

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2022.06.009

不同营养诱抗剂对烟草抗病性和农艺性状的影响

王小燕¹, 江龙¹, 胡丽涛², 王智³,
陈海涛⁴, 马啸², 冉茂⁴, 孙现超¹

1. 西南大学 植物保护学院, 重庆 400715;
2. 中国烟草总公司 重庆市公司 丰都分公司, 重庆 丰都 408200;
3. 中国烟草总公司 重庆市公司 石柱分公司, 重庆 石柱 409100;
4. 重庆烟草科学研究所, 重庆, 400715

摘要: 为明确营养诱抗剂对常见烟草病害的影响, 本试验以“云烟 87”为供试品种, 研究了几种营养诱抗药剂对田间常见病害的防治效果以及对烟株的农艺性状影响。结果显示, 在前期药剂筛选中, 叶夫锌和海夫图达能提高烟草抗性相关超氧化物歧化酶(SOD)活性, 对烟草花叶病、野火病和赤星病有更好的防治效果, 并且对烟草的株高有促生长作用。比较不同施药方式, 发现叶面喷施具有更好的病害防效, 但对农艺性状没有显著影响。通过在烟草不同生长时期施药比较, 发现团棵期施药对烟草病害具有更好的防效, 而且对烟草叶宽也具有一定促生长作用。该研究为营养诱抗剂防治烟草病害并提高烟草农艺性状提供了理论基础。

关键词: 诱导抗性; 病害防控; 农艺性状

中图分类号: S572 文献标志码: A

文章编号: 2097-1354(2022)06-0078-11

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Several Plant Inducer Agents on Disease Resistance and Agronomic Traits of Tobacco

WANG Xiaoyan¹, JIANG Long¹, HU Litao², WANG Zhi³,
CHEN Haitao⁴, MA Xiao², RAN Mao⁴, SUN Xianchao¹

收稿日期: 2022-09-02

基金项目: 国家自然科学基金(31870147); 中国烟草公司重庆市公司科技项目(A20201NY02-1306, B20212NY2312, B20221NY1307, B20211-NY1315).

作者简介: 王小燕, 硕士研究生, 主要从事植物病毒学及植物病害控制研究。

通信作者: 孙现超, 研究员, 博士。

共同通信作者: 冉茂, 硕士。

1. College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. Chongqing Fengdu Branch, China National Tobacco Corporation, Chongqing Fengdu 408200, China;
3. Chongqing Shizhu Branch, China National Tobacco Corporation, Chongqing Shizhu 409100, China;
4. Chongqing Tobacco Research Institute, Chongqing 400715, China

Abstract: In order to clarify the effects of plant inducer agents on common tobacco diseases, using variety “Yunyan 87” as the material, the effects of several kinds of plant inducer agents on the disease resistance and the agronomic traits of tobacco were investigated. The results showed that zinc sulfate and Haf total could improve the activity of resistance-related Superoxide Dismutase(SOD) enzyme in tobacco, and had better control effect on tobacco mosaic disease, wild-fire disease and brown spot disease, also increased the height of tobacco plants. By comparing different application methods, it was found that foliar spraying had better effect on control of diseases and no significant effect on agronomic traits. With the application at different growth periods of tobacco, it was found that the application at rosette stage had a better prevention effect on tobacco diseases, and also had a certain growth-promoting effect on tobacco leaf width. This study provides a theoretical basis for tobacco disease control and improvement of tobacco agronomic characters.

Key words: induced resistance; disease prevention and control; agronomic trait

烟草侵染性病害的发生严重影响着烟叶的产量和品质,制约着烟草生产的发展^[1-2]。重庆市烟区烟草病害发生呈多样化,烟草病毒病、真菌病害和细菌病害时常发生,其中烟草普通花叶病毒(Tobacco Mosaic Virus, TMV)在重庆市各个烟区烟草样品总侵染率最高^[3-5]。烟草花叶病严重影响烟草产量,使上中等烟的比例下降,同样也影响烟叶的外观质量和内在成分,继而降低了烟叶的品质^[6]。植物本身存在一定的防御机制,当受到某种因子刺激过后,便可激活这种能力,从而有效地抵抗病原物的侵染。这种诱导产生的一系列防卫反应是植物的诱导抗病性,又称作系统获得抗性或植物免疫^[7-8]。在农作物上施用植物诱抗剂,能达到诱导作物抗病,以实现增效或增产的目的,是现代植病防治的一条重要途径^[9-10]。其中,营养诱抗剂在补充植物营养的同时,可促进植物新陈代谢和根系生长发育,诱导植物产生抗病性。氨基酸水溶肥被证明在水稻生长期内喷施后,能促进水稻对营养物质的吸收,增强代谢功能,显著增加水稻有效穗数、千粒重和结实率,从而提高水稻产量及经济系数^[11]。研究表明,低浓度 γ -氨基丁酸可促进植物茎伸长,而高浓度却促进乙烯的产生,进而影响幼苗的生长^[12]。在大豆上施用适量的硫酸锌能够不同程度地促进株高和茎围,可以在一定范围内提高大豆苗期至结荚期的抗性相关超氧化物歧化酶、过氧化物酶及过氧化氢酶活性,并显著提高大豆的产量和品质性状^[13]。施用适量硫酸镁时发现可以显著促进草莓植株株高、叶面积等农艺性状,还可以提高草莓根系活力,促进根系发育^[14]。在叶面喷施纳米氧化锌可以通过直接影响病毒侵染,显著上调抗性相关酶活性,激活抗性相关基因的上调表达,提高植物自身的防御能力来保护植物免受病毒的侵害^[15]。新型农药海藻酸钠包裹的香菇多糖水凝胶能持续且强烈地诱导植物对 TMV 的抗性,并积累钙离子的释放,以诱导促进本氏烟的生长^[16]。当用 75 mmol/L 磷酸盐喷施黄瓜幼苗时,能营养诱导其体内有关抗病酶活性,提升黄瓜幼叶系统抗病性^[17]。

