

不同浓度硫制剂对甜瓜生长的影响

轩金龙¹, 王靖², 李妍龙¹, 张洁¹, 刘露¹, 王惠林¹

(1. 新疆农业大学园艺学院 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆金丰源种业有限公司 新疆阿克苏 844499)

摘要: 白粉病是甜瓜生长期间的主要病害之一, 目前田间防治白粉病的杀菌剂中部分含硫, 使用不当易造成药害。以甜瓜资源 M446 和 DM18 为试验材料, 通过喷施不同浓度硫制剂, 测定相关生长指标, 采用方差分析、相关性分析、主成分分析和隶属函数分析, 对不同浓度硫制剂进行综合评价。结果表明, 不同浓度硫制剂在甜瓜材料 M446 和 DM18 中硫害程度基本一致, 相较于其他处理, 80%代森锰锌和 0.5%硫酸钾对甜瓜生长指标的抑制幅度较小, 同时 2 份材料的单果质量在 D3 处理(80%代森锰锌 600 倍液)时达到最大值, 分别为 1.36 kg 和 1.93 kg, 而病叶率和硫害指数随硫制剂浓度的增大呈上升趋势, 在 D3 和 E3 处理(0.5%硫酸钾 150 倍液)下其病叶率和硫害指数分别为 56.08%、23.43%和 11.37%、3.82%, 显著低于 80%硫磺悬浮剂和 29%石硫合剂处理。主成分分析结果表明, 80%代森锰锌和 0.5%硫酸钾在硫制剂处理中排名靠前。综上, 在甜瓜白粉病防治中施用 80%代森锰锌和 0.5%硫酸钾是一种较为安全的措施。研究结果为硫制剂在甜瓜栽培管理中的科学应用提供了理论依据。

关键词: 甜瓜; 硫制剂; 生长

中图分类号: S652

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)09-111-10

Effects of different concentrations of sulfur preparations on the growth of melon

XUAN Jinlong¹, WANG Jing², LI Yanlong¹, ZHANG Jie¹, LIU Lu¹, WANG Huilin¹

(1. College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 2. Xinjiang Jinfengyuan Seed Industry Co., Ltd., Aksu 844499, Xinjiang, China)

Abstract: Powdery mildew is one of the main diseases during the growth of melon, and some of the fungicides currently used in the field to control powdery mildew contain sulfur, which is easy to cause drug damage when used improperly. Melon resources M446 and DM18 were used as the experimental materials, different concentrations of sulfur preparations were sprayed to determine the relevant growth indicators. Analysis of variance, correlation analysis, principal component analysis and membership function analysis were used to conduct a comprehensive evaluation of different concentrations of sulfur preparations. The results showed that the degree of sulfur damage of different sulfur formulations in melon materials M446 and DM18 were basically the same. Compared to other treatments, 80% mancozeb and 0.5% potassium sulfate had a smaller inhibitory effect on the growth indicators of melon. Meanwhile, the single fruit mass of the two materials reached the maximum value at D3 treatment (600 times diluted 80% mancozeb), which were 1.36 kg and 1.93 kg, respectively. However, the rate of diseased leaves and the sulfur damage index showed an upward trend with the increase of sulfur preparation concentration. Under the treatments of D3 and E3 (150 times diluted 0.5% potassium sulfate), the diseased leaf rate and sulfur damage index were 56.08%, 23.43% and 11.37%, 3.82%, respectively, which were significantly lower than those treated with 80% sulfur suspension agent and 29% lime sulfur solution. The results of principal component analysis indicated that 80% mancozeb and 0.5% potassium sulfate ranked relatively high in the sulfur preparation treatment. In conclusion, applying 80% mancozeb and 0.5% potassium sulfate in the prevention and control of powdery mildew on melon is a relatively safe measure. The research results provide a theoretical basis for the scientific application of sulfur preparations in the cultivation and management of melon.

Key words: Melon; Sulfur; Growth

收稿日期: 2024-11-30; 修回日期: 2025-03-27

基金项目: 新疆西甜瓜产业技术体系基金项目(XJCARS-06); 国家特色物种厚皮甜瓜选育联合体攻关项目(XJNY-DX-KXISC-2023080); 新疆维吾尔自治区重大专项(2024A02007-1)

作者简介: 轩金龙, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为西瓜、甜瓜栽培与育种。E-mail: 1935982795@qq.com

通信作者: 王惠林, 男, 副教授, 研究方向为西瓜、甜瓜栽培与育种。E-mail: wanghuilin@126.com

甜瓜(*Cucumis melo* L.)是葫芦科甜瓜属一年生蔓性草本作物,又名香瓜、甘瓜^[1]。甜瓜营养丰富,含有碳水化合物、柠檬酸、蛋白质、维生素 B、维生素 C、类胡萝卜素等成分^[2]。甜瓜在我国有着 3000 多年的栽培历史,1961—2023 年中国甜瓜种植面积从 21.4 万 hm² 增长到 39.6 万 hm²,增长了 84.9%,总产量从 229.7 万 t 增长到 1 450.2 万 t,增长了 6 倍^[3]。

白粉病是由真菌引起的病害,同时也是西瓜、甜瓜栽培中的重要病害之一^[4-7]。目前化学防治是田间防治白粉病的主要方法,常用杀菌剂包括硫黄粉剂、甲基硫菌灵、福美双、石硫合剂等含硫制剂^[8]。在硫制剂对作物产生的影响等方面,有研究表明,作物使用含硫制剂均发生了一定程度的药害情况,具体表现为叶组织干枯变褐、果实变形,甚至导致易感硫作物的死亡^[9-11]。王恒玺等^[12]研究表明,使用硫制剂对瓜叶菊等草本花卉防治白粉病时易产生药害。郑芳等^[11]研究表明,桃、李、杏、葡萄、梨等有幼嫩组织时施用硫制剂,易发生灼伤及生理功能紊乱等。刘世超等^[13]研究表明,烟草苗期喷施高剂量的含硫制剂会产生药害。文惠阁^[14]研究发现,甜瓜为不耐硫作物,代森锰锌等硫制剂稀释倍数低于 200 倍时极易导致甜瓜叶片和果实发生硬化。

虽然硫制剂对作物白粉病有良好的防治效果,但在实际应用过程中常因硫制剂浓度控制不当而对作物造成不同程度的药害。因此,笔者通过在甜瓜结果期喷施不同浓度的硫制剂,探究其对甜瓜生长结果的影响以及硫制剂造成的硫害程度,以期为甜瓜生产上硫制剂的科学应用提供理论依据。

