

河北省黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性动态及七种药剂的田间防效

孟润杰 韩秀英 吴杰 赵建江 路粉 王文桥*

(河北省农林科学院植物保护研究所, 河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心, 农业部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 保定 071000)

摘要: 为明确黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性动态及相应药剂对黄瓜霜霉病的田间防效, 采用叶盘漂浮法监测了2011—2015年河北省黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性, 采用茎叶喷雾法测定了含甲霜灵或精甲霜灵的混剂及嘧菌酯单剂等7种药剂的田间防效。结果表明: 采自河北省不同地区的838株黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯普遍产生抗性, 抗性频率为100.00%, 抗性倍数为482.99和354.97, 黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性随着监测地区和监测年限而波动, 唐山、沧州、石家庄、衡水、廊坊和保定市的菌株对甲霜灵和嘧菌酯的抗性指数高于其它地区, 黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性指数在不同年度间高位波动。按照田间推荐剂量喷施, 250 g/L嘧菌酯悬浮剂对黄瓜霜霉病的防效为72.15%~74.13%; 68%精甲霜灵·代森锰锌水分散粒剂和58%甲霜灵·代森锰锌可湿性粉剂的防效分别为65.30%~70.19%和63.26%~68.35%, 与80%代森锰锌可湿性粉剂防效相当; 50%烯酰吗啉可湿性粉剂、250 g/L双炔酰菌胺悬浮剂和687.5 g/L氟吡菌胺·霜霉威盐酸盐悬浮剂的防效达82.00%以上, 对黄瓜霜霉病具有较好的防效, 在黄瓜霜霉病菌对嘧菌酯、甲霜灵和精甲霜灵产生抗性的地区, 可作为替代或混配药剂使用。

关键词: 黄瓜霜霉病菌; 甲霜灵; 嘧菌酯; 抗性动态; 田间防效

Resistance dynamics of *Pseudoperonospora cubensis* to metalaxyl and azoxystrobin and control efficacy of seven fungicides against cucumber downy mildew in Hebei Province

Meng Runjie Han Xiuying Wu Jie Zhao Jianjiang Lu Fen Wang Wenqiao*

(Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture; IPM Center of Hebei Province; Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Baoding 071000, Hebei Province, China)

Abstract: In order to clarify resistance dynamics of *Pseudoperonospora cubensis* to metalaxyl and azoxystrobin and control effects of fungicides containing metalaxyl and azoxystrobin against cucumber downy mildew, the resistance to metalaxyl and azoxystrobin in 838 *P. cubensis* strains collected from different areas of Hebei Province from 2011 to 2015 was measured by using the leaf disc floating method, and the control efficacies of seven fungicides including azoxystrobin 250 g/L SC and metalaxyl·mancozeb 58 WP or mefenoxam·mancozeb 68 WG against cucumber downy mildew were assayed in the field with the method of spraying stems and leaves. The results showed that the resistance to metalaxyl and azoxystrobin widely occurred in all 838 *P. cubensis* strains with resistance frequency up to

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0201000), “十二五”国家科技支撑计划(2012BAD19B06), 农业部农作物病虫害疫情监测与防治项目(10162130108235057)

* 通讯作者 (Author for correspondence), E-mail: wenqiaow@163.com

收稿日期: 2016-04-19

100.00%. The resistance factors to metalaxyl and azoxystrobin were 482.99 and 354.97, respectively. The resistance frequency and resistance index fluctuated over areas of monitoring and years of monitoring, the resistance index of strains from Tangshan, Cangzhou, Shijiazhuang, Hengshui, Langfang and Baoding were higher than those from the other areas of monitoring in Hebei Province, and the index of resistance were at the high levels. The field trials of fungicides were performed at the recommended doses. Control efficacy used for the field of azoxystrobin 250 g/L SC was 72.15%–74.13%; control efficacy of mefenoxam · mancozeb 68 WG and metalaxyl · mancozeb 58 WP were 63.26%–70.19%, equivalent to or poorer than control efficacy of mancozeb 80 WP, the poor performance of azoxystrobin 250 g/L SC and metalaxyl · mancozeb 58 WP or mefenoxam · mancozeb 68 WG against cucumber downy mildew may be due to development of resistance to azoxystrobin, metalaxyl or mefenoxam; control efficacies of dimethomorph 50 WP, mandipropamid 250 g/L SC and fluopicolide · propamocarb hydrochloride 687.5 g/L SC were more than 82.00%, which could be used singly or in mixtures with the other fungicides for control of cucumber downy mildew in the areas where development of resistance to azoxystrobin, metalaxyl and mefenoxam occurred in *P. cubensis* as substitute for azoxystrobin 250 g/L SC and metalaxyl · mancozeb 58 WP or mefenoxam · mancozeb 68 WG.

