文章编号: 1674－7054(2022)06－0582－07

橡胶树不同种群炭疽菌对杀菌剂的敏感性

贺竞锋[1,2], 刘先宝[2], 李博勋[2], 蔡吉苗[2], 冯艳丽[2], 黄贵修[2]

（1. 海南大学 热带作物学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院 环境与植物保护研究所/农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室/海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室, 海口 571101）

摘　要: 为了解国内主要植胶区炭疽菌复合种菌株对不同杀菌剂的敏感性, 采用生长速率法室内测定乐东炭疽 (*Colletotrichum.ledongense*)、果生刺盘孢 (*C. fructicola*)、暹罗炭疽 (*C. siamense*)、版纳炭疽 (*C. bannanense*)、*C.laticiphilum*、新种群和华南炭疽 (*C. australisinense*)9 株胶孢炭疽病菌 (*C.glocosporioides* Penz.) 和 8 株尖孢炭疽菌 (*C. acutalum* Simmons) 对 8 种杀菌剂的敏感性, 并在此基础上进行二元复配评价。结果表明: 供试的 17 株橡胶树炭疽病菌对咪鲜胺最敏感、EC_{50} 值为 0.001 1 ~ 0.218 7 mg·L^{-1}, 平均为 0.085 3 mg·L^{-1}; 咪鲜胺、多菌灵、氟硅唑、戊唑醇、己唑醇、咪鲜胺·三唑酮 6 种药剂对炭疽菌菌丝生长有显著抑制作用, 腈菌唑和粉唑醇对病原菌菌丝抑制效果较差; 多数以三唑类为代表的麦角甾醇生物抑制剂对病原菌菌丝生长有明显的抑制效果, 尖孢复合种内的新种群对粉唑醇、腈菌唑觉和多菌灵 3 种药剂敏感性性差; 咪鲜胺与戊唑醇的比例分别在 7∶3 和 4∶6 时对橡胶树炭疽菌优势种群暹罗炭疽和华南炭疽的抑制效果最优。

关键词: 橡胶树; 胶孢复合种; 尖孢复合种; 敏感性; 复配

中图分类号: S 794.1; S 482.2　　**文献标志码:** A

引用格式: 贺竞锋, 刘先宝, 李博勋, 等. 橡胶树不同种群炭疽菌对杀菌剂的敏感性 [J]. 热带生物学报, 2022, 13(6): 582−588. DOI: 10.15886/j.cnki.rdswxb.2022.06.007

橡胶树炭疽病是一类由炭疽属 (*Colletotrichum*) 真菌侵染引起的重要叶部病害[1]。该病在橡胶树不同叶龄期、不同生长阶段的多个组织上均能发生危害, 给天然橡胶生产带来严重损失。目前, 橡胶树炭疽病病原菌主要有胶孢炭疽菌 (*Colletotrichum glocosporioides* Penz.)、尖孢炭疽菌 (*C. acutalum* Simmons) 和博宁炭疽 (*C. boninense*)3 个复合种, 每个复合种内又包括多个种。其中, 胶孢炭疽复合种包括暹罗炭疽 (*C. siamense*)、果生刺盘孢 (*C. fructicola*) 和乐东炭疽 (*C.ledongense*) 等, 尖孢炭疽复合种下包括华南炭疽 (*C. australisinense*)、版纳炭疽 (*C. bannanense*) 和 *C. laticiphilum* 等。暹罗炭疽和华南炭疽是引起我国橡胶树炭疽病的优势种[2]。由于复合种间、种间生物学特性存在较大差异, 由此推测不同复合种对药剂的敏感性存在差异。目前, 化学防治是橡胶树炭疽病的主要防治方法。以多菌灵为代表的苯并咪唑类杀菌剂 (BMZs) 和以咪鲜胺为代表的三唑类 (DMIs) 杀菌剂是防治橡胶炭疽病的主要药剂[3]。苯并咪唑类杀菌剂的主要作用机制是特异性地与病原真菌的 β 微管蛋白结合, 进而干扰微管装配, 抑制病原菌的生长。而三唑类杀菌剂防治病害的机制是抑制真菌体内 CytP450 单加氧酶的活性, 破坏麦角甾醇生物合成, 导致细胞膜损伤而死亡[4]。印尼、马来西亚和泰国等国家使用甲基托布津和 8-hydroquinone coffer 防治橡胶树炭疽病, 国内则普遍使用多菌灵。国内学者在复合种的水平上对橡胶树胶孢炭疽菌和尖孢炭疽菌进行了药剂敏感性的评价[5－7], 但目前尚未见橡胶树炭疽菌不同种群对杀菌剂敏感性评价与分析