1 材料与方

1.1 材料

供试甜瓜材料为对硫敏感的厚皮甜瓜自交纯系 DM18(含地方品种木旦伯谢克其血缘)和 M446(含地方品种黄蛋子血缘),种子由新疆农业大学园艺学院西甜瓜育种团队提供。

供试药剂为 80%硫黄悬浮剂(浙江世佳科技股份有限公司生产)、29%石硫合剂(山东东信生物农业有限公司生产)、50%甲基硫菌灵(山西奇星农药有限公司生产)、80%代森锰锌(四川国光农化股份有限公司生产)和 0.5%硫酸钾(天津市致远化学试剂有限公司生产)。

1.2 方法

试验于 2022 年 5—9 月在新疆昌吉西域种业有限责任公司试验基地进行,采用露地平畦膜下滴

灌栽培方式,种植密度为株距 0.3 m,行距 2 m,在整个生育期内不进行病害防治,田间采用常规管理。

试验采用 5 种硫制剂,每种硫制剂均设 3 个浓度(表 1),以喷施清水作为对照(CK),共 16 个处理,每个处理设 3 次重复,每个重复种植 9 株,每个处理小区面积为 20 m²(10 m×2 m)。于 7 月 10 日在甜瓜结果期使用电动喷雾器对甜瓜整个植株进行喷药,硫制剂喷施时间为 09:00—11:00,喷施 1 次。于 7 月 28 日硫害盛期测定甜瓜植株各项生长指标,待果实成熟后测定单果质量和中心可溶性固形物含量。

表 1 供试药剂及处理浓度
Table 1 Test agents and treatment concentration

试剂名称 Reagent name	稀释倍数 Dilution factor	处理 Treatment
清水 Water	0	CK
80%硫磺悬浮剂 80% Sulfur suspension	250	A1
	350	A2
	450	A3
29%石硫合剂 29% Lime-sulphur mixture	30	B1
	45	B2
	60	B3
50%甲基硫菌灵 50% Thiophanate-methyl	700	C1
	850	C2
	1000	C3
80%代森锰锌 80% Mancozeb	300	D1
	450	D2
	600	D3
0.5%硫酸钾 0.5% Potassium sulfate	50	E1
	100	E2
	150	E3

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长指标测定 于 7 月 28 日(田间果实发育中期)测定甜瓜植株的各项生理指标,在果实成熟后测定甜瓜的单果质量及中心可溶性固形物含量,以上生长指标每个处理的每个重复随机选取 5 株测定。主蔓长(m):用卷尺测定甜瓜植株主蔓从节点至蔓尖的长度;茎粗(mm):用游标卡尺测定甜瓜植株的茎直径;最大功能叶叶面积(cm²):用直尺测量甜瓜第 5~17 节位间叶片的长和宽,记录最大功能叶叶面积(叶长×叶宽);最大功能叶叶节位(节):主蔓上单叶叶面积最大的节位;叶绿素相对含量(SPAD 值):使用 SPAD - 502 手持叶绿素测定仪测定;中心可溶性固形物含量(%):用手持式 L32TB 糖分测量仪测定;单果质量(kg):使用 LY - 190 手提秤称量。

1.3.2 疏害情况调查统计 田间疏害症状分级标准及抗性标准参考杨志毅等^[15]、蔡健等^[16]的方法,依据试验地发病情况做出调整,甜瓜疏害分级标准见表2。在8月初疏害发生的盛期,每个处理的重复间随机选取5株,统计主蔓15节位以下的病叶数以及总叶数,计算发病率。病叶率/%=病叶数/总叶数×100。

对甜瓜的疏害情况进行调查,每份材料的每个处理随机划分3个区域,每个区域选取10片叶进行叶部疏害调查,共调查30片叶,以每一片叶面上的黄化面积占整个叶面积的百分率来分级,按照表2和表3确定病级并计算疏害指数(DI)。

$$DI=\frac{\sum(S_i\times n_i)}{4N}\times 100。$$

式中, S 为发病级别, n 为相应发病级别的株数, i 为病情分级的各个级别, N 为调查总株数。

表2 疏害分级标准
Table 2 Sulfur hazard classification criteria

病级 Disease level	病状描述 Description of the disease
0	整个叶片无褐色枯死 No browning dieback of entire leaf blade
1	褐色枯死面积约占叶片面积的25%以下 Less than 25% of the leaf area is brown dead
2	褐色枯死面积约占叶片面积的25%~50% The area of brown dieback was about 25%~50% of the leaf area
3	褐色枯死面积约占叶片面积的>50%~75% The area of brown dieback was about>50%~75% of the leaf area
4	褐色枯死面积约占叶片面积的75%以上 More than 75% of the leaf area is brown dead

1.4 数据分析

采用Excel 2021整理数据及隶属函数分析,采用SPSS 22.0进行相关性分析及主成分分析。利用公式计算甜瓜材料标准化后数据的综合指标的隶属函数值:正隶属函数 $L(X_j)=(X_j-X_{jmin})/(X_{jmax}-X_{jmin})$;反隶属函数 $L(X_j)=1-(X_i-X_{jmin})/(X_{jmax}-X_{jmin})$ 。式中, X_j 为第 j 个观测指标; X_{jmin} 表示第 j 个观测指标平均值中的最小值, X_{jmax} 表示第 j 个观测指标平均值中的最大值。

