

不同害虫生防菌剂对烟草生长生理的影响

李俊花¹ 刘浩¹ 张海平² 赵晓军² 曾皓² 钱发聪² 邓纲¹

(¹ 云南大学农学院,昆明 650504; ² 云南省烟草公司昆明市公司,昆明 650051)

摘要:为探究不同生物菌剂对烟草虫害的影响,以云烟 87 为试验材料,研究防控虫害的生物菌剂苦参·印楝素+苏云金杆菌(T1)、金龟子绿僵菌+苏云金杆菌(T2)、微生物菌 W-1(T3)对烟草生长和生理指标的影响,以对烟草害虫防治的常规方法为试验对照,分析不同生物菌剂处理后烟株农艺性状和生理指标的变化差异。结果表明不同生物菌剂对烟草的促进效果不同,与对照相比,3 个处理皆具有提升叶长和叶宽的作用,但有效叶片数下降,其中微生物菌 W-1 处理对株高、叶长、叶宽促进效果最大;3 个处理皆有促进多酚氧化酶(PPO)活性的效果,而其他抗氧化酶及生理生化指标则各不相同,但相比较而言以微生物菌 W-1 效果较好,以处理苦参·印楝素+苏云金杆菌较差;烟草农艺性状和叶片酶进行相关性分析发现株高与过氧化物酶(POD)、丙二醛(MDA)、可溶性糖呈正相关,与超氧化物歧化酶(SOD)呈负相关,叶宽与丙二醛(MDA)呈正相关,有效叶片数与可溶性蛋白含量呈正相关。综合分析本研究中微生物菌 W-1 处理烟草生长和生理指标最好。

关键词:烟草;害虫;生物菌剂;生长;生理指标

Effects of Different Pest Biofungics on Tobacco Growth Physiology

LI Junhua¹, LIU Hao¹, ZHANG Haiping², ZHAO Xiaojun²,
ZENG Hao², QIAN Facong², DENG Gang¹

(¹ School of Agriculture, Yunnan University, Kunming 650504; ² Yunnan Tobacco Company Kunming Branch, Kunming 650051)

据联合国粮农组织统计,每年由于病虫害的发生导致粮食减产 24%,其中有 10% 的减产是由虫害导致的^[1]。董大志等^[2]在 2010-2011 年期间开展云南烟草害虫调查,发现云南烟草害虫有 96 种,主要害虫优势种有小地老虎、铜绿丽金龟等。长时间以来,受数量效益型经济发展方式的影响,化学方

法仍是烟草病虫害防治的主要方法,而长期使用化学防治导致的烟叶农药残留、虫害抗药性增加以及生态环境问题日益突出^[3-4]。为了减少农药的使用量,维持生物多样性,很多烟草科技工作者意识到在烟草上从事生物防治的重要性^[5]。而随着对食品安全和环境保护的重视,越来越多的高效低毒生物类杀卵剂被广泛应用,如苦参碱·印楝素、苏云金杆菌(*Bacillus thuringiensis*)等^[6]。这类生物源农药的作用机制机理不同于一般普通的化学类农药,比如生物源农药不易导致害虫产生抗药性^[7-8],对农作物安

刘浩为共同第一作者

基金项目:云南省烟草公司昆明市公司科技计划一般项目(KMYC202204)

通信作者:邓纲,钱发聪

[10] 张雅菁,史平,孙柳青,吴建明. 昆山地区偏迟播小麦穗数与产量的相关性分析. 耕作与栽培, 2023, 43 (1): 35-38

[11] 刘太廷,高迎军,柳建林. 小麦高产途径和栽培措施. 中国种业, 2007 (7): 64-65

[12] 杨建昌,杜永,刘辉. 长江下游稻麦周年超高产栽培途径与技术. 中国农业科学, 2008, 41 (6): 1611-1621

[13] 李成,顾金鑫,徐晓青,何高,郭昌林. 小麦喷施矮壮丰控高防倒效果评价. 大麦与谷类科学, 2008 (2): 46-47

[14] 杨文飞,文廷刚,孙爱侠,吴雪芬,王伟中. 新型增产抗倒营养剂“劲丰谷德”对小麦抗倒性和产量的影响. 金陵科技学院学报, 2019, 35 (1): 65-68

(收稿日期: 2023-06-30)