收稿日期: 2022－02－17　　**修回日期:** 2022－03－17

基金项目: 海南省重点研发计划项目(ZDYF2021XDNY153)

第一作者: 贺竞锋(1996−), 男, 海南大学热带作物学院 2019 级硕士研究生. E-mail: hejingfeng2021@163.com

通信作者: 黄贵修 (1968−), 男, 博士, 研究员.研究方向: 植物病理学. E-mail: hgxiu@vip.163.com

的报道。为了解橡胶树不同炭疽菌种群对不同杀菌剂敏感性的差异，笔者开展了不同炭疽菌种群对不同杀菌剂的敏感性研究，旨在为生产上科学合理用药提供参考。

1　材料与方法

1.1　供试菌株及来源　供试的 17 株菌株已经明确其分类地位[8]，均由中国热带农业科学院环境与植物保护研究所保存 (表 1)。

表 1　供试菌株及来源

菌株编号	菌株来源地	复合种	种
LD1680	海南	CG	乐东炭疽
LD1683	海南	CG	乐东炭疽
YNBN1-1	云南	CG	果生刺盘孢
QZ16136	海南	CG	果生刺盘孢
GD1603	广东	CG	果生刺盘孢
YNJH7-1	云南	CG	暹罗炭疽
YNJH7-4	云南	CG	暹罗炭疽
CJ1688	海南	CG	暹罗炭疽
GX1649	广西	CG	暹罗炭疽
YNML52	云南	CA	版纳炭疽
YNWD3-1	云南	CA	版纳炭疽
YNJH17109	云南	CA	*C.laticiphilum*
YNLC510	云南	CA	新类群
YNLC511	云南	CA	新类群
YNJP162	云南	CA	华南炭疽
GX1655	广西	CA	华南炭疽
GD1628	广东	CA	华南炭疽

1.2　供试药剂　供试的 8 种药剂均由中国热带农业科学院环境与植物保护研究所热带工业原料作物病害课题组提供 (表 2)[9－10]。

1.3　带毒培养基的配置　将供试药剂用二甲基甲酰胺溶解，然后配制为母液备用。向灭菌后的马铃薯葡萄糖琼脂 (potato dextrose agar, PDA) 培养基中添加不同体积的母液，配置成不同浓度梯度带毒培养基。供试药剂的浓度梯度见表 3。

1.4　橡胶炭疽菌的敏感性测定　用打孔器从 PDA 平板培养 5 d 的炭疽菌落外缘打取直径为 5 mm 的菌饼转接在含不同浓度供试药剂 (在预备试验的基础上确定药剂合适的浓度梯度，详见表 3) 的 PDA 平板培养基中，以不含农药的 PDA 平板培养基为对照，菌丝朝下置于平板中央，每处理重复 3 次[11－12]。胶孢炭疽菌于 28 ℃ 下培养 5 d 后，尖孢炭疽菌于 28 ℃ 下培养 7 d 后，用十字交叉法测量菌落直径，试验数据用 Excel 2021 数据处理系统进行分析，求出回归方程、相关系数和 EC_{50} 值。其中，计算公式[13－14] 如下：

生长抑制率 = [(对照菌落净生长量－处理菌落净生长量)/对照菌落净生长量]×100%；

菌落净生长量 = 菌落直径 – 菌饼直径。

表 2　供试杀菌剂信息

供试药剂	抑制类型	作用位点	组名
97%多菌灵	细胞分裂分化	*β*–微管蛋白	苯并咪唑类抑制剂
95%咪鲜胺	细胞膜甾醇合成	甾醇生物合成中脱甲氧基酶	脱甲基抑制剂
95.5%腈菌唑			
95%氟硅唑			
95%戊唑醇			
19%咪鲜胺·三唑酮			
25%粉唑醇			
40%己唑醇			