2 结果与分析

2.1 不同浓度硫制剂对甜瓜生长指标的影响

不同浓度硫制剂对两份甜瓜材料生长指标的影响结果见表3。两份甜瓜材料的表现基本一致,

各项生长指标整体上均随硫制剂浓度的增大呈下降趋势。在对主蔓长的影响上,M446中所有处理均显著低于CK,其中A处理和B处理对主蔓长影响较大,D3处理对主蔓长的影响最小。材料DM18中A处理、B处理和C处理均显著低于CK,其中B1处理对主蔓长影响最大;D处理和E处理与CK差异不显著。在对茎粗的影响上,在材料M446所有处理中,A处理、B处理、C1处理和D1处理对茎粗影响较大,且显著低于CK,C2处理、C3处理、D2处理、D3处理及E处理对茎粗影响较小,与CK无显著差异;材料DM18所有处理中,A1处理、A2处理、B处理、C1处理、C2处理、E1处理和E2处理的茎粗显著低于CK,其他处理与CK差异不显著。在对最大功能叶叶面积的影响上,材料M446中A处理、B处理、C处理、D处理及E1处理均显著低于CK,其中A1处理和B1处理对最大功能叶叶面积影响较大;E2处理和E3处理与CK差异不显著;材料DM18中,除E处理外,其他处理的最大功能叶叶面积均显著低于CK,其中A1处理和C1处理对最大功能叶叶面积影响较大,E处理对最大功能叶叶面积的影响最小。在对最大功能叶叶节位的影响上,材料M446中,C3处理、D2处理和D3处理与CK差异不显著,其余处理均显著低于CK,其中A1处理和B1处理对最大功能叶叶节位影响较大,D3处理对最大功能叶叶节位影响最小;材料DM18中,所有处理均显著低于CK,其中A1处理对最大功能叶叶节位影响最大,C2处理对最大功能叶叶节位的影响最小。以上结果说明,甜瓜各指标整体上随着各药剂浓度的增大而降低,严重抑制了甜瓜植株的生长,尤其是80%硫黄悬浮剂和29%石硫合剂,对甜瓜生长产生了极大的抑制作用。

2.2 不同浓度硫制剂对甜瓜叶片SPAD值的影响

不同浓度硫制剂对甜瓜叶片SPAD值的影响如图1所示。随着硫制剂浓度的增加,两份甜瓜材料的SPAD值均呈现下降趋势。M446材料中所有处理的SPAD值均显著低于CK,其中B1处理下降幅度较大,E2处理下降幅度最小,较CK分别显著降低42.21%、11.08%。DM18材料中除C2、C3、D2、D3及E处理外,其他处理的SPAD值均显著低于CK,其中B1处理下降幅度较大,较CK显著降低38.08%。以上结果说明不同的甜瓜材料对不同的硫制剂敏感程度不一,具有差异性,而喷施硫制剂后,硫元素会附着在植株叶片上,影响光合作用。

表 3 不同浓度的硫制剂对甜瓜生长效应的影响

Table 3 Effects of different concentrations of sulfur preparations on the growth of melon

材料 Material	处理 Treatment	主蔓长 Main vine length/m	茎粗 Stem thickness/mm	最大功能叶叶面积 Maximum functional leaf area/cm ²	最大功能叶叶节位 Maximum functional leaf node position
M446	CK	2.78±0.05 a	15.02±0.13 ab	276.37±2.79 a	11.20±0.23 a
	A1	2.01±0.08 d	13.51±0.10 fg	204.66±3.50 f	7.80±0.20 g
	A2	2.13±0.05 d	13.88±0.21 defg	209.45±5.82 ef	8.67±0.24 f
	A3	2.16±0.10 d	14.21±0.17 cdef	221.25±7.15 de	8.67±0.18 f
	B1	2.07±0.04 d	13.31±0.33 g	204.07±1.36 f	7.80±0.20 g
	B2	2.13±0.03 d	13.69±0.67 efg	213.01±2.53 def	8.20±0.12 fg
	B3	2.13±0.00 d	13.65±0.16 efg	218.49±4.71 de	8.33±0.07 f
	C1	2.41±0.01 bc	13.68±0.17 efg	219.55±7.11 de	10.07±0.07 e
	C2	2.51±0.03 bc	14.36±0.34 bcde	222.67±5.02 de	10.60±0.12 bcd
	C3	2.48±0.05 bc	14.65±0.16 abcd	225.32±7.12 d	10.80±0.20 abc
	D1	2.46±0.05 bc	14.17±0.15 cdef	242.12±2.53 c	10.47±0.07 bcde
	D2	2.55±0.03 bc	14.56±0.21 abcd	251.65±1.15 bc	10.73±0.07 abcd
	D3	2.59±0.01 b	14.66±0.10 abcd	261.85±3.74 b	10.93±0.07 ab
	E1	2.38±0.11 c	14.70±0.06 abc	252.53±1.70 bc	10.27±0.07 de
	E2	2.52±0.06 bc	15.04±0.07 ab	263.30±2.28 ab	10.40±0.20 cde
	E3	2.55±0.06 bc	15.30±0.10 a	264.82±2.75 ab	10.07±0.18 e
DM18	CK	2.64±0.02 a	15.16±0.09 a	367.62±3.36 a	16.60±0.35 a
	A1	2.14±0.08 efgh	14.22±0.27 bcdef	276.34±9.80 e	9.93±0.13 i
	A2	2.30±0.07 cdef	14.40±0.21 bcde	335.83±3.12 bc	11.20±0.12 h
	A3	2.39±0.03 bcd	14.60±0.24 abcde	331.99±8.30 c	13.73±0.07 de
	B1	2.00±0.06 h	13.70±0.19 f	295.82±3.05 de	11.07±0.13 h
	B2	2.11±0.09 fgh	14.07±0.15 ef	325.68±2.20 6c	12.13±0.24 g
	B3	2.32±0.06 cde	14.16±0.22 cdef	326.80±10.57 c	12.73±0.07 f
	C1	2.10±0.05 gh	14.21±0.19 bcdef	282.55±8.44 e	13.27±0.07 e
	C2	2.20±0.06 defg	14.50±0.19 bcde	310.10±7.36 cd	14.87±0.27 b
	C3	2.24±0.09 defg	14.85±0.19 ab	314.42±9.07 cd	14.20±0.20 cd
	D1	2.48±0.03 abc	14.62±0.23 abcde	317.15±6.08 cd	12.27±0.29 fg
	D2	2.66±0.09 a	14.79±0.18 abc	329.84±7.68 c	14.27±0.07 cd
	D3	2.52±0.02 ab	14.78±0.27 abc	337.02±11.53 bc	14.67±0.07 bc
	E1	2.67±0.06 a	14.10±0.02 def	360.53±11.52 ab	13.93±0.07 d
	E2	2.68±0.09 a	14.32±0.08 bcdef	370.30±12.10 a	14.13±0.18 cd
	E3	2.68±0.05 a	14.74±0.14 abcd	372.30±9.65 a	14.27±0.13 cd

注：同列不同小写字母表示同一材料的不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments of the same material at 0.05 level. The same below.