Key words: *Pseudoperonospora cubensis*; metalaxyl; azoxystrobin; resistance dynamics; control efficacy

由古巴假霜霉 *Pseudoperonospora cubensis* 引起的黄瓜霜霉病是一种毁灭性病害 (Lebeda & Cohen, 2011), 在河北省黄瓜产区普遍发生, 如防治不及时或方法不当, 可使黄瓜减产 30% 以上, 甚至绝收 (马辉杰和王文桥, 2010)。该病主要依靠化学药剂进行防治 (Gisi & Sierotzki, 2008; Savory et al., 2011), 但由于化学药剂的不合理使用, 黄瓜霜霉病菌对部分化学药剂产生了抗性 (Keith et al., 2007)。

苯基酰胺类杀菌剂属于特异性位点抑制剂, 对病菌作用位点单一, 只对病菌的单一代谢环节起作用, 一旦此位点发生突变, 药剂即不能与其产生作用, 导致病菌产生抗药性 (Davidse et al., 1983)。甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂作用于呼吸链, 细胞色素 *b* 基因 (cytochrome *b*, *Cyt b*) 位点突变是主要抗药性分子机制 (贾俊超等, 2008), 表现为 *Cyt b* 基因编码的第 129 位苯丙氨酸、137 位甘氨酸和 143 位甘氨酸分别被亮氨酸、精氨酸和丙氨酸取代 (Kim et al., 2003; Sierotzki et al., 2007; Estep et al., 2013)。自 1979 年起, 以色列等国家先后报道黄瓜霜霉病菌对甲霜灵产生了抗性 (Reuveni et al., 1980; Cohen & Reuveni, 1983), 随后国内外相继报道了黄瓜霜霉病菌对苯基酰胺类的甲霜灵、噁霜灵和甲氧基丙烯酸酯类的嘧菌酯、吡唑醚菌酯产生抗性 (王文桥等, 1996; Ishii et al., 2001; Urban & Lebeda, 2007)。

甲霜灵引入我国防治黄瓜霜霉病 2 年后, 河北、北京、山东、辽宁、湖北等省市的黄瓜霜霉病菌就对甲霜灵产生了抗性, 防效降低 (王文桥等, 1996); 嘧

菌酯在我国投入使用 3 年后就检测到黄瓜霜霉病菌对其敏感性明显下降的菌株 (韩秀英等, 2004; 康丽娟等, 2004)。甲霜灵和嘧菌酯在河北省广泛用于黄瓜霜霉病防治多年, 黄瓜霜霉病菌群体对这 2 种药剂的抗性特征尚未见报道, 而这又直接关乎生产中黄瓜霜霉病高效、可持续化学控制策略的制定。因此本课题组检测分析 2011—2015 年河北省黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性动态, 通过田间药效试验分析黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性与田间防效之间的关系, 判断田间黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯是否产生抗性, 以期制定黄瓜霜霉病高效化学防治和黄瓜霜霉病菌抗药性治理策略提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株: 于 2011—2015 年自河北省承德、张家口、唐山、秦皇岛、廊坊、保定、沧州、衡水、石家庄、邢台和邯郸等市黄瓜主产区, 采集新鲜黄瓜霜霉病病叶装入放冰袋的保温箱中带回实验室, 用清水冲去病斑上的孢子囊, 在 18~20℃ 条件下保湿培养至产生大量新生孢子囊, 将病叶上新生孢子囊用去离子水冲洗下, 2 500 r/min 离心 3 次, 加去离子水制成 1×10^5 个/mL 的孢子囊悬浮液, 置于 0~5℃ 下保存 2 h 以促进游动孢子的释放以用于接种。

供试药剂: 98% 甲霜灵 (metalaxyl) 原药, 浙江禾本科技有限公司; 95% 嘧菌酯 (azoxystrobin) 原药、

250 g/L 双炔酰菌胺(mandipropamid)悬浮剂、250 g/L 嘧菌酯(azoxystrobin)悬浮剂、68%精甲霜灵·代森锰锌(mefenoxam·mancozeb)水分散粒剂,先正达(苏州)作物保护有限公司;50%烯酰吗啉(dimethomorph)可湿性粉剂,巴斯夫(中国)有限公司;58%甲霜灵·代森锰锌(metalaxyl·mancozeb)可湿性粉剂,深圳诺普信农化股份有限公司;687.5 g/L 氟吡菌胺·霜霉威盐酸(fluopicolide·propamocarb hydrochloride)悬浮剂,拜耳作物科学(中国)有限公司;80%代森锰锌(mancozeb)可湿性粉剂,陶氏益农化工有限公司。将原药用丙酮溶解,加入无菌水稀释,制成1 000 $\mu\text{g/mL}$ 母液,用于测定黄瓜霜霉病菌对不同药剂的敏感性。其余药剂按推荐剂量稀释后用于田间药效试验。

