5 种矿物源农药对兰州百合 3 种病害室内防效评价

蔺 珂[1], 梁巧兰[1*], 魏列新[1], 姜玉玲[1], 孟秀鹏[1],
岳 阳[1], 陈应娥[1], 梁旭东[2]

(1. 甘肃农业大学植物保护学院, 甘肃省农作物病虫害生物防治工程实验室, 兰州 730070;
2. 兰州市七里河区农业技术推广站, 兰州 730050)

摘要 为了筛选高效低毒且对兰州百合 3 种病害具有较高防效的矿物源农药,本试验采用生长速率法、黄瓜子叶法及喷雾、灌根法分别测定了 5 种矿物源农药对引起兰州百合病害病原菌灰葡萄孢 *Botrytis cinerea*、交链格孢 *Alternaria alternata*、裂褶菌 *Schizophyllum commune* 的抑菌作用、活性、离体防效和室内盆栽防效,明确了其防病持效期及对百合的安全性。结果表明,86.2%氧化亚铜 WP 对灰葡萄孢、交链格孢、裂褶菌的抑菌作用均最好,EC_{50} 分别为 286.52、203.17、39.42 μg/mL,29%石硫合剂 AS 对灰葡萄孢、交链格孢的抑菌作用较好,EC_{50} 分别为 683.56、320.20 μg/mL,46%氢氧化铜 WG 对裂褶菌的 EC_{50} 为 89.60 μg/mL;离体防效测定表明,86.2%氧化亚铜 WP 和 29%石硫合剂 AS 对百合灰霉病、叶斑病防效均较好,保护作用和治疗作用防效分别在 78%和 70%以上,86.2%氧化亚铜 WP 和 46%氢氧化铜 WG 对百合鳞茎腐烂病防效较好,保护作用和治疗作用防效分别在 83%和 76%以上;室内盆栽防效测定表明,86.2%氧化亚铜 WP 对兰州百合 3 种病害的防效最好,均在 61%以上,但防效均低于各自对照化学药剂;86.2%氧化亚铜 WP 对百合灰霉病、29%石硫合剂 AS 对百合叶斑病、46%氢氧化铜 WG 对百合鳞茎腐烂病的防病效果均在第 7 天时最高,分别为 71.75%、73.96%、75.00%,持效期为 7 d,且对兰州百合安全。研究结果为利用矿物源农药有效防治兰州百合灰霉病、叶斑病和鳞茎腐烂病提供依据。

关键词 矿物源农药; 百合病害; 活性测定; 防治效果; 持效期; 安全性

中图分类号: S435.67 **文献标识码**: B **DOI**: 10.16688/j.zwbh.2020620

Evaluation of indoor control effects of five mineral pesticides against three diseases of Lanzhou lily

LIN Ke[1], LIANG Qiaolan[1*], WEI Liexin[1], JIANG Yuling[1], MENG Xiupeng[1],
YUE Yang[1], CHEN Ying'e[1], LIANG Xudong[2]

(1. *College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Biocontrol Engineering Laboratory of Crop Diseases and Pests of Gansu Province, Lanzhou* 730070, *China*; 2. *Agricultural Technology Extension Station of Qilihe District, Lanzhou City, Lanzhou* 730050, *China*)

Abstract In order to screen the mineral-derived pesticides with high-efficiency and low-toxicity against the three kinds of Lanzhou lily diseases, the inhibition effect, virulence, *in vitro* control effect, safety and duration of disease prevention of the five mineral-derived pesticides on the pathogenic *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, *Schizophyllum commune* were investigated by the growth rate method, cucumber cotyledon method, spray and root drenching method, respectively. The results showed that the cuprous oxide 86.2% WP had the best inhibition effects to *B. cinerea*, *A. alternata*, and *S. commune*, with the EC_{50} values of 286.52, 203.17 and 39.42 μg/mL, respectively. Lime sulfur 29% AS had good inhibition effects to *B. cinerea* and *A. alternata*, with the EC_{50} values of 683.56 and 320.20 μg/mL, respectively. Copper hydroxide 46% WG had good inhibition effect to *S. commune*, with the EC_{50} value of 89.60 μg/mL. The *in vitro* control effect test showed that cuprous oxide 86.2% WP and lime sulfur 29% AS had good control effects to *B. cinerea* and *A. alternata*, and the protective effects

收稿日期: 2020-11-20 **修订日期**: 2021-01-22
基金项目: 兰州市科技局项目(2018-4-78);甘肃省科技重大专项(18ZD2NA010);甘肃农业大学学科建设基金(GAU-XKJS-2018-155);甘肃省农牧厅项目(GNSW-2016-25)
* 通信作者 E-mail:liangql@gsau.edu.cn

and therapeutic effects were above 78% and 70%, respectively. Cuprous oxide 86.2% WP and copper hydroxide 46% WG had better control effects to *S. commune*, and the protective effects and therapeutic effects were above 83% and 76%, respectively. The indoor potted test showed that cuprous oxide 86.2% WP had the best control effect on the three diseases of Lanzhou lily, with the efficacies of above 61%, but lower than their respective chemical control. The prevention effects of cuprous oxide 86.2% WP on lily gray mold, lime sulfur 29% AS on lily leaf spot and copper hydroxide 46% WG on lily bulb rot were the highest on the 7th day, with the efficacies of 71.75%, 73.96% and 75.00%, respectively. The persistent period of the mineral pesticides is seven days, and they were safe to Lanzhou lily. The results provide a basis for the effective control of Lanzhou lily gray mold, leaf spot and bulb rot by using mineral-derived pesticides.