本试验选择以“云烟 87”为研究对象,选用几种田间常用的免疫诱抗剂,筛选出靶向诱抗增效、控病为主的烟草病害免疫诱抗剂,以便建立适于重庆市烟区烟草品种的以免疫诱抗为基础的烟草绿色综合防控技术。

1 材料与方法

1.1 试验材料与地点

试验以7种营养诱抗剂(表1)、“云烟87”为材料,分别进行室内和田间试验.室内试验于2021年6月在西南大学植物保护学院植物免疫与病害生态防控研究室开展,“云烟87”在光照培养室培养至4叶期备用,温度25℃,相对湿度75%.田间试验于2021年7月开始在重庆市丰都县烟区进行,室外温度在35℃左右.

表1 本试验所使用的药剂

名称	主要成分	稀释倍数	生产公司
氨基酸水溶肥	多微氨基酸	1 000	南宁汉和生物科技股份有限公司
γ-氨基丁酸	C ₄ H ₉ NO ₂	1 000	南宁汉和生物科技股份有限公司
叶夫镁	98% MgSO ₄ · 7H ₂ O	1 000	河南顶品化工产品有限公司
叶夫钙	98% Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	1 000	河南顶品化工产品有限公司
叶夫锌	98% ZnSO ₄ · 7H ₂ O	1 000	河南顶品化工产品有限公司
海夫图达	0.3% Mn、0.3% Zn、4.0%游离氨基酸	300	青岛斯蒂文农业科技有限公司
海夫阿尔法30	3.5%总氮、30%游离氨基酸、25%有机质、1.5% Zn、1.5% Mn	1 000	青岛斯蒂文农业科技有限公司

1.2 试验设计与方法

1.2.1 营养诱抗剂对“云烟87”抗性相关酶活性影响

本试验在室内进行,共设置7个处理,以清水为对照,在“云烟87”上连续喷施3d后,取植株中部的等位叶,利用酶活试剂盒(购自索莱宝科技有限公司)测定过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)4种酶活性,每个处理3个重复,每个处理信息如下:

处理1为氨基酸水溶肥;

处理2为γ-氨基丁酸;

处理3为叶夫镁;

处理4为叶夫钙;

处理5为叶夫锌;

处理6为海夫图达;

处理7为清水对照.

1.2.2 田间试验设计

1) 营养诱抗剂对“云烟87”抗病性和农艺性状调查

以清水为对照,将不同诱导剂稀释1 000倍后在团棵期施药,每个处理3个重复,测量打顶期植株的株高、叶长、叶宽和茎围,分别调查旺长中期和打顶期的田间主要病害,发病率和病情等指标按《烟草病虫害分级及调查方法》(GB/T 23222—2008)判定.

$$\text{发病率}(\%) = \frac{\text{发病株数}}{\text{调查株数}} \times 100\%$$

$$\text{病情指数(DI)} = \frac{\sum(\text{各级病株} \times \text{该病级值})}{(\text{调查总株} \times \text{最高病级值})} \times 100$$

$$\text{防治效果(\%)} = \frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \times 100\%$$

2) 营养诱抗剂不同使用方式对比

筛选试验设计每个试验设置5个处理,采取随机区组试验.每个处理重复3次,共15个小区,小区面积约为50 m²,并设置保护行.在“云烟87”生长团棵期、旺长中期、打顶期各施药1次,共施药3次.于每次施药7 d后对烟株农艺性状和常见病害进行调查,每个处理信息如下:

处理1为叶夫锌叶面喷施;

处理2为海夫图达叶面喷施;

处理3为叶夫锌灌根;

处理4为海夫阿尔法30灌根;

处理5为清水对照.

