

本文中涉及作用机理英文大写字母的含义如下: A: 核酸代谢 (Nucleic acids metabolism); B: 细胞骨架和马达蛋白 (Cytoskeleton and motor protein); C: 呼吸作用 (Respiration); D: 氨基酸和蛋白质合成 (Amino acids and protein synthesis); E: 信号转导 (Signal transduction); F: 脂质合成或运输/膜完整性或功能 (Lipid synthesis or transport/membrane integrity or function); G: 膜中甾醇的生物合成 (Sterol biosynthesis in membranes); H: 细胞壁生物合成 (Cell wall biosynthesis); I: 细胞壁黑色素合成 (Melanin synthesis in cell wall)。

鉴于专业水平有限, 下文中会存在一些问题, 望指正。同时也会及时跟踪, 不断学习改正。

1. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 1, B1, 苯并咪唑氨基甲酸甲酯组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点: (1) 苯并咪唑类: 苯菌灵、多菌灵、麦穗宁和噻菌灵。(2) 硫菌灵类: 硫菌灵、甲基硫菌灵。这些杀菌剂亦称 MBC-杀菌剂(Methyl Benzimidazole Carbamates), 主要影响微管蛋白的聚合。

抗性概况: 许多真菌物种都存在抗药性, 出现这种情况的原因是 β -微管蛋白基因多个靶位点突变, 主要为 E198A/G/K、F200Y。组内品种之间有正交互抗药性。与 *N*-苯基氨基甲酸酯类杀菌剂有负交互抗药性。抗药性风险高。见 FRAC 苯并咪唑类杀菌剂抗药性管理指南。

2. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 2, E3, 二甲酰亚胺类组。

代表性品种和作用靶标位点: 乙菌利、菌核净、异菌脲、腐霉利和乙烯菌核利。这些杀菌剂主要影响丝裂原活化蛋白/组氨酸激酶在渗透信号转导中的作用(*os-1*, *Daf1*)。

抗性概况: 葡萄孢属和其他一些病原体有常见的抗药性。*os-1* 中有几处突变, 主要是 I365S。组内品种间普遍存在交互抗药性。抗药性风险中到高, 见 FRAC 二甲酰亚胺类杀菌剂抗药性管理指南。

3. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 3, G1, 膜中甾醇的生物合成 SBI I组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点: (1) 哌嗪: 噻菌灵。(2) 吡啶类: 啉斑肟和啉菌噁唑。(3) 嘧啶类: 氯苯嘧啶醇和氟苯嘧啶醇。(4) 咪唑类: 抑霉唑、噁咪唑、稻瘟酯、咪鲜胺和氟菌唑。(5) 三唑类: 氧环唑、联苯三唑醇、糠菌唑、环丙唑醇、苯醚甲环唑、烯唑醇、氟环唑、乙环唑、腈苯唑、氟唑唑、氟硅唑、粉唑醇、己唑醇、亚胺唑、种菌唑、氯氟醚菌唑、叶菌唑、腈菌唑、戊菌唑、丙环唑、硅氟唑、戊唑醇、四氟醚唑、三唑酮、三唑醇和灭菌唑。(6) 三唑啉硫酮: 丙硫菌唑。这些杀菌剂是第I组膜中甾醇生物合成抑制剂 (Sterol Biosynthesis Inhibitors(SBI) in membranes), 主要作用于甾醇生物合成中的 C_{14} -去甲基酶 (*erg11/cyp51*) (sterol 14 α -demethylase; EC 1.14.14.154)。

抗性概况: 去甲基化抑制剂(DeMethylation Inhibitors, DMI), 该组杀菌谱有较大不同。

已知多种真菌都具有抗药性，机制包括 *cyp51(erg11)* 基因中的靶位点突变，例如 V136A、Y137F、A379G、I381V、*cyp51* 启动子、ABC 转运蛋白等。通常认为 DMI-杀菌剂之间存在交互抗药性，但与其他 SBI 组杀菌剂没有交互抗药性。抗药性风险中等。见 FRAC 膜中甾醇的生物合成 SBI 杀菌剂抗药性管理指南。

4. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 4, A1, 苯酰胺组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：(1) 酰基丙氨酸酯类：苯霜灵、精苯霜灵、咪霜灵、甲霜灵、精甲霜灵。(2) 噁唑烷酮类：噁霜灵。(3) 丁内酯：咪酰胺。这些杀菌剂亦称苯酰胺 PA-杀菌剂(Phenyl Amides)，通过干扰核糖体 RNA 合成而抑制真菌蛋白质的生物合成，是核酸合成抑制剂。作用靶标为 RNA 聚合酶 I。

抗性概况：已知各种卵菌对其有抗药性和交互抗药性，但病原菌抗药性机制未知。病原菌抗药性风险高。

5. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 5, G2, 胺(吗啉)组 (膜中甾醇的生物合成 SBI II组)。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：(1) 吗啉类：4-十二烷基-2,5(或 2,6)-二甲基吗啉、十二环吗啉、丁苯吗啉和十三吗啉。(2) 哌啶类：苯锈啶和哌丙灵。(3) 螺缩酮胺：螺环菌胺。作用于甾醇生物合成中的 Δ^{14} -还原酶和 $\Delta^8 \rightarrow \Delta^7$ -异构酶 (Δ^{14} -reductase and $\Delta^8 \rightarrow \Delta^7$ -isomerase)。

抗性概况：白粉病菌的敏感性有所降低。发现 SBI II组内杀菌剂间通常存在着交互抗药性，但与其他 SBI 组则没有。抗药性风险低到中等，见 FRAC 膜中甾醇的生物合成 SBI 杀菌剂抗药性管理指南。

6. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 6, F2, 硫代磷酸酯组/二硫杂环戊烷组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：(1) 硫代磷酸酯类：敌瘟磷、异稻瘟净和吡菌磷。(2) 二硫杂环戊烷：稻瘟灵。作用于磷脂生物合成、甲基转移酶。

抗性概况：已知对特定的真菌有抗药性。低至中等风险，如果用于防治有风险的病原体，则需要进行抗药性管理。

7. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 7, C2, 琥珀酸脱氢酶抑制剂 (Succinate-dehydrogenase inhibitors, SDHI)组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点：(1) 苯基苯酰胺类：麦锈灵、氟酰胺和灭锈胺。(2) 苯氧乙基噁吩酰胺：异丙噁菌胺。(3) 吡啶基乙基苯甲酰胺：氟吡菌酰胺。(4) 苯基环丁基吡啶酰胺：三氟吡啶胺。(5) 咪喃甲酰胺：甲咪酰胺。(6) 氧杂噁英甲酰胺类：萎锈灵和氧化萎锈灵。(7) 噁唑甲酰胺：噁咪酰胺。(8) 吡唑-4-甲酰胺类：苯并烯氟菌唑、氯氟联苯吡菌胺、氟茚唑菌胺、氟唑菌酰胺、咪吡菌胺、茚吡菌胺、吡唑萘菌胺、氟唑菌苯胺、吡噁菌胺和氟唑环菌胺。(9) *N*-环丙基-*N*-苄基-吡唑甲酰胺：异丙氟吡菌胺。(10) *N*-甲氧基-(苯乙基)-吡唑甲酰胺：氟唑菌酰羟胺。(11) 吡啶甲酰胺：啶酰菌胺。(12) 吡嗪甲酰胺：联苯吡嗪菌胺。作用于复合物II：琥珀酸脱氢酶 (succinate dehydrogenase, SDH; EC 1.3.5.1)。

抗性概况：已知田间种群和实验室突变体中的几种真菌有抗药性。*sdh* 基因中的目标位

点突变, 例如 H/Y(或 H/L)为 257、267、272 或 P225L, 取决于真菌种类。抗药性风险中到高, 需要进行管理, 见 FRAC SDHI 类杀菌剂抗药性管理指南。

8. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 8, A2, 羟基-(2-氨基)-嘧啶组。

代表性品种和作用靶标: 乙嘧酚磺酸酯、二甲嘧酚和乙嘧酚。作用靶标为腺苷脱氨酶(adenosin deaminase, ADA; EC 3.5.4.4), 影响嘌呤代谢。

抗性概况: 抗药性风险中等。已知白粉病产生抗性和交互抗性, 需要抗药性管理。

9. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 9, D1, AP-杀菌剂组(苯胺嘧啶 Anilino-Pyrimidines)。

