辽宁省玉米白斑病病原菌的生物学特性及防治药剂的筛选

张 丹[1#] 李星来[2#] 宋 露[1] 李文玲[2] 孟 威[1] 肖淑芹[2]
王 珍[3] 郑晓霞[3] 张万民[1*] 薛春生[2*]

（1. 辽宁省植保植检总站，沈阳 110034；2. 沈阳农业大学植物保护学院，沈阳 110866；
3. 凤城市农业农村发展服务中心，辽宁 凤城 118100）

摘要：为有效防控辽宁省玉米白斑病，室内测定辽宁省玉米白斑病优势病原菌宽颈附球菌 *Epicoccum latusicollum* 的生物学特性和5种常用药剂（275 g/L 氟唑菌酰羟胺·丙环唑、18.7% 丙环·嘧菌酯、40% 唑醚·戊唑醇、17% 唑醚·氟环唑和40% 苯醚甲环唑）对其的室内毒力，并测定这5种药剂对玉米白斑病的田间防效。结果显示：宽颈附球菌菌株FC1-2菌丝生长的最佳碳源、氮源为麦芽糖、蛋白胨，最适培养基为玉米叶粉培养基，最适温度为25 ℃，最适pH为7，最适光环境为全光照。在5种药剂中，275g/L 氟唑菌酰羟胺·丙环唑和17% 唑醚·氟环唑对宽颈附球菌的毒力最强，EC_{50}分别为0.150 mg/L和1.700 mg/L；40% 唑醚·戊唑醇、40% 苯醚甲环唑和18.7% 丙环·嘧菌酯的毒力次之，EC_{50}分别为2.258、3.196和6.930 mg/L。在5种药剂中，275 g/L 氟唑菌酰羟胺·丙环唑和17% 唑醚·氟环唑对玉米白斑病的田间防效最好，第1次施药后25 d的防效分别为77.97%和70.32%。综上所述，氟唑菌酰羟胺·丙环唑和唑醚·氟环唑可用于防控辽宁省玉米白斑病。

关键词：玉米白斑病；宽颈附球菌；生物学特性；毒力；防效

Biological characteristics of the causal agent of maize white spot *Epicoccum latusicollum* in Liaoning Province and screening of fungicides for disease control

Zhang Dan[1#] Li Xinglai[2#] Song Lu[1] Li Wenling[2] Meng Wei[1] Xiao Shuqin[2] Wang Zhen[3]
Zheng Xiaoxia[3] Zhang Wanmin[1*] Xue Chunsheng[2*]

（1. Liaoning Provincial Plant Protection and Quarantine Station, Shenyang 110034, Liaoning Province, China;
2. College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, Liaoning Province, China;
3. Fengcheng Agricultural and Rural Development Service Center, Fengcheng 118100, Liaoning Province, China）

Abstract: To facilitate the effective management of maize white spot in Liaoning Province, the biological characteristics of *Epicoccum latusicollum*, the dominant pathogen of maize white spot, were investigated. The *in vitro* toxicity of five commonly used fungicides (275 g/L pydiflumetofen·propiconazole, 18.7% propiconazole·azoxystrobin, 40% pyraclostrobin·tebuconazole, 17% pyraclostrobin·epoxiconazole, and 40% difenoconazole) against *E. latusicollum* was evaluated, followed by assessment of their field efficacy against maize white spot. The results demonstrated that the optimal carbon source, nitrogen source, culture medium, temperature, pH, and light condition for mycelial growth of strain FC1-2

基金项目：国家重点研发计划项目（2024YFD1400304），辽宁省农业农村厅项目（辽农（科教）2025-01），辽宁省应用基础研究计划项目（2023JH2/101300163），辽宁省科技重大专项（2024JH1/11700007-3）

为共同第一作者（Co-first authors）

* 通信作者（Authors for correspondence），E-mail：2406839372@qq.com，chunshengxue@syau.edu.cn

收稿日期：2026-01-16

were maltose, peptone, corn leaf powder agar, 25 ℃, pH 7, and continuous light, respectively. Among the five fungicides, 275 g/L pydiflumetofen·propiconazole and 17% pyraclostrobin·epoxiconazole exhibited the strongest toxicity against *E. latusicollum*, with EC_{50} values of 0.150 mg/L and 1.700 mg/L, respectively. The other three fungicides, 40% pyraclostrobin·tebuconazole, 40% difenoconazole and 18.7% propiconazole·azoxystrobin, showed lower toxicity, with EC_{50} values of 2.258, 3.196 and 6.930 mg/L, respectively. Among the five fungicides, 275 g/L pydiflumetofen·propiconazole and 17% pyraclostrobin·epoxiconazole provided the highest field control efficacy against maize white spot, reaching 77.97% and 70.32%, respectively, at 25 days after the first application. In conclusion, pydiflumetofen·propiconazole and pyraclostrobin·epoxiconazole are effective fungicides for control of maize white spot in Liaoning Province.