Key words mineral pesticide; lily disease; activity assay; control effect; persistent period; safety

兰州百合是百合科 Liliaceae 百合属 *Lilium* 多年生草本植物，个头硕大、味道甜美、色泽洁白，在可食用的品种当中，兰州百合、宜兴百合、龙牙百合为优质种，其中以兰州百合营养最为丰富，是我国唯一的甜百合[1-2]，也是甘肃省兰州市特色产品。具有清热解毒、滋阴养肺、增强人体免疫力等药用价值，素有“兰州百合甲天下”的美誉[3-5]。已经成为当地农民摆脱贫困、增加收入的支柱产业，畅销国内外[6]。自 20 世纪 80 年代起，兰州百合产业迅速发展起来，种植面积从当时的 333.33 hm^2 发展到了 2016 年的 7 133.33 hm^2，增长了 20.40 倍[5]。兰州百合的种植区域集中、生产周期长、轮作倒茬困难、连作障碍现象普遍，近年来随着兰州百合种植面积的持续扩大和种植年限的不断延长，兰州百合叶部以及鳞茎病害日趋严重，严重影响了百合的产量和质量，已成为遏制百合生产的重要因素之一[7-8]。

目前，生产中对百合病害的防治主要依赖于化学农药，在百合病害防治中取得了显著效果，但由于农户在使用中不科学合理用药、随意增加用药次数、加大用药量，引起残留污染，并导致病原菌产生抗药性，防治效果降低，严重影响百合的产量和品质。生物农药是利用天然物质或者生命体来对植物病虫害进行有效的控制[9]，目前常用的生物农药有植物源农药、矿物源农药、微生物源农药以及农用抗生素类农药等。其中矿物源农药对病虫害的作用机理大多是物理作用，毒性比较低，对人畜、天敌都比较安全，耐雨水冲刷，而且成本相比于其他生物农药较低，属于低风险农药，符合环境友好型、资源节约型的农业发展趋势，近年来被广泛用于植物病害防治[10]。研究发现，86.2%氧化亚铜、45%石硫合剂防治猕猴桃果实腐烂病和小麦白粉病的防效可达 86.76%和 77.42%[11-12]。99%矿物油乳油、37.5%氢氧化铜悬浮剂和波尔多液防治果蔬白粉病和番茄细菌性斑点病，防效达到 99.84%、90.47%和 67.43%，且对黄瓜、草莓和番茄安全[13-14]。而有关利用矿物源农药防治兰州百合主要病害的研究尚未见报道。

因此，本试验选用 5 种矿物源农药对兰州百合灰霉病、叶斑病、鳞茎腐烂病病原菌进行抑菌作用、室内活性、离体防效、室内盆栽防效、防病持效期和对百合的安全性进行了测定，为指导利用矿物源农药防治兰州百合病害提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试病原菌：灰葡萄孢 *Botrytis cinerea*、交链格孢 *Alternaria alternata*、裂褶菌 *Schizophyllum commune*，保存于甘肃农业大学农药学实验室 4℃冰箱中。

供试药剂：见表 1。

表 1　供试药剂

Table 1　Tested fungicide

药剂名称 Reagent	生产厂家 Manufacturer	推荐浓度/μg·mL^{-1} Recommended concentration
80%波尔多液可湿性粉剂 bordeaux mixture 80% WP	美国仙农有限公司	3 300
86.2%氧化亚铜可湿性粉剂 cuprous oxide 86.2% WP	天津市绿亨化工有限公司	1 250
46%氢氧化铜水分散粒剂 copper hydroxide 46% WG	美国杜邦公司	2 000
50%硫磺悬浮剂 sulfur 50% SC	宜宾川安高科农药有限责任公司	5 000
29%石硫合剂水剂 lime sulfur 29% AS	宜宾川安高科农药有限责任公司	3 300

供试植株：黄瓜品种‘津研 4 号’，购于天津市蔬菜研究所，兰州百合购于兰州百合种球繁育基地。

1.2 试验方法

1.2.1 矿物源农药对兰州百合 3 种病害病原菌抑菌作用

病原菌活化：挑取保存于 4℃冰箱中的灰葡萄孢、交链格孢、裂褶菌，接种于 PDA 培养基中央进行活化，并置于 25℃恒温箱培养 4 d，保存备用。

在超净工作台上用灭菌水将上述 5 种矿物源农药按照推荐使用浓度的 50 倍配成药液，取 1 mL 药液加入到灭菌冷却至 45℃的 49 mL PDA 培养基中，充分混匀，倒入 4 个 90 mm 灭菌培养皿中制成含药培养基，并以加入 1 mL 无菌水的 PDA 培养基为对照。用打孔器在上述活化后病原菌菌落边缘打直径 5 mm 的菌饼，菌丝朝下接入含药 PDA 平板和对照 PDA 平板中央，置于 25℃下恒温培养，每个处理重复 4 次，4 d 后采用十字交叉法测量菌落直径，并按下式计算药剂抑菌率。

$$抑菌率=\frac{对照菌落直径-处理菌落直径}{对照菌落直径-5}\times 100\%。$$

采用含毒介质生长速率法[15]，对抑菌率在 50%以上的药剂进行室内活性测定，将药剂按照表 2 中浓度梯度用灭菌水稀释，按上述同样方法制成含药培养基，接菌，4 d 后采用十字交叉法测量菌落直径、计算不同浓度药剂的抑菌率。

表 2 5 种矿物源农药供试浓度

Table 2 Concentrations of five mineral source pesticides

药剂 Reagent	浓度/μg·mL^{-1} Concentration														
	灰葡萄孢 *Botrytis cinerea*					交链格孢 *Alternaria alternata*					裂褶菌 *Schizophyllum commune*				
80%波尔多液 WP bordeaux mixture 80% WP	3 300	1 650	825	413	206	3 300	1 650	825	413	206	825	413	206	103	52
86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	1 250	625	313	156	78	1 250	625	313	156	78	156	78	39	20	10
46%氢氧化铜 WG copper hydroxide 46% WG	2 000	1 000	500	250	125	2 000	1 000	500	250	125	500	250	125	63	32
50%硫磺 SC sulfur 50% SC	5 000	2 500	1 250	625	312	5 000	2 500	1 250	625	312	5 000	2 500	1 250	625	312
29%石硫合剂 AS lime sulfur 29% AS	3 300	1 650	825	413	206	3 300	1 650	825	413	206	3 300	1 650	825	413	206