供试作物:黄瓜品种包括新泰密刺和津优303,前者种子购自新泰市祥云种业有限公司,用于抗性测定,种植于河北省农林科学院植物保护研究所温室中,待植株长至6~7片真叶时取叶片打叶盘供试;后者购自天津科润农业科技股份有限公司黄瓜研究所,种植于河北省定兴县贤寓镇龙华村日光温室,定植后当植株长至5~6片真叶时用于田间药效试验。

仪器:CAV114C电子天平,奥豪斯仪器(上海)有限公司;LRH-250-Gb光照培养箱,韶关市泰宏医疗器械有限公司;AGROLEX-HD400背负式手动喷雾器,新加坡利农有限公司。

1.2 方法

1.2.1 黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的敏感性

采用叶盘漂浮法(Schwinn & Sozzi, 1982)测定黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性。将1.1中配制好的甲霜灵母液加去离子水稀释为200、100、50、10、5 $\mu\text{g/mL}$ 的药液,嘧菌酯母液加去离子水稀释为100、50、10、5、1 $\mu\text{g/mL}$ 的药液。将配好的药液约20 mL倒入9 cm的培养皿中,空白对照倒去离子水。采集叶龄相同的健康黄瓜新泰密刺叶片打取直径1.5 cm的叶盘,叶背朝上漂浮于培养皿中的药液上,每皿15个叶盘,设3次重复。每叶盘中心点接10 μL 1×10^5 个/mL的孢子囊悬浮液,盖上皿盖,置于19℃、16 h光照/8 h黑暗的生长室中培养7~10 d,待对照充分发病后调查叶盘上的发病情况。根据产孢面积占整个叶盘面积的百分率划分病级,0级:无病;1级:产孢面积 $\leq 5\%$;3级:5% $<$ 产孢面积 $\leq 10\%$;5级:10% $<$ 产孢面积 $\leq 25\%$;7级:25% $<$ 产孢面积 $\leq 50\%$;9级:产孢面积 $> 50\%$ 。计算病情指数和相对防效。病情指数= $\sum(\text{叶盘数}\times\text{相对级数})\times 100/(\text{叶盘总}$

数 $\times$ 最高级数);相对防效=(对照病情指数-处理病情指数)/对照病情指数 $\times 100\%$ 。

1.2.2 黄瓜霜霉病菌对杀菌剂不同敏感型的划分

根据王文桥等(1996)和刘晓宇(2004)建立的黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的敏感基线,将菌株对供试药剂的敏感型划分为5个级别,1级:敏感菌株,抗性倍数 ≤ 2 ;2级:低抗菌株,2 $<$ 抗性倍数 ≤ 10 ;3级:中抗菌株,10 $<$ 抗性倍数 ≤ 100 ;4级:高抗菌株,100 $<$ 抗性倍数 $\leq 1\ 000$;5级:特高抗菌株,抗性倍数 $> 1\ 000$ 。求出不同敏感型菌株所占百分率,根据按抗性类型划分的5个级别,参考Zhao et al.(2013)的方法计算抗性指数(resistance index, RI),分析河北省黄瓜霜霉病菌群体对甲霜灵和嘧菌酯的抗性动态。抗性倍数=供试菌株对药剂敏感性(EC_{50})/该药剂敏感基线(EC_{50});抗性频率=抗性菌株数/全部供试菌株数 $\times 100\%$;RI= $\sum(\text{不同抗性菌株所占百分率}\times\text{相对级数})/(\text{最高级数}\times 100)$ 。

1.2.3 杀菌剂田间防效及霜霉病菌对其抗性检测

2014年4月和2015年4月分别在河北省定兴县贤寓镇龙华村日光温室进行不同杀菌剂防治黄瓜霜霉病的田间药效试验。施药剂量参考各药剂的田间推荐剂量,即250 g/L嘧菌酯悬浮剂、250 g/L双炔酰菌胺悬浮剂、68%精甲霜灵·代森锰锌水分散粒剂、58%甲霜灵·代森锰锌可湿性粉剂、50%烯酰吗啉可湿性粉剂、687.5 g/L氟吡菌胺·霜霉威盐酸盐悬浮剂和80%代森锰锌可湿性粉剂施用剂量分别为150、150、1 224、1 566、300、1 031、2 400 g(a.i.)/ hm^2 ,设清水作对照。黄瓜霜霉病零星发生时采用背负式手动喷雾器进行茎叶喷施,施药量900 L/ hm^2 ,共施药3次,间隔期7 d。每处理4次重复,小区面积27 m^2 ,采用随机区组排列。施药前调查病情基数,因零星发病,病情基数视为零;最后1次施药后7 d再次调查发病情况。每小区随机5点取样,每点调查2株,每株调查全部叶片,按各叶片上病斑面积占整个叶片面积的百分率划分病级,具体分级标准同1.2.1部分。记录各处理病情,计算病情指数及防治效果。2014年和2015年分别在试验区采集黄瓜霜霉病菌菌株,按照1.2.1及1.2.2的方法检测试验地黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性,分析抗药性和药效之间的关系。

