

不同种类农药对松花菜小菜蛾防治效果、产量及品质的影响

高程斐¹, 李菊¹, 王瑞¹, 吴倩¹, 李录山¹,
吕剑¹, 张国斌¹, 肖雪梅^{1,2}, 郁继华^{1,2}

(1. 甘肃农业大学园艺学院 兰州 730070; 2. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室 兰州 730070)

摘要: 为了探究不同药剂对小菜蛾的防治效果及对松花菜产量与品质的影响, 设置不施药(CK1)、喷施阿维菌素(CK2)、20 亿 PIB·mL⁻¹ 甘蓝夜蛾核型多角体病毒(T1)、16 000 IU·L⁻¹ 苏云金杆菌(T2)、60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素(T3)、3% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(T4)和 3% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐+有机硅(T5)等 7 个处理。结果表明, T3 和 T5 具有较好的速效性, 在药后 3 d 对小菜蛾的防效可达到 61.18% 和 71.89%。T1 具有较好的持效性, 在药后 9 d 的防效最好, 为 85.21%, 较 CK2 提升了 19.34%。T1、T2 的产量较 CK2 分别提高了 18.34% 和 15.36%, 且 T1 处理花球中的可溶性蛋白、可溶性糖、维生素 C、游离氨基酸含量分别较 CK2 提高 2.83%、26.19%、5.37%、1.92%。主成分分析结果显示, 不同处理的得分由高到低依次为 T1>T2>T5>T4>CK2>T3>CK1。综上所述, 喷施 20 亿 PIB·mL⁻¹ 甘蓝夜蛾核型多角体病毒可有效防治小菜蛾, 并有利于松花菜产量和品质的提升, 可用于高原露地松花菜的安全高效栽培。

关键词: 松花菜; 生物农药; 小菜蛾; 品质; 产量

中图分类号: S635.3 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2022)05-090-06

Control efficiency of different pesticides on *Plutella xylostella* L. and its effect on cauliflower yield and quality

GAO Chengfei¹, LI Ju¹, WANG Rui¹, WU Qian¹, LI Lushan¹, LÜ Jian¹, ZHANG Guobin¹, XIAO Xue-mei^{1,2}, YU Jihua^{1,2}

(1. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. Key Laboratory of Crops in Drought Habitat of Gansu Province, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: *Plutella xylostella* L. is a serious pest in the production of cauliflower. In this experiment, 7 treatments including no pesticide (CK1), spraying avermectin (CK2), 20 billions PIB·mL⁻¹ Mamestr brassicae nucler polyhedrosis virus (T1), 16 000 IU·L⁻¹ Bacillus thuringiensis (T2), 60 g·L⁻¹ ethylspinosad (T3), 3% emamectin benzoate (T4), and 3% emamectin benzoate + silicone (T5) were used. The control efficiency of different insecticides on *Plutella xylostella* L. and their effect on the yield and quality of cauliflower were studied. The results showed that T3 and T5 had fast effect, and the control efficiency on was 61.18% and 71.89% after 3 days. T1 had a stable performance, the best control efficiency was 85.21% after 9 days, 19.34% higher than that of CK2. Compared with CK2, the yield of T1 and T2 increased by 18.34% and 15.36%, respectively. The content of soluble protein, soluble sugar, Vitamin C and free amino acid in T1 treatment was higher than those in other treatments. Principal component analysis of the data showed that the scores of spraying treatments were, from high to low, T1>T2>T5>T4>CK2>T3>CK1. Spaying 2 billions PIB·mL⁻¹ Mamestr brassicae nucler polyhedrosis virus can effectively control *Plutella xylostella* L. and promote the yield and quality of cauliflower.

Key words: Cauliflower; Pesticides; *Plutella xylostella* L.; Quality; Yield

收稿日期: 2021-11-10; 修回日期: 2022-03-03

基金项目: 甘肃省教育厅产业支撑计划项目(2021CYZC-45); 国家现代农业产业技术体系专项资金项目(CARS-23-B-03); 甘肃省自然科学基金(20JR10RA513); 甘肃省高等学校科研项目(2021B-141)

