

不同浓度大丽花轮枝孢激活蛋白对草莓产量和品质的影响

赵磊¹, 孙海¹, 李小凤², 王洪宇¹, 王步云¹, 魏肖楠³, 郑书恒¹, 乔岩^{1*}

(1. 北京市植物保护站, 北京 100120; 2. 北京市农产品质量安全中心, 北京 100029; 3. 武乡现代农业产业示范区管委会, 山西 长治 046300)

摘要:大丽花轮枝孢激活蛋白(VDAL)是一种新型植物免疫激活蛋白,叶面喷施后可调节植物激素的信号传导途径,通过调节植物钙调蛋白(CaM)、脂氧合酶2(LOX 2)等,激活植物自身的免疫机制,诱导植物产生系统抗性,促进植物生长发育。本试验进行了红颜草莓叶面喷施不同浓度VDAL的研究,通过对果实数量、重量和畸形果数的调查和对营养成分含量的检测,评价VDAL对红颜草莓产量和品质的影响。结果表明,VDAL 3 000倍液处理组与清水对照处理相比,草莓果实数量增加10.64%,产量提高6.85%,Vc含量提高29.66%,可溶性糖含量提高21.04%,畸形果率降低7.13%。红颜草莓自盛花期开始,连续叶面喷施VDAL 3次,每次间隔20 d,能增加草莓的果实数量和产量,提高Vc含量和可溶性糖含量,降低畸形果率。

关键词:植物激活蛋白;大丽花轮枝孢激活蛋白(VDAL);草莓产量;果实品质

中图分类号:S668.4

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2024)03-0075-05

Effects of Different Concentrations of *Verticillium Dahliae* Allergen Asp f2-like (VDAL) on Yield and Quality of Strawberry

ZHAO Lei¹, SUN Hai¹, LI Xiaofeng², WANG Hongyu¹, WANG Buyun¹, WEI Xiaonan³, ZHENG Shuheng¹, QIAO Yan^{1*}

(1. Beijing Plant Protection Station, Beijing 100120; 2. Beijing Agricultural Products Quality and Safety Center, Beijing 100029; 3. Wuxiang Modern Agricultural Industry Demonstration Zone Administrative Committee, Changzhi 046300, China)

Abstract: *Verticillium dahliae* Allergen Asp f2-like(VDAL) is a new kind of plant activator protein. After sprayed on leaves, it can activate immunologic mechanism of plants, induce systemic defense, promote plant growth and development by regulating the signal transduction pathway of plant hormones including Calmodulin (CaM) and Lipoxigenase 2 (LOX 2) etc.. In this assay, different concentrations of VDAL was sprayed on benihoppe leaves, the effects of VDAL on yield and quality of strawberry were evaluated by investigating the parameters of strawberry including fruit number, weight and abnormal fruit number. The results showed that compared with the control, the number of strawberry fruits increased 10.64%, the yield increased 6.85%, the Vc content increased 29.66%, the soluble sugar content increased 21.04%, and the abnormal fruit rate decreased 7.13% by spraying 3,000 times dilution. For benihoppe production, spraying 3 times from full bloom stage with 20 days interval could increase fruit quantity and yield, increase Vc content and soluble sugar content, and reduce abnormal fruit ratio.

Key words: plant activator protein; *Verticillium dahliae* Allergen Asp f2-like(VDAL); strawberry yield; fruit quality

收稿日期:2023-05-16

基金项目:北京市科技计划项目(Z181100009318013);北京市农业农村局农业科技项目(20190109)

作者简介:赵磊(1986-),男,高级农艺师,硕士,主要从事病虫害绿色防控技术推广工作。

通信作者:乔岩,女,博士,正高级农艺师,E-mail: qy0914@126.com

植物激活蛋白是一种从真菌或者细菌中提取的热稳定蛋白,能诱导和激活植物对病虫害的抗性,调节植物生长代谢系统,促进生长,提高产量,改善品质,且无毒无残留,对环境友好^[1]。在蔬菜、粮食作物和大田经济作物上应用植物激活蛋白,不仅具有促生、增产、提质、抗病、抗逆的效