1.3 数据分析

通过DPS 7.05数据分析软件进行药剂浓度与药剂相对防效之间的线性回归分析,求出药剂的毒力回归方程 $y=bx+a$ 、相关系数以及有效抑制中浓度

(EC_{50});采用最小显著性差异(LSD)法对田间试验各处理防效之间进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和啞菌酯的抗性

2011—2015年采自河北省黄瓜主产区的838株黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和啞菌酯普遍产生抗性,抗性频率均为100.00%,抗性倍数分别为482.99和354.97,均为中抗、高抗或特高抗菌株(表1)。

2.2 不同地区黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和啞菌酯的抗性

就监测地区而言,河北省不同地区黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和啞菌酯的抗性指数、抗性倍数及中抗、

高抗或特高抗菌株所占比率均不同。采自衡水、沧州、石家庄、廊坊和唐山6个市的菌株对甲霜灵的抗性指数大于或等于0.80,而仅采自唐山市的菌株对啞菌酯的抗性指数大于0.80(图1)。来自廊坊市的菌株对甲霜灵的抗性倍数最高,达到804.08,来自唐山市的菌株对啞菌酯的抗性倍数最高,达到495.19。采自石家庄、唐山、廊坊及沧州4个市的菌株中,对甲霜灵特高抗菌株所占比率介于15.69%~21.05%之间,明显高于其它地区,采自石家庄、唐山、邢台、邯郸4个市的菌株中,对啞菌酯特高抗菌株所占比率介于3.37%~9.47%之间,明显高于其它地区(表1)。

表1 河北省黄瓜霜霉病菌群体对甲霜灵和啞菌酯的抗性倍数及抗性频率

Table 1 Resistance factors and resistance frequencies of *Pseudoperonospora cubensis* population to metalaxyl and azoxystrobin in Hebei Province in China

杀菌剂 Fungicide	采集地 Collecting location	菌株数 No. of isolates	抗性倍数 Resistance ratio	不同类型菌株百分率(%) Percentage of different type of isolates					抗性频率 Frequency of resistance (%)
				S	LR	MR	HR	EHR	
甲霜灵 Metalaxyl	石家庄 Shijiazhuang	51	629.59	0.00	0.00	0.00	84.31	15.69	100.00
	承德 Chengde	75	360.53	0.00	0.00	5.33	94.67	0.00	100.00
	张家口 Zhangjiakou	83	376.90	0.00	0.00	6.02	91.56	2.42	100.00
	秦皇岛 Qinhuangdao	70	356.51	0.00	0.00	10.00	87.15	2.85	100.00
	唐山 Tangshan	95	642.43	0.00	0.00	3.16	75.79	21.05	100.00
	廊坊 Langfang	85	804.08	0.00	0.00	0.00	83.53	16.47	100.00
	保定 Baoding	115	442.34	0.00	0.00	2.61	94.78	2.61	100.00
	沧州 Cangzhou	45	547.33	0.00	0.00	2.22	80.00	17.78	100.00
	衡水 Hengshui	70	404.14	0.00	0.00	1.43	94.28	4.27	100.00
	邢台 Xingtai	60	362.93	0.00	0.00	5.00	95.00	0.00	100.00
	邯郸 Handan	89	407.62	0.00	0.00	4.49	95.51	0.00	100.00
	合计 Total	838	482.99	0.00	0.00	3.69	89.14	7.17	100.00
啞菌酯 Azoxystrobin	石家庄 Shijiazhuang	51	485.22	0.00	0.00	15.69	80.39	3.92	100.00
	承德 Chengde	75	287.34	0.00	0.00	42.66	56.03	1.31	100.00
	张家口 Zhangjiakou	83	302.21	0.00	0.00	51.83	48.17	0.00	100.00
	秦皇岛 Qinhuangdao	70	264.96	0.00	0.00	48.57	51.43	0.00	100.00
	唐山 Tangshan	95	495.19	0.00	0.00	6.32	84.21	9.47	100.00
	廊坊 Langfang	85	352.42	0.00	0.00	9.40	90.60	0.00	100.00
	保定 Baoding	115	380.08	0.00	0.00	6.09	91.30	2.61	100.00
	沧州 Cangzhou	45	292.91	0.00	0.00	2.22	97.78	0.00	100.00
	衡水 Hengshui	70	346.44	0.00	0.00	11.43	85.71	2.86	100.00
	邢台 Xingtai	60	348.24	0.00	0.00	31.67	63.33	5.00	100.00
	邯郸 Handan	89	322.32	0.00	0.00	39.31	57.32	3.37	100.00
	合计 Total	838	354.97	0.00	0.00	23.99	73.26	2.75	100.00