将药剂浓度转化为浓度对数，抑菌率转化为几率值，以各药剂浓度对数值为 x，以抑菌率几率值为 y，求出毒力回归方程 $y=a+bx$ 和 EC_{50}，比较各药剂的活性大小。

1.2.2 矿物源农药对兰州百合 3 种病害离体防效测定

根据 1.2.1 测定结果，分别选择对 3 种病害抑菌活性较好的矿物源药剂，以抑菌率最大时的浓度用灭菌水配制成药液（见表 5），备用。

采用黄瓜子叶法[16-19]对百合灰霉病进行离体防效测定。选用健康的、大小一致的黄瓜种子（‘津研 4 号’），催芽，待露白后，种植于装有灭菌土壤的营养钵中，然后置于适宜的环境条件，温度（25±1）℃，相对湿度 60%，光照 L//D=16 h//8 h 的人工气候室，培育幼苗，待子叶充分展开后摘取生长一致的子叶，备用。

保护作用测定：取上述培养的黄瓜幼苗的子叶，用 75%乙醇表面消毒 1 min、无菌水清洗 3 次后晾干，浸入上述配制的各矿物源药液内，3 min 后取出用滤纸将多余药液吸干，放入直径 90 mm 的培养皿中（培养皿底部垫有浸水海绵，上覆一层滤纸），每皿 4 片子叶，重复 3 次，中间用湿脱脂棉球保湿。药液晾干后用打孔器在灰葡萄孢菌落边缘打直径 5 mm 的菌饼置于子叶中间，在气候箱中于（25±1）℃，相对湿度 60%，L//D=16 h//8 h 条件下培养 4 d 后，用十字交叉法测量病斑直径，按下式计算防治效果：

$$防治效果=\frac{对照病斑直径-处理病斑直径}{对照病斑直径-5}\times 100\%。$$

治疗作用测定：用打孔器在灰葡萄孢菌落边缘打直径 5 mm 的菌饼置于子叶中间，放入 90 mm 的培养皿中，每皿 4 片子叶，重复 3 次，中间用湿脱脂

棉球保湿，放置于气候箱中于(25±1)℃，相对湿度 60%，L//D=16 h//8 h 条件下培养 36 h 后，取出子叶浸入上述不同矿物源药液中，然后按保护作用测定方法进行培养、测定，最后计算防治效果。

选用大小一致的健康百合叶片和百合鳞片用 75%乙醇进行表面消毒 1 min，无菌水清洗 3 次并晾干，晾干后分别对百合叶斑病、鳞茎腐烂病进行离体防效测定，测定方法同百合灰霉病保护作用和治疗作用防效测定方法。

1.2.3 *矿物源农药对兰州百合 3 种病害室内盆栽防效测定*

根据离体防效测定结果，选用对兰州百合 3 种病害防治效果较好的矿物源药剂进行室内盆栽防效测定，用灭菌水将各矿物源农药配成相应浓度(见表 6)，分别以 500 g/L 异菌脲 SC、80%代森锰锌 WP、75%百菌清 WP 化学药剂作为对照。室内种植百合幼苗，选择长势一致的百合幼苗，分别用于测定不同矿物源药剂对百合灰霉病、叶斑病、鳞茎腐烂病的防治效果。灰霉病、叶斑病采用喷雾法，鳞茎腐烂病采用灌根法，每个处理 3 盆，每盆喷施(灌根)20 mL，重复 3 次，以喷施(灌根)自来水为对照。药剂处理 3 d 后用喷雾法及灌根法接种各病原菌孢子悬浮液(1×10^9 个/mL)，然后置于适宜条件的人工气候室中培养，温度(25±1)℃，相对湿度 60%，L//D=16 h//8 h，培养 7 d 后根据以下分级标准调查发病情况，并计算病情指数及防治效果。

灰霉病、叶斑病分级标准：0 级，叶片无病斑；1 级，病斑面积占总叶片面积的 1%以下；2 级，病斑的面积占总叶片面积的 2%～5%；3 级，病斑的面积占总叶片面积的 6%～20%；4 级，病斑的面积占总叶片面积的 21%～40%；5 级，病斑的面积占总叶片面积的 40%以上[20]。

鳞茎腐烂病分级标准：0 级，无病斑；1 级，病斑面积占整个鳞片面积的 5%以下；2 级，病斑面积占整个鳞片面积的 6%～10%；3 级，病斑面积占整个鳞片面积的 11%～20%；4 级，病斑面积占整个鳞片面积的 21%～50%；5 级，病斑面积占整个鳞片面积的 50%以上[21]。

病情指数=∑(各级代表值×发病叶片数)/(最高级代表值×调查总叶片数)×100；

防治效果=(对照组病情指数－处理组病情指数)/对照组病情指数×100%。

1.2.4 *矿物源农药对兰州百合 3 种病害保护作用持效期测定*

将 1.2.3 中各矿物源农药及化学农药配成相应浓度(见表 7)，用各药液喷雾(灌根)处理盆栽的兰州百合幼苗，每个处理 15 盆，每盆喷施(灌根)20 mL，重复 3 次，以化学药剂和无菌水喷雾(灌根)作为对照，分别于处理后 3、5、7、9、11 d 接种病原菌孢子(1×10^9 个/mL)，灰霉病、叶斑病采用喷雾法，鳞茎腐烂病采用灌根法，处理后的百合植株置于人工气候室中培养(25℃±1℃，相对湿度 60%，L//D=16 h//8 h)，培养 7 d 后调查发病情况，按 1.2.3 中的分级标准，计算病情指数及防治效果。

1.2.5 *矿物源农药对兰州百合安全性评价*

通过室内防效测定选出对兰州百合 3 种病害病原菌防治效果较好的药剂，按药剂推荐浓度用灭菌水配制成药液，即 86.2%氧化亚铜 WP 1 250 μg/mL、46%氢氧化铜 WG 2 000 μg/mL、29%石硫合剂 AS 3 300 μg/mL 喷雾处理百合幼苗，让叶片正反面及土壤表面布满药剂。分别于施药后 1、3、5、7、9、11 d 观察百合的生长情况，确定其对兰州百合是否产生药害。