3) 营养诱抗剂不同使用时期对比筛选试验设计

试验设置7个处理,采用叶面喷施的方式,采取随机区组试验.每个处理重复3次,共21个小区,小区面积约为50 m²,并设置保护行.通过在不同的烤烟生长期用药,分别在打顶期第2次施药后7 d对烟株农艺性状进行调查,并结合当地病害发生特点,开展相关病害发生情况调查工作,每个处理信息如下:

处理1为叶夫锌团棵期开始打药,每隔10 d打一次,共打2次;

处理2为叶夫锌团棵期15 d后开始打药,每隔10 d打一次,共打2次;

处理3为叶夫锌打顶期开始打药,每隔10 d打一次,共打2次;

处理4为海夫图达团棵期开始打药,每隔10 d打一次,共打2次;

处理5为海夫图达团棵期15 d后开始打药,每隔10 d打一次,共打2次;

处理6为海夫图达打顶期开始打药,每隔10 d打一次,共打2次;

处理7为清水对照.

1.3 数据处理与统计学分析

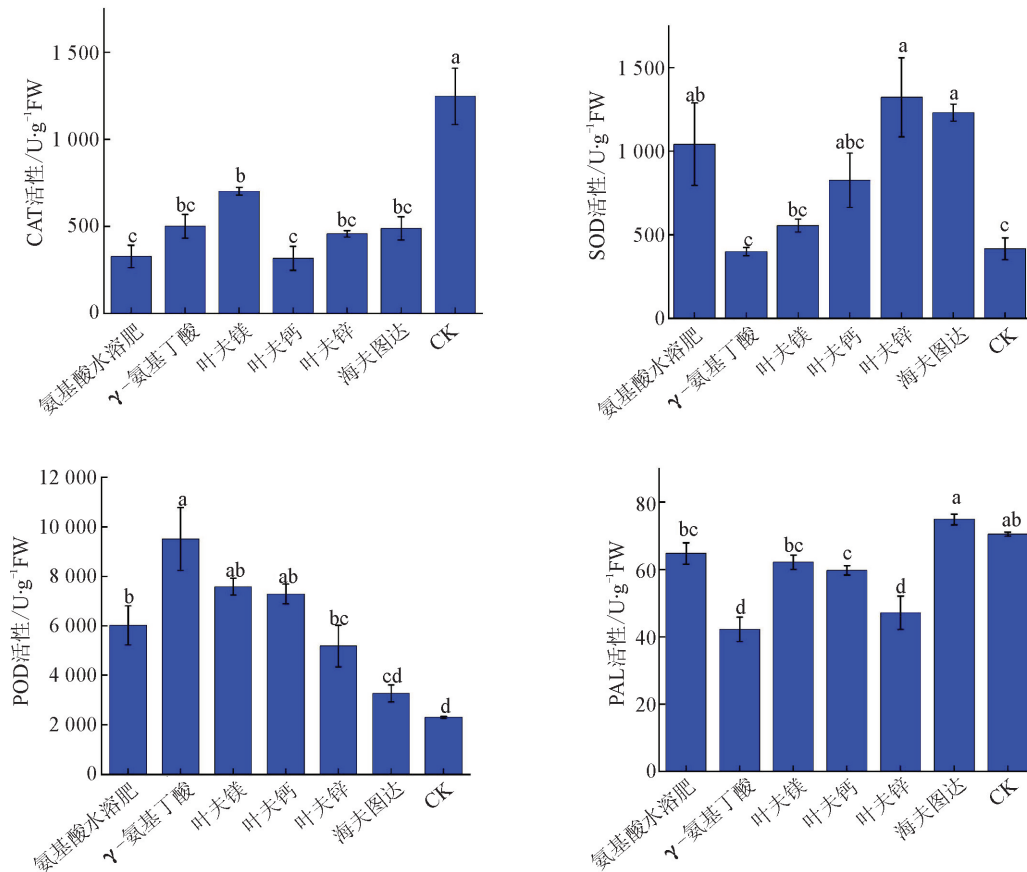
试验数据采用IBM SPSS Statistics 25、OriginLab进行分析.两组间比较用独立样本 t 检验进行比较,3组及以上采用单因素方差分析,利用Duncan法进行多重比较,不同小写字母表示组间差异具有统计学意义($p < 0.05$).

2 结果与分析

2.1 营养诱抗药剂筛选

2.1.1 营养诱抗剂对云烟87抗性相关酶活性影响

各药剂处理后均抑制CAT活性,与清水对照比较差异具有统计学意义,其中抑制最明显为氨基酸水溶肥和叶夫钙处理.氨基酸水溶肥、叶夫锌和海夫图达处理促进SOD活性,与清水对照比较差异具有统计学意义,其中叶夫锌和海夫图达处理的SOD活性最高.除药剂海夫图达处理外,其他药剂处理均对烟草POD有促进作用,与清水对照比较差异具有统计学意义,其中 γ -氨基丁酸的促进作用最显著;氨基酸水溶肥、叶夫镁和海夫图达处理后的PAL与清水对照相比差异不明显,其他处理抑制PAL活性,与清水对照比较差异均具有统计学意义(图1).