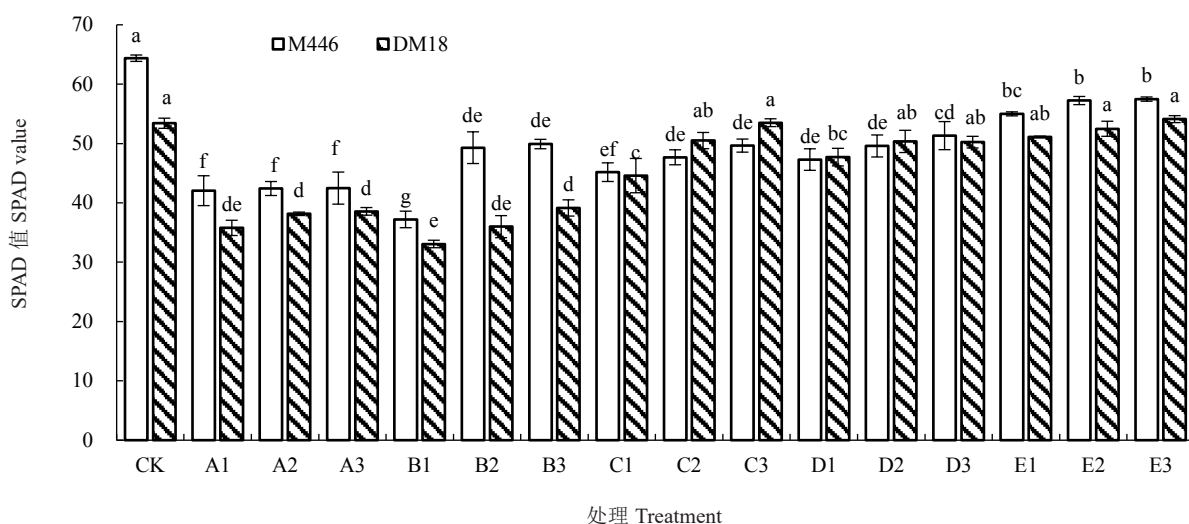
2.3 不同浓度硫制剂对甜瓜单果质量的影响

不同硫制剂处理对甜瓜单果质量的影响如图 2 所示。甜瓜材料 M446 中,每种药剂处理下的单果质量均显著低于 CK,其中 B1 处理下的单果质量下降幅度最大,较 CK 显著降低 51.22%。材料 DM18 中 C 处理、D2 处理、D3 处理和 E 处理下的单果质量与 CK 相比差异不显著,其他处理均显著低于 CK,其中 A1 处理对单果质量影响最大,较 CK 显著降低 63.74%。综上所述,不同甜瓜材料对硫敏感

的程度不一样,M446 较 DM18 对硫更为敏感,除 DM18 材料的 D3 和 E1 处理外,其他不同浓度硫制剂处理均能抑制甜瓜果实生长,其中 80%硫黄悬浮剂和 29%石硫合剂对单果质量的影响程度最大。

2.4 不同浓度硫制剂对甜瓜中心可溶性固形物含量的影响

不同硫制剂处理对甜瓜中心可溶性固形物含量的影响如图 3 所示。材料 M446 中所有处理显著低于 CK,其中 B1 处理影响最大,较 CK 显著降低



注:不同小写字母表示同一材料的不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments of the same material at 0.05 level. The same below.

图 1 不同浓度硫制剂对甜瓜叶片叶绿素相对含量的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of sulfur preparations on the relative chlorophyll content of melon leaves

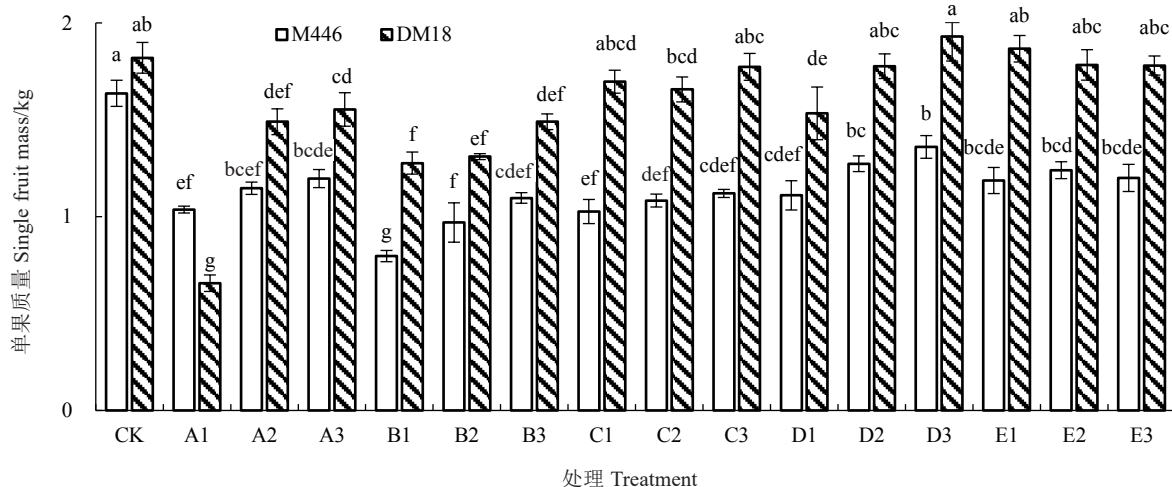


图 2 不同浓度硫制剂对甜瓜单果质量的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of sulfur preparations on single fruit mass of melon

4.37 百分点;材料 DM18 中所有处理均显著低于 CK,其中 B1 处理影响最大,较 CK 显著降低 5.30 百分点。综合分析得出,各药剂处理均严重影响甜瓜的中心可溶性固形物含量,其中材料 M446 中所有硫制剂处理的差异均不显著,而材料 DM18 中 A 处理和 B 处理显著低于 C 处理、D 处理和 E 处理,推测 80%硫黄悬浮剂和 29%石硫合剂对 DM18 甜瓜中心可溶性固形物含量的影响较大。

2.5 不同浓度硫制剂对甜瓜植株病叶率和硫害指数的影响

不同硫制剂处理对甜瓜植株的病叶率和硫害

指数的影响如图 4 和图 5 所示。喷施不同的硫制剂均会不同程度地提高甜瓜植株的病叶率和硫害指数。在对病叶率的影响上,A 处理和 B 处理下 M446 和 DM18 病叶率较高,显著高于其他处理。材料 M446 中 C2 处理对病叶率影响最小,病叶率为 51.37%;材料 DM18 中 E3 处理对病叶率影响最小,病叶率为 11.37%。在对硫害指数的影响上,材料 M446 中所有处理均显著高于 CK,其中 A 处理和 B 处理对硫害指数影响较大,C2 处理对硫害指数的影响最小;材料 DM18 中除 C2 处理、C3 处理、E2 处理、E3 处理外,其他处理的硫害指数均显著高