S: 敏感; LR: 低抗; MR: 中抗; HR: 高抗; EHR: 特高抗。S: Sensitive; LR: low resistance; MR: moderate resistance; HR: high resistance; EHR: extremely high resistance.

2.3 黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和啞菌酯的抗性指数

就监测年限而言,2011年黄瓜霜霉病菌对甲霜

灵的抗性指数为0.80,2012年下降为0.79,2013年上升为0.80,2014年下降为0.80,2015年又上升为

0.85。2011年黄瓜霜霉病菌对嘧菌酯的抗性指数为0.73,2012年上升为0.75,2013年上升为0.76,2014年上升为0.77,2015年下降为0.76(图2)。不同年度间

黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性指数虽有波动,但整体上趋于高位平稳。

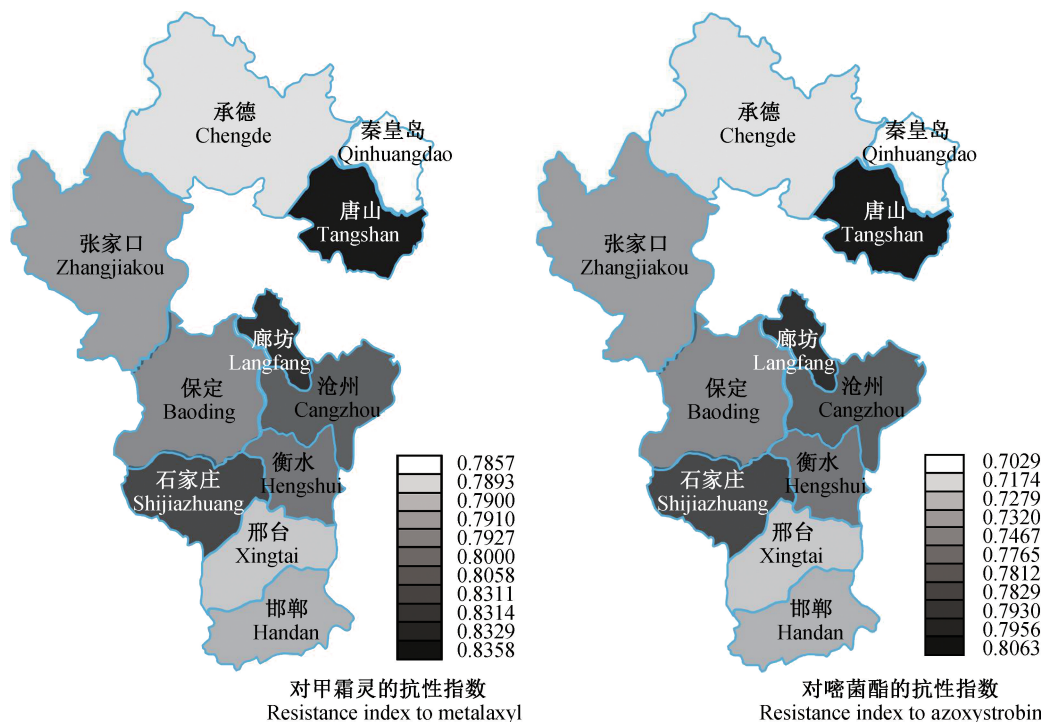


图1 河北省黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性指数分布

Fig. 1 Distribution of resistance index of *Pseudoperonospora cubensis* populations for metalaxyl and azoxystrobin in Hebei Province of China

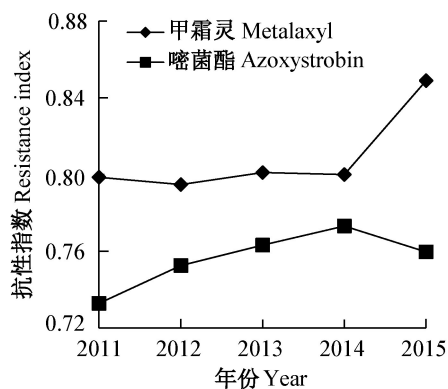


图2 2011—2015年河北省黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性指数

Fig. 2 Resistance index of *Pseudoperonospora cubensis* population to metalaxyl and azoxystrobin in Hebei Province of China from 2011 to 2015

