表明叶面喷施是较理想的方式,可提高黄瓜产量 $15.5\% \sim 19.4\%$ 。该研究结果表明,4种诱导剂处理后,大多数西葫芦材料的单株产量提高,但在不同地点相同材料上和相同地点不同材料上的结果没有明显的规律。考虑到4种诱导剂对西葫芦白粉病的防治效果,参照增产因素,建议在预防西葫芦白粉病时采用 $5.706\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ K_2HPO_4 进行叶面喷施。

经4种诱导剂处理后,西葫芦叶片中的可溶性蛋白质和可溶性糖含量均有所提高,且与植株白粉

病病情有一定的相关性,表现为在发病21 d前,预防效果与可溶性蛋白质含量升高呈正相关,在发病28 d后呈负相关,但相关系数不高。在真菌侵染植株时,植株叶片可溶性蛋白质含量变化通常表现为先升高后降低,因为在病害初期植株进行自卫反应,自身病程相关蛋白质积累,随着病害加重叶片光合作用等减弱,叶片可溶性蛋白质含量降低,所以可溶性蛋白质含量变化与白粉病抗性呈现前期正相关、后期负相关的结果。然而,西葫芦白粉病预防效果与可溶性糖含量增加呈正相关,相关系数较高。这是由于在正常情况下,植株进行糖酵解途径的呼吸作用,在发病时进行磷酸戊糖途径的呼吸作用,且可溶性糖(葡萄糖、蔗糖等)在渗透调节、维持蛋白稳定等上有重要的作用,所以在发病后植株抗性与可溶性糖含量呈正相关。可见诱导剂处理会不同程度的影响植株物质代谢及抗病相关的生理生化过程,这与韩欢欢^[15]研究的结果基本一致。

该研究的不足之处是目前测定的生理生化指标较少,不能充分揭示西葫芦白粉病抗病的内部机制,需要进一步测定K含量、C/N、脯氨酸、总酚含量等生理生化指标及与植物抗病性有关的酶类,它们主要包括苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)等。有研究表明,植物抗病品种或诱导产生抗性的植株体内PAL、PPO、POD活性增加^[21-25]。另外,还需要从分子的角度进一步深入探究其抗性机制。

参考文献

- [1] 孙茜. 西葫芦南瓜疑难杂症图片对比诊断与处方[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 34-37.
- [2] 咸丰, 张勇, 马建祥, 等. 陕西关中地区瓜类白粉病菌生理小种的鉴定[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(10): 115-120.
- [3] 张海霞. 浅谈植物诱导抗病性的研究进展[J]. 科技与企业, 2012(17): 305.
- [4] HOMMA Y, ARIMOTO Y, MISATO T. Effect of sodium bicarbonate on each growth stage of cucumber powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*) in its life cycle[J]. Pestic Sci, 1981(6): 201-209.
- [5] HORST R K, KAWAMOTO S O, PORTER L L. Effect of sodium bicarbonate and oils on the control of powdery mildew and black spot of roses[J]. Plant Dis, 1992, 76: 247-251.
- [6] ZIV O, ZITTER T A. Effect of bicarbonates and film-forming polymers on cucurbit foliar diseases[J]. Plant Dis, 1992, 76: 513-517.
- [7] INOUE S, MACKO V, AIST J R. Identification of the active component in the papilla-regulating extract from barley leaves[J]. Physiol Mol Plant Pathol, 1994, 44: 441-453.
- [8] REUVENI, AGAPOV V. Controlling powdery mildew caused by

Sphaerotheca fuliginea in cucumber by foliar sprays of phosphate and potassium salts[J]. Crop Protection, 1996, 15(1): 49-53.

[9] 朱振家, 安翠香, 马育斌, 等. 几种化学诱导物对甜瓜白粉病抗性的诱导作用[J]. 甘肃农业大学学报, 2007, 42(5): 100-103.