全且无残留物危害,而且有的生物源农药有利于作物生长,如印楝素乳油和苏云金杆菌乳剂对有机水稻有显著的增产效果^[9]。生防细菌具有直接获取、定殖快速、适应力强、效果稳定、操作简便等优点,在防治植物细菌性或真菌性的病害中广泛利用^[10]。近年研究已发现一些用于防治虫害和促生长的生防细菌,如绿僵菌不仅可以防治虫害,同时其能够在植物根际和根内宿存,促进植物生长^[11-13];贪噬菌属(*Variovorax*)可以通过与根际环境互作维持根系正常发育^[14]。

基于烟草对农药残留、高品质以及生态环境可持续发展的要求,本文设置不同生物菌剂处理对烟草虫害防控和烟草生长的影响进行研究,以期获得一种具有防虫和促生长双重效果的生物菌处理,并得到该处理下的农艺和生理指标变化规律,为未来烟草高效虫害绿色防控提供新的技术和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试品种 供试烟草品种为云烟 87。田间试验的种子、烟苗均由云南省昆明市烟草公司嵩明县分公司阿子营烟站提供。

1.1.2 供试药剂 苦参·印楝素:总有效成分含量为 1%,苦参碱含量为 0.4%,印楝素含量为 0.6%,购自云南绿戎生物产业开发股份有限公司;苏云金杆菌:即苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*, *Bt*),属于芽孢杆菌科、芽孢杆菌属,是近年来应用最广泛的微生物杀虫剂,有效成分含量为 16000IU/mg,购自云南绿戎生物产业开发股份有限公司;金龟子绿僵菌:属于子囊菌门、麦角菌科、绿僵菌属,是一种广谱性的杀虫真菌,有效成分含量为 100 亿孢子/mL,购自云南绿戎生物产业开发股份有限公司;微生物菌 W-1:即聚砷贪噬菌,属于贪噬菌属,可调控生长素浓度,维系根系健康生长。将分离纯化的微生物菌 W-1 在摇床 150r/min, 25℃ 设置下培养 4d,使菌液浓度达到对数期,即 10^6 以上,呈比较浑浊的状态即可。烟草虫害常规对照处理(CK)不施用任何菌剂。

1.1.3 供试肥料 有机肥为烤烟生产专用有机肥, $N+P_2O_5+K_2O \geq 5\%$, 有机质含量 $\geq 45\%$, 水分 $\leq 30\%$, 购自云南纳若生物工程有限责任公司;复合肥为云南烟草专用肥,总养分 $\geq 47\%$ (含硝态氮), $N:P_2O_5:K_2O=15:8:24$, 购自云南欧罗汉姆肥业

科技有限公司;农家肥:由昆明市嵩明县烟草公司阿子营烟站提供,由当地的枯枝败叶堆积半年以上发酵后而成,主要养分为氮、磷、钾和有机质;农业用硝酸钾为云南烟草专用肥,总氮 $\geq 13.5\%$, 氧化钾 $\geq 44.5\%$, 氯离子 $\leq 1.2\%$, 购自云南欧罗汉姆肥业科技有限公司;农业用硫酸钾为云南烟草专用肥,水溶性氧化钾 $\geq 52\%$, 硫含量 $\geq 17\%$, 氯含量 $\leq 1.5\%$, 购自国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司。

1.2 试验设计

1.2.1 试验地点 该试验选取虫害较为严重的地块,位于云南省昆明市嵩明县阿子营村,红壤土,试验地海拔 2100m, 25.338958°N、102.783402°E,年平均气温 14℃,年降水量 1100mm,土壤 pH 值为 4.61,有机质 22.90g/kg,水解性氮(N) 132.71mg/kg,有效磷(P) 99.17mg/kg,速效钾(K) 194.35mg/kg,电导率 237.00 μ s/cm,阳离子交换总量 3.82cmol/kg,适宜种植玉米和烤烟等农作物。

1.2.2 试验设计 本试验共设计 4 个处理(表 1),每个处理 3 次重复,共 12 个小区,各小区随机区组排列,小区面积 50m² (60 株烟),种植密度行间距 120cm,株距 80cm,试验区外设置 2 行烟草作为保护行。

表 1 不同试验处理施用的生物菌剂

试验处理	施用生物药剂
CK	不施菌剂
T1	苦参·印楝素(20mL) + 苏云金杆菌(20mL)
T2	金龟子绿僵菌(20mL) + 苏云金杆菌(20mL)
T3	微生物菌 W-1 (20mL)