小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

图 1 不同营养诱抗剂对烟草叶片酶活性的影响

2.1.2 营养诱抗剂对“云烟 87”田间病害的影响

将 5 种不同的营养诱抗剂分别在“云烟 87”上连续喷施 3 d, 以筛选出效果最佳的营养诱抗剂。旺长中期和打顶期各喷药 3 d 后对其抗病效果进行调查统计。

结果显示, 在旺长中期, 田间主要有烟草花叶病和烟草野火病, 烟草野火病发病率较低, 发病率普遍低于 10.01%。海夫图达对烟草花叶病和烟草野火病的防效较好, 叶夫锌次之, 其中海夫图达对烟草花叶病的防治效果可达到 87.09%。因田间烟草赤星病发病程度小且不规律, 未体现出防效(表 2)。

表 2 不同营养诱抗剂处理的烟叶旺长中期病害调查

处理 方法	烟草花叶病			烟草野火病			烟草赤星病		
	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%
1	24.00	8.44±1.22a	—	4.00	0.44±0.06b	—	—	—	—
2	20.00	6.67±0.78ab	—	6.00	0.67±0.21b	—	2.00	0.22±0.01a	—
3	14.02	0.33±0.01b	—	4.00	0.22±0.09c	50.00±1.92a	—	—	—
4	42.12	8.22±0.99a	—	10.01	1.56±0.53a	—	—	—	—
5	4.00	0.13±0.02c	58.06±3.62b	2.00	0.2±0.01c	54.55±1.71a	—	—	—
6	4.00	0.04±0.01c	87.09±2.88a	0.00	—	—	—	—	—
7	12.20	0.31±0.01b	—	4.00	0.44±0.03b	—	—	—	—

注: 处理 1 为氨基酸水溶肥; 处理 2 为 γ -氨基丁酸; 处理 3 为叶夫镁; 处理 4 为叶夫钙; 处理 5 为叶夫锌; 处理 6 为海夫图达, 处理 7 为清水对照, 所有药剂稀释 1000 倍使用; 小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

打顶期烟草花叶病、烟草野火病和烟草赤星病在田间都有发生,但烟草赤星病发病率较低。叶夫锌和海夫图达对烟草花叶病相比于其他药剂呈现出较好的防治效果,但防效不高,防效分别为 56.50%和 61.58%;同时,各个药剂对野火病的防效不理想;在其他药剂对赤星病防效不佳时,海夫图达对赤星病的防治效果可达 80.00%(表 3)。

表 3 不同营养诱抗剂处理的打顶期病害调查

处理 方法	烟草花叶病			烟草野火病			烟草赤星病		
	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%
1	30.00	14.84±1.28a	16.38±0.73b	28.00	3.12±0.22ab	11.42±0.63a	16.00	1.77±0.44a	15.00±0.22b
2	30.02	15.72±0.54a	11.30±1.30b	28.09	3.12±0.41ab	11.42±0.12a	8.10	0.89±0.22ab	60.00±1.21ab
3	24.20	10.16±1.39b	42.94±2.78a	30.00	3.33±0.35ab	5.71±0.99a	12.00	1.33±0.22ab	35.00±1.13ab
4	32.31	16.38±0.73a	7.91±0.41b	26.27	2.44±0.42ab	20.00±0.12a	16.00	1.77±0.44a	15.00±0.22b
5	22.00	7.72±1.490bc	56.50±0.84a	20.09	2.22±0.35b	48.57±1.99a	10.10	1.11±0.35ab	44.40±2.18ab
6	18.00	6.82±0.88c	61.58±2.05a	26.00	2.89±0.27ab	20.00±1.08a	4.00	0.44±0.27b	80.00±3.14a
7	32.31	17.72±1.00a	—	32.00	3.55±0.65a	—	18.40	2.00±0.42a	—

注:小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

2.1.3 营养诱抗剂对“云烟 87”农艺性状影响

经不同营养诱抗剂处理后调查打顶期烟草的株高、叶长、叶宽和茎围,从结果可以看出,氨基酸水溶肥、叶夫镁、叶夫锌和海夫图达对“云烟 87”的株高均有促进作用,且海夫图达的促进作用最显著,与清水对照比较差异有统计学意义;经氨基酸水溶肥、叶夫镁、叶夫钙处理后的叶长与清水对照比较,差异具有统计学意义;除经氨基酸水溶肥处理外,其他各处理后的叶宽与清水对照比较,差异具有统计学意义;经不同诱抗剂处理后的茎围与清水对照比较,差异均具有统计学意义(表 4)。

表 4 不同营养诱抗剂处理打顶期农艺性状比较

处理方法	株高	叶长	叶宽	茎围
1	90.10±1.95a	69.80±0.95b	26.55±0.58bc	8.60±0.15b
2	87.95±1.09bc	70.55±0.39ab	26.40±0.25ab	8.90±0.24a
3	91.50±1.58a	71.20±0.62a	28.30±0.51a	8.98±0.17a
4	87.90±2.21bc	70.00±0.90b	25.50±0.41c	8.75±0.21a
5	89.45±1.55b	70.55±0.62ab	27.20±0.42ab	9.15±0.14a
6	92.00±0.65a	71.45±0.49ab	27.40±1.32ab	9.17±0.20a
7	87.95±2.02c	70.75±0.19ab	26.45±0.57bc	8.75±0.10ab