果^[2-4],还对保障农产品质量和保护农业生态环境具有重要意义。

中国农业大学生物学院将大丽花轮枝孢激活蛋白(*Verticillium dahliae* Allergen Asp f2-like, VDAL)创制成新型生物工程蛋白干粉制剂,植物叶面吸收后可调节植物激素的信号传导途径,通过调节植物钙调蛋白(CaM)、脂氧合酶2(LOX 2)等,激活植物自身的免疫机制,诱导植物产生系统抗性,促进植物生长发育^[5]。研究表明,喷施VDAL能提高水稻的结实率和千粒重^[6],增加花椰菜的茎粗、株高和平均单球质量,提高维生素C含量^[7],但是目前缺乏叶面喷施VDAL对红颜草莓产量和果实品质影响的研究。本试验进行了叶面喷施不同浓度VDAL对红颜草莓果实数量、重量、畸形果数、营养成分含量的影响研究,旨在评价VDAL对草莓产量和品质的作用效果,以期在草莓上应用VDAL提供理论参考和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验分别在北京市植物保护站顺义科技展示基地(2019年11月-2020年5月)和北京万德园农业科技发展有限公司昌平基地(2020年11月-2021年5月)进行,试验草莓品种均为红颜,按照常规生产管理,草莓长势基本一致,前茬作物为草莓。顺义试验地的定植时间是2019年9月1日,密度为9万株/hm²;昌平试验地的定植时间是2020年9月5日,密度为6万株/hm²。

1.2 供试药剂和试验设计

顺义试验:1.5%大丽花轮枝孢激活蛋白可湿性粉剂由北京中捷四方生物科技股份有限公司提供,试验共设6个处理,分别为:VDAL 1 000倍液(A₁)、VDAL 3 000倍液(B₁)、VDAL 5 000倍液(C₁)、VDAL 7 000倍液(D₁)、VDAL 10 000倍液(E₁)和清水对照(CK₁)。每个处理3次重复,随机

区组排列,每个小区宽7 m,长3 m。使用山东卫士ws-16p手动喷雾器进行叶面喷雾,喷施时间为2019年11月23日和12月13日。

昌平试验:为了探索纯VDAL和含有VDAL水溶肥及其他免疫诱抗剂的效果差异,在保留优化3个纯VDAL浓度梯度的基础上,新加入了维大利大量元素水溶肥和维大力微量元素水溶肥混配处理(北京中捷四方生物科技股份有限公司提供)和5%氨基寡糖素水剂(免疫诱抗类,海南正业中农高科技股份有限公司,市售)对照处理。试验设6个处理,分别为:VDAL 1 000倍液(A₂)、VDAL 3 000倍液(B₂)、VDAL 8 000倍液(C₂)、维大利大量元素水溶肥和维大力微量元素水溶肥混配(D₂,以下简称混配处理)、5%氨基寡糖素水剂(E₂,以下简称免疫诱抗对照处理)和清水对照(CK₂)。每个处理3次重复,随机区组排列,每个小区宽7 m,长2 m。使用太仓金港3JWB-16A静电喷雾器进行叶面喷雾,喷施时间为2020年11月13日、12月3日和12月24日。

1.3 调查与分析方法

各处理小区内五点取样,每点圈定5株,2020-2021年每年的1-4月,每月调查记录25株成熟果实的数量、重量和畸形果数,每次调查取3次重复的平均值进行统计分析;每年1-3月,每月送检一次草莓样品至北京市农林科学院蔬菜研究中心营业品质实验室,检测Vc含量(HPLC法)^[8]、可溶性糖含量(蒽酮比色法)^[9]、可滴定酸含量(滴定法)^[10]和可溶性固形物含量(折光仪法)^[11]4个指标,取3次检测结果的平均值进行统计分析。

试验结果采用SPSS 20.0软件进行单因素显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度VDAL对草莓果实数量的影响

表1结果显示,B₁处理和C₁处理的1月、3月

表1 2020年不同浓度VDAL处理对草莓果实数量的影响

个

处理	果实数量				
	1月	2月	3月	4月	合计
A ₁	30.00±2.46	35.67±3.39	42.33±3.71	67.33±5.84	175.33
B ₁	37.67±1.42	41.67±2.10	51.33±7.51	74.33±2.96	204.93
C ₁	35.33±3.46	45.67±5.79	50.00±1.78	75.33±2.96	206.33
D ₁	34.33±4.02	42.67±1.95	49.67±5.73	62.33±3.04	189.00
E ₁	28.33±1.68	37.33±4.29	47.33±8.01	63.00±9.50	175.99
CK ₁	34.00±2.71	46.00±6.29	49.33±4.96	70.00±4.01	199.33