作者简介: 高程斐, 男, 在读硕士研究生, 主要从事蔬菜栽培生理与品质调控研究。E-mail: 2689175597@qq.com

通信作者: 肖雪梅, 女, 副教授, 主要从事蔬菜栽培生理与品质调控研究。E-mail: xiaoxm@gsau.edu.cn

郁继华, 男, 教授, 主要从事蔬菜生理与设施栽培研究。E-mail: yujihua@gsau.edu.cn

松花菜(*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.)属十字花科(*Brassicaceae* Burnett)芸薹属(*Brassica* L.),其花球营养丰富,长期食用可增强免疫力,防止感冒和坏血病的发生,亦可降低乳腺癌、直肠癌和胃癌等癌症的发病概率^[1],深受消费者欢迎。随着栽培面积的扩大,小菜蛾(*Plutella xylostella* L.)对松花菜的危害日益严重。小菜蛾在幼虫初龄阶段啃食松花菜叶肉,并在表皮上留下透明的斑点,至3~4龄阶段进入暴食期,啃食叶片造成大小不一的孔洞,危害严重时仅剩叶脉,造成松花菜减产达20%~50%^[2-3]。据统计,澳大利亚每年13.6万hm²的蔬菜受到小菜蛾危害,全世界每年防治小菜蛾的费用高达40亿~50亿美元^[4]。目前,小菜蛾防治以化学防治为主,包括有机磷、有机氯、氨基甲酸酯、除虫菊酯和昆虫生长抑制剂喷施等^[5],但由于施用频繁,剂量大,导致小菜蛾的抗药性明显增强,对甲胺磷和阿维菌素表现出极高的抗性倍数,对氰戊菊酯的抗性倍数在300.6~723.6倍,属于极高抗水平^[6-8]。另外,化学农药的大量施用导致作物中农药残留超标,美国波士顿和印度勒克瑙的果蔬农残检出率分别为82%和58%^[9-10],均存在超标;海南青辣椒农残检测中吡虫啉检出率达27.3%,不合格率为41%^[11]。已有研究表明,农药过量施用还会导致作物营养和风味品质下降,长期喷施杀虫剂丙溴磷和吡蚜酮均会使稻米产生异味,施用三唑酮会使蔬菜损失原有的香气^[12]。而溴氰菊酯会降低茶叶中茶多酚、咖啡碱和茶氨酸的含量^[13],使茶汤原有的醇香鲜爽味受到影响。因此,迫切需要开发和利用更加绿色、健康和高效的农药。

相对于化学农药,生物农药具有易分解、不易污染环境、对靶标害虫针对性强和毒性比较低的特点^[14]。刘新社等^[15]研究表明,1000亿·g⁻¹枯草芽孢杆菌和1%蛇床子素对黄瓜白粉病的防效可达88.26%和86.17%,且能够提高黄瓜的可溶性固形物、可溶性总糖、维生素C、可溶性蛋白含量,降低亚硝酸盐含量。刘子欢等^[16]研究苏云金杆菌亚致死浓度处理害虫美国白蛾(*Hyphantria cunea*)及对其寄生性天敌周氏啮小蜂(*Chouioia cunea*)后代的影响,结果显示为促进作用。郭梅燕等^[17]报道1.0×10¹¹孢子·mL⁻¹短稳杆菌悬浮剂、0.5%苦参碱水剂和32000IU·mg⁻¹苏云金杆菌可湿性粉剂对烟青虫(*Heliothis assulta*)的防效均在80%以上。然而,有关生物农药与化学农药对松花菜小菜蛾防治效果的比较尚缺乏数据支撑,尤其是不同种类农药对其产量和品质的

影响方面鲜有报道。笔者施用不同种类的生物农药、高效化学农药和增效剂等,研究其对松花菜小菜蛾的防治效果及对产量和品质的影响,并采用主成分分析法对各处理的优劣进行综合评价,以为松花菜的绿色、高效、高品质生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2021年4—7月在甘肃省榆中县清水驿稠泥河村进行,平均海拔1717m。属于温带大陆性半干旱气候,年平均气温6.7℃,年均降水量400mm,年均湿度65%,无霜期150d,年均蒸发量1450mm。试验田地势平坦,肥力中等均匀,土壤类型为黄绵土。