表 3　供试药剂及处理浓度梯度

供试药剂	处理浓度梯度/(mg·L^{-1})				
97%多菌灵	2	1	0.5	0.25	0.125
95%咪鲜胺	2	1	0.5	0.25	0.125
95.5%腈菌唑	8	4	2.0	1.00	0.500
95%氟硅唑	2	1	0.5	0.25	0.125
95%戊唑醇	4	2	1.0	0.50	0.250
19%咪鲜胺·三唑酮	2	1	0.5	0.25	0.125
25%粉唑醇	4	2	1.0	0.50	0.250
40%己唑醇	2	1	0.5	0.25	0.125

1.5　杀菌剂复配设计　根据供试杀菌剂单剂对菌丝生长的 EC_{50} 测定结果，最终选取咪鲜胺和戊唑醇进行复配，评价药剂混用后的联合作用。将咪鲜胺和戊唑醇按 2∶8、3∶7、4∶6、5∶5、6∶4、7∶3、8∶2 等进行复配，测定复配剂对供试菌株菌丝生长和孢子萌发的 EC_{50}，同时按 Wadley 法计算增效系数 (*SR*)。*SR*≤0.5 为拮抗作用，0.5≤*SR*≤1.5 为相加作用，*SR*>1.5 为增效作用。

$$SR = EC_{50\,(理论)} / EC_{50\,(实际)}$$

$$EC_{50\,(理论)} = \frac{a+b}{\frac{a}{EC_{(A)50}} + \frac{b}{EC_{(B)50}}}$$

式中：a、b 分别为相应单剂在复配剂中所占比例，A、B 分别为咪鲜胺和戊唑醇。

2 结果与分析

2.1 供试杀菌剂对胶孢炭疽复合种生长的影响

从表 4 可知，咪鲜胺对菌丝生长的抑制效果最佳，其平均 EC_{50} 为 0.079 63 mg·L^{-1}，胶孢复合种内果生刺盘孢敏感性稍差，乐东炭疽和暹罗炭疽的敏感性较为接近，乐东炭疽、果生刺盘孢和暹罗炭疽的平均 EC_{50} 分别为 0.074 25 mg·L^{-1}、0.089 43 mg·L^{-1} 和 0.074 98 mg·L^{-1}；对咪鲜胺·三唑酮和多菌灵表现为敏感，其平均 EC_{50} 分别为 0.329 6 mg·L^{-1} 和 0.414 2 mg·L^{-1}，各种对咪鲜胺·三唑酮的敏感性中，同样是果生刺盘孢的敏感性较差，乐东炭疽较为敏感。在对多菌灵的敏感性评价中，乐东炭疽菌的敏感性稍差，暹罗炭疽较为敏感；胶孢复合种对戊唑醇，己唑醇和氟硅唑的平均 EC_{50} 较为接近，分别为 1.164 4 mg·L^{-1}、1.325 7 mg·L^{-1} 和 1.122 2 mg·L^{-1}；对腈菌唑，粉唑醇表现为不敏感。在相同的种群内，不同菌源的菌株对药剂的敏感性存在一定的差异。果生刺盘孢种内，海南的菌株对 8 种药剂的 EC_{50} 最大，云南地区的菌株除咪鲜胺外的 EC_{50} 最小。暹罗炭疽种内，云南的菌株的对咪鲜胺、氟硅唑、戊唑醇和己唑醇 4 种药剂中的 EC_{50} 最大；海南的菌株对粉唑醇、咪鲜胺·三唑酮和腈菌唑 3 种药剂中的 EC_{50} 最大；广西的菌株对多菌灵的 EC_{50} 最大，其他 7 种药剂的 EC_{50} 最小。