1.2.3 田间管理 试验中各个处理所施用的生物菌剂有所不同,烟草虫害常规对照处理(CK)不施用任何菌剂,但各个处理施用底肥和追肥所用肥料种类及含量均相同,即每 hm² 施用底肥所用的有机肥为 1500kg、复合肥 300kg、农家肥 1200kg,施用方式为穴施,施用时间 4 月 26 日(移栽期);每 hm² 追施农业用硝酸钾 150kg,农业用硫酸钾 225kg,施用方式为穴施,施用时间 6 月 1 日(旺长期)。其他田间栽培管理一致,及时修剪病虫枝叶,保持田间干净,避免滋生病害。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 不同生物菌剂处理烟草农艺性状的测定

测量烟草农艺性状时间为7月1日(旺长期),各处理小区选择有代表性的5~10株烟株挂牌标记,按YC/T 142—1998《烟草农艺性状调查方法》的标准,测定烟株的农艺性状,包括烟株的株高、最大叶长、最大叶宽、茎围、有效叶片数,取平均值后为1次重复,测量3个重复小区,即所有指标皆设生物学重复3次。

1.3.2 不同生物菌剂处理烟草酶活性的测定 在烟草采收前期(8月5日)进行烟草叶片的采集,在每个小区随机选取烟株中部叶子,即从根部第1片往上数大约第8片烟叶,每个小区取10片叶子混成1个样为1次重复(约10g),3个小区即为3次生物学重复。所取叶片测定相关生理生化指标,包括叶片叶绿素含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、多酚氧化酶(PPO)、苯丙氨酸解氨酶(PAL),均采用北京索莱宝科技有限公司生产的相应试剂盒按照说明书进行检测。

1.4 数据统计分析 试验数据取3次重复的平均值,试验数据及表格制作采用Microsoft Excel 2021软件进行处理,统计分析运用SPSS 20.0统计软件,采用LSD多重比较法($P<0.05$)进行方差分析,采用Pearson相关性检验进行数据相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同生物菌剂对烟株农艺性状的影响 由表2可知,施用不同生物菌剂的处理相对于CK处理,烟株的不同农艺性状变化不同。本试验中施用不同生物菌剂对烟株农艺性状的株高、茎围影响较小,各处理与CK均无显著差异,但T3处理的株高相对于CK处理呈上升现象,株高最大,为38.22cm,株高大小顺序为T3>CK>T2>T1,T2和T1处理较CK分别下降0.94%、5.09%,T3处理提升9.20%。茎围

与株高类似,各个处理间差异不显著,最大值和最小值分别为8.36cm(T2)、8.11cm(T1),两者相差很小,说明各个处理对茎围影响较小。CK处理与T1、T2处理的叶长差异不显著,与T3处理差异显著,但不同生物菌剂处理的叶长相对于CK处理均有所增加,烟株叶长最大值为66.11cm(T3),最小值为58.67cm(CK),叶长大小顺序为T3>T1>T2>CK,3个生物菌剂处理较CK叶长分别提升了12.68%(T3)、7.38%(T1)、3.97%(T2)。烟株叶宽与叶长变化相类似,最大值为29.67cm(T3),最小值为23.56cm(CK),叶宽大小顺序为T3>T1>T2>CK,T3处理与CK处理差异显著,3个生物菌剂处理较CK叶宽分别提升了25.93%(T3)、8.49%(T1)、7.05%(T2)。T2、T3处理烟株有效叶片数与CK处理相比较差异不显著,但3个生物菌剂处理有效叶片数均低于CK处理,有效叶片数大小顺序为CK>T3>T2>T1。综合以上农艺性状指标结果,各处理之间株高和茎围差异不显著,3个生物菌剂处理较对照叶长、叶宽有不同程度增加,有效叶片数减少,但T2、T3处理减少不显著。因此相对于T1和T2处理,T3处理对烟株的生长促进作用更强。