Key words: maize white spot; *Epicoccum latusicollum*; biological characteristic; toxicity; control effect

在中国所有的粮食作物中，玉米的播种面积与总产量均居首位，在保障国家粮食安全方面占有重要地位。近年来，受气候变暖、保护性耕作大面积推广以及跨区域传播概率增加等多重因素的影响，新发玉米白斑病已成为威胁中国玉米产业健康发展的主要病害之一，其扩散蔓延态势与危害程度备受关注（吴瀚翔等，2025）。玉米白斑病发病周期短，扩展速度快，发病后玉米叶片迅速枯萎，植株出现早衰、果穗发育不良等症状，产量损失高达10%~50%（张珊等，2022）。2024年玉米白斑病首次在辽宁省凤城市暴发流行，2025年发生面积持续增加，给辽宁省玉米生产带来严重威胁。因此，明确辽宁省玉米白斑病病原菌的生物学特性并选择适宜的防治药剂迫在眉睫。

国内外关于玉米白斑病致病菌的报道较多，且不同地区的病原菌种类差异很大。例如，Paccola-Meirelles et al.（2001）报道菠萝泛菌*Pantoea ananatis*是巴西玉米白斑病的致病菌之一；Do Amaral et al.（2004；2005）报道巴西玉米白斑病优势致病菌为高粱茎点霉菌*Phoma sorghina*，玉米泛菌*P.maydis*、茎点霉*Phoma* sp.、叶点霉*Phyllosticta* sp.和荚孢腔菌*Sporormiella* sp.等也是其致病菌；在国内，张珊（2023）报道云南省玉米白斑病的致病菌为宽颈附球菌*Epicoccum latusicollum*；Cui et al.（2023）报道四川省玉米白斑病的致病菌为菠萝泛菌；赵玳琳等（2024）报道云南省玉米白斑病的致病菌为高粱附球菌*E. sorghinum*；何雨航等（2024）报道山东省玉米白斑病的病原菌为宽颈附球菌；贾嘉琦等（2025）报道辽宁省玉米白斑病的优势病原菌为玉蜀黍棘壳孢菌*Setophoma zeae-maydis*和高粱附球菌。宽颈附球菌隶属亚隔孢壳科附球菌属*Epicoccum*（陈倩，2015），是云南、山东和辽宁等省玉米白斑病的优势致病菌（何鹏搏等，2024；何雨航等，2024；贾嘉琦等，2025）。该菌寄主范围广泛，可侵染玉米、烟草*Nicotiana tabacum*、香蕉等多种植物（Guo et al.，2021；Liu et al.，2023；何雨航等，2024）。宽颈附球菌在察氏培养基上生长最快，其菌丝生长温度范围为5~35 ℃，最适温度为28 ℃；当pH为4~11时菌丝均可生长，最适pH为5（张珊，2023；何雨航等，2024）。尽管关于宽颈附球菌生物学特性的研究有一些报道，但未见系统报道宽颈附球菌的生物学特性，这严重影响了其防治。国内关于宽颈附球菌防治药剂的研究也有一些报道。例如，余亿等（2025）以自云南、山东和贵州省分离的宽颈附球菌WS-191、ST-1和G-3等菌株为靶标菌筛选出戊唑醇、异菌脲和氟硅唑等抑制效果较好的化学药剂；苯甲·嘧菌酯对云南省江城哈尼族彝族自治县玉米白斑病的防效为64.17%~81.37%，吡唑萘菌胺·嘧菌酯悬浮剂、苯甲·嘧菌酯悬浮剂对云南省大理州巍山彝族回族自治县鲜食玉米和普通玉米白斑病的防效为74.95%~90.01%（程鑫等，2024；马艳等，2025）；丁香酚与戊唑醇的复配剂、咪鲜胺、代森锌、氟啶胺对玉米白斑病也有较好的防效（宗明磊，2023）。上述药剂虽然对玉米白斑病的防效较好，但对辽宁省玉米白斑病的防效尚不清楚。长期施用单一杀菌机理的杀菌剂易导致病原菌产生抗药性，因此本研究以三唑类杀菌剂为对照，选择甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂和琥珀酸脱氢酶抑制剂与三唑类杀菌剂的复合制剂进行玉米白斑病的室内毒力和田间防效试验。

为有效防治辽宁省玉米白斑病，本研究以从辽宁省凤城市分离获的玉米白斑病优势致病菌宽颈附球菌菌株FC1-2为对象，测定碳源、氮源、培养基、温度、光照、pH等因子对该菌株菌丝生长的影响，于室内测定275 g/L氟唑菌酰羟胺·丙环唑悬乳剂、18.7%

丙环·嘧菌酯悬浮剂、40%唑醚·戊唑醇悬浮剂、17%唑醚·氟环唑微乳剂和40%苯醚甲环唑悬浮剂对该菌株的室内毒力，并测定上述5种药剂对玉米白斑病的田间防效，旨在筛选出对玉米白斑病有较好防效的药剂，以期为辽宁省玉米白斑病的防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株和植物：宽颈附球菌菌株FC1-2，由沈阳农业大学植物保护学院分子植物病理学研究室提供。玉米品种为东单1331，种子由辽宁东亚种业有限公司提供。