1.2 材料

供试松花菜品种为力禾(台湾力禾国际实业有限公司),该品种适应性、抗病性、抗热性较强。供试农药为20亿PIB·mL⁻¹甘蓝夜蛾核型多角体病毒悬浮剂(江西新龙生物科技股份有限公司),16000IU·mg⁻¹苏云金杆菌(康欣生物科技有限公司),5%阿维菌素(珠海市华夏生物制药有限公司),3%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(济南绿霸农药有限公司),60g·L⁻¹乙基多杀菌素(美国陶氏益农公司),有机硅(石家庄农信生物科技集团有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验共设置7个处理,每个处理3次重复,采用随机区组设计,每个小区面积为34.2m²(34.2m×1.0m)。松花菜于2021年4月20日在甘肃省榆中县清水驿稠泥河村进行定植,7月15日采收。采用平畦覆膜大小行的栽培模式,三角形定植,株距60cm,大行距60cm,小行距50cm。采用常规叶面喷雾方法,对松花菜植株进行自上而下均匀喷药。每隔10d喷施1次,共喷施3次。各处理具体喷药量及喷药时间见表1。

1.3.2 调查方法 在喷药前调查虫口基数,在每次喷药后3、6、9d分别对各处理进行虫口数调查。每小区以对角线5点取样,每点4株,共20株,并做标记。根据每次调查结果取平均值计算虫口减退率和防效^[2]。

虫口减退率/%=(施药前虫口基数-施药后活虫数)/施药前虫口基数×100;

防效/%=(处理区虫口减退率-对照区虫口减退率)/(1-空白对照区虫口减退率)×100。

表1 不同处理农药施用量及喷药时间

处理	药剂种类	药剂类型	总药剂量/ (mL·667 m ²)	喷药量/(mL·667 m ²)		
				第1次(2020-06-15)	第2次(2020-06-25)	第3次(2020-07-05)
CK1	不喷药					
CK2	阿维菌素(当地施药量)	化学农药	195	65	65	65
T1	20亿 PIB·mL ⁻¹ 甘蓝夜蛾核型多角体病毒	生物农药	300	100	100	100
T2	16 000 IU·L ⁻¹ 苏云金杆菌	生物农药	195	65	65	65
T3	60 g·L ⁻¹ 乙基多杀菌素	化学农药	90	30	30	30
T4	3% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	化学农药	15	5	5	5
T5	3% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐+有机硅	化学农药	15+30	5+10	5+10	5+10

1.3.3 测定指标与方法 待松花菜花球达到采收标准后,除去有边际效应的植株,每小区随机选取15株松花菜整株称量并数其叶片,用于计算生物产量(kg·667 m²)和叶片数;每小区随机选取15株松花菜花球称量并测量纵横径,用于计算经济产量(kg·667 m²);另外,每小区随机选取3株松花菜花球用于测定品质。经济产量=单球质量×株数;经济系数=经济产量/生物产量。

参照王学奎^[8]的方法,使用紫外分光光度计(UV-1800)测定品质指标。采用水杨酸法测定硝酸盐含量;采用2,6-二氯酚法测定维生素C含量;采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量;采用考马斯亮蓝G-250比色法测定可溶性蛋白含量;采用水合茚三酮比色法测定总游离氨基酸含量;采用氯化钡比色法测定总硫苷含量。

1.4 数据处理

运用 Excel 2016 对数据进行处理及作图,运用 SPSS 19.0 进行单因素方差分析及主成分分析,并

运用 Duncan's 检验法对显著性差异进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同喷药处理对松花菜小菜蛾田间防效的影响

由表2可以看出,不同药剂处理对松花菜小菜蛾均有一定的防治效果。喷药后3d,T5处理防治小菜蛾的效果最好,防效可达到71.89%;其次是T3,为61.18%;CK2防效最差,防效未达到50%,显著低于其他各处理。药后6d,各施药处理对小菜蛾的防效较喷药3d均有所上升,均达60%以上;其中T1防效最好,达到84.99%;其次是T2,防效也达到80%以上;CK2、T4防效较差,分别为60.23%、67.46%,但二者之间无显著性差异。药后9d,T4、T3和CK2的防效均低于80%,分别为78.85%、76.19%和71.40%;其他3种药剂防效均高于80%,其中T1防效最高,达到85.21%。