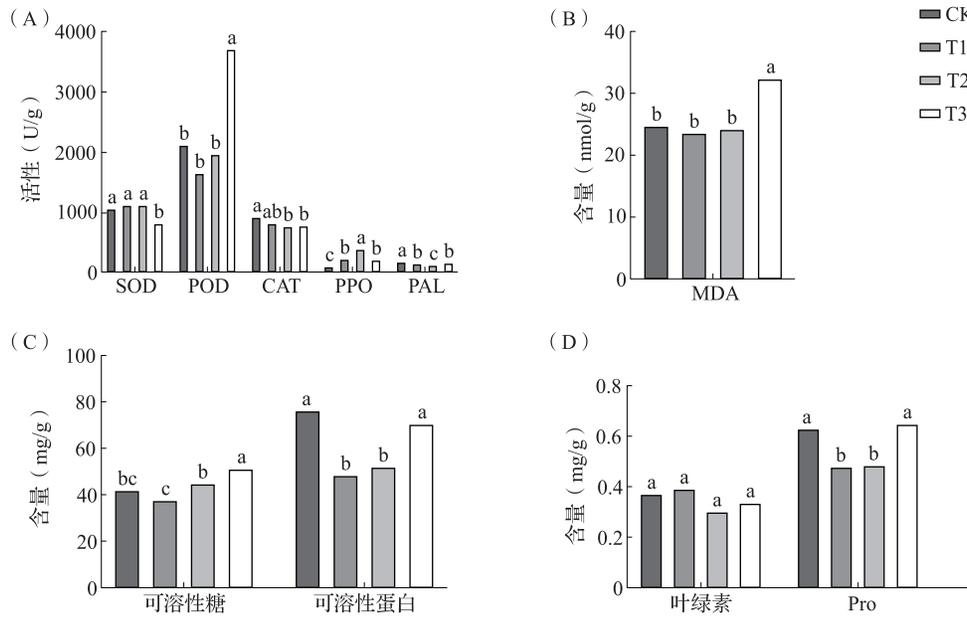
2.2 不同生物菌剂对烟草生理生化指标的影响

由图1可知,不同生物菌剂处理后与CK相比较,T3处理显著抑制SOD活性;T2和T3处理均显著抑制CAT活性;T1和T2处理显著抑制Pro含量,且对可溶性蛋白含量也有显著抑制作用;3个处理均显著抑制PAL活性,但与对照叶绿素含量均差异不显著;T3处理对POD和可溶性糖含量有显著促进作用,其中T3处理POD活性为3697.87U/g,可溶性糖含量为51.25mg/g,CK处理POD活性为2093.93U/g,可溶性糖含量为42.18mg/g,即相对于CK处理,T3处理POD活性增加了76.60%,可溶性糖含量增加

表2 不同处理对烟株农艺性状的影响

处理	株高(cm)	叶长(cm)	叶宽(cm)	茎围(cm)	有效叶片数
CK	35.00 ± 2.31a	58.67 ± 1.13b	23.56 ± 1.17b	8.22 ± 0.22a	15.00 ± 0.47a
T1	33.22 ± 1.33a	63.00 ± 1.62ab	25.56 ± 1.08b	8.11 ± 0.22a	13.56 ± 0.41b
T2	34.67 ± 2.01a	61.00 ± 1.80b	25.22 ± 1.19b	8.36 ± 0.12a	13.78 ± 0.36ab
T3	38.22 ± 1.37a	66.11 ± 1.72a	29.67 ± 0.83a	8.13 ± 0.37a	14.44 ± 0.64ab

表中值为平均值 ± SD;同列不同字母表示0.05水平上差异显著



不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

图1 不同处理对烟草叶片生理生化指标的影响

了21.50%；T1、T2和T3处理均显著促进PPO活性，PPO活性大小顺序为T2>T1>T3>CK，分别提升80.46%（T2）、64.94%（T1）、61.19%（T3）。植物遭受逆境时会产生SOD、POD、CAT、PPO、PAL等来抵御逆境所带来的伤害，则这些酶活性越高抗逆性相对来说较强。而MDA在植物体内积累是活性氧毒害的表现，MDA含量越高则植物细胞受到的

损伤越大，脯氨酸(Pro)和可溶性蛋白是植物体内理想的渗透调节物质，可溶性糖影响烤后烟叶的水溶性总糖和还原糖，叶绿素随着烟叶的成熟而逐渐减少，若叶绿素含量过少则影响烟叶的成熟度进而影响烘烤烟叶的品质。综合烟草叶片生理生化指标结果，T3处理对烟株病害的抗逆性强于T1和T2处理。