注:小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

由结果可见,叶夫锌和海夫图达可能通过提高 SOD 活性增强作物抗病性,且对烟草株高具有促生长作用,对旺长中期和打顶期的烟草花叶病和烟草野火病都有较好的防治效果。所以,从各个营养诱抗剂中选出叶夫锌和海夫图达来进行后期进一步的筛选,以确定丰都“云烟 87”的最佳营养诱抗剂。

2.2 营养诱抗剂使用方式对比筛选

2.2.1 不同施药方式在团棵期田间病害调查与农艺性状比较

通过在团棵期用药 7 d 后进行病害调查, 结果发现田间主要有烟草花叶病和烟草野火病. 通过将营养诱抗剂分别采用叶面喷施和灌根的施用方式进行比较, 结果发现, 在病害防治上 2 种营养诱抗剂都对烟草花叶病有较好的防效, 防效可达到 68.41% 以上, 其中海夫图达叶面喷施对花叶病的防效可达到 87.43%; 由于该时期野火病和赤星病田间发病率极低, 未呈现防效(表 5).

表 5 营养药剂不同施药方式烟草团棵期病害调查

处理 方法	烟草花叶病			烟草野火病			烟草赤星病		
	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%
1	1.66	0.45±0.07b	72.04±4.35b	—	—	—	—	—	—
2	0.83	0.20±0.03c	87.43±1.81a	—	—	—	—	—	—
3	0.83	0.37±0.12b	77.14±2.94b	0.41	0.04±0.02b	51.85±0.71a	—	—	—
4	1.25	0.51±0.03b	68.41±1.58b	—	—	—	—	—	—
5	3.33	1.61±0.06a	—	0.83	0.09±0.01a	—	—	—	—

注: 处理 1 为叶夫锌叶面喷施, 稀释 1 000 倍使用; 处理 2 为海夫图达叶面喷施, 稀释 1 000 倍使用; 处理 3 为叶夫锌灌根, 稀释 1 000 倍使用; 处理 4 为海夫阿尔法 30 灌根, 稀释 300 倍使用; 处理 5 为清水对照; 小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$).

在团棵期用药后 7 d 进行农艺性状调查, 结果显示, 两种药剂在不同施用方式的情况下, 株高、叶长、叶宽和茎围与清水对照比较, 差异均无统计学意义(表 6). 综合来看, 病害发生情况和农艺性状, 在团棵期叶面喷施或灌根处理的叶夫锌和海夫图达对烟草花叶病均有较好的防治效果, 其中海夫图达叶面喷施防效最佳, 防效可达到 87.43%.

表 6 营养药剂不同施药方式烟草团棵期农艺性状调查

cm

处理方法	株高	叶长	叶宽	茎围
1	39.11±2.39a	55.27±1.06a	22.39±0.20a	6.64±0.07a
2	43.72±0.82a	58.16±0.82a	22.55±0.11a	6.94±0.19a
3	43.72±0.83a	58.61±0.59a	22.83±0.59a	6.86±0.03a
4	38.72±2.364a	55.33±1.35a	23.05±0.73a	6.75±0.13a
5	40.00±0.86a	57.16±0.98a	22.55±0.31a	6.77±0.06a

注: 小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$).

2.2.2 不同施药方式在旺长中期田间病害调查与农艺性状比较

通过在旺长期用药 7 d 后进行病害调查, 结果发现田间主要有烟草花叶病和烟草野火病发生, 烟草野火病整体发病率较低. 从整体来看, 叶夫锌和海夫图达两种施药方式对烟草花叶病和野火病均有较好的防效; 其中叶夫锌叶面喷施对烟草花叶病和野火病的防治效果均达到 70.00% 以上; 同时叶夫锌灌根处理对烟草花叶病具有更好的防效, 防治效果达到 84.31%(表 7).

表 7 营养药剂不同施药方式烟草旺长中期病害调查

处理 方法	烟草花叶病			烟草野火病			烟草赤星病		
	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%
1	2.91	0.87±0.03c	73.96±1.00b	1.25	0.13±0.02c	78.10±2.57a	—	—	—
2	2.50	1.02±0.03b	69.32±0.79c	2.08	0.23±0.02b	61.68±2.74b	—	—	—
3	1.25	0.52±0.03d	84.31±0.94a	2.5	0.27±0.01b	55.66±1.94b	—	—	—
4	2.91	0.99±0.03bc	70.31±0.81c	2.08	0.23±0.02b	62.23±2.47b	—	—	—
5	9.58	3.32±0.09a	—	5.41	0.61±0.01a	—	—	—	—

注:小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$).

在旺长中期用药后 7 d 进行农艺性状调查,各个处理对烟草的株高、叶长和茎围与清水对照比较,差异均无统计学意义;海夫图达叶面喷施对烟草的叶宽具有显著促生长效果,与清水对照比较差异具有统计学意义(表 8).综合结果,在旺长中期,叶夫锌灌根处理对烟草花叶病的防效最好,海夫图达叶面喷施处理不仅能够防控病害,还能显著促进叶宽的生长.