表 4 胶孢复合种对供试药剂的敏感性 mg·L^{-1}

种别	菌株编号	杀菌剂							
		95% 咪鲜胺	95% 氟硅唑	25% 粉唑醇	95% 戊唑醇	19% 咪鲜胺·三唑酮	95.5% 腈菌唑	97% 多菌灵	40% 己唑醇
乐东炭疽 *C.ledongense*	C.L LD1680	0.018 2	0.447 0	5.459 4	0.500 1	0.127 2	5.831 9	0.577 8	0.803 9
	C.L LD1683	0.130 3	1.304 0	5.626 3	1.011 6	0.397 4	7.178 7	0.479 6	1.034 6
果生刺盘孢 *C. fructicola*	C.F YNBN1-1	0.090 3	0.676 9	3.320 1	0.170 7	0.328 8	8.284 7	0.304 5	1.236 5
	C.F QZ16136	0.143 3	1.458 5	4.839 6	1.589 5	0.493 1	9.147 6	0.589 9	1.370 2
	C.F GD1603	0.034 7	1.013 8	4.780 6	0.331 9	0.344 2	8.785 8	0.383 5	1.286 2
暹罗炭疽 *C. siamense*	C.S YNJH7-1	0.077 6	0.758 9	6.809 6	2.254 2	0.126 9	6.858 7	0.181 7	1.368 8
	C.S YNJH7-4	0.143 6	2.294 0	5.638 8	3.005 6	0.457 4	12.513 4	0.378 9	2.056 3
	C.S CJ1688	0.077 6	1.136 4	7.066 8	1.614 1	0.512 9	10.062 3	0.367 1	1.421 7
	C.S GX1649	0.001 1	1.010 5	4.122 2	0.002 1	0.178 8	6.755 2	0.464 9	1.353 5

2.2 供试杀菌剂对尖孢炭疽复合种生长的影响

从表 5 可知，药剂对尖孢复合种炭疽菌菌丝生长的影响。咪鲜胺对菌丝生长的抑制效果最佳，其平均 EC_{50} 为 0.091 61 mg·L^{-1}，高于胶孢复合种。尖孢复合种内又以华南炭疽最为敏感，其平均 EC_{50} 为 0.038 06 mg·L^{-1}，其他 3 个种的敏感性较为接近，*C.laticiphilum*、版纳炭疽和新类群的 EC_{50} 分别为 0.125 2 mg·L^{-1}、0.122 1 mg·L^{-1} 和 0.124 7 mg·L^{-1}；尖孢复合种对咪鲜胺·三唑酮、戊唑醇和氟硅唑表现为高度敏感，其平均 EC_{50} 分别为 0.532 2、0.368 8 和 0.558 6 mg·L^{-1}，各种对咪鲜胺·三唑酮的敏感性中，以 *C.laticiphilum* 和新种群较为不敏感，华南炭疽和版纳炭疽较为敏感；对戊唑醇的敏感性中，*C.laticiphilum* 最为敏感；对氟硅唑的敏感性中，华南炭疽最为敏感；对腈菌唑，粉唑醇表现为不敏感。从菌源上看，华南炭疽种内，广西的菌株对氟硅唑、粉唑醇、腈菌唑、多菌灵和己唑醇的 EC_{50} 最小，广东的菌株对戊唑醇、咪鲜胺、咪鲜胺·三唑酮的 EC_{50} 最小，整体来看云南的菌株最为不敏感。

2.3 不同种对供试杀菌剂的敏感性

从图 1 可知。在对多菌灵的敏感性中，尖孢复合种的菌株平均 EC_{50} 显著大于胶孢复合种的菌株。此外，在对戊唑醇的敏感性中，胶孢复合种菌株的平均

表 5　尖孢复合种对供试药剂的敏感性　　mg·L^{-1}

种别	菌株编号	杀菌剂							
		95% 咪鲜胺	95% 氟硅唑	25% 粉唑醇	95% 戊唑醇	19% 咪鲜胺·三唑酮	95.5% 腈菌唑	97% 多菌灵	40% 己唑醇
C.laticiphilum	Ca YNJH17109	0.125 2	0.370 5	7.944 5	0.093 8	1.484 9	2.384 0	0.791 5	0.469 8
版纳炭疽 *C. bannanense*	Ca YNML52	0.025 4	0.244 7	5.256 8	0.086 4	0.279 8	1.602 9	0.821 0	0.767 8
	Ca YNWD3-1	0.218 7	1.780 2	8.131 2	0.788 4	0.414 6	2.654 2	0.867 6	1.015 3
华南炭疽 *C. australisinense*	YNJP162	0.089 6	0.328 6	5.306 5	0.363 5	0.351 4	5.884 8	0.879 1	1.676 0
	GX1655	0.023 0	0.273 4	4.061 7	0.187 8	0.381 7	1.069 4	0.706 5	0.917 7
	GD1628	0.001 6	0.312 1	4.539 8	0.125 4	0.326 2	4.465 2	1.184 0	0.976 5
新类群 new groups	Ca YNLC511	0.173 8	0.618 7	16.543 6	0.678 6	0.473 2	8.439 2	1.289 8	0.263 2
	Ca YNLC510	0.075 6	0.540 8	16.359 1	0.626 4	0.545 4	11.056 4	2.512 8	0.634 1