表3 不同生物菌剂处理对烟草农艺性状及叶片酶活性的相关性分析

项目	SOD	POD	CAT	PPO	MDA	Pro	PAL	可溶性糖	可溶性蛋白	叶绿素	株高	叶长	叶宽	茎围
POD	-0.98**													
CAT	0.17	0.27												
PPO	0.31	0.17	0.84											
MDA	-0.99**	0.99**	0.30	0.17										
Pro	0.80	0.77	0.41	0.69	0.73									
PAL	0.28	0.16	0.88*	-0.99**	0.15	0.71								
可溶性糖	0.86	0.94*	0.38	0.08	0.90*	0.66	0.06							
可溶性蛋白	0.59	0.56	0.61	0.74	0.50	0.96*	0.79	0.50						
叶绿素	0.06	0.25	0.60	0.75	0.18	0.10	0.68	0.56	0.12					
株高	-0.95*	0.99**	0.22	0.16	0.96**	0.80	0.17	0.97**	0.63	0.34				
叶长	0.72	0.69	0.67	0.17	0.77	0.17	0.25	0.55	0.13	0.04	0.58			
叶宽	0.85	0.86	0.63	0.13	0.90*	0.37	0.19	0.76	0.09	0.20	0.78	0.96*		
茎围	0.46	0.30	0.16	0.60	0.39	0.30	0.50	0.05	0.15	0.80	0.16	0.56	0.43	
有效叶片数	0.44	0.42	0.71	0.75	0.35	0.89*	0.81	0.38	0.98**	0.12	0.50	0.30	0.09	0.05

*和**分别表示在0.05和0.01水平显著相关

2.3 不同生物菌剂处理烟草农艺性状及叶片酶活性的相关性分析 分别对不同生物菌剂处理烟草农艺性状的株高、叶长、叶宽、茎围、有效叶片数和烟草叶片 SOD、POD、CAT、PPO、PAL 酶活性及 MDA、Pro、可溶性糖、可溶性蛋白、叶绿素之间的相关性进行分析(表 3)。由结果可见,SOD 与 POD、MDA、株高呈极显著或显著负相关,POD、MDA、株高三者之间呈极显著正相关,POD 与可溶性糖呈显著正相关,CAT 与 PAL 呈显著正相关,PPO 与 PAL 呈极显著负相关,MDA 与可溶性糖和叶宽呈显著正相关、与株高呈极显著正相关,Pro 与可溶性蛋白和有效叶片数呈显著正相关,可溶性糖与株高呈极显著正相关,可溶性蛋白与有效叶片数呈极显著正相关,叶长与叶宽呈显著正相关。

3 结论

植物生长会遭遇许多逆境,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^[15-16],而虫害侵袭是影响植物生长品质的一个重要因素。在本试验中 5 月中旬至 5 月底天气连续下雨,影响烟草生长发育速度,使得烟草因裸期推迟,推测为本试验施用不同生物菌剂烟株相对于对照烟株的农艺性状多出现下降的原因。而 3 种处理相对于对照处理在防御病虫害的情况下,对烟株的叶长、叶宽有促进作用,且微生物菌 W-1 (T3) 处理相对于苦参·印楝素 + 苏云金杆菌(T1)和金龟子绿僵菌 + 苏云金杆菌(T2)处理促进作用更强,但是对烟株的有效叶片数无促进作用,推测微生物菌 W-1 可促进单个叶片的长宽,而对有效叶片数并无显著促进作用。

植物本身在遭遇虫害时会做出一系列反应来抵御虫害,通常将植物体抵御虫害的机制分为组成型抗性和诱导型抗性^[17-18],诱导型抗性是植物遭遇虫害时产生并激活防御酶活性,生成防御物质。SOD、POD 及 CAT 是植物体内活性氧清除系统的主要保护酶,具有抵抗逆境胁迫的防御作用^[19-21]。本研究中微生物菌 W-1 (T3)处理的 SOD 酶活性显著低于 CK 处理,POD 酶活性显著高于 CK 处理,其余生物菌剂处理与对照均无显著差异,金龟子绿僵菌 + 苏云金杆菌(T2)和微生物菌 W-1 (T3)处理的 CAT 酶活性显著低于 CK 处理。SOD、POD 及 CAT 酶活性并不是都显著高于 CK 处理,而是有