1.2.6 *数据分析*

试验数据用 Microsoft Excel 2010 整理，采用 SPSS 25.0 软件进行 probit 分析、卡方检验，并用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验。

2　结果与分析

2.1　矿物源农药对兰州百合 3 种病原菌抑菌作用

结果表明，5 种矿物源农药对 3 种病原菌均有不同程度的抑制作用。其中 86.2%氧化亚铜 WP 对灰葡萄孢、交链格孢、裂褶菌的活性均最好，EC_{50} 分别为 286.52、203.17、39.42 μg/mL(表 3)，浓度为 1 250 μg/mL 时抑菌率分别为 86.84%、97.86%、100%(表 4)；其次，对灰葡萄孢和交链格孢活性较好的是 29%石硫合剂 AS，EC_{50} 分别为 683.56、320.20 μg/mL，浓度为 3 300 μg/mL 时抑菌率分别为 82.26%、87.13%；对裂褶菌活性较好的是 46%氢氧化铜 WG，EC_{50} 为 89.60 μg/mL，浓度为 2 000 μg/mL 时抑菌率为 100%；50%硫磺 SC 对上述 3 种病原菌的活性均最差，EC_{50} 分别为 3 253.32、4 362.46、3 135.82 μg/mL，浓度为 5 000 μg/mL 时抑菌率分别为 51.68%、57.71%、58.24%(表 3、表 4)。

表 3 5 种矿物源农药对兰州百合 3 种病害病原菌室内抑菌活性比较

Table 3 Comparison of indoor inhibition activity of five kinds of mineral pesticides to three kinds of pathogens of Lanzhou lily diseases

药剂 Reagent	灰葡萄孢 *Botrytis cinerea*			交链格孢 *Alternaria alternata*			裂褶菌 *Schizophyllum commune*		
	斜率±标准误 Slope±SE	EC_{50}(95%置信限)/μg·mL^{-1} EC_{50}(95% confidence interval)	χ^2 (df=3)	斜率±标准误 Slope±SE	EC_{50}(95%置信限)/μg·mL^{-1} EC_{50}(95% confidence interval)	χ^2 (df=3)	斜率±标准误 Slope±SE	EC_{50}(95%置信限)/μg·mL^{-1} EC_{50}(95% confidence interval)	χ^2 (df=3)
80%波尔多液 WP bordeaux mixture 80% WP	1.52±0.10	2 250.49 (1 876.92～2 756.17)	1.51	1.65±0.09	452.59 (370.74～538.06)	0.58	2.27±0.15	139.53 (119.28～161.52)	2.00
86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	1.74±0.08	286.52 (242.38～337.60)	0.77	2.40±0.17	203.17 (176.01～232.49)	3.33	1.99±0.13	39.42 (33.91～45.84)	2.25
46%氢氧化铜 WG copper hydroxide 46% WG	1.46±0.07	1 130.98 (934.19～1 378.98)	0.99	2.44±0.02	345.57 (302.56～392.37)	0.22	3.66±0.73	89.60 (77.35～96.66)	4.97
50%硫磺 SC sulfur 50% SC	1.46±0.26	3 253.32 (1 885.15～4 751.95)	3.17	1.54±0.12	4 362.46 (3 823.98～4 900.94)	1.92	0.71±0.07	3 135.82 (2 107.40～4 164.24)	0.67
29%石硫合剂 AS lime sulfur 29% AS	1.45±0.11	683.56 (558.31～827.72)	1.92	1.05±0.10	320.20 (208.85～430.03)	1.79	1.20±0.16	567.02 (433.72～714.60)	3.69

表 4 5 种矿物源农药对兰州百合 3 种病害病原菌的抑制作用(4 d)[1)]

Table 4 Inhibition of five kinds of mineral pesticides on three kinds of pathogens of Lanzhou lily diseases (4 d)

药剂 Reagent	浓度/μg·mL^{-1} Concentration	灰葡萄孢 *Botrytis cinerea*		交链格孢 *Alternaria alternata*		裂褶菌 *Schizophyllum commune*	
		菌落直径/mm Colony diameter	抑菌率/% Inhibitory rate	菌落直径/mm Colony diameter	抑菌率/% Inhibitory rate	菌落直径/mm Colony diameter	抑菌率/% Inhibitory rate
80%波尔多液 WP bordeaux mixture 80% WP	3 300	(29.50±0.30)c	55.05 d	(9.84±0.47)d	91.20 b	(5.00±0.00)d	100 a
86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	1 250	(12.17±0.60)f	86.84 a	(6.18±0.23)e	97.86 a	(5.00±0.00)d	100 a
46%氢氧化铜 WG copper hydroxide 46% WG	2 000	(26.49±0.44)d	60.57 c	(6.74±0.21)e	96.84 a	(5.00±0.00)d	100 a
50%硫磺 SC sulfur 50% SC	5 000	(31.33±0.21)b	51.68 e	(28.26±0.39)b	57.71 d	(22.33±0.44)b	58.24 c
29%石硫合剂 AS lime sulfur 29% AS	3 300	(14.67±0.88)e	82.26 b	(12.08±0.16)c	87.13 c	(10.83±0.17)c	85.95 b
对照 CK	—	(59.50±0.82)a	—	(60.00±0.20)a	—	(46.50±0.50)a	—

1) 表中数据为平均值±标准误。同列数据后不同小写字母表示不同药剂处理后，菌落直径之间、抑菌率之间分别在 0.05 水平上差异显著。Data in the table are mean±standard error. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between colony diameters and inhibition rates treated with different pesticides at 0.05 level, respectively.