表 8 营养药剂不同施药方式烟草旺长中期农艺性状比较

cm

处理方法	株高	叶长	叶宽	茎围
1	56.73±0.70a	63.94±1.79a	25.10±0.43ab	7.81±0.19a
2	58.26±2.40a	64.61±3.35a	25.33±0.55a	7.98±0.13a
3	57.11±0.68a	64.66±3.43a	25.11±0.34ab	7.88±0.09a
4	58.90±1.45a	63.50±1.55a	24.31±0.42b	7.84±0.05a
5	57.30±1.73a	62.68±2.38a	24.32±0.51b	7.68±0.20a

注:小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$).

2.2.3 不同施药方式在打顶期田间病害调查与农艺性状比较

通过在打顶期用药后 7 d 进行病害调查,结果发现田间主要有烟草花叶病、烟草野火病和烟草赤星病发生,但赤星病零星发病,呈不规则态.病害调查表明,叶夫锌叶面喷施处理对烟草花叶病和野火病均有较好的防治效果,防治效果均达到 70.00%以上;海夫图达叶面喷施处理对两种病害也具有较好的防效,对烟草花叶病的防效达到 76.89%;叶夫锌灌根处理后的烟草花叶病的防效可达到 74.93%(表 9).

表 9 营养药剂不同施药方式烟草打顶期病害调查

处理 方法	烟草花叶病			烟草野火病			烟草赤星病		
	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%
1	4.58	1.89±0.04c	74.45±0.49a	0.91	0.33±0.02b	72.67±1.76a	0.41	0.04±0.01	—
2	3.75	1.71±0.02c	76.89±0.28a	3.33	0.36±0.02b	68.72±1.38ab	—	—	—
3	3.33	1.86±0.03c	74.93±0.37a	3.75	0.42±0.02b	63.94±1.67b	—	—	—
4	9.58	4.12±0.08b	44.33±1.02b	3.33	0.37±0.02b	68.28±1.27ab	—	—	—
5	15.00	7.40±0.13a	—	10.41	1.15±0.07a	—	—	—	—

注:小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$).

在打顶期用药后 7 d 进行农艺性状调查,结果显示,各个处理对烟草的株高、叶长、叶宽和茎围与清水对照比较,差异无统计学意义(表 10).综合结果,在烟草打顶期,叶夫锌和海夫图达叶面喷施处理的施药方式对花叶病和野火病具有更好的防效,其中叶夫锌叶面喷施处理更能提高烟草对花叶病和野火病的抗病性,且对烟草的农艺性状没有显著影响.

表 10 营养药剂不同施药方式烟草打顶期农艺性状比较

cm

处理方法	株高	叶长	叶宽	茎围
1	72.97±0.91a	71.58±0.46a	27.00±0.76ab	9.25±0.24a
2	71.92±1.04a	71.64±0.36a	29.84±0.30ab	8.77±0.11a
3	70.66±0.51a	71.66±0.70a	27.39±0.30ab	8.97±0.17a
4	72.05±0.24a	70.19±2.14a	27.15±0.74ab	9.04±0.15a
5	71.89±0.80a	70.33±0.39a	26.73±0.74ab	8.83±0.17a

注：小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

2.3 营养诱抗剂使用时期对比筛选

不同时期用药处理, 统一在打顶期用药 7 d 后病害调查, 结果表明烟草花叶病、烟草野火病和烟草赤星病普遍发生, 烟草野火病和烟草赤星病发病率较低; 各处理对烟草花叶病的防治效果不佳, 均低于 60.00%; 在针对烟草野火病的防治中, 叶夫锌团棵期和旺长期施药、海夫图达团棵期施药的防治效果都可达到 70.00% 以上; 对于烟草赤星病, 叶夫锌旺长期施药、海夫图达团棵期和旺长期施药的防治效果最好, 相对防治效果均达到 80.00% 以上(表 11)。

表 11 营养药剂不同时期施药烟草打顶期病害调查

处理 方法	烟草花叶病			烟草野火病			烟草赤星病		
	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%	发病率/%	病情指数	相对防效/%
1	4.58	2.19±0.07ab	21.66±2.97c	2.50	0.27±0.06c	72.87±6.16a	0.83	0.09±0.01b	58.87±0.07b
2	3.75	1.52±0.09b	43.81±3.45b	2.50	0.26±0.06c	73.04±5.88a	0.41	0.04±0.01c	81.04±0.05a
3	3.75	1.61±0.07b	40.55±2.62b	3.75	0.42±0.06c	57.44±5.72a	0.83	0.09±0.01b	59.09±3.97b
4	2.91	1.17±0.07c	56.69±2.58a	2.50	0.28±0.03c	70.92±2.92a	0.41	0.04±0.01c	82.50±4.38a
5	2.50	1.14±0.07c	57.88±2.20a	3.75	0.42±0.06c	57.29±5.67a	0.41	0.04±0.01c	80.75±2.23a
6	2.91	1.44±0.07b	46.93±2.65b	6.25	0.69±0.05b	29.18±4.86b	0.83	0.09±0.01b	61.72±3.74b
7	4.58	2.71±0.08a	—	8.75	0.98±0.04a	—	2.08	0.23±0.01a	—