一定的差别,推测可能是在烟草采收前期进行取样,烟草体内的酶活性已经有一定程度的降低。抗氧化酶系统也包括 PPO,在植物遭受逆境时,提高植株体内 PPO 酶的活性,从而使植物细胞免受因氧化作用而产生的破坏,本研究中 3 个生物菌剂处理的 PPO 含量均显著高于 CK 处理,这与范艳玲等^[22]研究的枣树遭受虫害后,其 PPO 酶活性快速增加从而提高抗逆性一致。植物器官在逆境下遭受伤害,往往发生膜脂过氧化作用,MDA 是膜脂过氧化主要产物之一,一般认为 MDA 在植物体内积累是活性氧毒害的表现,它的含量是判断膜脂过氧化程度的一个重要指标^[23]。本研究中微生物菌 W-1 (T3)处理 MDA 含量显著高于 CK 处理,因此抗逆性低于 CK 处理,而苦参·印楝素 + 苏云金杆菌(T1)和金龟子绿僵菌 + 苏云金杆菌(T2)处理与 CK 处理无显著性差异。脯氨酸(Pro)在生物体内不仅是理想的渗透调节物质,还可作为膜和酶的保护物质及自由基清除剂,从而对植物在渗透胁迫下的生长起到保护作用,本研究中苦参·印楝素 + 苏云金杆菌(T1)和金龟子绿僵菌 + 苏云金杆菌(T2)处理脯氨酸含量与 CK 处理相比显著降低,表明这 2 个处理的抗逆性在脯氨酸方面较 CK 处理差。PAL 参与植物抗虫性与产生的木质素和植保素的苯丙烷类代谢途径有关,木质素的积累加厚细胞壁,影响昆虫取食,植保素有毒害和趋避作用,而本研究中 3 个生物菌剂处理的 PAL 酶活性均低于对照处理,这与 Constabel 等^[24]在 JA 和 SA 循环代谢途径中,虫害胁迫常会造成植物体内 PAL 活性升高的研究结果完全相反,推测可能是与烟株所受虫害的昆虫有关。可溶性糖含量高的烟叶较柔软,色泽鲜亮。董传媛^[25]研究表明,油茶叶片的可溶性糖含量呈递增趋势,与发病率呈正相关。而可溶性蛋白作为植物体内重要的渗透调节物质,与植食性害虫的寄主选择行为有关,植物中可溶性蛋白含量升高,害虫的存活率、生长发育速度及生殖力会相对提高^[26]。本研究中微生物菌 W-1 (T3)处理可溶性糖与 CK 处理有显著差异,明显高于对照处理,而 3 个生物菌剂处理的可溶性蛋白含量都低于 CK 处理,但是微生物菌 W-1 (T3)处理的可溶性蛋白含量高于苦参·印楝素 + 苏云金杆菌(T1)和金龟子绿僵菌 + 苏云金杆菌(T2)处理。本研究中不同处理烟株叶绿素无显著差异,不同生

物菌剂的施用对叶绿素影响不大。综合以上烟草抗逆相关指标,3个生物菌剂处理以微生物菌 W-1 处理最佳。

影响烟草农艺性状和叶片酶活性的因素有很多,比如施肥种类、品种、生产条件等。本研究中 POD 和 MDA、可溶性糖、株高, CAT 和 PAL, MDA 和可溶性糖、株高、叶宽, Pro 和可溶性蛋白、有效叶片数,可溶性糖和株高,可溶性蛋白和有效叶片数,叶长和叶宽均呈显著或极显著正相关,说明它们关系密切。其中 POD 与株高、MDA、可溶性糖呈正相关,这与孟莉等^[27]的研究发现 POD 活性在烟叶生长过程中与总酚的含量呈现正相关趋势研究一致,其他具体原因有待深究。