表2 不同喷药处理对小菜蛾田间的防治效果

处理	虫口基数	药后3d		药后6d		药后9d	
		虫口减退率/%	防效/%	虫口减退率/%	防效/%	虫口减退率/%	防效/%
CK1	33						
CK2	24	43.39±0.32 d	45.05±0.51 e	56.61±0.74 d	60.23±0.48 d	70.31±0.29 c	71.40±0.23 b
T1	29	50.88±0.48 c	52.32±0.85 d	83.62±0.58 a	84.99±0.27 a	82.75±0.64 a	85.21±1.04 a
T2	21	55.56±0.15 bc	56.86±0.02 b	79.01±0.26 ab	80.76±4.93 a	77.78±0.38 ab	80.95±0.04 a
T3	25	60.00±0.77 b	61.18±0.02 b	67.78±0.94 c	70.46±1.02 bc	72.22±0.18 bc	76.19±0.95 ab
T4	27	55.41±0.59 bc	56.72±0.84 c	64.50±1.06 c	67.46±4.14 cd	75.33±0.55 b	78.85±2.80 ab
T5	31	71.03±0.98 a	71.89±2.34 a	74.74±1.15 b	76.84±1.68 ab	78.44±1.96 ab	81.52±4.57 a

注:同列数据后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

2.2 不同喷药处理对松花菜产量及其构成因素的影响

由表3可看出,不喷药处理(CK1)下松花菜的生物产量、经济产量及其构成因素均低于其他处理,表明喷施农药可通过减轻小菜蛾的危害,进而提高松花菜的产量。与CK2相比,T1、T2的经济产量分别显著提高了18.34%、15.36%,单球质量分别

显著提高了18.40%、15.34%,T3、T4、T5在生物产量、经济产量、花球单球质量与CK2相比也均有提升,但并未达到显著水平。除CK1处理花球纵径高于T5外,不喷药处理CK1的花球纵、横径都低于其他处理,T1处理花球纵、横径均最大,尤其是纵径显著高于T2、T3、T4和T5处理。T1、T2、T3、T4和T5处理的经济系数分别较CK2显著提高9.63%、

表3 不同喷药处理对松花菜产量及其构成因素的影响

处理	单球质量/kg	生物产量/ (kg·667 m ²)	经济产量/ (kg·667 m ²)	经济系数/ %	叶片数	花球横径/ cm	花球纵径 /cm
CK1	1.48±0.05 c	7 996.68±422.57 b	2 942.54±108.14 c	36.80±0.09 b	18.85±0.32 a	19.84±0.28 a	10.50±0.57 c
CK2	1.63±0.06 bc	8 839.54±219.70 ab	3 231.43±112.82 bc	36.56±0.54 b	19.25±0.43 a	20.43±0.28 a	11.89±0.31 ab
T1	1.93±0.06 a	9 540.42±214.00 a	3 824.11±121.65 a	40.08±0.26 a	19.05±0.29 a	20.77±0.31 a	12.28±0.28 a
T2	1.88±0.09 a	9 456.04±296.33 a	3 727.81±187.57 a	39.42±0.48 a	18.40±0.36 a	20.02±0.68 a	11.01±0.29 bc
T3	1.73±0.05 ab	8 954.70±241.74 a	3 431.97±92.80 ab	38.33±0.17 a	19.10±0.30 a	19.91±0.29 a	10.64±0.25 c
T4	1.76±0.07 ab	8 795.85±302.01 ab	3 491.54±135.11 ab	39.70±0.22 a	18.40±0.30 a	20.22±0.50 a	10.63±0.17 c
T5	1.76±0.07 ab	8 777.98±221.86 ab	3 487.57±138.04 ab	39.73±0.31 a	19.45±0.28 a	20.58±0.46 a	10.26±0.28 c

7.82%、4.84%、8.59%和 8.67%。

2.3 不同喷药处理对松花菜品质的影响

由表 4 可知,不同施药处理下松花菜可溶性蛋白含量与 CK2 相比差异均不显著。T1 处理下可溶性糖含量显著高于其他处理,较 CK2 提高 26.19%, T2 的可溶性糖含量最低,仅有 1.89%。与 CK2 相比, T1 的总游离氨基酸含量提高了 1.92%,但差异不显著。而 T2、T3、T4、T5 的总游离氨基酸含量分

别显著下降了 17.30%、10.90%、16.03%、15.38%。T1 处理松花菜花球维生素 C 含量最高,其次是 T5 和 T2,三者分别比 CK2 提高 5.53%、1.82%、1.26%。T1、T2 处理的硝酸盐较 CK2 分别显著降低 29.88%、17.56%。从各处理间总硫苷含量来看, CK1 的总硫苷含量最高,其次是 CK2。与 CK2 相比, T1、T2、T5 的总硫苷含量分别降低了 28.91%、29.75%、32.70%,且差异显著。T3、T4 较 CK2 也有