注：处理 1 为叶夫锌团棵期开始打药, 每隔 10 d 打一次, 共打 2 次; 处理 2 为叶夫锌团棵期 15 d 后开始打药, 每隔 10 d 打一次, 共打 2 次; 处理 3 为叶夫锌打顶期开始打药, 每隔 10 d 打一次, 共打 2 次; 处理 4 为海夫图达团棵期开始打药, 每隔 10 d 打一次, 共打 2 次; 处理 5 为海夫图达团棵期 15 d 后开始打药, 每隔 10 d 打一次, 共打 2 次; 处理 6 为海夫图达打顶期开始打药, 每隔 10 d 打一次, 共打 2 次; 处理 7 为清水对照, 所有药剂稀释 1 000 倍使用; 小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

在打顶期用药 7 d 后进行农艺性状调查, 调查烟株的株高、叶长、叶宽和茎围 4 项指标, 探究各处理对烟草农艺性状的影响. 结果显示, 各个处理后烟草的株高、叶长与清水对照比较, 差异无统计学意义; 而叶夫锌团棵期、打顶期开始施药和海夫图达旺长期开始施药对烟草的叶宽具有促生长效果, 与清水对照比较差异具有统计学意义(表 12). 综合来看, 在烟草团棵期开始施药对烟草病害具有较好的防效, 而且对烟草叶宽也具有一定促生长作用。

表 12 营养药剂不同时期施药烟草打顶期农艺性状比较

cm

处理方法	株高	叶长	叶宽	茎围
1	77.50±3.27a	73.25±0.38a	29.30±0.38a	9.14±0.01ab
2	74.55±3.57a	71.91±0.58a	28.35±0.65ab	8.94±0.24b
3	71.97±4.00a	70.80±0.74a	28.86±0.73a	9.08±0.12ab
4	69.30±0.60a	73.36±2.19a	28.00±0.28ab	9.05±0.05ab
5	73.30±1.04a	73.30±1.51a	29.08±1.04a	9.56±0.21a
6	70.72±0.69a	74.86±1.11a	28.47±0.41ab	9.26±0.18ab
7	69.52±0.46a	71.38±1.30a	26.83±0.16b	9.23±0.07ab

注：小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

3 结论与讨论

微量元素是烟草生长发育所必须的,并严重影响烤烟的品质^[18].胡蓉花等^[19]研究表明在烤烟生产中施用锌肥能不同程度地改善烟叶化学成分和香气物质.同时,适量施用锌肥不仅能减轻作物的发病率和病情指数,还能提高水稻、小麦、玉米、大豆等作物的品质和产量^[20-22].本试验通过比较氨基酸水溶肥、 γ -氨基丁酸、叶夫镁、叶夫钙、叶夫锌、海夫图达等营养诱抗剂对烟草抗性相关酶活性、病害防效和农艺性状的影响,发现叶夫锌和海夫图达表现出更好的诱抗效果.在烟草花叶病和烟草野火病发病率较低时的旺长期,海夫图达表现出较高的防治效果,相比之下叶夫锌防效不佳,此时其他药剂处理的烟草花叶病和烟草野火病发生情况比清水对照更严重,可能是这些营养药剂对病害防效不佳,而烟草赤星病发病不规律,喷施海夫图达能有效控制病情.同时,氨基酸水溶肥、叶夫镁、叶夫锌和海夫图达对烟草的株高具有促进作用,对其他农艺性状没有显著影响.氨基酸水溶肥、叶夫锌和海夫图达均能显著上调SOD活性,同时氨基酸水溶肥、 γ -氨基丁酸、叶夫镁、叶夫钙和叶夫锌也能上调POD活性,推测这几种药剂可能通过提高SOD或POD活性以增强作物抗病性,这与孔凡明等^[23]的硫酸锌等药剂处理后的烟株花叶病防治效果与烟株体内SOD、POD活性高低呈正相关的研究结果一致.导致CAT和PAL活性下调的原因可能比较复杂,有待于进一步的探究.因此,综合前期的多种药剂筛选,叶夫锌和海夫图达表现出更好的抗病增效作用,选择这两种药剂进行下一步的田间试验.

综合比较2种施药方式处理后的烟草各时期的病害情况和农艺性状,发现叶夫锌和海夫图达都表现出较好的病害防效,并且叶面喷施处理比灌根处理的病害防治效果更好,而农艺性状大多没有显著差异.李洋^[24]在比较不同追施钾肥方法对烤烟产量和品质的影响时发现,叶面喷施钾肥有利于烤烟产量和品质的提升,同时,董贤春等^[25]采用叶面喷雾方式能显著提高烟草赤星病防治效果.通过比较不同生长期喷施药剂后的烟草打顶期病害情况和农艺性状,发现尽早施药不仅能补充植物营养,还能诱导植株抗病增效.烟草野火病和烟草赤星病的发病率较低,团棵期或旺长期施药硫酸锌或海夫图达的防治效果较好,说明针对烟草野火病和烟草赤星病需要尽早防治,且团棵期和打顶期施药叶夫锌和旺长期施药海夫图达对烟草的叶宽具有促进作用.那么综合以上结果,叶面喷施且尽早施药是植物诱抗剂防控病害和提升农艺性状的田间最佳施药方式.