通过对施用不同害虫生防菌剂对烟草农艺性状、叶片生理生化指标及两者的相关性,综合本文研究可得施用微生物菌 W-1 控制烟草虫害,烟草生长生理指标最优。

参考文献

- [1] 黄文江,张竞成,师越,董莹莹,刘林毅.作物病虫害遥感监测与预测研究进展.南京信息工程大学学报:自然科学版,2018,10(1):30-43
- [2] 董大志,秦西云,张丽坤.云南烟草害虫及其天敌近期调查研究.动物学研究,2011,32(8):252-257
- [3] 高聪芬,贾变桃,沈晋良.甲维盐等几种杀虫剂对斜纹夜蛾的室内毒力测定.江苏农业科学,2005(6):63-65
- [4] 李宏光,钟权,张赛,肖启明,易图永.8种农药防治烟草花叶病的田间药效试验.江西农业学报,2012,24(4):100-101,104
- [5] 吴红波.生物防治在我国烟草病虫害防治上的应用.贵州农业科学,2006(S1):103-105
- [6] Correia A A, Wanderley-Teixeira V, Teixeira A A, Oliveira J V, Gonçalves G G, Cavalcanti M G, Brayner F A, Alves L C. Microscopic analysis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) embryonic development before and after treatment with azadirachtin, lufenuron, and deltamethrin. Journal of Economic Entomology, 2013, 106(2): 747-755
- [7] 张国洲.生物农药研究进展.湖北农学院学报,2002,22(5):472-474
- [8] 邱德文.生物农药研究进展与未来展望.植物保护,2013,39(5):81-89
- [9] 曾晓楠,聂乾忠,刘东辉.印楝素和 Bt 乳剂防治有机水稻二化螟的药效试验.安徽农业科学,2009,37(25):12054-12055
- [10] 宋芷薇,田志宏.细菌在烟草土传病生物防治中的应用研究.安徽农学通报,2021,27(8):31-35,100
- [11] Sasan R A, Bidochka M J. The insect-pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* (Clavicipitaceae) is also an endophyte that stimulates plant root development. American Journal of Botany, 2012, 99(1): 101-107
- [12] Jaber L R, Enkerli J. Fungal entomopathogens as endophytes: can they promote plant growth? . Biocontrol Science and Technology, 2017, 27: 28-41
- [13] Cai N, Wang F, Nong X, Wang G, McNeill M R, Cao G, Hao K, Liu S, Zhang Z. Visualising confirmation of the endophytic relationship of *Metarhizium anisopliae* with maize roots using molecular tools and fluorescent labelling. Biocontrol Science and Technology, 2019, 29: 1023-1036
- [14] Finkel O M, Salas-González I, Castrillo G, Conway J M, Dangl J L. A single bacterial genus maintains root growth in a complex microbiome. Nature, 2020, 587(7832): 103-108
- [15] 李秋潼.重庆地区烟草农业存在的问题及解决对策.现代农业科技,2009(12):198-199
- [16] 袁维,谭海文,卢燕回,首安发.烟草侵染性病害种类变迁及其发生概况.安徽农业科学,2016,44(4):165-167
- [17] 娄永根,程家安.虫害诱导的植物挥发物:基本特性、生态学功能及释放机制.生态学报,2000(6):1097-1106
- [18] Piesik D, Pańka D, Delaney K J, Skoczek A, Lamparski R, Weaver D K. Cereal crop volatile organic compound induction after mechanical injury, beetle herbivory (*Oulema* spp.), or fungal infection (*Fusarium* spp.). Journal of Plant Physiology, 2011, 168(9): 878-886
- [19] Fry S C. Cross-linking of matrix polymers in the growing cell walls of angiosperms. Annual Review of Plant Biology, 1986, 37: 165-186
- [20] 刘晓辉,张显,郑俊嵩,马建祥,张勇.激素预处理对低温胁迫下西瓜幼苗活性氧含量和抗氧化酶活性的影响.西北植物学报,2014,34(4):746-752
- [21] 王艳颖,胡文忠,庞坤.机械损伤对富士苹果抗氧化酶活性的影响.食品与机械,2007(5):26-30
- [22] 范艳玲,杨晓婷,李新岗,高文海.损伤挥发物信号在枣树间的传递及其作用研究.西北农林科技大学学报:自然科学版,2015,43(2):134-141
- [23] 章瑞.逆境胁迫对小麦幼苗生理生化指标的影响.中国农业信息,2016(5):104-105,114
- [24] Constabel C P, Yip L, Patton J J, Christopher M E. Polyphenol oxidase from hybrid poplar. Cloning and expression in response to wounding and herbivory. Plant Physiology, 2000, 124(1): 285-295
- [25] 董传媛.油茶炭疽病的发生与植株内含物和酶活性的关系研究.合肥:安徽农业大学,2009
- [26] Mattson W J. Herbivory in relation to plant nitrogen content. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 1980, 11: 119-161
- [27] 孟莉,郭世英,符云鹏,邱宝平,刘晓旭,郭濛濛,赵晓军,韩富根.吉林晒烟多酚类物质及其相关酶活性的变化动态.中国烟草科学,2014,35(6):59-64

(收稿日期:2023-06-29)