代表性品种和作用靶标位点: 嘧菌环胺、嘧菌胺和嘧霉胺。干扰蛋氨酸生物合成(提议)(*cgs* 基因)。

抗性概况: 已知葡萄孢属菌(*Botrytis*)和黑星菌属菌(*Venturia*)具有抗药性, 眼斑菌属(*Oculimacula*)也有零星的抗药性报道。抗药性风险中, 见 FRAC 苯胺嘧啶类杀菌剂抗药性管理指南。

10. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 10, B2, N-苯氨基甲酸酯组。

代表性品种和作用靶标位点: 乙霉威。影响微管蛋白的聚合。

抗性概况: 已知抗药性, 靶位点突变为 E198K。对苯并咪唑类杀菌剂呈负交互抗药性。抗药性风险高, 要进行抗药性管理。

11. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 11, C3, QoI-杀菌剂组(醌外抑制剂 Quinone outside Inhibitors, QoI)。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点: (1) 甲氧基丙烯酸酯类: 嘧菌酯、(*E,E*)-烯肟菌酯、氟菌唑酯、啉氧菌酯和啉菌酯。(2) 甲氧基乙酰胺: 甲苯醚菌酯。(3) 甲氧基氨基甲酸酯类: 吡唑醚菌酯、啉胺菌酯和氯啉菌酯。(4) 肟基乙酸酯: 醚菌酯和肟菌酯。(5) 肟基乙酰胺类: 醚菌胺、烯肟菌胺、苯氧菌胺、肟醚菌胺和肟醚菌胺。(6) 噁唑烷二酮: 噁唑菌酮。(7) 二氢二噁嗪: 氟啉菌酯。(8) 咪唑啉酮: 咪唑菌酮。(9) 氨基甲酸苄酯: 吡菌苯威。作用于复合物 III: Qo 位点的细胞色素 bc1 (泛醇氧化酶(ubiquinol oxidase; EC 1.10.3.11)) (*cyt b* 基因)。

抗性概况: 已知各种真菌的抗药性, *cyt b* 基因 (G143A, F129L)的靶位点突变和其他机制。杀菌剂代码 11 的所有品种间显示出交互抗药性。抗药性风险高, 见 FRAC QoI 类杀菌剂抗药性管理指南。

12. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 11A, C3, QoI-杀菌剂 A 亚组(醌外抑制剂 A 亚组; Quinone outside Inhibitors; Subgroup A)。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点: 四唑啉酮/四唑菌酮。作用于复合物 III: Qo 位点的细胞色素 bc1 (泛醇氧化酶(ubiquinol oxidase; EC 1.10.3.11)) (*cyt b* 基因)。

抗性概况: 抗药性未知。G143A 突变体与代码 11 杀菌剂不具有交互抗药性。抗药性风险高, 见 FRAC QoI 类杀菌剂抗药性管理指南。

13. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 12, E2, PP-杀菌剂组 (苯基吡咯 PhenylPyrroles)。

代表性品种和作用机理：拌种咯和咯菌腈。影响丝裂原活化蛋白/组氨酸激酶在渗透信号转导中的作用(*os-2*, *HOG1*)。

抗性概况：依机制推测，发现零星抗药性，风险低到中等，需要抗药性管理。

14. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 13, E1, 氮杂萘组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：(1) 芳氧基喹啉类：苯氧喹啉。(2) 喹唑啉酮：丙氧碘喹啉。影响信号转导(作用机制未知)。

抗性概况：已知苯氧喹啉有抗药性，风险中等，需要抗药性管理。在葡萄白粉病菌(*Erysiphe (Uncinula) necator*)中发现了交互抗药性，但在小麦白粉病菌(*Blumeria graminis*)中未发现交互抗药性。

15. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 14, F3, AH-杀菌剂组(芳香烃 Aromatic Hydrocarbons) (氯苯基、硝基苯胺) / 杂环烃组。

化学结构分类、代表性品种和推测的作用靶标：(1) 芳香烃类：联苯、氯苯甲醚、氯硝胺、五氯硝基苯、四氯硝基苯和甲基立枯磷。(2) 1,2,4-噻二唑类：土菌灵。细胞过氧化(提议)。

抗性概况：已知一些真菌有抗药性，风险低至中等。由于杀菌谱不同，组内品种间交互抗药性复杂。

16. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 16.1, I1, MBI-R 组(黑色素生物合成抑制剂-还原酶 Melanin Biosynthesis Inhibitors – reductase)。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：(1) 异苯并咪唑酮：四氯苯酞。(2) 吡咯并喹啉酮：咯喹酮。(3) 吡咯并喹啉酮：咯喹酮。作用于黑色素生物合成中的还原酶。