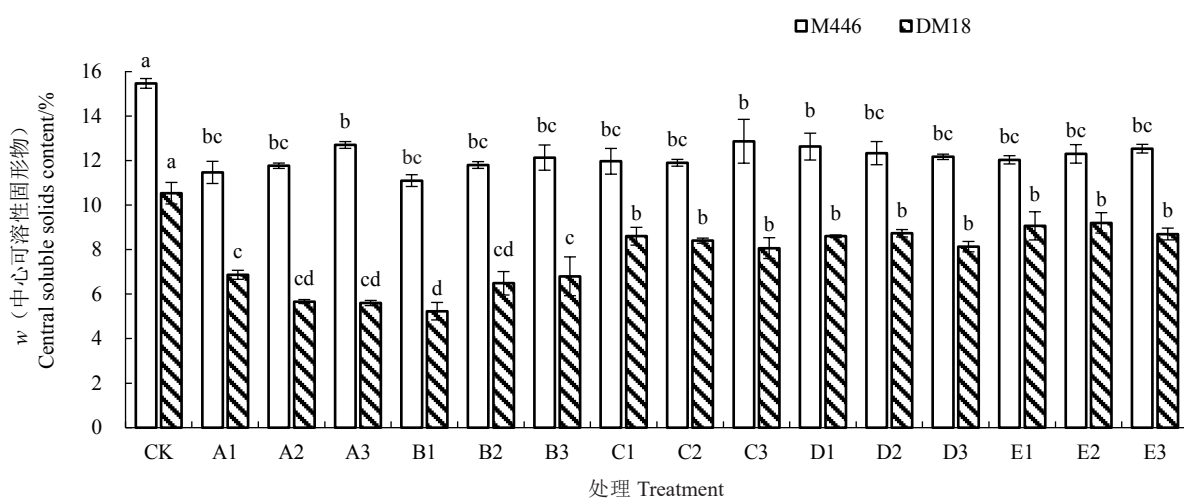


图3 不同浓度硫制剂对甜瓜中心可溶性固形物含量的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of sulfur preparations on the central soluble solids content of melon

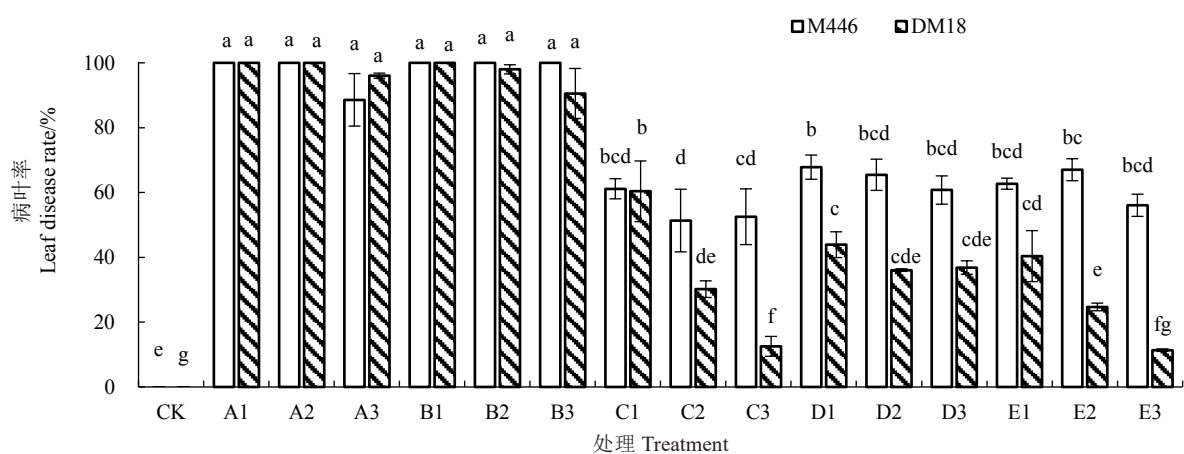


图4 不同浓度硫制剂对甜瓜植株病叶率的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of sulphur preparations on the rate of diseased leaves in melon plants

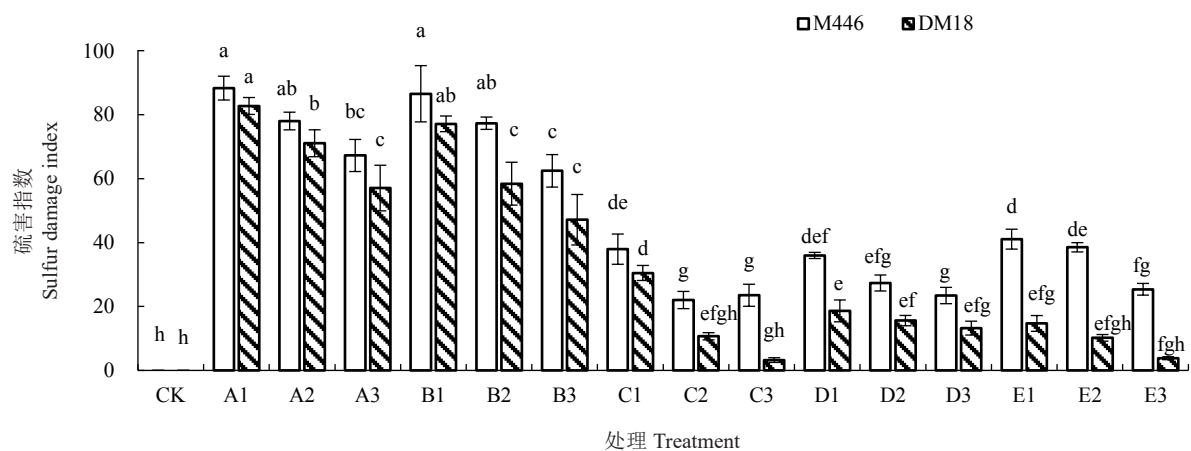


图5 不同浓度硫制剂对甜瓜植株硫害指数的影响

Fig. 5 Effects of different concentrations of sulfur preparations on the sulfur damage index of melon plants