2.2 矿物源农药对百合 3 种病害离体防效测定

5 种矿物源农药对兰州百合 3 种病害均有不同程度的防治效果，且存在显著差异。其中 86.2%氧化亚铜 WP 1 250 μg/mL 和 29%石硫合剂 AS 3 300 μg/mL 对灰霉病、叶斑病防治效果均最好，对灰霉病保护作用防效分别为 85.26%、78.95%，治疗作用防效分别为 81.63%、70.41%；对叶斑病保护作用防效分别为 86.49%、83.78%，治疗作用防效分别为 81.58%、78.95%。对鳞茎腐烂病防治效果最好的药剂是 86.2%氧化亚铜 WP 156 μg/mL

和 46%氢氧化铜 WG 500 μg/mL，保护作用防效分别为 87.27%、83.64%，治疗作用防效分别为 80.36%、76.79%。50%硫磺 SC 5 000 μg/mL 对上述 3 种病害防效均最差，保护作用防效在 55%以下，治疗作用防效在 47%以下，5 种药剂保护作用均高于治疗作用(表 5)。

表 5　5 种矿物源农药对兰州百合 3 种病害离体防效[1)]

Table 5　*In vitro* control effects of five kinds mineral pesticides on three diseases of Lanzhou lily

病原菌 Pathogen	药剂 Reagent	浓度/μg·mL^{-1} Concentration	保护作用 Protective effect		治疗作用 Therapeutic effect	
			病斑直径/mm Lesion diameter	防治效果/% Control efficacy	病斑直径/mm Lesion diameter	防治效果/% Control efficacy
灰葡萄孢 *Botrytis cinerea*	80%波尔多液 WP bordeaux mixture 80% WP	3 300	(8.60±0.05)c	62.11 d	(9.10±0.10)c	58.16 d
	86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	1 250	(6.40±0.10)f	85.26 a	(6.80±0.06)f	81.63 a
	46%氢氧化铜 WG copper hydroxide 46% WG	2 000	(7.90±0.06)d	69.47 c	(8.70±0.01)d	62.24 c
	50%硫磺 SC sulfur 50% SC	5 000	(9.30±0.12)b	54.74 e	(10.20±0.05)b	46.94 e
	29%石硫合剂 AS lime sulfur 29% AS	3 300	(7.00±0.08)e	78.95 b	(7.90±0.03)e	70.41 b
	对照　CK	—	(14.50±0.13)a	—	(14.80±0.07)a	—
交链格孢 *Alternaria alternata*	80%波尔多液 WP bordeaux mixture 80% WP	3 300	(6.40±0.03)c	62.16 c	(6.70±0.01)c	55.26 c
	86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	1 250	(5.50±0.09)e	86.49 a	(5.70±0.08)e	81.58 a
	46%氢氧化铜 WG copper hydroxide 46% WG	2 000	(6.10±0.12)d	70.27 b	(6.30±0.10)d	65.79 b
	50%硫磺 SC sulfur 50% SC	5 000	(7.30±0.10)b	37.84 d	(7.60±0.06)b	31.58 d
	29%石硫合剂 AS lime sulfur 29% AS	3 300	(5.60±0.05)e	83.78 a	(5.80±0.03)e	78.95 a
	对照　CK	—	(8.70±0.04)a	—	(8.80±0.02)a	—
裂褶菌 *Schizophyllum commune*	80%波尔多液 WP bordeaux mixture 80% WP	825	(6.50±0.09)d	72.73 b	(6.90±0.10)d	66.07 b
	86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	156	(5.70±0.05)e	87.27 a	(6.10±0.09)e	80.36 a
	46%氢氧化铜 WG copper hydroxide 46% WG	500	(5.90±0.02)e	83.64 a	(6.30±0.05)e	76.79 a
	50%硫磺 SC sulfur 50% SC	5 000	(8.40±0.15)b	38.18 d	(8.70±0.10)b	33.93 d
	29%石硫合剂 AS lime sulfur 29% AS	3 300	(7.30±0.17)c	58.18 c	(7.70±0.05)c	51.79 c
	对照　CK	—	(10.50±0.03)a	—	(10.60±0.06)a	—

1) 表中数据为平均值±标准误。同列数据后不同小写字母表示不同药剂处理后，病斑直径之间、防治效果之间分别在 0.05 水平上差异显著。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between colony diameters and control efficacy treated by different pesticides at 0.05 level, respectively.

2.3　矿物源农药对兰州百合 3 种病害室内盆栽防效测定

室内盆栽防效测定结果表明，86.2%氧化亚铜 WP 对兰州百合 3 种病害防效均最好，分别为 61.81%、64.18%、64.69%，分别比化学药剂 500 g/L 异菌脲 SC、80%代森锰锌 WP、75%百菌清 WP 低 11.83%、2.68%、0.75%(表 6)。

表 6 矿物源农药对兰州百合 3 种病害室内盆栽防效[1)]

Table 6 The potted plant control effects of mineral pesticides on three diseases of Lanzhou lily

病原菌 Pathogen	药剂 Reagent	浓度/μg·mL^{-1} Concentration	病情指数 Disease index	防治效果/% Control efficacy
灰葡萄孢 *Botrytis cinerea*	86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	1 250	(19.64±0.08)c	61.81 b
	29%石硫合剂 AS lime sulfur 29% AS	3 300	(22.22±0.22)b	56.80 c
	500g/L 异菌脲 SC iprodione 500g/L SC	300	(15.38±0.10)d	70.10 a
	对照(水) CK	—	(51.43±0.34)a	—
交链格孢 *Alternaria alternata*	86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	1 250	(15.63±0.11)c	64.18 a
	29%石硫合剂 AS lime sulfur 29% AS	3 300	(18.34±0.19)b	57.97 b
	80%代森锰锌 WP mancozeb 80% WP	250	(14.86±0.14)c	65.95 a
	对照(水) CK	—	(43.64±0.26)a	—
裂褶菌 *Schizophyllum commune*	86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	156	(16.59±0.12)bc	64.69 ab
	46%氢氧化铜 WG copper hydroxide 46% WG	500	(17.07±0.15)b	63.67 b
	75%百菌清 WP chlorothalonil 75% WP	206	(16.36±0.10)c	65.18 a
	对照(水) CK	—	(46.98±0.45)a	—

1) 表中数据为平均值±标准误,同列数据后不同小写字母表示不同药剂处理后,防治效果之间在 0.05 水平上差异显著。
Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between control efficacy treated by different pesticides at the 0.05 level.