抗药性未知。

17. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 16.2, I2, MBI-D 组(黑色素生物合成抑制剂-脱水酶 Melanin Biosynthesis Inhibitors – dehydratase)。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：(1) 环丙烷甲酰胺：环丙酰菌胺。(2) 甲酰胺：双氯氰菌胺。(3) 丙酰胺：稻瘟酰胺。作用于黑色素生物合成中的脱水酶。

已知有抗药性，风险中等。需要抗药性管理。

18. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 16.3, I3, MBI-P 组(黑色素生物合成抑制剂-聚酮合酶 Melanin Biosynthesis Inhibitors – polyketide synthase)。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：三氟乙基氨基甲酸酯/三氟甲氧威。作用于黑色素生物合成中的聚酮合酶。

抗药性未知。通过诱导宿主植物防御获得额外抗细菌和真菌的活性。

19. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 17, G3, KRI-杀菌剂组(酮还原酶抑制剂 ketoreductase inhibitors) (膜中甾醇的生物合成 SBI 3 组)。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点：(1) 羟基苯胺：环酰菌胺。(2) 氨基吡唑啉酮：胺苯吡菌酮。作用于 3-酮还原酶，阻碍 C₄-去甲基化(*erg27*)。

抗药性风险低到中等，需要抗药性管理。

20. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 18, G4, 膜中甾醇的生物合成 SBI 4 组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点：(1) 硫代氨基甲酸酯类：稗草丹。(2) 烯丙胺类：萘替芬和特比萘芬。作用于甾醇生物合成中的角鲨烯环氧酶 (squalene epoxidase, SE; EC 1.41.13.132) (*erg1*)。

抗药性未知。具有杀菌和除草活性/仅限医用的杀真菌剂。

21. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 19, H4, 多抗霉素组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：肽基嘧啶核苷/多抗霉素。作用于几丁质合酶 (chitin synthase; EC 2.4.1.16)。

已知抗药性，风险中等，要进行管理。

22. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 20, B4, 苯脲组。

代表性品种和作用靶标：戊菌隆。干扰细胞分裂(靶标位点未知)

抗药性未知。

23. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 21, C4, QiI-杀菌剂组 (醌内抑制剂 Quinone inside Inhibitors)。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：(1) 氰基咪唑：氰霜唑。(2) 氮磺酰三唑：吡唑磺菌胺。(3) 吡啶甲酰胺类：吡啶菌胺和二氟吡啶菌胺。作用于复合物 III：Qi 位点的细胞色素 bc1 (泛醌还原酶(ubiquinone reductase))。

抗性概况：虽然抗药性风险未知，但认为是中等到高(已知模式菌体中目标位点的突变)。需要抗药性管理。与卵菌类杀菌剂氰霜唑和吡唑磺菌胺杀菌谱不重叠。

24. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 22, B3, 苯甲酰胺组/噻唑甲酰胺组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点：(1) 甲苯酰胺：苯酰菌胺。(2) 乙氨基噻唑甲酰胺：噻唑菌胺。影响微管蛋白的聚合。

抗药性风险低到中等，要进行抗药性管理。

25. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 23, D2, 烯吡喃醛酸抗生素组。

代表性品种和作用靶标位点：灰瘟素。影响蛋白质合成(核糖体，终止步骤)。

抗药性风险低到中，要进行管理。

26. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 24, D3, 环己基吡喃抗生素组。

代表性品种和作用靶标位点：春雷霉素。影响蛋白质合成(核糖体，起始步骤)。

抗性概况：已知真菌和细菌颖壳假单胞菌 (*P. glumae*) 病原体具有抗药性。抗药性风险中等，需要抗药性管理。

27. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 25, D4, 吡喃葡萄糖基抗生素组。杀细菌剂。