于CK,其中A处理和B处理对硫害指数的影响较大,C3处理对硫害指数影响最小。以上结果表明,80%硫黄悬浮剂和29%石硫合剂对两份甜瓜材料病叶率和硫害指数的影响较大。

2.6 甜瓜各生长指标之间的相关性分析

甜瓜材料M446各生长指标之间的相关性分析

如表5所示,主蔓长、茎粗、最大功能叶叶面积、最大功能叶叶节位、叶片叶绿素相对含量、单果质量、中心可溶性固形物含量之间均呈显著或极显著正相关,但与甜瓜植株的病叶率和硫害指数呈极显著负相关,而植株的病叶率和硫害指数呈极显著正相关,相关系数为0.927。

表5 M446生长指标相关系数矩阵
Table 5 Correlation coefficient matrix for growth indicators of M446

指标 Index	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
X1	1								
X2	0.832**	1							
X3	0.864**	0.896**	1						
X4	0.961**	0.792**	0.785**	1					
X5	0.765**	0.824**	0.872**	0.665**	1				
X6	0.733**	0.738**	0.810**	0.664**	0.768**	1			
X7	0.672**	0.592*	0.640**	0.572*	0.716**	0.834**	1		
X8	-0.923**	-0.738**	-0.755**	-0.867**	-0.751**	-0.743**	-0.809**	1	
X9	-0.977**	-0.799**	-0.798**	-0.962**	-0.744**	-0.701**	-0.676**	0.927**	1

注:*和**分别表示在0.05和0.01水平上显著相关。X1~X9分别表示主蔓长、茎粗、最大功能叶叶面积、最大功能叶叶节位、叶绿素相对含量、单果质量、中心可溶性固形物含量、植株病叶率和硫害指数。下同。

Note: * and ** indicate significant correlation at the levels of 0.05 and 0.01, respectively. X1-X9 represents main vine length, stem thickness, leaf area of the largest functional leaf, leaf node of the largest functional leaf, relative chlorophyll content, single fruit mass, central soluble solids content, plant disease leaf rate and sulfur damage index, respectively. The same below.

甜瓜材料DM18各生长指标之间的相关性分析如表6所示,除最大功能叶叶面积与茎粗、中心可溶性固形物含量相关性不显著外,主蔓长、茎粗、最大功能叶叶面积、最大功能叶叶节位、叶片叶绿素相对含量、单果质量、中心可溶性固形物含量之间均呈显著或极显著正相关;病叶率与叶片叶绿素相对含量、单果质量和中心可溶性固形物含量呈显著或极显著负相关;硫害指数与主蔓长、茎粗、最大

功能叶叶面积、最大功能叶叶节位、叶片叶绿素相对含量、单果质量和中心可溶性固形物含量均呈显著或极显著负相关,与植株病叶率呈极显著正相关,相关系数为0.793。

2.7 不同浓度硫制剂对甜瓜植株生长指标影响的主成分分析

为了排除在评价过程中不同指标的重复信息,对9个生长指标进行主成分分析,将原来的9个生

表6 DM18生长指标相关系数矩阵
Table 6 Correlation coefficient matrix for growth indicators of DM18

指标 Index	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
X1	1								
X2	0.569*	1							
X3	0.846**	0.415	1						
X4	0.616*	0.700**	0.606*	1					
X5	0.723**	0.692**	0.573*	0.821**	1				
X6	0.635**	0.512*	0.638**	0.841**	0.787**	1			
X7	0.657**	0.570*	0.457	0.735**	0.882**	0.603*	1		
X8	-0.476	-0.370	-0.300	-0.494	-0.820**	-0.624**	-0.587*	1	
X9	-0.670**	-0.665**	-0.550*	-0.869**	-0.975**	-0.833**	-0.878**	0.793**	1

长指标转换成 9 个新的综合指标,主成分分析结果如表 7 和表 8 所示。通过主成分分析,甜瓜材料 M446 和 DM18 前 3 个综合指标的累计贡献率分别为 94.543%和 90.778%,表明这 3 个综合指标可以代表原来 9 个生长指标的基本信息。由表 7 可知,M446 材料中,主成分 1 的特征值为 7.285,贡献率为 80.941%,主要代表了主蔓长(0.962)、茎粗(0.849)、最大功能叶叶面积(0.918)、最大功能叶叶节位(0.905)、叶片叶绿素相对含量(0.876)、单果质量(0.865)、病叶率(0.930)和疏害指数(0.943),由于主成分 1 的贡献率最高,因此在选择育种材料上应着重考虑这 8 个性状;主成分 2 的特征值为 0.697,贡献率为 7.744%,主要代表了单果质量(0.374)和中心可溶性固形物含量(0.484);主成分 3 的特征值为 0.527,贡献率为 5.858%,主要代表了中心可溶性固形物含量(0.328)和病叶率(0.296)。

表 7 M446 生长指标主成分分析
Table 7 Principal component analysis of growth index of M446

指标 Index	PC1	PC2	PC3
X1	0.962	-0.237	0.067
X2	0.894	-0.067	-0.341
X3	0.918	0.031	-0.321
X4	0.905	-0.377	0.102
X5	0.876	0.217	-0.270
X6	0.865	0.374	-0.005
X7	0.794	0.484	0.328
X8	0.930	-0.055	0.296
X9	0.943	-0.262	0.157
特征值 Eigenvalue	7.285	0.697	0.527
贡献率 Contribution rate/%	80.941	7.744	5.858
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	80.941	88.685	94.543

表 8 DM18 生长指标主成分分析
Table 8 Principal component analysis of growth index of DM18

指标 Index	PC1	PC2	PC3
X1	0.807	0.476	0.156
X2	0.746	-0.154	0.603
X3	0.706	0.676	-0.005
X4	0.905	-0.065	-0.061
X5	0.965	-0.156	-0.047
X6	0.848	0.101	-0.325
X7	0.868	-0.249	-0.054
X8	0.946	-0.235	-0.023
X9	0.963	-0.191	-0.132
特征值 Eigenvalue	6.750	0.900	0.520
贡献率 Contribution rate/%	74.997	10.001	5.779
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	74.997	84.998	90.778

由表 8 可知,在 DM18 材料中,主成分 1 的特征值为 6.750,贡献率为 74.997%,主要代表了主蔓长(0.807)、最大功能叶叶节位(0.905)、叶片叶绿素相对含量(0.965)、单果质量(0.848)、中心可溶性固形物含量(0.868)、病叶率(0.946)和疏害指数(0.963);主成分 2 的特征值为 0.900,贡献率为 10.001%,主要代表了最大功能叶叶面积(0.676);主成分 3 的特征值为 0.520,贡献率为 5.779%,主要代表了茎粗(0.603)。