2.4 杀菌剂田间防效及霜霉病菌对杀菌剂的抗性

2014年和2015年田间试验发现,黄瓜霜霉零星发生时开始喷施68%精甲霜灵·代森锰锌水分散粒剂1224 g (a.i.)/hm²和58%甲霜灵·代森锰锌可湿性粉剂1566 g (a.i.)/hm²对霜霉病的防效分别为

65.30%~70.19%和63.26%~68.35%,相当于或低于80%代森锰锌可湿性粉剂2400 g (a.i.)/hm²的防效;250 g/L嘧菌酯悬浮剂150 g (a.i.)/hm²对霜霉病的防效为72.15%~74.13%,防效较差;250 g/L双炔酰菌胺悬浮剂150 g (a.i.)/hm²、50%烯酰吗啉可湿性粉剂300 g (a.i.)/hm²和687.5 g/L氟吡菌胺·霜霉威盐酸盐悬浮剂1031 g (a.i.)/hm²对霜霉病的防效均高于82.00%,具有良好的防效(表2)。2014年和2015年在试验区采集了10株黄瓜霜霉病菌并测定其对甲霜灵和嘧菌酯的敏感性,发现对甲霜灵和嘧菌酯的抗性频率均为100.00%,平均抗性倍数分别为583.42和312.93,均为高抗菌株。

3 讨论

本研究检测了2011—2015年河北省黄瓜主产区黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性,发现黄瓜霜霉病菌对这2种药剂已经普遍产生抗性,且抗性频率及抗性倍数很高,其原因可能是苯基酰胺类及甲氧基丙烯酸酯类药剂长期普遍施用而对黄瓜霜霉病菌群体施加了较高的选择压力。此外,黄瓜霜

霉菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性风险较高(Keith et al., 2007),抗性菌株适合度好,能稳定遗传(Cohen & Samoucha, 1984; Diriwächter et al., 1987; Ishii et al., 2001)。

表 2 不同杀菌剂对黄瓜霜霉病的田间防效
Table 2 Control effects of different fungicides in controlling cucumber downy mildew in the fields

杀菌剂 Fungicide	剂量 Dosage (g (a.i.)/ hm ²)	2014		2015	
		病情指数 Disease index	防效 (%) Control efficacy	病情指数 Disease index	防效 (%) Control efficacy
50%烯酰吗啉可湿性粉剂 Dimethomorph 50 WP	300	6.02±0.58 c	85.06±7.31 a	4.95±0.40 e	85.84±7.72 a
250 g/L 双炔酰菌胺悬浮剂 Mandipropamid 250 g/L SC	150	5.85±0.45 c	85.48±7.06 a	4.53±0.39 e	85.46±5.45 a
250 g/L 嘧菌酯悬浮剂 Azoxystrobin 250 g/L SC	150	11.22±0.50 b	72.15±3.01 b	9.05±0.48 c	74.13±3.64 b
687.5 g/L 氟吡菌胺·霜霉威盐酸盐悬浮剂 Fluopicolide·propamocarb hydrochloride 687.5 g/L SC	1 031	6.44±0.49 c	84.01±7.31 a	6.07±0.30 d	82.65±4.52 a
68%精甲霜灵·代森锰锌水分散粒剂 Mefenoxam·mancozeb 68 WG	1 224	12.01±0.86 b	70.19±5.04 bc	12.14±0.64 b	65.30±3.89 c
58%甲霜灵·代森锰锌可湿性粉剂 Metalaxyl·mancozeb 58 WP	1 556	12.75±0.43 b	68.35±2.50 d	12.85±0.66 b	63.26±3.48 c
80%代森锰锌可湿性粉剂 Mancozeb 80 WP	2 400	12.05±0.94 b	70.09±5.30 bc	9.76±0.47 c	72.08±3.54 b
空白对照 Untreated	—	40.28±3.72 a	—	34.98±1.99 a	—

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示经LSD法检验在P<0.05水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at P<0.05 level by LSD test.