表4 不同喷药处理对松花菜品质的影响

处理	w(可溶性蛋白)/ (mg·g ⁻¹)	w(可溶性糖)/ %	w(总游离氨基酸)/ (mg·g ⁻¹)	w(维生素 C)/ (mg·100 g ⁻¹)	w(硝酸盐)/ (mg·kg ⁻¹)	b(总硫苷)/ (μmol·g ⁻¹)
CK1	2.06±0.05 ab	2.54±0.13 b	1.46±0.02 ab	53.26±1.28 c	692.62±19.74 a	37.87±3.00 a
CK2	2.12±0.04 ab	2.52±0.16 b	1.56±0.04 a	57.01±1.40 ab	530.70±11.23 b	36.94±2.08 a
T1	2.18±0.04 a	3.18±0.11 a	1.59±0.07 a	60.16±0.44 a	372.08±5.84 c	26.26±0.27 b
T2	2.08±0.08 ab	1.89±0.05 c	1.29±0.03 c	57.73±1.03 ab	437.50±15.25 c	25.95±1.90 b
T3	1.95±0.08 b	2.07±0.04 c	1.39±0.08 bc	56.82±1.59 abc	599.05±11.40 b	34.83±1.35 a
T4	2.08±0.04 ab	2.46±0.10 b	1.31±0.02 bc	55.69±0.82 bc	574.56±10.98 b	33.19±1.14 a
T5	2.10±0.06 ab	2.56±0.16 b	1.32±0.04 bc	58.05±0.95 ab	593.20±18.16 b	24.86±0.75 b

下降,但差异并不显著。

2.4 不同喷药处理对松花菜小菜蛾防治效果、产量和品质影响的主成分分析及综合评价

将 7 个处理与小菜蛾防效、松花菜产量及品质有关的 15 个指标作为分析指标进行主成分分析,得到主成分特征值、方差贡献率和累计方差贡献率。试验中按照特征值大于 1 及累计贡献率大于 85%的原则,提取了 3 个主成分。由表 5 所示,主成分 1 的特征值为 8.88,代表 7 个处理 15 项指标的 59.17%的信息;主成分 2 的特征值为 2.69,代表 7 个处理 15 项指标的 17.95%的信息;主成分 3 的特征值为 1.55,代表 7 个处理 15 项指标的 10.34%的信息。前 3 个主成分累计方差贡献率为 87.45%,表

表5 主成分分析的特征值及方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
主成分 1 (F1)	8.88	59.17	59.17
主成分 2 (F2)	2.69	17.95	77.12
主成分 3 (F3)	1.55	10.34	87.45

明这 3 个主成分反映了原始变量 87.45%的信息。因此,提取前 3 个主成分代替原 15 个指标评价不同种类农药对小菜蛾防效和对松花菜产量及品质的影响,达到了降维的目的。

主成分的载荷矩阵旋转之后载荷系数若更接近 1 或更接近 0,这样得到的主成分能够更好地解释变量。由表 6 可知,主成分 1 主要综合了药后 3 d 防效、药后 6 d 防效、药后 9 d 防效、单球质量、生物产量、经济产量、维生素 C 含量这 7 个指标的信息。主成分 2 主要综合了游离氨基酸含量、花球纵径、花球横径、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、叶片数、总硫苷含量这 7 个指标的信息。主成分 3 主要综合了硝酸盐含量这 1 个指标的信息。

如表 6 所示,用各指标的主成分载荷除以相对应主成分特征值的平方根,得到 3 个主成分中每个指标所对应的系数即特征向量,以特征向量为权重构建 3 个主成分的表达式:

$$Z_1=0.295X_1+0.322X_2+0.320X_3+0.272X_4+0.300X_5+$$

表6 主成分分析的旋转载荷矩阵及特征向量

指标	F1		F2		F3	
	载荷值	特征向量	载荷值	特征向量	载荷值	特征向量
药后3d防效	0.880	0.295	-0.193	-0.118	0.261	0.210
药后6d防效	0.958	0.322	0.066	0.040	0.244	0.196
药后9d防效	0.953	0.320	0.076	0.047	0.061	0.049
单球质量	0.810	0.272	0.207	0.126	0.498	0.400
生物产量	0.893	0.300	0.275	0.168	0.201	0.161
经济产量	0.810	0.272	0.207	0.126	0.498	0.400
叶片数	0.042	0.014	0.199	0.121	-0.162	-0.130
花球横径	0.411	0.138	0.714	0.435	0.276	0.221
花球纵径	0.381	0.128	0.842	0.513	-0.315	-0.253
可溶性糖含量	-0.178	-0.060	0.853	0.520	0.242	0.194
可溶性蛋白含量	0.096	0.032	0.869	0.530	0.255	0.205
游离氨基酸含量	-0.399	-0.134	-0.273	-0.167	-0.801	-0.643
维生素C含量	0.814	0.273	0.438	0.267	0.283	0.227
硝酸盐含量	-0.720	-0.242	-0.567	-0.346	-0.175	-0.140
总硫苷含量	-0.525	-0.176	-0.115	-0.070	-0.784	-0.630