2.8 不同浓度硫制剂对甜瓜植株生长影响综合评价的隶属函数分析

利用隶属函数公式对 M446 和 DM18 材料的生长指标进行标准化处理,综合评价结果如表 9 所示。M446 与 DM18 受硫制剂影响的程度大致相同,CK 的各项生长指标综合评价指数均排名第一,隶属平均值均为 0.98;两份材料排名第 2 的均为 E3 处理(0.5%硫酸钾 150 倍液),综合评价价值分别为 0.66 和 0.86;80%硫黄悬浮剂和 29%石硫合剂各处理综合评价价值较小,两份材料均在 29%石硫合剂 30 倍液处理下降幅度最大,综合评价价值分别为 0.01 和 0.10,80%硫黄悬浮剂 250 倍液处理次之,综合评价价值分别为 0.07 和 0.11。

3 讨论与结论

大量研究表明,硫制剂会对作物产生硫害作用^[11-12],但关于硫制剂对不同甜瓜品种产生硫害作用的研究鲜有报道。试验结果表明,两份甜瓜材料对硫产生的反应表现基本一致,生长指标(主蔓长、茎粗、最大功能叶叶面积)整体上均随硫制剂浓度的增大呈下降趋势,其中 29%石硫合剂 30 倍液和 80%硫黄悬浮剂 250 倍液对两份甜瓜材料的主蔓长、茎粗、最大功能叶叶面积影响最大,与 CK 相比分别显著降低了 25.54%、11.38%、26.16% 和 24.24%、9.63%、18.71%,与李金凤等^[17]、徐莹^[18]的研究结果一致。但是在对最大功能叶叶节位的影响研究上,杨志毅等^[15]研究认为,甜瓜植株最大功能叶受损会导致叶节位升高,而本试验甜瓜植株的最大功能叶叶节位随着硫制剂浓度的增大呈下降趋势,认为是硫害抑制了植株生长,从而提前导致最大功能叶形成。Linzon 等^[19]、郁梦德^[20]和孟赐福等^[21]研究表明,作物生长依赖于最佳的硫含量,而硫施用过量会积累大量的硫酸盐,导致作物正常的生理代谢紊乱,并且对作物造成毒害作用,试验中不同的硫制剂对两份甜瓜材料均产生了不同程度的硫害

表 9 甜瓜植株各生长指标隶属函数分析

Table 9 Analysis of the affiliation function of each growth index of melon plants

材料 Material	处理 Treatment	生长指标 Growth index									隶属平均值 AMF	排名 Rank
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9		
M446	CK	1.00	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1
	A1	0.00	0.10	0.01	0.00	0.08	0.18	0.28	0.00	0.00	0.07	15
	A2	0.16	0.29	0.07	0.25	0.15	0.19	0.41	0.00	0.12	0.18	13
	A3	0.20	0.45	0.24	0.25	0.37	0.19	0.47	0.11	0.24	0.28	11
	B1	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	16
	B2	0.16	0.19	0.12	0.12	0.16	0.45	0.20	0.00	0.12	0.17	14
	B3	0.16	0.17	0.20	0.16	0.24	0.47	0.35	0.00	0.29	0.23	12
	C1	0.52	0.19	0.21	0.67	0.20	0.29	0.27	0.39	0.57	0.37	10
	C2	0.65	0.53	0.26	0.82	0.18	0.39	0.34	0.49	0.75	0.49	8
	C3	0.61	0.68	0.29	0.88	0.40	0.46	0.38	0.47	0.73	0.55	6
	D1	0.58	0.43	0.53	0.78	0.35	0.37	0.37	0.32	0.59	0.48	9
	D2	0.70	0.63	0.66	0.86	0.28	0.46	0.56	0.35	0.69	0.58	5
	D3	0.75	0.68	0.80	0.92	0.24	0.52	0.67	0.39	0.73	0.63	3
	E1	0.48	0.70	0.67	0.73	0.21	0.65	0.46	0.37	0.54	0.53	7
	E2	0.67	0.87	0.82	0.76	0.27	0.74	0.52	0.33	0.56	0.62	4
	E3	0.71	1.00	0.84	0.67	0.33	0.75	0.48	0.44	0.71	0.66	2
DM18	CK	0.94	1.00	0.95	1.00	1.00	0.97	0.91	1.00	1.00	0.98	1
	A1	0.21	0.36	0.00	0.00	0.31	0.13	0.00	0.00	0.00	0.11	15
	A2	0.45	0.48	0.62	0.19	0.08	0.24	0.65	0.00	0.14	0.32	13
	A3	0.57	0.61	0.58	0.57	0.07	0.26	0.70	0.04	0.31	0.41	11
	B1	0.00	0.00	0.20	0.17	0.00	0.00	0.49	0.00	0.07	0.10	16
	B2	0.16	0.26	0.51	0.33	0.24	0.14	0.51	0.02	0.29	0.27	14
	B3	0.47	0.32	0.53	0.42	0.30	0.29	0.65	0.09	0.43	0.39	12
	C1	0.14	0.35	0.06	0.50	0.64	0.55	0.82	0.40	0.63	0.45	10
	C2	0.30	0.55	0.35	0.74	0.60	0.83	0.78	0.70	0.87	0.64	8
	C3	0.36	0.79	0.40	0.64	0.54	0.97	0.88	0.87	0.96	0.71	7
	D1	0.71	0.63	0.43	0.35	0.64	0.70	0.69	0.56	0.77	0.61	9
	D2	0.97	0.75	0.56	0.65	0.66	0.82	0.88	0.64	0.81	0.75	4
	D3	0.76	0.74	0.63	0.71	0.55	0.82	1.00	0.63	0.84	0.74	5
	E1	0.98	0.28	0.88	0.60	0.72	0.86	0.95	0.60	0.82	0.74	5
	E2	1.00	0.42	0.98	0.63	0.75	0.92	0.88	0.75	0.88	0.80	3
	E3	1.00	0.71	1.00	0.65	0.65	1.00	0.88	0.89	0.95	0.86	2