杀菌剂对病原菌敏感性检测是作物病害高效控制的前期基础工作,不同病原菌对杀菌剂的敏感性具有时空差异性(Yuan et al., 2006)。本研究结果支持了这一观点,从河北省不同地区采集的黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的敏感性存在差异,其中来自唐山、沧州、石家庄、衡水、廊坊和保定市的菌株对甲霜灵和嘧菌酯的抗性指数高于其它地区,这可能是不同地区用药技术及用药水平不同所引起的。Zhao et al.(2013)创建了抗性指数的基本计算公式,认为抗性指数能够更加合理、准确地评估在群体范围内病菌对杀菌剂的抗性水平。本研究参考该方法,通过计算抗性指数比较了2011—2015年黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性水平,发现不同年度间监测的黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性指数高位平稳。

结合抗药性检测和田间试验结果推断,河北省部分地区黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯产生严重抗性,导致58%甲霜灵·代森锰锌可湿性粉剂和250 g/L嘧菌酯悬浮剂防效降低或丧失。58%甲霜灵·代森锰锌可湿性粉剂和68%精甲霜灵·代森锰锌水分散粒剂以推荐剂量喷施对黄瓜霜霉病的防效低于或相当

于80%代森锰锌可湿性粉剂推荐剂量喷施的防效,表明混剂中甲霜灵和精甲霜灵对黄瓜霜霉病的防治作用几乎丧失,仅代森锰锌发挥防治作用。687.5 g/L氟吡菌胺·霜霉威盐酸盐悬浮剂、50%烯酰吗啉可湿性粉剂和250 g/L双炔酰菌胺悬浮剂对黄瓜霜霉病具有良好的防效,但黄瓜霜霉病菌对烯酰吗啉、双炔酰菌胺和氟吡菌胺存在中等抗性风险(马辉杰和王文桥, 2010; 崔继敏等, 2013)。因此,使用这些药剂防治黄瓜霜霉病时不应忽视黄瓜霜霉病菌对烯酰吗啉、双炔酰菌胺和氟吡菌胺的抗性风险管理,应加强田间抗药性监测,制定合理的抗药性治理策略,提倡在黄瓜霜霉病预测预报或发病中心早期监测的基础上,采用作用机理不同的杀菌剂交替或混合施药,精准施药,在发病前或发病初期按照推荐剂量和间隔期开始施药,避免在发病较重时铲除性施药等。另外,在防控策略上提倡将高效环境相容性杀菌剂防控与利用抗病品种、使用无滴膜覆盖、膜下滴灌、通风降湿和及时摘除病残叶等非化学防治措施相结合,形成综合防控体系,减少化学农药的使用,降低杀菌剂对整个病菌群体的抗药性选择压力,以延缓黄瓜霜霉病菌抗药性发生并有效防控黄瓜霜霉病。

参 考 文 献 (References)