$$0.272X_6 + 0.014X_7 + 0.138X_8 + 0.128X_9 - 0.060X_{10} + 0.032X_{11} - 0.134X_{12} + 0.273X_{13} - 0.242X_{14} - 0.176X_{15};$$

$$Z_2 = 0.118X_1 + 0.040X_2 + 0.047X_3 + 0.126X_4 + 0.168X_5 + 0.126X_6 + 0.121X_7 + 0.435X_8 + 0.513X_9 + 0.520X_{10} + 0.530X_{11} - 0.167X_{12} + 0.267X_{13} - 0.346X_{14} - 0.070X_{15};$$

$$Z_3 = 0.210X_1 + 0.196X_2 + 0.049X_3 + 0.400X_4 + 0.161X_5 + 0.400X_6 - 0.130X_7 + 0.221X_8 - 0.253X_9 + 0.194X_{10} + 0.205X_{11} - 0.643X_{12} + 0.227X_{13} - 0.140X_{14} - 0.630X_{15}.$$

在以上3个表达式中, $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}$ 为 Z-score 法标准化后的15个指标的标准值, 同时, 在标准化的过程中对负向指标硝酸盐含量进行了取负数的正向化处理。以各个主成分对应的方差贡献率作为权重, 由主成分得分和对应的权重线性加权求和得到综合评价函数如下:

$$\text{综合得分} = 0.592Z_1 + 0.179Z_2 + 0.103Z_3.$$

根据主成分综合得分模型, 可计算出7个处理15个指标的综合得分和排序(表7)。综合得分从高到低依次为 $T1 > T2 > T5 > T4 > CK2 > T3 > CK1$ 。

表7 不同喷药处理的综合得分和排序

处理	Z_1	Z_2	Z_3	综合得分	排序
CK1	-14.63	-4.62	-5.67	-10.07	7
CK2	-1.52	1.32	-3.02	-0.97	5
T1	9.03	8.22	5.08	7.34	1
T2	5.32	-0.35	2.49	3.34	2
T3	-0.49	-3.99	-1.46	-1.15	6
T4	-0.20	-1.12	0.46	-0.27	4
T5	2.48	0.54	2.13	1.78	3

3 讨论与结论

小菜蛾是松花菜生产过程中危害最大的害虫之一, 目前小菜蛾的防治以化学农药为主, 常用的化学农药有阿维菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素等。阿维菌素是一种神经性毒剂, 阻断害虫神经传导系统, 产生麻痹而造成死亡^[19]。本试验中阿维菌素在喷施后6d和9d的防效分别达到了60.23%和71.40%, 防效低于其他处理。已有研究表明, 小菜蛾对阿维菌素的抗性, 呈现出指数上升趋势, 在华中、江西、陕西、广东、湖南等地区田间小菜蛾种群对阿维菌素均表现为高水平抗性^[20]。与阿维菌素相比, 喷施3%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐虫口减退率增高, 表明甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对小菜蛾有更强的致死性。这与黄保全等^[21]的研究结果相一致, 刘继荣^[22]同样报道, 5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐在药后7d对花椰菜夜蛾的防效为83.09%。本试验研究结果表明, 用生物农药替代化学农药防治松花菜小菜蛾具有更好效果。苏云金杆菌是一种胃毒剂, 在碱性中肠液和特殊蛋白酶的作用下, 可降解为具有毒素活性的分子, 破坏渗透膜, 引起细胞溶解, 最终导致小菜蛾中毒死亡^[23-25]。本试验在喷施苏云金杆菌3d后, 与3%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐相比, 对松花菜小菜蛾的防效和虫口减退率下降并不显著, 速效性低于化学农药, 但药后6d和9d, 苏云金杆菌的防效都在80%以上, 其趋势与余修华^[26]用15 000 IU·mg⁻¹苏云金杆菌水分散粒剂防治甘蓝甜菜夜蛾研究结果一致。张永春等^[27]同样研究表明, 15 000 IU·mg⁻¹苏云金杆菌水分散粒剂在药后10d对甘蓝甜菜夜蛾的防效均达到95.75%以上, 表明苏云金杆菌有良好的持效性。本试验中, 持效性最好的是20亿 PIB·mL⁻¹甘蓝夜蛾核型多角体病毒, 药后6d防效为84.99%, 药后9d防效达到85.21%。占军平等^[28]同样研究表明, 用20亿 PIB·mL⁻¹甘蓝夜蛾核型多角体病毒悬浮剂用于防治草地贪夜蛾, 药后7d防效达到85%以上。甘蓝夜蛾核型多角体病毒之所以有较好的持效性, 可能归功于其强烈的胃毒作用, 小菜蛾幼虫自感染病毒至达到死亡高峰需6~8d^[29]。