和4月果实数量与CK₁处理相比均有所提高,其中B₁处理的果实数量比CK₁处理分别提高了10.79%、4.05%和6.19%,C₁处理的果实数量比CK₁处理分别提高了3.91%、1.36%和7.61%。从4个月果实数量合计来看,B₁处理和C₁处理的效果最好,与CK₁处理相比分别提高2.81%和3.51%,而A₁处理、D₁处理和E₁处理比CK₁处理分别下降了12.04%、5.18%和11.71%。

由表2可知,B₂处理在2月的果实数量最高,相比CK₂、D₂、E₂处理,均提高39.48%;而D₂处理在1月、3月和4月的果实数量均最高,相比CK₂处理分别提高30.00%、17.42%和35.10%,相比E₂处理分别提高30.00%、68.70%和6.38%。从4个月果实数量合计来看,B₂处理和D₂处理效果最好,B₂处理与CK₂处理、E₂处理相比分别提高18.47%和15.95%,D₂处理与CK₂处理、E₂处理相比分别提高21.01%和18.44%。

表2 2021年不同浓度VDAL处理对草莓果实数量的影响

个

处理	果实数量				
	1月	2月	3月	4月	合计
A ₂	24.00±4.61	32.67±2.67	13.33±1.33	32.67±5.33	102.67
B ₂	29.00±5.20	35.33±2.91	15.33±1.33	29.33±4.67	108.99
C ₂	28.67±3.52	32.00±3.05	10.67±2.40	32.00±4.00	103.34
D ₂	34.67±5.69	25.33±7.51	18.00±3.05	33.33±3.71	111.33
E ₂	26.67±2.90	25.33±7.51	10.67±4.67	31.33±7.05	94.00
CK ₂	26.67±8.19	25.33±3.33	15.33±1.33	24.67±4.05	92.00

2020年和2021年的试验结果表明,VDAL 3 000倍液处理对果实数量的提升效果较好,与清水对照处理相比分别提高2.81%和18.47%,平均提高10.64%和E₂处理相比提高15.95%。

2.2 不同浓度VDAL对草莓果实重量的影响

表3结果显示,B₁处理在1月、3月和4月果实

重量均最高,与CK₁处理相比分别提高了14.20%、2.74%和8.37%。从4个月果实数量合计来看,B₁处理的果实重量最高,为3 968.88 g,比CK₁处理提高2.29%。

由表4可知,B₂处理在3月的果实重量最高,为465.87 g,比CK₂处理提高11.80%,比E₂处理提

表3 2020年不同浓度VDAL处理对草莓果实重量的影响

g

处理	果实重量				
	1月	2月	3月	4月	合计
A ₁	639.49±7.95	755.13±8.97	832.78±10.93	1 141.84±10.97	3 369.24
B ₁	861.74±6.23	850.98±6.15	1 018.14±9.88	1 238.02±5.89	3 968.88
C ₁	771.17±5.28	911.57±7.69	1 002.92±8.47	1 217.80±4.67	3 903.46
D ₁	787.09±11.25	899.45±5.25	982.98±8.72	1 057.38±6.31	3 726.90
E ₁	695.73±8.23	830.02±10.70	956.10±14.34	1 082.96±12.38	3 564.81
CK ₁	754.62±5.96	991.98±7.96	990.97±6.49	1 142.41±15.24	3 879.98

表4 2021年不同浓度VDAL处理对草莓果实重量的影响

g

处理	果实重量				
	1月	2月	3月	4月	合计
A ₂	670.60±8.92	866.98±2.156	376.67±2.10	944.67±6.41	2 858.92
B ₂	1 047.67±7.29	861.33±9.31	465.87±7.17	827.47±3.85	3 202.34
C ₂	966.57±5.83	838.02±10.25	440.28±4.12	837.60±4.44	3 082.47
D ₂	1 399.07±8.89	702.07±7.59	359.00±3.42	962.08±4.59	3 422.22
E ₂	1 048.63±4.33	683.08±4.40	315.52±5.84	919.93±2.90	2 967.16
CK ₂	962.88±9.20	696.72±5.92	416.70±2.56	798.55±3.13	2 874.85