代表性品种和作用靶标位点：链霉素。影响蛋白质合成(核糖体，起始步骤)。

已知有抗药性，风险高，需要抗药性管理。

28 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 27, 氰基乙酰胺脲组。

代表性品种和作用机理：霜脲氰。作用机理未知。

抗药性已报道，低到中等风险。需要进行抗药性管理。

29. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 28, F4, 氨基甲酸酯组。

化学结构分类、代表性品种和推测的作用靶标：氨基甲酸酯类/碘代丙炔丁氨基甲酸酯、霜霉威和硫菌威。作用于细胞膜渗透性和脂肪酸 (提议)。

抗药性风险低到中等，要进行管理。

30. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 29, C5。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点：(1) 二硝基苯巴豆酸酯类：乐杀螨、硝苯菌酯和敌螨普。(2) 2,6-二硝基苯胺：氟啶胺。氧化磷酸化解偶联剂。

抗药性未知，还有杀螨活性/抗药性风险低。然而，日本声称灰霉病菌有抗药性。

31. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 30, C6, 有机锡化合物组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点：三苯锡化合物类/三苯基乙酸锡、三苯基氯化锡和三苯基氢氧化锡。氧化磷酸化、ATP 合酶 (ATP synthase; EC 7.1.2.2)抑制剂。

已知一些抗药性实例，低到中等风险。

32. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 31, A4, 羧酸组。

代表性品种和作用靶标：喹菌酮。DNA 拓扑异构酶 II 型(旋转酶) (DNA topoisomerase type II (gyrase); EC 5.99.1.3)。影响核酸代谢，核酸合成抑制剂。

作为杀细菌剂已知有抗性；作为杀真菌剂抗性未知。需要抗药性管理。

33. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 32, A3, 杂芳烃组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：(1) 异噁唑：噁霉灵。(2) 异噁唑酮：辛噁酮。干扰 DNA/RNA 合成(提议)，影响核酸代谢，可能通过干扰 DNA/RNA 的合成来抑制菌体蛋白质的合成。核酸合成抑制剂。

抗药性未知。

34 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 34, 邻苯二甲酸组。

代表性品种和作用机理：叶枯酞。作用机理未知。

抗药性未知。

35 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 35, 苯并三嗪组。

代表性品种和作用机理：咪唑嗪。作用机理未知。

抗药性未知。

36 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 36, 苯磺酰胺组。

代表性品种和作用机理：磺菌胺。作用机理未知。

抗药性未知。

37 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 37, 哒嗪酮组。

代表性品种和作用机理：哒菌酮。作用机理未知。

抗药性未知。

38. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 38, C7, 噻吩甲酰胺组。
化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点：噻吩甲酰胺/硅噻菌胺。ATP 转运(提议)。有抗药性报道，风险低。
39. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 39, C1, 嘧啶胺/1-甲基吡唑/喹唑啉组。
化学结构分类、代表性品种和作用靶标：(1) 嘧啶胺：氟嘧菌胺。(2) 吡唑-5-甲酰胺：唑虫酰胺(亦是杀虫剂)。(3) 喹唑啉：喹唑啉(亦是杀螨剂)。作用于复合物I：还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(Nicotinamide adenine dinucleotide hydrogen, NADH)氧化还原酶。
40. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 40, H5, CAA-杀菌剂组(CAA-fungicides (羧酸酰胺 Carboxylic Acid Amides))。
化学结构分类、代表性品种和作用靶标：(1) 肉桂酰胺类：烯酰吗啉、氟吗啉和丁吡吗啉。(2) 缬氨酰胺氨基甲酸酯类：苯噻菌胺、缬霉威和缬菌胺。(3) 扁桃酰胺：双炔酰菌胺。作用于纤维素合酶 (cellulose synthase, CelA; EC 2.4.1.12)。
抗性概况：已知葡萄生单轴霉(*Plasmopara viticola*)(霜霉病菌)具有抗药性，但致病疫霉(*Phytophthora infestans*)(晚疫病菌)不具有抗药性。CAA-杀菌剂组各品种间都存在交互抗性。抗药性风险低到中。见 FRAC CAA-杀菌剂抗药性管理指南。
41. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 41, D5, 四环素抗生素组。杀细菌剂。
代表性品种和作用靶标位点：土霉素。影响蛋白质合成(核糖体，延伸步骤)。
已知有抗药性，风险高，需要抗药性管理。
42. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 43, B5, 苯甲酰胺组。
化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点：吡啶基甲基苯甲酰胺/氟吡菌胺和氟醚菌酰胺。类血影蛋白样蛋白的位移，破坏细胞的骨架结构。
在葡萄霜霉病中检测到抗药性分离株。中等风险，需要抗药性管理。
43. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 45, C8, QoSI-杀菌剂组(醌外抑制剂，标桩菌素结合型)(Quinone outside Inhibitor, stigmatellin binding type)。
化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点：三唑并嘧啶胺/唑嘧菌胺。作用于复合物 III: Qo 位点的细胞色素 bc1 (泛醌还原酶)、标桩菌素结合型亚位点(stigmatellin binding sub-site)。
与醌外抑制剂 QoI 杀菌剂不存在交互抗药性。抗药性风险认为中到高(单位点抑制剂)，需要抗药性管理。
44. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 47, B6, 氰基丙烯酸酯组。
化学结构分类、代表性品种和作用靶标：氨基氰基丙烯酸酯/氰烯菌酯。影响肌球蛋白功能。肌球蛋白-5 抑制剂。破坏细胞骨架和马达蛋白的肌球蛋白-5。
抗性概况：已知禾谷镰刀菌(*Fusarium graminearum*)产生抗药性。在实验室研究中，发现肌球蛋白 5 编码基因靶位点突变。中高风险抗药性，需要抗药性管理。
45. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 48, F8, 多烯组。