生物农药防治病害是目前实现绿色、无公害、无残留农业生产的重要环节, 生物农药除对病害具有防治作用外还能提高农作物的品质, 增加产量。有研究表明^[30], 化学农药破坏植株正常的生理活动, 影响植株的营养成分及酶活性, 从而影响品质, 而

生物农药有利于植株的生理活动,促进植株体内物质合成,提高酶活性,提高作物品质。刘新社等^[15]研究表明,生物农药能够提高设施和露地黄瓜的可溶性固形物、可溶性总糖、维生素 C、可溶性蛋白含量,降低亚硝酸盐含量。本试验中,与化学农药阿维菌素相比,20 亿 PIB·mL⁻¹甘蓝夜蛾核型多角体病毒和苏云金杆菌处理下松花菜的产量和可溶性蛋白含量等均有提高,与前人研究结果一致。可能是由于施药后,生物农药能诱导植株产生抗性,保证生理活动顺利进行,使叶片能够充分有效地进行光合作用,增加有机物质的合成与积累^[31]。施用化学农药后,在作物的生长代谢过程中,农药与作物体内的酶、蛋白质、糖原等发生反应,破坏植物正常的生理活动,从而影响作物的品质。李钦等^[32]研究表明,有机磷农药对作物体内 POD 酶活性具有抑制作用,进而影响作物内含物的产生。本试验中,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和乙基多杀菌素处理下松花菜中可溶性糖、可溶性蛋白、总游离氨基酸含量的下降可能与此有关。

60 g·L⁻¹乙基多杀菌素和 3%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐+有机硅具有较好的速效性,在药后 3 d 对小菜蛾的防效可达到 61.18%和 71.89%。20 亿 PIB·mL⁻¹甘蓝夜蛾核型多角体病毒具有较好的持效性,在药后 9 d 的防效为 85.21%。且 20 亿 PIB·mL⁻¹甘蓝夜蛾核型多角体病毒处理产量和花球中的可溶性蛋白、可溶性糖、维生素 C、游离氨基酸含量均高于其他处理。主成分分析结果显示,得分最高的处理是 20 亿 PIB·mL⁻¹甘蓝夜蛾核型多角体病毒悬浮剂。综上所述,20 亿 PIB·mL⁻¹甘蓝夜蛾核型多角体病毒悬浮剂是防治松花菜小菜蛾的最佳生物源药剂,可代替化学农药使用,实现松花菜无公害、低残留、高品质和高产量的生产。