高 47.65%；D₂处理在 1 月和 4 月的果实重量最高，分别为 1 399.07 g 和 962.08 g，相比 CK₂ 处理分别提高 45.30% 和 20.48%，相比 E₂ 处理分别提高 33.42% 和 4.58%。从 4 个月果实重量合计来看，D₂ 处理的果实重量最高，为 3 422.22 g，比 CK₂ 处理和 E₂ 处理分别提高 19.04% 和 15.34%；B₂ 处理果实重量位列第二，为 3 202.34 g，比 CK₂ 处理和 E₂ 处理分别提高 11.39% 和 7.92%。

2020 年和 2021 年的试验结果表明，VDAL 3 000 倍液处理的果实重量表现出较好的提升效果，与清水对照处理相比分别提高 2.29% 和 11.39%，平

均提高 6.85%；与 E₂ 处理相比提高 7.92%。

2.3 不同浓度 VDAL 处理对草莓果实品质的影响

表 5 结果表明，A₁、B₁、C₁、D₁ 处理的果实 Vc 含量与对照存在显著性差异，其中 B₁ 处理的 Vc 含量最高，为 86.80 mg/100 g；A₁ 处理和 B₁ 处理的可溶性糖含量与 CK₁ 处理差异显著，其中 B₁ 处理可溶性糖含量最高，为 15.62%；A₁ 处理、B₁ 处理和 C₁ 处理的畸形果率与 CK₁ 处理差异显著，B₁ 处理的畸形果率最低，为 12.58%；各处理的可滴定酸含量和可溶性固形物含量与 CK₁ 处理相比差异不显著。

表 5 2020 年不同浓度 VDAL 处理对草莓果实品质的影响

处理	Vc 含量/mg·100 g ⁻¹	可溶性糖含量/%	可滴定酸含量/%	可溶性固形物含量/%	畸形果率/%
A ₁	81.83±3.07ab	15.17±0.15ab	0.84±0.03a	10.43±1.07a	13.02±0.68cd
B ₁	86.80±2.63a	15.62±0.79a	0.81±0.04a	10.13±0.95a	12.58±0.73d
C ₁	77.17±2.90ab	13.52±0.84bc	0.75±0.06a	9.40±0.61a	14.38±0.61bcd
D ₁	77.47±5.27ab	13.70±0.68bc	0.80±0.04a	10.03±0.99a	16.57±0.80ab
E ₁	71.83±1.18bc	13.34±0.06bc	0.82±0.06a	9.63±1.04a	15.41±1.06abc
CK ₁	66.37±1.78c	12.15±0.43c	0.74±0.03a	9.53±1.09a	17.55±1.07a

注：小写字母不同表示差异显著(P<0.05)，下同

由表 6 可知，所有处理的 Vc 含量与 CK₂ 处理差异显著，其中 B₂ 处理的 Vc 含量最高，为 73.63 mg/100 g；所有处理的可溶性糖含量与 CK₂ 处理和 E₂ 处理相比差异不显著，B₂ 处理的可溶性糖

含量最高，为 11.76%，D₂ 处理的最低，为 9.82%；所有处理的畸形果率与 CK₂ 处理相比差异显著，B₂ 处理的畸形果率最低，为 10.58%，比 E₂ 处理还低 0.08%。

表 6 2021 年不同浓度 VDAL 处理对草莓果实品质的影响

处理	Vc 含量 /mg·100 g ⁻¹	可溶性糖含量/%	可滴定酸含量/%	可溶性固形物含量/%	畸形果率/%
A ₂	67.76±0.83cd	9.90±0.10ab	0.73±0.02ab	11.10±0.12c	14.29±1.00b
B ₂	73.63±0.55a	11.76±0.34a	0.75±0.05ab	10.50±0.10de	10.58±1.14c
C ₂	71.52±0.79ab	10.87±0.70ab	0.88±0.05a	10.00±0.15e	15.75±0.64b
D ₂	70.44±1.22abc	9.82±0.71ab	0.69±0.05b	12.00±0.32b	16.25±0.42b
E ₂	66.56±0.44d	11.41±0.69ab	0.89±0.03a	12.60±0.20a	10.66±0.81c
CK ₂	57.28±1.21e	10.36±0.42ab	0.89±0.10a	11.20±0.17c	19.86±0.87a