[10] CARVER T L W, ZEYEN R J, AHLSTRAND G G. The relation between insoluble silicon and success or failure of attempted penetration by powdery mildew (*Erysiphe graminis*) germings on barley[J]. Physiological Plant Pathology, 1987, 31: 133-148.

[11] MENZIES J G, EHRET D L, GLASS A D M. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on cucumber is sativus[J]. Phytopathology, 1991, 4(24): 84-88.

[12] MENZIES J G, BOWEN P, EHRET D L, et al. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash[J]. Am Soc Hort Sci, 1992, 117: 902-905.

[13] 魏国强, 朱祝军, 钱琼秋, 等. 硅对黄瓜白粉病抗性的影响及其生理机制[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(2): 202-205.

[14] 肖卫华, 李里特, 王慧敏. 电生功能水防治黄瓜白粉病试验初报[J]. 植物保护, 2003, 29(2): 50-51.

[15] 韩欢欢. 西葫芦种株白粉病防控及抗性诱导[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.

[16] JIA C, DAI G H. Effect of dipinitol isolated and identified from *Robinia pseudoacacia* against cucumber powdery mildew[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 176: 38-44.

[17] 程伯瑛, 李海真, 贾长才, 等. 西葫芦白粉病发展动态及药剂防治技术研究[J]. 中国蔬菜, 2005(12): 35-36.

[18] BRADFORD M. A rapid and sensitive method the quantitation of microgram quantities of prote in utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72: 248-254.

[19] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 127-128, 159-160.

[20] 刘海清, 马保国, 孙红. 施用硅肥对黄瓜抗白粉病及其产量的影响[J]. 河南农业学报, 2005(5): 65-66.

[21] 李洪连, 王守正, 王金生, 等. 黄瓜对炭疽病诱导抗性的初步研究[J]. 植物病理学报, 1993, 23(4): 327-332.

[22] 宋凤鸣. 氟乐灵诱发棉苗对枯萎病的诱导抗性机制[J]. 植物病理学报, 1993, 23(2): 114-117.

[23] 冯杰. 棉株体内几种生化物质与抗枯萎病之间的关系的初步研究[J]. 植物病理学报, 1991, 21(4): 291-297.

[24] 杨家书. 植物苯丙氨酸类代谢与小麦对白粉病抗性的关系[J]. 植物病理学报, 1986, 16(3): 169-173.

[25] 李靖. 黄瓜感染霜霉菌叶片中一些酶活性的变化[J]. 植物病理学报, 1991, 21(4): 277-283.

Inhibition Effect of Powdery Mildew Development by Foliar Spray Four Inducers to Summer Squash (*Cucurbita pepo* L.)

ZHU Huanhuan, JIN Yingling, CHENG Yong'an, ZHANG Mingke

(State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Area/College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Three varieties of summer squash and six pieces of germplasm were used as test materials. The inhibition effects of four inducers ($5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$, $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4$, $2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SiO}_3$ and RM ($0.188 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ riboflavin + $0.746 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ methionine)) on powdery mildew, yield, soluble sugar content and soluble protein content were studied to search alternative technologies of chemical pesticide to prevent squash powdery mildew. The results showed that the inhibition effect on powdery mildew of summer squash was $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4 > 5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3 > 2.62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SiO}_3 > \text{RM}$. To a certain degree, the four kinds of inducer treatments could postpone effectively powdery mildew occurrence and promote plant growth. The effect on individual plant yield of summer squash had no obvious regularity, but all were higher than control. The effect of $5.706 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4$ and RM treatment were better. Plant added yield was positively correlated to increase resistance, the correlation coefficient was 0.693. The soluble protein content and soluble sugar content of summer squash leaf increased after treatments. Soluble sugar content increase was positively correlated to increasing resistance, the correlation coefficient was 0.754. The measures induced the summer squash own stress reaction and formation of powdery mildew resistant mechanism by adjusting the endogenous type and content of nutrients.

Keywords: summer squash (*Cucurbita pepo* L.); powdery mildew; dipotassium phosphate; prevention efficacy