来源和作用靶标：来自纳塔尔链霉菌(*Streptomyces natalensis*)或恰塔努加链霉菌(*S. chattanoogensis*)的两性大环内酯类抗真菌抗生素：纳他霉素。麦角甾醇结合体。

农业、食品和局部医疗用途的抗药性未知。

46. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 49, F9, 氧化固醇结合蛋白同源物抑制组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标位点：哌啶基噻唑异噻唑啉类/氟噻唑吡乙酮和氟噻菌磺酯。影响脂质稳态和转移/储存。对氧化固醇结合蛋白(OSBP)的抑制具有杀菌活性。

抗药性风险认为中等至高(单位点抑制剂)。需要抗药性管理。

47. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 50, B6, 芳基苯酮组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：(1) 二苯甲酮：苯菌酮。(2) 苯甲酰基吡啶：苯啶菌酮。影响肌动蛋白/肌球蛋白/丝束蛋白功能。

抗性概况：在白粉病菌(布氏 *Blumeria* 和单丝壳 *Sphaerotheca*)中检测到不太敏感的分离株。抗药性风险中等，要进行管理。

48. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 51, F10, 蛋白质片段组。

化学结构分类、代表性品种和作用靶标：多肽类/ASFBI0F01-02。与细胞膜脂质部分相互作用，对细胞膜完整性具有多重影响。

抗药性未知。

49. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 52, A5, DHODHI-杀菌剂组。

代表性品种和作用靶标：异丙菌唑啉。抑制二氢乳清酸脱氢酶(dihydroorotate dehydrogenase, DHODH)在嘧啶生物合成中的作用。二氢乳清酸脱氢酶抑制剂。

抗药性风险中到高。

50. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC 53, B7, 吡嗪组。

代表性品种和作用靶标位点：氟苯菌吡嗪。微管蛋白动力学调节剂。

高风险抗药性。

51. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC P 寄主植物防御诱导(Host Plant Defence Induction)。

FRAC P 01, 苯并噻二唑组。代表性品种和作用靶标位点：活化酯。与水杨酸信号分子相关。抗药性未知。

FRAC P 02, 苯并异噻唑组。代表性品种和作用靶标位点：烯丙苯噻唑。与水杨酸信号分子相关。抗药性未知。

FRAC P 03, 噻二唑甲酰胺组。代表性品种和作用靶标位点：噻酰菌胺和异噻菌胺。与水杨酸信号分子相关。抗药性未知。

FRAC P 04, 天然化合物组。代表性品种和作用靶标位点：昆布多糖。多糖激发子。抗药性未知。

FRAC P 05, 植物提取物组。代表性品种和作用靶标位点：巨虎杖提取物。葱醌激发子。抗药性未知。

FRAC P 06, 微生物组。代表性品种和作用靶标位点：细菌蕈状芽孢杆菌分离株 J(*Bacillus*

mycoides isolate J)和真菌酿酒酵母菌株 LAS117(*Saccharomyces cerevisiae* strain LAS117)干细胞壁。微生物激发子。抗药性未知。

FRAC P 07, 膦酸盐组。代表性品种: 三乙膦酸铝。抗性风险低, 仅少数病原体有零星的抗药性报道。

FRAC P 08, 异噻唑组。代表性品种和作用靶标位点: 二氯菌噻。与水杨酸信号分子相关。

52. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC M 多位点触杀活性。这些杀菌剂通常被认为病原菌抗药性风险低, 没有表现出抗药性现象。