3 结论与讨论

通过 2020 年和 2021 年在北京顺义区和昌平区开展不同浓度的大丽花轮枝孢激活蛋白对红颜草莓产量和品质影响效果的田间试验研究，综合果实数量、产量和品质等各项指标分析结果表明，喷施 VDAL 3 000 倍液对草莓增产、提质效果最好，与清水对照处理相比，草莓果实数量平均提高 10.64%，重量平均提高 6.85%，Vc 含量平均提高 29.66%，可溶性糖含量平均提高 21.04%，畸

形果率平均降低 7.13%；与免疫诱抗对照处理相比，果实数量平均提高 15.95%，果实重量平均提高 7.92%，Vc 含量平均提高 10.62%，可溶性糖含量平均提高 0.35%，畸形果率平均降低 0.08%。因此，在盛花期连续叶面喷施 2~3 次 VDAL 3 000 倍液，每次间隔 20 d，能增加红颜草莓的果实数量和果实重量，提高果实的 Vc 含量和可溶性糖含量，降低畸形果率，这与马柏林等^[12]对宿晓红葡萄喷施 VDAL 可增加单果重量、提高果实的 Vc 含量和可溶性糖含量的研究结果一致。

试验发现VDAL 1 000倍液处理对草莓果实数量、重量和品质的提升效果不如VDAL 3 000倍液的处理效果明显,因此在使用VDAL过程中,要严格控制用量,过量使用可能会影响作物生长、产量和品质,喷施前要充分搅拌、溶解均匀,喷施时只需对准叶正面快速喷过即可,无需正反面反复喷施。

2021年昌平试验中,VDAL 3 000倍液比混配处理的果实数量在1月、3月、4月分别降低16.35%、14.83%和12.00%,2月提高39.48%;VDAL 3 000倍液的果实重量比混配处理在1月和4月分别下降25.12%和13.99%,2月和3月分别提高22.68%和29.77%,两个处理在果实数量和果实重量提高方面效果相差不大。但在果实品质提升方面,VDAL 3 000倍液比混配处理的效果要好,Vc含量提高4.53%,可溶性糖含量提高1.94%,畸形果率降低5.67%。

参考文献:

- [1] 王全永,黄世文,王玲,等.我国植物激活蛋白诱导的生物化学活性研究进展及应用[J].植物保护,2007,33(4):20-23.
- [2] 谢尚强,王文霞,张付云,等.植物生物刺激素研究进展[J].中国生物防治学报,2019,35(3):487-496.
- [3] 邱德文.我国植物免疫诱导技术的研究现状与趋势分析[J].植物保护,2016,42(5):10-14.
- [4] 邱德文,杨秀芬,刘峥,等.植物激活蛋白对烟草抗病促生和品质的影响[J].中国烟草学报,2005,11(6):33-36.
- [5] 孙凤清,李娟起,齐俊生,等.苗期叶面喷施大丽花轮枝孢激活蛋白(VDAL)对黄瓜商品苗贮藏质量的影响[J].中国蔬菜,2016(3):48-52.
- [6] 龚新姿.蛋白质VDAL施用对水稻产量影响的示范试验[J].农业工程技术(综合版),2020,40(3):11-12.
- [7] 张桂娟,林雪,陈虹,等.生物刺激素在春季花椰菜上的应用研究[J].蔬菜,2020(5):26-31.
- [8] 刘志刚,候浪,王瑞,等.RP-HPLC法测定蓝莓和黑莓中Vc的含量[J].食品研究与开发,2015,36(1):96-98.
- [9] 王学奎,黄见良.植物生理生化实验原理与技术(第3版)[M].北京:高等教育出版社,2015:171-177.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T12456-2008食品中总酸的测定[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [11] 国家技术监督局.GB/T 12295-1990水果、蔬菜制品可溶性固形物含量的测定—折射仪法[S].北京:中国标准出版社,1990.
- [12] 马柏林,罗桂杰,刘博,等.喷施不同浓度大丽花轮枝孢锌离子结合蛋白(VDAL)对宿晓红葡萄果实品质的影响[J].北方农业学报,2020,48(4):110-115.

(责任编辑:范杰英)