综上所述,叶夫锌和海夫图达对烟草花叶病、赤星病和野火病有较好的防效,其中叶夫锌叶面喷施的施药方式对3种病害都有较高的防效,能达到70.00%以上,海夫图达的最佳施药方式是叶面喷施,叶夫锌和海夫图达的最佳施用时期是团棵期或旺长期.

参考文献:

- [1] 李秋潼. 重庆地区烟草农业存在的问题及解决对策[J]. 现代农业科技, 2009(12): 198-199.
- [2] 袁维, 谭海文, 卢燕回, 等. 烟草侵染性病害种类变迁及其发生概况[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(4): 165-167.
- [3] 陈海涛. 重庆市烟区主要烟草病害及综防技术[J]. 植物医生, 2007, 20(5): 28-29.
- [4] 宋娟, 廖秋菊. 重庆烟草地区 ELISA 检测[J]. 生物技术世界, 2014, 11(1): 173.
- [5] 何伟光. 重庆烟草病毒病源田间溯源与防控对策研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [6] 周建国, 肖启明, 刘双清, 等. 烟草花叶病毒病发生及防治研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(1): 121-122, 138.

- [7] DANGLJ L, JONESJ D G. Plant Pathogens and Integrated Defence Responses to Infection[J]. *Nature*, 2001, 411(6839): 826-833.
- [8] DURRANTW E, DONG X. Systemic Acquired Resistance[J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2004, 42: 185-209.
- [9] 杨献营. 烟草病害防治的新途径——诱导抗病性的研究进展[J]. *中国烟草*, 1993, 14(3): 29-31.
- [10] 邱德文. 植物免疫诱抗剂的研究进展与应用前景[J]. *中国农业科技导报*, 2014, 16(1): 39-45.
- [11] 顾帅娣, 黄玉杰, 陈国平, 等. 氨基酸水溶肥对水稻产量及其构成因素的影响试验简报[J]. *上海农业科技*, 2019(3): 94, 97.
- [12] KATHIRESAN A, MIRANDA J, CHINNAPPA C C, et al. γ - Aminobutyric Acid Promotes Stem Elongation in *Stellaria Longipes*: The Role of Ethylene[J]. *Plant Growth Regulation*, 1998, 26: 131-137.
- [13] 马红敏. 硫酸锌对大豆生长发育及产量、品质的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2008.
- [14] 窦嘉恒. 施用硫酸镁对草莓植株生长发育及果实品质的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- [15] CAI L, LIUC Y, FAN G J, et al. Preventing Viral Disease by ZnONPs through Directly Deactivating TMV and Activating Plant Immunity in *Nicotiana Benthamiana*[J]. *Environmental Science: Nano Journal*, 2019, 6, 3653.
- [16] XIANG S Y, LVX, HE L H, et al. Dual-Action Pesticide Carrier That Continuously Induces Plant Resistance, Enhances Plant Anti-Tobacco Mosaic Virus Activity, and Promotes Plant Growth[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(36): 10000-10009.
- [17] 沈其荣, 朱毅勇, 谢学东, 等. Ca^{2+} 在磷酸盐营养诱导黄瓜幼叶系统抗病中的作用[J]. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6(3): 280-286, 360.
- [18] 马占峰, 黄建, 唐民, 等. 微量元素对烤烟化学品质的影响[J]. *江西农业*, 2017(9): 23-24.
- [19] 胡蓉花, 王俊, 沈雪婷, 等. 增施锌肥对烤烟品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(11): 76-82.
- [20] 谢奎忠, 孙小花, 罗爱花, 等. 基施锌肥对长期连作马铃薯抗病性相关酶活性、土传病害和产量的影响[J]. *作物杂志*, 2022(4): 154-159.
- [21] 陶焱金, 井凌琨, 王琪, 等. 锌肥施用对我国小麦籽粒锌含量的影响[J/OL]. *农业资源与环境学报*: 1-10 [2022-08-29].
- [22] 朱月兰, 杨柳. 不同用量锌肥对水稻产量的影响试验[J]. *农业技术与装备*, 2021(5): 22-23.
- [23] 孔凡明, 彭怀俊, 吴廷全, 等. 烟草花叶病药剂防治效果及其机理研究[J]. *中国烟草学报*, 2001, 7(1): 26-31.
- [24] 李洋. 不同追施钾肥的方法对烤烟产量和品质的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2014.
- [25] 董贤春, 秦铁伟, 刘兰明, 等. 不同药剂及施药方式对防治烟草赤星病效果的影响[J]. *湖北农业科学*, 2010, 49(7): 1630-1632.

责任编辑 苏荣艳