2.4 矿物源农药对兰州百合 3 种病害保护作用的持效期

用各药剂处理兰州百合幼苗(鳞茎)不同时间后接种病原菌,结果表明同一种矿物源药剂处理后不同时间接菌的病害防治效果之间差异显著,86.2%氧化亚铜 WP、29%石硫合剂 AS、46%氢氧化铜 WG 分别防治百合灰霉病、叶斑病、鳞茎腐烂病的持效性与化学药剂基本一致,均在处理后 7 d 接种病原菌防效最高,分别为 71.75%、73.96%、75.00%,处理后 9 d 接种病原菌防效降低,但均在 60%以上,各矿物源药剂对兰州百合病害的保护作用持效期为 7 d;不同药剂处理后对同一时间接种病原菌的防治效果之间存在显著差异(表 7)。

表 7 不同药剂对兰州百合 3 种病害保护作用持效期[1)]

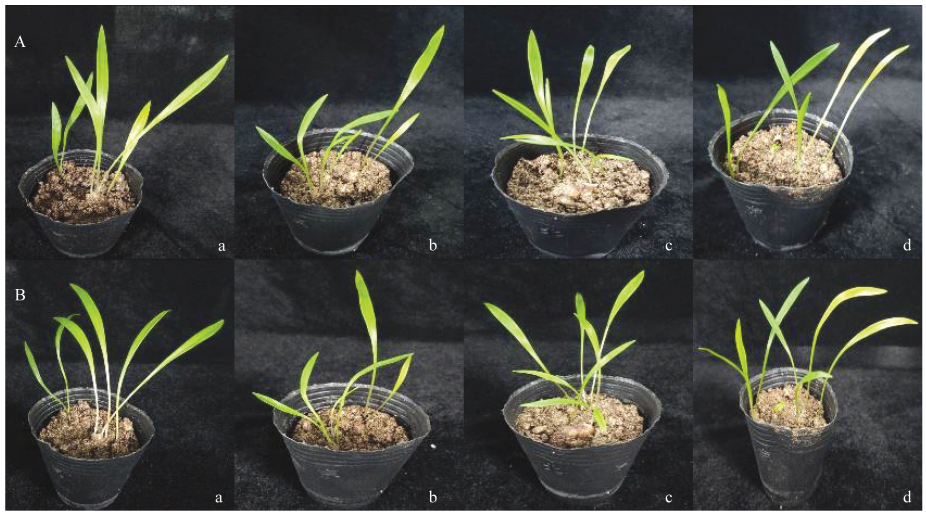
Table 7 Persistent period of different pesticides for controlling three kinds of diseases of Lanzhou lily

病原菌 Pathogen	药剂 Reagent	浓度/μg·mL^{-1} Concentration	药剂处理后不同时间接种病原菌的防治效果/% Efficacy of pesticides treatment on different pathogens at different inoculation time				
			3 d	5 d	7 d	9 d	11 d
灰葡萄孢 *Botrytis cinerea*	86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	1 250	61.34 bD	66.67 bB	71.75 bA	63.78 bC	46.92 bE
	29%石硫合剂 AS lime sulfur 29% AS	3 300	56.98 cC	61.90 cB	65.01 cA	48.84 cD	23.08 cE
	500g/L 异菌脲 SC iprodione 500g/L SC	300	67.77 aC	71.79 aB	79.98 aA	68.63 aC	53.18 aD
交链格孢 *Alternaria alternata*	86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	1 250	64.00 bC	66.25 bB	72.68 bA	54.27 cD	40.55 cE
	29%石硫合剂 AS lime sulfur 29% AS	3 300	57.97 cD	65.03 cB	73.96 bA	60.17 bC	46.67 bE
	80%代森锰锌 WP mancozeb 80% WP	250	66.18 aC	68.44 aB	75.00 aA	62.88 aD	51.10 aE
裂褶菌 *Schizophyllum commune*	86.2%氧化亚铜 WP cuprous oxide 86.2% WP	156	64.69 abC	71.97 aB	74.37 aA	60.22 bD	44.34 bE
	46%氢氧化铜 WG copper hydroxide 46% WG	500	63.67 bD	66.99 cB	75.00 aA	65.66 aC	51.00 aE
	75%百菌清 WP chlorothalonil 75% WP	206	65.18 aC	69.17 bB	72.12 bA	57.56 cD	40.81 cE

1) 表中数据后不同大写字母表示同一种药剂在不同时间处理的防治效果之间在 0.05 水平上差异显著;不同小写字母表示不同药剂在同一时间处理的防治效果之间在 0.05 水平上差异显著。
Different capital letters indicate that the control effects of the same pesticide at different time are significantly different at the 0.05 level; different lowercase letters indicate that the control effects of different pesticides at the same time are significantly different at the 0.05 level.

2.5 矿物源农药对百合安全性评价

安全性测定表明,1 250 μg/mL 86.2%氧化亚铜 WP、3 300 μg/mL 29%石硫合剂 AS、2 000 μg/mL 46%氢氧化铜 WG 喷雾处理百合幼苗,药后 1、3、5、7、9、11 d 观察,不同药剂防治兰州百合 3 种病害试验中各处理百合植株叶色浓绿,长势良好,与对照比较,没有发生药害的现象,说明供试药剂在试验剂量范围内对兰州百合安全(图 1)。



A: 药剂处理后1 d; B: 药剂处理后11 d; a: 86.2%氧化亚铜WP处理; b: 29%石硫合剂AS处理; c: 46%氢氧化铜WG处理; d: CK
A: One day after fungicides treatment; B: 11 d after fungicides treatment; a: cuprous oxide 86.2% WP treatment; b: lime sulfur 29% AS treatment; c: copper hydroxide 46% WG treatment; d: CK