现象,并且随着病叶率的升高,硫害指数也呈上升趋势,表明过量使用一些含硫制剂,甜瓜叶片会产生严重的灼烧现象,引起叶片枯斑^[22-23],与本试验硫害现象一致。

叶绿素是光合作用的基础,叶绿素含量是决定光合作用强度的关键因素^[24]。在对叶绿素含量的分析中,随着硫制剂浓度的增加,两份甜瓜材料的叶绿素相对含量均呈下降趋势,与杨凤娟等^[25]在硫含量 9.48 mg·kg⁻¹ 处理下大蒜叶片受到胁迫导致叶绿素含量降低的研究结果一致,喷施硫制剂后,硫离子通过叶片表皮气孔和角质层进入叶片内部,硫离子浓度过高损伤叶绿体结构和膜系统以及叶片内

部的光合酶系统,导致叶片光合作用减弱。M446 和 DM18 在甲基硫菌灵、代森锰锌和硫酸钾各处理下的反应有显著差异,与李进^[26]、高艳卫^[27] 和 Perchepied 等^[28]的研究报道一致,说明不同的甜瓜材料对不同的硫制剂敏感程度不一,对药剂的耐受性也存在差异。

综上所述,不同类型的硫制剂对两份甜瓜材料产生的影响基本相似。甜瓜的主蔓长、茎粗、最大功能叶叶面积、最大功能叶叶节位、SPAD 值、单果质量和中心可溶性固形物含量整体上随硫制剂浓度的增大均呈下降趋势,病叶率和硫害指数均随硫制剂浓度的增大呈上升趋势。在 5 种硫制剂中,使

用不同浓度的 80%硫黄悬浮剂和 29%石硫合剂处理对甜瓜生长抑制程度最大,极易产生硫害,而使用不同浓度的 80%代森锰锌和 0.5%硫酸钾处理对两份甜瓜材料的生长效应影响较小,相对安全。因此,甜瓜叶面喷施 80%代森锰锌(稀释 300~600 倍液)和 0.5%硫酸钾(稀释 50~150 倍液)可作为田间防治白粉病的优化方案。

参考文献

- [1] 孟令波,褚向明,秦智伟,等.关于甜瓜起源与分类的探讨[J].北方园艺,2001(4):20-21.
- [2] 蔡大维,卜庆鑫,陈晓明.中国甜瓜出口现状、问题及对策:基于直接出口角度[J].现代商贸工业,2018,39(32):49-50.
- [3] 联合国粮食及农业组织. FAOSTAT 数据库 [EB/OL] [2025-03-04]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- [4] 康保珊,郝小苑,吴会杰,等.甜瓜抗白粉病的苗期鉴定[J].中国瓜菜,2022,35(11):22-26.
- [5] 刘欣,程瑞,徐兵划,等.西瓜抗白粉病研究进展[J].中国瓜菜,2024,37(11):1-9.
- [6] 于晓野.喷施 KHCO_3 对甜瓜白粉病的防效研究[D].山东泰安:山东农业大学,2022.
- [7] 陈建军,王锋,陈积豪,等.甜瓜白粉病病原菌鉴定及抗病种质资源筛选[J].中国蔬菜,2024(3):67-74.
- [8] 何晓庆,许利婷,李琥成,等.设施甜瓜白粉病综合防治技术研究[J].粮食科技与经济,2020,45(9):109-110.
- [9] BRANHAN S E, DALEY J, LEVI A, et al. QTL mapping and marker development for tolerance to sulfur phytotoxicity in melon (*Cucumis melo*) [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11: 1097-1097.
- [10] 李刚,李玉,李业勇,等.硫黄熏蒸对茄果、瓜果类蔬菜的药害研究[J].蔬菜,2016(2):5-7.
- [11] 郑芳,邵明丽,黄红云,等.果园药害研究[J].安徽农业科学,2007,35(4):1063-1064.
- [12] 王恒玺,李丽霞,魏萍.园林植物药害发生与防治[J].科技信息,2013(25):462.
- [13] 刘世超,黄国联,李斌,等.烟草苗期 12 种常用杀菌剂的药害症状分析[J].安徽农业科学,2015,43(15):111-113.
- [14] 文惠阁.甜瓜药害的发生原因及防止措施[J].农业科技与信息,2020(2):23-24.
- [15] 杨志毅,王惠林,王瑞,等.六种铜制剂对主要甜瓜生长指标、产量和品质的影响[J].新疆农业科学,2023,60(12):3008-3017.
- [16] 蔡健,梁文斌,张蕾.不同杀菌剂致甜瓜药害发生程度研究[J].上海蔬菜,2021(2):56-58.
- [17] 李金凤,张玉龙,汪景宽.硫对大豆生长发育及生理效应影响的研究[J].土壤通报,2004,35(5):612-616.
- [18] 徐莹.硫素胁迫对烟草生长和生理过程的影响研究[D].福州:福建农林大学,2010.
- [19] LINZON S N, TEMPLE P J, PERASON R G. Sulfur concentrations in plant foliage and related effects[J]. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 1979, 29(5):520-525.
- [20] 郁梦德.作物叶片中氯、硫含量与叶龄和季节关系的初步分析[J].环境科学,1980(2):38-43.
- [21] 孟赐福,姜培坤,曹志洪,等.植物硫素营养诊断技术的研究进展[J].土壤,2007(5):713-717.
- [22] MATHERON M E, PORCHAS M. Comparative performance and preservation of chemical management tools for powdery mildew on muskmelon[J]. *Acta Horticulturae*, 2007 (731): 357-361.
- [23] 周明国.常见杀菌剂的药害及其控制[C]//中国农业技术推广协会.农作物药害预防及控制技术研讨会论文集,2005:21-27.
- [24] 王静,马玲,田兴武,等.植物工厂 LED 灯不同光照强度对甜瓜植株生长的影响[J].农业科学研究,2024,45(3):34-38.
- [25] 杨凤娟,刘世琦,王秀峰,等.硫对大蒜生理生化指标及营养品质的影响[J].应用生态学报,2004,15(11):2095-2098.
- [26] 李进.影响植物药害的因素[J].昆虫知识,1958(5):241-244.
- [27] 高艳卫.植物药害发生因素及补救措施[J].安徽农学通报(上半月刊),2009,15(1):151.
- [28] PERCHEPIED L, PERIN C, GIOVINAZZO N, et al. Susceptibility to sulfur dusting and inheritance in melon[C]//Progress in cucurbit genetics breeding research. *Proceedings of Cucurbitaceae 2004, the 8th EUCARPIA Meeting on Cucurbit Genetics and Breeding*, 2004:353-357.