- Cohen Y, Reuveni M. 1983. Occurrence of metalaxyl-resistant isolates of *Phytophthora infestans* in potato fields in Israel. *Phytopathology*, 73(6): 925–927
- Cohen Y, Samoucha Y. 1984. Cross-resistance to four systemic fungicides in metalaxyl-resistance strains of *Phytophthora infestans* and *Pseudoperonospora cubensis*. *Plant Disease*, 68(2): 137–139
- Cui JM, Yang XJ, Zhao JJ, Wang WQ, Meng RJ, Yan L, Han XY, Ma ZQ, Zhang JL, Zhang XF. 2013. Studies on baseline sensitivity to mandipropamid and biological characteristics of resistant mutants of *Pseudoperonospora cubensis*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 15(5): 496–503 (in Chinese) [崔继敏, 杨晓津, 赵建江, 王文桥, 孟润杰, 闫磊, 韩秀英, 马志强, 张金林, 张小风. 2013. 黄瓜霜霉病菌对双炔酰菌胺的敏感基线及其抗性突变体生物学性状研究. *农药学报*, 15(5): 496–503]
- Davidse LC, Danial DL, van Westen CJ. 1983. Resistance to metalaxyl in *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 89(1): 1–20
- Diriwächter G, Sozzi D, Ney C, Staub T. 1987. Cross-resistance in *Phytophthora infestans* and *Plasmopara viticola* against different phenylamides and unrelated fungicides. *Crop Protection*, 6(4): 250–255
- Estep LK, Zala M, Anderson NP, Sackett KE, Flowers M, McDonald BA, Mundt CC. 2013. First report of resistance to QoI fungicides in North American populations of *Zymoseptoria tritici*, causal agent of *Septoria tritici* blotch of wheat. *Plant Disease*, 97(11): 1511
- Gisi U, Sierotzki H. 2008. Fungicide modes of action and resistance in downy mildews. *European Journal of Plant Pathology*, 122(1): 157–167
- Han XY, Ma ZQ, Li HX, Wang WQ, Kang LJ, Zhang XF. 2004. Study on the sensitivity baseline of *Pseudoperonospora cubensis* to the strobilurin fungicide azoxystrobin. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 6(2): 76–79 (in Chinese) [韩秀英, 马志强, 李红霞, 王文桥, 康丽娟, 张小风. 2004. 黄瓜霜霉病菌对啞菌酯的敏感基线研究. *农药学报*, 6(2): 76–79]
- Ishii H, Fraaije BA, Sugiyama T, Noguchi K, Nishimura K, Takeda T, Amano T, Hollomon DW. 2001. Occurrence and molecular characterization of strobilurin resistance in cucumber powdery mildew and downy mildew. *Phytopathology*, 91(12): 1166–1171
- Jia JC, Ma L, Fan ZJ, Xia Q, Liu XF. 2008. Progress on study of resistance mechanism of strobilurin fungicides. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 10(1): 1–9 (in Chinese) [贾俊超, 马琳, 范志金, 夏倩, 刘秀峰. 2008. 病原菌对 Strobilurin 类杀菌剂抗药性机理的研究进展. *农药学报*, 10(1): 1–9]
- Kang LJ, Han XY, Ma ZQ. 2004. Toxicity and field control efficacy of azoxystrobin to three kinds of vegetable diseases as well as its safety to vegetables. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 6(1): 85–88 (in Chinese) [康丽娟, 韩秀英, 马志强. 2004. 啞菌酯对三种蔬菜病害的毒力、防效及安全性研究. *农药学报*, 6(1): 85–88]
- Keith J, Brent KJ, Hollomon DW. 2007. Fungicide resistance: the assessment of risk. //FRAC Monograph No. 2 (second, revised edition). Brussels: Fungicide Resistance Action Committee, pp. 1–52
- Kim YS, Dixon EW, Vincelli P, Farman ML. 2003. Field resistance to strobilurin (QoI) fungicides in *Pyricularia grisea* caused by mutations in the mitochondrial cytochrome b gene. *Phytopathology*, 93(7): 891–900
- Lebeda A, Cohen Y. 2010. Cucurbit downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*): biology, ecology, epidemiology, host-pathogen interaction and control. *European Journal of Plant Pathology*, 129(2): 157–192
- Liu XY. 2004. Baseline sensitivity of *Pseudoperonospora cubensis* and *Alternaria solana* to azoxystrobin and resistance risk assessment. Master Thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese) [刘晓宇. 2004. 黄瓜霜霉病菌和番茄早疫病菌对啞菌酯的敏感性基线及抗药性风险评估. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学]
- Ma HJ, Wang WQ. 2010. Occurrence of fungicide resistance and chemical control of cucumber downy mildew. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 14(8): 36–41, 55 (in Chinese) [马辉杰, 王文桥. 2010. 黄瓜霜霉病抗药性的发生及化学防治. *河北农业科学*, 14(8): 36–41, 55]
- Reuveni M, Eyal H, Cohen Y. 1980. Development of resistance to metalaxyl in *Pseudoperonospora cubensis*. *Plant Disease*, 64(12): 1108–1109
- Savory EA, Granke LL, Quesada-Ocampo LM, Varbanova M, Hausbeck MK, Day B. 2011. The cucurbit downy mildew pathogen *Pseudoperonospora cubensis*. *Molecular Plant Pathology*, 12(3): 217–226
- Schwinn F, Sozzi D. 1982. Recommended methods for the detection and measurement of resistance of plant pathogens to fungicides: method for fungicide resistance in late blight of potato – FAO method No. 30. *Plant Protection Bulletin*, 30(2): 69–71
- Sierotzki H, Frey R, Wullschlegel J, Palermo S, Karlin S, Godwin J, Gisi U. 2007. Cytochrome b gene sequence and structure of *Pyrenophora teres* and *P. tritici-repentis* and implications for QoI resistance. *Pest Management Science*, 63(3): 225–233
- Urban J, Lebeda A. 2007. Variation for fungicide resistance in Czech populations of *Pseudoperonospora cubensis*. *Journal of Phytopathology*, 155(3): 143–151
- Wang WQ, Liu GR, Yan LE, Zhang XF, Ma ZQ, Han XY. 1996. Monitoring of resistance to three fungicides in downy mildews on cucumber and grape. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 19(S): 127–131 (in Chinese) [王文桥, 刘国容, 严乐恩, 张小风, 马志强, 韩秀英. 1996. 黄瓜和葡萄霜霉病菌的抗药性监测. *南京农业大学学报*, 19(S): 127–131]
- Yuan SK, Liu XL, Si NG, Dong J, Gu BG, Jiang H. 2006. Sensitivity of *Phytophthora infestans* to flumorph: *in vitro* determination of baseline sensitivity and the risk of resistance. *Plant Pathology*, 55(2): 258–263
- Zhao XJ, Ren L, Yin H, Zhou JB, Han JC, Luo Y. 2013. Sensitivity of *Pseudoperonospora cubensis* to dimethomorph, metalaxyl and fosetyl-aluminium in Shanxi of China. *Crop Protection*, 43: 38–44

(责任编辑: 李美娟)