参考文献

- [1] 张景云,万新建,关峰,等.不同松花菜品种生长情况及营养品质分析[J].中国瓜菜,2019,32(12):68-72.
- [2] 陈诚.高效氯氟氰菊酯与苦参碱混配对小菜蛾的防治作用研究[D].合肥:安徽农业大学,2019.
- [3] 黄宇萍.小菜蛾诱导的甘蓝挥发性物质及其效应[D].福州:福建农林大学,2012.
- [4] ZALUCKI M P, SHABIR A, SILVA R, et al. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (L.) just how long is a piece of string?[J]. Journal of Economic Entomology, 2012, 105(4):1115-1129.
- [5] 牛丽洋.小菜蛾先天免疫系统对苏云金芽孢杆菌的免疫应答机制探究[D].厦门:厦门大学,2019.
- [6] ABRO G H, SYED T S, KALHOR A N, et al. Insecticides for control of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) in Pakistan and factors that affect their toxicity[J]. Crop Protection, 2013, 52:91-96.
- [7] 符伟,魏娟,王秋丽,等.湖南不同地区小菜蛾对药剂敏感性比较[J].应用昆虫学报,2012,49(2):477-481.
- [8] WANG Y F, WEI R J, ZHU H, et al. Determination of resistance to seven insecticides in *Plutella xylostella* L. in fields of northern Hunan[J]. Agricultural Science and Technology, 2015, 16(3):553-555.
- [9] CHEN M, TAO L, MCLEAN J, et al. Quantitative analysis of neonicotinoid insecticide residues in foods: implication for dietary exposures[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(26):6082-6090.
- [10] KAPOOR U, SRIVASTAVA M K, TRIVEDI P, et al. Disposition and acute toxicity of imidacloprid in female rats after single exposure[J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 68:190-195.
- [11] 邹志博.2016年南方5省150份青辣椒农药残留监测分析[J].现代预防医学,2018,45(21):4025-4028.
- [12] 杨孝彩,王隆都.农药对农产品质量安全的影响与对策[J].中国食物与营养,2009(11):10-12.
- [13] 蒋中正,盛亮,邓威威,等.喷施溴氰菊酯对茶树主要特征性次生代谢物含量的影响[J].热带作物学报,2013,34(2):321-324.
- [14] 邱德文.生物农药的发展现状与趋势分析[J].中国生物防治学报,2015,31(5):679-684.
- [15] 刘新社,陈妍.生物农药对设施和露地黄瓜白粉病的防效及其品质和产量的影响[J].河南农业科学,2019,48(3):95-99.
- [16] 刘子欢,陆秀君,李瑞军,等.苏云金杆菌亚致死浓度对美国白蛾及其寄生蜂生长发育的影响[J].植物保护学报,2015,42(2):278-282.
- [17] 郭梅燕,陈玉国,王雪芬,等.生物农药在烟田烟青虫/棉铃虫防治中的应用效果[J].烟草科技,2020,53(7):19-25.
- [18] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2006:186-207.
- [19] 樊乐.阿维菌素生产菌种的选育及发酵工艺的优化[D].呼和浩特:内蒙古大学,2017.
- [20] 朱航.湖南部分地区小菜蛾抗性监测及小菜蛾 *ABCG2* 基因的表达特征研究[D].长沙:湖南农业大学,2015.
- [21] 黄保全,刘刚,张康,等.5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂防治甘蓝小菜蛾效果研究[J].现代农业科技,2014(18):140.
- [22] 刘继荣.花椰菜甜菜夜蛾田间药效对比试验[J].安徽农学通报,2019,25(13):118.
- [23] 刘晨,王祯,朱先约,等.苏云金芽孢杆菌的分离鉴定及伴孢晶体蛋白生物毒力效果分析[J].华北农学报,2020,35(S1):355-362.
- [24] 李依韦,尹萌萌,袁琴.苏云金芽孢杆菌毒性研究[J].安徽农业科学,2019,47(20):159-161.
- [25] 张啸天.苏云金芽孢杆菌复合生物杀虫剂防治美国白蛾的增效作用及复配制剂的研制[D].合肥:安徽农业大学,2018.
- [26] 余修华.甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和苏云金杆菌对甘蓝甜菜夜蛾的防治效果研究[J].现代农业科技,2018(22):91.
- [27] 张永春,周杜浪,杨晓刚,等.烟青虫生物防治药剂的筛选[J].贵州农业科学,2012,40(6):124-127.
- [28] 占军平,张安明,邓方坤,等.甘蓝夜蛾核型多角体病毒悬浮剂防治草地贪夜蛾的应用与推广[J].中国生物防治学报,2020,36(6):872-873.
- [29] 王希,舒宽义,郭年梅,等.甘蓝夜蛾核型多角体病毒等药剂对玉米草地贪夜蛾的田间防效初探[J].农药科学与管理,2020,41(2):44-48.
- [30] 胡井荣.化学农药对水稻生理生化和品质的影响及其残留效应分析[D].江苏扬州:扬州大学,2008.
- [31] 张志敏,侯发民,张绍阳,等.植物源农药对刺梨白粉病田间防效及其品质和产量的影响[J].植物保护,2020,46(5):276-280.
- [32] 李钦,郑微云,王重刚,等.有机磷农药对坛紫菜过氧化物酶(POD)活性影响的研究[J].厦门大学学报(自然科学版),2003,42(2):201-204.