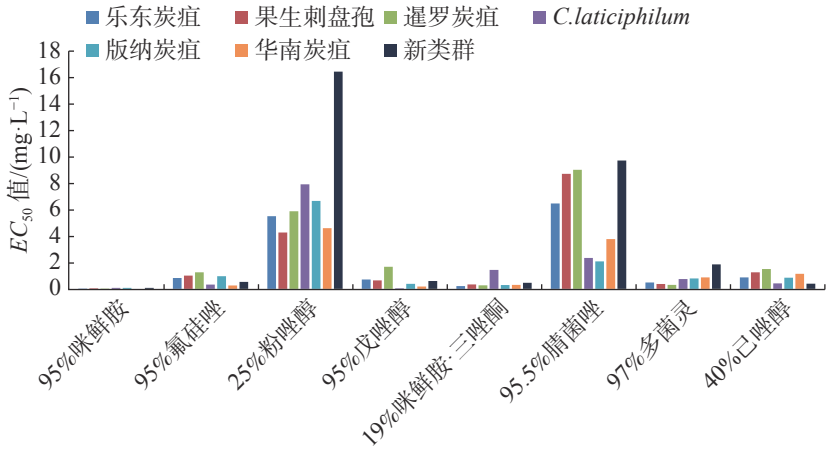

图 1　复合种对供试药剂敏感性的平均值

EC_{50} 显著大于尖孢复合种的菌株，在对多菌灵、腈菌唑和粉唑醇的敏感性中，尖孢复合种内的新种群的 EC_{50} 显著高于其他的种，其他 3 个种群则没有表现出显著差异。

2.4　供试杀菌剂复配药剂对橡胶树炭疽菌的影响　从表 6 和表 7 可知，复配药剂对不同种炭疽菌菌丝生长的影响。选取效果最好的 2 种单剂进行复配实验，即咪鲜胺和戊唑醇，分别选取胶孢复

表 6　胶孢复合种对复配药剂的敏感性

原药名称及比例	GD1603					YNBN7-4				
	毒力回归方程	相关系数R	EC_{50}/(mg·L^{-1})	EC_{50}理论/(mg·L^{-1})	增效系数SR	毒力回归方程	相关系数R	EC_{50}/(mg·L^{-1})	EC_{50}理论/(mg·L^{-1})	增效系数SR
咪鲜胺	y=0.481 2x+5.702 6	0.987 5	0.034 7	-	-	y=0.903 4x+5.761 5	0.985 3	0.143 6	-	-
戊唑醇	y=0.345 6x+5.165 8	0.989 9	0.331 9	-	-	y=0.793 2x+4.620 9	0.997 2	3.005 6	-	-
咪鲜胺：戊唑醇(8：2)	y=0.726 1x+5.864 7	0.975 4	0.064 4	0.042 3	0.656 8	y=1.146 3x+5.754 8	0.978 7	0.219 6	0.177 4	0.807 8
咪鲜胺：戊唑醇(7：3)	y=0.788 9x+5.857 3	0.994 9	0.081 9	0.047 4	0.578 8	y=1.1373x+5.725 2	0.966 2	0.230 3	0.201 0	0.872 8
咪鲜胺：戊唑醇(6：4)	y=0.808 5x+5.932 5	0.949 8	0.070 3	0.054 1	0.769 6	y=0.954 1x+5.394 5	0.979 0	0.386 0	0.232 0	0.601 0
咪鲜胺：戊唑醇(5：5)	y=0.945 3x+5.924 7	0.964 1	0.105 1	0.062 8	0.597 5	y=1.027 8x+5.309 2	0.986 5	0.500 2	0.274 1	0.548 0
咪鲜胺：戊唑醇(4：6)	y=0.996 2x+5.878 0	0.978 4	0.131 4	0.075 0	0.570 8	y=1.319 2x+5.249	0.998 8	0.647 5	0.334 9	0.517 2
咪鲜胺：戊唑醇(3：7)	y=0.964 9x+5.931 7	0.978 4	0.108 2	0.093 0	0.859 5	y=1.063 6x+5.096 5	0.991 9	0.811 4	0.430 5	0.530 6
咪鲜胺：戊唑醇(2：8)	y=1.180 9x+5.591 3	0.992 5	0.315 7	0.122 3	0.387 4	y=1.278x+4.986 2	0.997 0	1.025 2	0.602 8	0.588 0