FRAC M 01, 无机物组(亲电试剂)。代表性品种: 硫酸铜、琥珀酸铜、混合氨基酸铜、碱式硫酸铜、硫酸铜钙、络氨铜、氢氧化铜、壬菌铜、噻菌铜、松脂酸铜、王铜、氧化亚铜、乙酸铜和喹啉铜。

FRAC M 02, 无机物组(亲电试剂)。代表性品种: 硫磺。

FRAC M 03, 二硫代氨基甲酸酯及其衍生物组(亲电试剂)。代表性品种: 代森铵、福美铁、代森锰锌、代森锰、代森联、丙森锌、福美双、噻唑锌、代森锌和福美锌。

FRAC M 04, 邻苯二甲酰亚胺组(亲电试剂)。代表性品种: 克菌丹、敌菌丹和灭菌丹。

FRAC M 05, 氯脲组(邻苯二甲脲)(未指明机制)。代表性品种: 百菌清。

FRAC M 06, 磺胺组(亲电试剂)。代表性品种: 苯氟磺胺和甲苯氟磺胺。

FRAC M 07, 双胍组(细胞膜破坏剂和洗涤剂)。代表性品种: 双胍辛和双胍辛胺。

FRAC M 08, 三嗪组(未指明机制)。代表性品种: 敌菌灵。

FRAC M 09, 醌组(蒽醌)(亲电试剂)。代表性品种: 二氰蒽醌。

FRAC M 10, 苯并吡嗪组(亲电试剂)。代表性品种: 灭螨猛。

FRAC M 11, 马来酰亚胺组(亲电试剂)。代表性品种: 氟氯菌核利。

FRAC M 12, 硫代氨基甲酸酯组(亲电试剂)。代表性品种: 磺菌威。

53. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC BM 01, 具有多种作用方式的生物制品: 植物提取物组。(1) β -羽扇豆球蛋白多肽。对离子膜转运蛋白的多重影响; 螯合效应。(2) 菲律宾木橘提取物。影响真菌孢子和芽管; 诱导植物防御。(3) 互叶白千层提取物、混合植物油(丁香酚、香叶醇和百里酚)。破坏细胞膜、细胞壁; 诱导植物防御机制。抗药性未知。

54. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC BM 02, 具有多种作用机理的生物制品: 微生物组(活体微生物、提取物或代谢产物)。作用机理包括竞争、真菌寄生、抗生素作用、杀真菌脂肽破坏细胞膜、裂解酶、寄主植物防御诱导。具体品种详见参考资料。

55. 杀菌剂抗性行动委员会 FRAC U 作用机理未知。

FRAC U 06, 苯乙酰胺组。苯乙酰胺/环氟菌胺。已知白粉病菌(*Sphaerotheca*)有抗药性, 需要进行抗药性管理。

FRAC U 12, 胍组。多果定。破坏细胞膜(提议)。已知苹果黑星病菌(*Venturia inaequalis*)有抗药性, 低到中等风险。推荐进行抗药性管理。

FRAC U 13, 噻唑烷组。氟噻唑菌腈。白粉病菌(*Sphaerotheca*)和单囊壳白粉菌(*Podosphaera xanthii*)有抗药性, 低到中等风险。推荐进行抗药性管理。

FRAC U 14, 嘧啶酮脲组。嘧菌脲。抗药性未知。

FRAC U 16, 4-喹啉乙酸酯组。异丁乙氧喹啉。与复合体III: 细胞色素 bc1 结合, 靶标位点未知(提议)。与醌外抑制剂杀菌剂(QoI-fungicides)没有交互抗性, 抗药性未知, 但认为有中等风险。需要抗药性管理。

FRAC U 17, 四唑脲组。四唑吡氨酯。抗药性未知。与苯酰胺(PA)、醌外抑制剂(QoI)和羧酸酰胺(CAA)杀菌剂无交互抗性。

FRAC U 18, 吡喃葡萄糖基抗生素组。井冈霉素。靶标位点未知(可能抑制海藻糖酶)。抗药性未知。

2023-07-07

参考资料

[1] [FRAC Code List 2022](#).

[2] <https://www.frac.info/>