图 1　矿物源农药对兰州百合安全性测定

Fig. 1　Determination of safety of mineral pesticides to Lanzhou lily

3　结论与讨论

本试验筛选出了对兰州百合病害具有较高活性的 3 种矿物源农药，86.2%氧化亚铜 WP 对灰葡萄孢、交链格孢、裂褶菌的抑菌活性均最好，EC_{50} 分别为 286.52、203.17、39.42 μg/mL，在推荐使用浓度 1 250 μg/mL 时抑菌率分别为 86.84%、97.86%、100%；29%石硫合剂 AS 对灰葡萄孢、交链格孢的抑菌活性较好，EC_{50} 分别为 683.56、320.20 μg/mL，在推荐使用浓度 3 300 μg/mL 时抑菌率分别为 82.26%、87.13%；46%氢氧化铜 WG 对裂褶菌活性较好，EC_{50} 为 89.60 μg/mL，推荐浓度 2 000 μg/mL 时抑菌率为 100%。离体防效测定表明，86.2%氧化亚铜 WP 和 29%石硫合剂 AS 对百合灰霉病、叶斑病防效均较好，保护作用分别在 78%、83%以上，治疗作用分别在 70%、78%以上；86.2%氧化亚铜 WP 和 46%氢氧化铜 WG 对百合鳞茎腐烂病防效较好，保护作用在 83%以上，治疗作用在 76%以上。盆栽防效结果表明，86.2%氧化亚铜 WP 对兰州百合 3 种病害防效均最好，在 61%以上；86.2%氧化亚铜 WP 对百合灰霉病、29%石硫合剂 AS 对叶斑病、46%氢氧化铜 WG 对鳞茎腐烂病的保护作用持效期为 7 d，且对兰州百合安全。

矿物源农药具有对人畜天敌安全、对环境友好、耐雨水冲刷等优点。有研究报道，86.2%氧化亚铜、45%石硫合剂可以防治猕猴桃果实腐烂病和小麦白粉病，防效为 86.76%和 77.42%[11-12]；波尔多液对番茄细菌性斑点病具有很好的防治效果，防效为 64.78%[14]；氢氧化铜对柑橘溃疡病菌和苹果树腐烂病菌均有较强的抑制效果和有较好的田间防治效果，且持效期为 15 d[22-23]。而有关利用矿物源农药防治兰州百合病害的研究尚未见报道，生产中百合病害的防治仍然依赖化学农药。研究表明，50%异菌脲 WP 对百合灰霉病防治效果较好，防效为 86.02%[24-25]；70%代森锰锌对交链格孢引起的新疆红枣叶斑病菌丝生长以及孢子萌发的抑制效果较好，EC_{50} 分别为 0.053 g/L 和 0.020 g/L[26]；另外，有学者发现，80%代森锰锌 WP 对玉米叶斑病防病持效期可达 10 d 左右。本试验通过室内药剂筛选也发现，不同矿物源药剂对引起兰州百合病害的不同病原菌具有不同程度的抑制作用，86.2%氧化亚铜 WP、29%石硫合剂 AS、46%氢氧化铜 WG 在推荐使用浓度下对灰葡萄孢、交链格孢、裂褶菌的抑菌率均在 82%以上，这 3 种药剂对上述 3 种病害离体防效在 70%以上，防病持效期为 7 d，且对兰州百合安全。

灰霉病菌具有繁殖快、遗传变异大等特点，极易产生抗药性[27]，在本试验中，86.2%氧化亚铜 WP、29%石硫合剂 AS、46%氢氧化铜 WG 可作为防治百合病害的生物药剂，与其他化学药剂轮换使用，以减缓病原菌抗药性的产生。由于受田间发病所限，对于这些矿物源药剂对兰州百合 3 种病害的田间药效试验尚未涉及，还有待进一步研究。