表 7 尖孢复合种对复配药剂的敏感性

原药名称及比例	GX1655					YNJP162				
	毒力回归方程	相关系数R	EC_{50}/(mg·L^{-1})	EC_{50}理论/(mg·L^{-1})	增效系数SR	毒力回归方程	相关系数R	EC_{50}/(mg·L^{-1})	EC_{50}理论/(mg·L^{-1})	增效系数SR
咪鲜胺	y=0.554 4x+5.908 5	0.987 6	0.023 0	-	-	y=0.572 2x+5.599 6	0.971 3	0.089 6	-	-
戊唑醇	y=0.583 0x+5.423 5	0.977 5	0.187 8	-	-	y=0.860 5x+5.378 2	0.984 4	0.363 5	-	-
咪鲜胺：戊唑醇(8：2)	y=0.730 2x+5.843 1	0.996 8	0.070 1	0.027 9	0.398 0	y=0.722 2x+5.810 1	0.981 5	0.075 6	0.105 5	1.395 5
咪鲜胺：戊唑醇(7：3)	y=0.772 6x+5.793 8	0.999 7	0.093 9	0.031 2	0.332 3	y=0.689 9x+5.715 4	0.990 1	0.091 8	0.115 8	1.261 4
咪鲜胺：戊唑醇(6：4)	y=0.788 7x+5.739	0.996 1	0.115 6	0.035 4	0.306 0	y=0.697 9x+5.656 4	0.988 3	0.114 7	0.128 3	1.118 6
咪鲜胺：戊唑醇(5：5)	y=0.709 2x+5.684 3	0.978 1	0.108 4	0.041 0	0.378 2	y=0.742 4x+5.667 5	0.982 7	0.126 2	0.143 8	1.139 5
咪鲜胺：戊唑醇(4：6)	y=0.608 6x+5.681 3	0.984 1	0.076 0	0.048 6	0.639 5	y=0.673 2x+5.699 6	0.989 3	0.091 4	0.163 5	1.788 8
咪鲜胺：戊唑醇(3：7)	y=0.787 8x+5.784 1	0.996 1	0.101 1	0.059 6	0.589 5	y=0.799 9x+5.693 2	0.993 2	0.136 0	0.189 6	1.394 1
咪鲜胺：戊唑醇(2：8)	y=0.934 7x+5.654 8	0.986 5	0.199 3	0.077 2	0.387 4	y=0.880 6x+5.681 8	0.986 6	0.186 1	0.225 6	1.212 3

合种和尖孢复合种内的优势种群，即暹罗炭疽 YNBN7-4、果生刺盘孢 GD1603 和华南炭疽 GX1655 和 YNJP162。

从增效系数上来看，对于胶孢炭疽果生刺盘孢 1 603 来说，咪鲜胺：戊唑醇比例为 3：7 时增效系数为 0.869 5，表现为相加作用且效果最好；对于胶孢炭疽暹罗炭疽 7-4 来说，咪鲜胺：戊唑醇比例为 7：3 时，增效系数为 0.872 8，表现为相加作用且效果最好；对于尖孢炭疽华南炭疽 162 来说，咪鲜胺：戊唑醇比例为 4：6 时，表现为增效作用且增效系数达到 1.788 8；对于尖孢炭疽华南炭疽 1 655 来说，咪鲜胺：戊唑醇比例同样为 4：6 时抑菌效果最佳，增效系数为 0.635 9 表现为相加作用。

3 讨 论

本研究选用 8 种杀菌剂对橡胶树炭疽菌进行了菌丝生长抑制试验。结果表明，咪鲜胺、多菌灵、氟硅唑、戊唑醇、己唑醇、咪鲜胺·三唑酮 6 种药剂对橡胶树炭疽菌菌丝生长有显著抑制活性，腈菌唑和粉唑醇对病原菌菌丝抑制效果较差，多数以三唑类为代表的麦角甾醇生物抑制剂对病原菌菌丝生长有明显的抑制效果，这与麦角甾醇生物合成抑制剂的作用机理相关。有研究认为麦角甾醇生物抑制剂对菌丝生长有显著影响，但在本研究中，同为三唑类杀菌剂的粉唑醇和腈菌唑效果不佳，特别时尖孢复合种的 EC_{50} 较大，抑制效果不明显，且远不及其他三唑类杀菌剂。

蔡志英等[5] 于 2008 年对采自云南的 1 株胶孢炭疽菌和 1 株尖孢炭疽菌进行了 6 种药剂的敏感性测定并进行了比较，结果表明，胶孢炭疽菌与尖孢炭疽菌均对咪鲜胺最为敏感。曹学仁等[6] 检测了从海南省 4 个市县分离获得的 23 株橡胶胶孢炭疽菌和 20 株尖孢炭疽菌对咪鲜胺和多菌灵的敏感性，结果表明，供试菌株对多菌灵的 EC_{50} 值分布在 0.332 3 ~ 7.425 6 mg·L^{-1} 范围内，平均值为 1.714 1 mg·L^{-1}；对咪鲜胺的 EC_{50} 值分布在 0.009 1 ~ 0.113 3 mg·L^{-1} 范围内，平均值为 0.036 8 mg·L^{-1}。林春花等[7] 测定了来自海南、云南、广东和广西 4 省 22 株橡胶树胶孢炭疽菌和 15 株尖孢炭疽菌对咪鲜胺的敏感性，结果表明，供试的 37 株橡胶炭疽病菌菌株对咪鲜胺的 EC_{50} 值为 0.022 0 ~ 0.272 1 mg·L^{-1}，平均为 (0.061 7±0.055 4) mg·L^{-1}。本研究中，尖孢炭疽菌对多菌灵的敏感性要显著低于胶孢炭疽病菌，对咪鲜胺的敏感性与前人研究结果基本一致。此外，不同复合种对药剂的敏感性存在一定的差异。例如，乐东炭疽、果生刺盘孢、暹罗炭疽和尖孢炭疽对多菌灵的平均 EC_{50} 分别为 0.528 7、0.426 0、0.348 2、1.131 5 mg·L^{-1}。尖孢炭疽对戊唑醇、腈菌唑和氟硅唑的敏感性均显著高于胶孢炭疽复合种。在同一中群内，来自不同菌源地的菌株在对同一种药剂的敏感性上，也会有一定的差异。本研究中，测定了来自海南、云南、广东和广西省胶孢炭疽和尖孢炭疽 2 个复合种内 7 个种群对 8 种药剂的敏感性，在前人的基础上，进一步明确了不同种群炭疽病菌的药剂敏感性。

咪鲜胺和戊唑醇均为高效、广谱、低毒的杀菌

剂。笔者选择这 2 种药剂进行复配，研究其单剂和复配剂对病原菌菌丝生长的影响，采用 Wadley 法计算复配药剂的增效系数，最终获得了对橡胶树炭疽菌菌丝生长表现出相加作用最优复配组合。

橡胶树炭疽病是常年流行在橡胶产区的主要病害之一，对胶乳的产量造成了严重的影响，多种杀菌剂交替使用可以缓解由于长期施用单一杀菌剂产生的抗药性问题，延长杀菌剂的使用寿命。另外，戊唑醇的价格远低于咪鲜胺，二者复配能降低田间施药成本。在使用化学药剂开展田间橡胶炭疽病防治前，应首先明确胶园中病原菌的种类及其比例，选择合适的使用药剂种类和使用浓度。本研究为橡胶树炭疽病的科学用药提供了理论支持，但在自然条件下，由于气候、施药时期和方式、药剂与病原菌的接触程度等因素，室内毒力测定试验的结果往往与田间试验获得的结果有一定偏差。因此，本研究筛选的单剂及复配药剂组合还需田间试验进一步验证。

参考文献:

[1] 黄贵修, 许灿光, 李博勋. 中国天然橡胶病虫草害识别与防治[M]. 2 版. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2018: 37.

[2] 刘先宝, 郑肖兰, 李博勋, 等. 国内橡胶树炭疽病病原菌种群多样性分析[C]//中国植物病理学会. 中国植物病理学会 2019 年学术年会论文集. 北京: 出版者不详, 2019: 146.

[3] 郑行恺. 海南省橡胶树炭疽病监测及其防治药剂施用技术研究[D]. 海口: 海南大学, 2019.

[4] 罗大全, 郑作飞, 范鸿雁, 等. 海南垦区橡胶炭疽病菌对多菌灵抗性的室内测定[J]. 热带农业科学, 2003(1): 8 − 10.