参考文献

[1]　李瑞琴，白滨，于安芬，等. 兰州百合营养品质分析及评价指

标简化[J]. 中国卫生检验杂志，2020，30(19)：2308－2311.
[2] 柯义强，郭鹏辉，马洪鑫，等. 兰州百合组培快繁体系的构建[J]. 浙江农业学报，2020，32(6)：1000－1008.
[3] 李玉萍，龚妍春，吴光杰，等. 百合属植物资源的分布·利用价值及其开发前景展望[J]. 安徽农业科学，2010，38(7)：3395－3396.
[4] 梁巧兰，魏列新，徐秉良，等. 深绿木霉 T2 蛋白质 TraT2A 诱导处理对接种灰霉菌百合光响应和荧光特性的影响[J]. 园艺学报，2020，47(4)：769－778.
[5] 赵银彦，谢忠奎，胡秉安，等. 兰州百合生产现状与效益分析[J]. 中国蔬菜，2018，38(2)：71－75.
[6] LI Wenmei，WANG Yajun，ZHANG Yubao，et al. Impacts of drought stress on the morphology，physiology，and sugar content of Lanzhou lily(*Lilium davidii* var. *unicolor*)[J/OL]. Acta Physiologiae Plantarum，2020，42(8)：127. Doi：10.1007/s11738-020-03115-y.
[7] 黄钰芳，张恩和，张新慧，等. 不同连作年限兰州百合光合特性日变化与生理生态因子的关系[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2020，48(8)：137－145.
[8] 黄钰芳，张恩和，张新慧，等. 兰州百合连作障碍效应及机制研究[J]. 草业学报，2018，27(2)：146－155.
[9] 周瑞岭，杨国兆. 探析水稻病虫害的防治与生物农药的应用[J]. 中国农业文摘-农业工程，2020，32(1)：67－68.
[10] 王以燕，袁善奎，吴厚斌，等. 我国生物源及矿物源农药应用发展现状[J]. 农药，2012，51(5)：313－316.
[11] 邓蕾，潘慧，张莹华，等. 猕猴桃果实腐烂病高效防治药剂的田间验证[J]. 中国南方果树，2020，49(4)：127－129.
[12] 马丽，王喜枝，王素平，等. 石硫合剂防治小麦红蜘蛛和小麦主要病害效果评价[J]. 农药，2016，55(6)：450－453.
[13] 何红卫. 矿物源农药绿颖防治草莓白粉病[J]. 浙江农业科学，2008，1(1)：88－89.
[14] 韩盛，杨渡，徐万里，等. 8 种生物源和矿物源农药防治加工番茄细菌性斑点病试验[J]. 新疆农业科学，2010，47(11)：2258－2261.
[15] 沈晋良. 农药生物测定[M]. 3 版. 北京：中国农业出版社，2013.
[16] BIRCHMORE R J，FORSTER B. FRAC methods for monitoring the sensitivity of *Botrytis cinerea* to anilino pyrimidine fungicides [J]. EPPO Bulletin，1996，26(1)：181-197.
[17] 李树正，张素华. 杀菌剂筛选方法的研究[J]. 农药，1997，36(9)：17－19.
[18] 李树正，张素华，刘淑芬，等. 黄瓜子叶法筛选蔬菜灰霉病杀菌剂的研究[J]. 华北农学报，1991，6(3)：94－99.
[19] 陈定花，朱卫刚，吴永刚. 黄瓜灰霉病子叶筛选法初探研究[J]. 浙江化工，2000，31(S1)：38－39.
[20] 韩亮，梁巧兰，周其宇. 深绿木霉 T2 发酵液蛋白提取物 TraT2A 诱导兰州百合抗灰霉病研究[J]. 中国农学通报，2016，32(20)：44－50.
[21] 张娜，梁巧兰，李嘉明，等. 20% TraT2A 诱抗剂水剂制备及效果评价[J]. 农药，2019，58(1)：26－29.
[22] 宋晓兵，彭埃天，崔一平，等. 6 种杀菌剂对柑橘溃疡病的室内毒力测定及田间防治效果评价[J]. 中国热带农业，2020(2)：26－30.
[23] 郭永斌，田苗，王亚南，等. 六种铜制剂对苹果树腐烂病菌抑制作用的持效期及影响因素[J]. 北方园艺，2017(16)：61－67.
[24] 彭建波，李泽森，钟艳红. 不同化学药剂对百合疫病、灰霉病防效研究[J]. 现代园艺，2015，7(10)：12－14.
[25] 朱丽梅，张长青，陈浩，等. 百合灰霉病高效杀菌剂的筛选和联合作用研究[J]. 金陵科技学院学报，2011，27(1)：51－54.
[26] 王志霞. 新疆红枣叶斑病病原鉴定及其防治药剂筛选[D]. 石河子：石河子大学，2013.
[27] 魏晓兵，付俊范，李自博，等. 不同生物杀菌剂对人参灰霉病的室内毒力及田间防效[J]. 植物保护，2015，41(5)：217－220.

(责任编辑：田 喆)

(上接 337 页)

[7] 李晨雨，臧传江，朱少杰，等. 新烟碱类杀虫剂氟吡呋喃酮的研究开发现状与展望[J]. 农药，2018，57(11)：785－788.
[8] 王欢欢，张春姣，刘梦铭，等. 氟啶虫胺腈等 11 种杀虫剂对瓜蚜的毒力及协同增效作用[J]. 农药学学报，2019，21(2)：181－186.
[9] 陈敏，栾炳辉，衣先家，等. 新型杀虫剂氟吡呋喃酮对番茄烟粉虱田间药效评价[J]. 农药，2017，56(5)：380－383.
[10] 胡菡青，王贤达，林雄杰，等. 新型杀虫剂氟吡呋喃酮对柑橘木虱的田间防效[J]. 农药，2017，56(4)：297－299.
[11] 薛金龙，张顾旭，陈时健. 10% 三氟苯嘧啶 SC 防治水稻稻飞虱药效试验简报[J]. 上海农业科技，2020(2)：118.
[12] 刘翔，张欣，曾俊，等. 10%三氟苯嘧啶悬浮剂防治稻飞虱田间试验[J]. 湖北植保，2020(1)：26－27.
[13] 韦世训，周荣金，王信霞. 10%三氟苯嘧啶悬浮剂防治水稻稻飞虱大田药效试验[J]. 生物灾害科学，2018，41(2)：97－100.
[14] 谭海军. 新型生物源杀虫剂双丙环虫酯[J]. 世界农药，2019，41(2)：61－64.
[15] 陈敏，栾炳辉，姜法祥，等. 新型杀虫剂双丙环虫酯对黄瓜蚜虫的田间防效[J]. 农药，2018，57(3)：215－216.
[16] 张海波，于淦军，陈永明，等. 新型药剂对设施茄子蚜虫的防效研究[J]. 中国植保导刊，2019，39(11)：73－74.
[17] 陈敏，王丽丽，王洪涛，等. 3 种新型杀虫剂对茶小绿叶蝉的防效[J]. 农药，2019，58(12)：922－923.
[18] 郭一妹，李镇宇，雷新宁. 四种杀虫剂对绣线菊蚜的毒力测定[J]. 中国森林病虫，2004，23(1)：12－13.
[19] 严明，柏亚罗. 双酰胺类等五大类热点农药的市场概况及产品研发[J]. 现代农药，2019，18(1)：7－15.
[20] 朱亚娟，顾林玲. 作用于烟碱乙酰胆碱受体的杀虫剂新品种的应用开发进展[J]. 现代农药，2018，17(4)：1－5.
[21] 王瑜，陈浩，林清彩，等. 果园六种常用杀虫剂对凹唇壁蜂的毒性及生态风险评估[J]. 山东农业科学，2020，52(1)：115－119.
[22] 刘茹，张邓壮，刘佰明，等. 三种杀虫剂对携带 TYLCV 烟粉虱的驱避效应[J]. 山东农业科学，2019，51(1)：119－123.
[23] 朱友理，何东兵，曹书培，等. 三氟苯嘧啶对稻飞虱的防效及对天敌的安全性[J]. 中国植保导刊，2018，38(8)：71－74.
[24] 张国，于居龙，庄义庆，等. 三氟苯嘧啶对稻飞虱的控制效果与应用技术研究[J]. 农学学报，2019，9(4)：32－38.

(责任编辑：田 喆)