[5] 蔡志英, 李加智, 王进强, 等. 橡胶胶孢炭疽菌和尖孢炭疽菌对杀菌剂的敏感性测定[J]. 云南农业大学学报, 2008(6): 787 − 790.

[6] 曹学仁, 车海彦, 杨毅, 等. 2014 年海南省橡胶炭疽病菌对多菌灵和咪鲜胺的敏感性测定[J]. 植物病理学报, 2015, 45(6): 626 − 631.

[7] 林春花, 徐轩, 戈玉琪, 等. 中国 2 种橡胶树炭疽病菌对咪鲜胺敏感性比较[J]. 热带作物学报, 2017, 38(1): 111 − 115.

[8] LIU X B, LI B X, CAI J M, et al. *Colletotrichum* species causing anthracnose of rubber trees in China [J]. Scientific Reports, 2018, 8(5): e10435.

[9] CAO X R, XU X M, CHE H Y, et al. Distribution and fungicide sensitivity of *Colletotrichum* species complexes from rubber tree in Hainan, China. [J]. Plant Disease, 2017, 101(10): 1774 − 1780.

[10] 刘础荣, 董玥, 吕青阳, 等. 防治红枣黑斑病的杀菌剂筛选和复配研究[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 263 − 268.

[11] 邓维萍, 杨敏, 杜飞, 等. 葡萄胶孢炭疽菌对 3 种麦角甾醇脱甲基抑制剂类杀菌剂的敏感性[J]. 农药学学报, 2011, 13(3): 245 − 252.

[12] 徐丹丹, 石力允, 张羽, 等. 广东咖啡炭疽病病原菌初步鉴定及防治药剂筛选[J]. 广东农业科学, 2021, 48(2): 100 − 107.

[13] 姜苏月, 靳俊媛, 刘静, 等. 羽扇豆炭疽病病原鉴定及室内药剂筛选[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(5): 136 − 141.

[14] 毕秋艳, 党志红, 朱伟旗, 等. 河北省大豆主要病原真菌鉴定及防治药剂筛选[J]. 中国农业科学, 2021, 54(1): 71 − 85.

Evaluation of fungicide sensitivity of *Colletotrichum* spp. From rubber trees and fungicidal effect of fungicide mixtures

HE Jingfeng[1,2], LIU Xianbao[2], LI Boxun[2], CAI Jimiao[2], FENG Yanli[2], HUANG Guixiu[2]

(1. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570228; 2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Hainan Key Laboratory for Monitoring and Control of Tropical Agricultural Pests, Haikou, Hainan 571101, China)

Abstract: In order to understand the sensitivity of various *Colletotrichum spp.* to different fungicides in different species complexes in various rubber planting areas in China, the sensitivity of *C. ledongense*, *C. fructicola* and *C. siamense* in the *C. glocosporioides* species complex and *C. bannanense*, *C. laticiphilum*, new species groups, and *C. australisinense* in the *C. acutalum* species complex to 8 fungicides were determined by growth rate method, based on which two fungicides were mixed at different ratios to evaluate their effectiveness. The results showed that 17 strains of *Colletotrichum* spp. from rubber anthracnose were the most sensitive to prochloraz, with EC_{50} values of 0.001 1 − 0.218 7 mg·L^{-1}, averaging 0.085 3 mg·L^{-1}. The fungicides prochloraz, carbendazim, flusilazole, tebuconazole, hexazolol and the mixtures of prochloraz and triadimefon had a significant inhibitory activity against the mycelial growth of *Colletotrichum* spp, the pathogenic fungi from the rubber anthracnose. Nitridazole and fenoxazole had a poor inhibitory effect on the mycelial growth of the pathogenic fungi. Most ergosterol biological inhibitors represented by triazole had a significant inhibitory effect on the mycelial growth of the pathogenic fungi. The new species groups had a poor sensitivity to fenoxazole, nitridazole and carbendazim. The mixtures of prochloraz and tebuconazole at the respective mix ratios of 7∶3 and 4∶6 had the best inhibitory effect on *C. siamense* and *C. australisinense* which were dominant species from the rubber anthracnose.

Keywords: *Hevea brasiliensis*; *Colletotrichum glocosporioides* Penz.; *C. acutalum* Simmons; sensitivity; fungicide mixture

(责任编委:吴少英　责任编辑: 潘学峰)