培养基：马铃薯葡萄糖琼脂（potato dextrose agar，PDA）培养基成分为马铃薯200 g、葡萄糖15 g、琼脂粉20 g，蒸馏水定容至1 L；马铃薯蔗糖琼脂（potato sucrose agar，PSA）培养基成分为马铃薯200 g、蔗糖20 g、琼脂粉20 g，蒸馏水定容至1 L；玉米叶粉琼脂（corn leaf powder agar，CLPA）培养基成分为玉米叶粉300 g、琼脂20 g，蒸馏水定容至1 L；燕麦琼脂（oat meal agar，OA）培养基成分为燕麦片30 g、琼脂20 g，蒸馏水定容至1 L；全量木糖琼脂（complete medium xylose，CMX）培养基成分为木糖10 g、酵母提取物1 g、酶解酪蛋白0.5 g、酸解酪蛋白0.5 g、溶液A（100 g $Ca(NO_3)_2·4H_2O$蒸馏水定容到1 L）10 mL、溶液B（KH_2PO_4 20 g、NaCl 15 g、$MgSO_4·7H_2O$ 25 g，定容至1 L，pH为5.3）10 mL、硫酸盐还原菌生长所需的微量营养元素（$ZnSO_4·H_2O$ 5 490 mg、$FeCl_3·6H_2O$ 948.2 mg、$CuSO_4·5H_2O$ 393 mg、$MnSO_4·H_2O$ 60.4 mg、H_3BO_3 57.2 mg、$(NH_4)_6MO_7O_{24}·4H_2O$ 36.8 mg、KI 13.1 mg，蒸馏水定容至1 L）0.5 mL，蒸馏水定容至1 L；微量琼脂培养基（minimal medium，MM）成分为葡萄糖10 g、溶液A 10 mL、溶液B 10 mL、硫酸盐还原菌生长所需的微量营养元素500 μL、琼脂20 g，蒸馏水定容至1 L；水琼脂（water agar，WA）培养基成分为琼脂20 g，蒸馏水定容至1 L；察氏培养基成分为蔗糖30 g、$NaNO_3$ 2 g、K_2HPO_4 1 g、$MgSO_4$ 0.5 g、KCl 0.5 g、$FeSO_4$ 0.01 g、琼脂20 g，蒸馏水定容至1 L。

供试试剂、药剂和设备：所有试剂均为国产分析纯。275 g/L氟唑菌酰羟胺·丙环唑（pydiflumetofen·propiconazole）悬乳剂、18.7%丙环·嘧菌酯（propiconazole·azoxystrobi）悬浮剂、助剂U伴，先正达南通作物保护有限公司；40%唑醚·戊唑醇（pyraclostrobin·tebuconazole）悬浮剂，河北野田农用化学有限公司；17%唑醚·氟环唑（pyraclostrobin·epoxiconazole）微乳剂，山东利邦农化有限公司；40%苯醚甲环唑（difenoconazole）悬浮剂，山东东合生物科技有限公司；50%乙草胺（acetochlor）乳油，大连瑞泽农药股份有限公司；80%唑嘧磺草胺（flumetsulam）水分散粒剂，江苏省农用激素工程技术研究中心有限公司。T70P无人机，深圳市大疆创新科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 碳、氮源对宽颈附球菌生长影响的测定

将宽颈附球菌菌株FC1-2置于PDA平板上，25 ℃全黑暗培养7 d，用灭菌打孔器在菌落边缘打取直径5 mm的菌饼，分别转接到添加碳源葡萄糖、壳聚糖、木糖、麦芽糖、乳糖、可溶性淀粉、甘露醇的察式平板上以及添加氮源硫酸铵、酵母浸粉、亚硝酸钠、硝酸钾、硝酸铵、甘氨酸、蛋白胨和牛肉膏硝酸钠的察式平板上，于25 ℃全黑暗培养，7 d后采用十字交叉法测量菌落直径。每皿为1个重复，每个处理3个重复。

1.2.2 培养基对宽颈附球菌生长影响的测定

宽颈附球菌菌株FC1-2活化方法同上，用灭菌打孔器在菌落边缘打取直径5 mm的菌饼，分别转接到PDA、PSA、CLPA、OA、CMX、MM和WA平板上，于25 ℃全黑暗培养，7 d后采用十字交叉法测量菌落直径。每皿为1个重复，每个处理3个重复。

1.2.3 温度对宽颈附球菌生长影响的测定

宽颈附球菌菌株FC1-2活化方法同上，用灭菌打孔器在菌落边缘打取直径5 mm的菌饼，置于新的PDA平板上，分别于5、10、20、25、28、30和35 ℃温度下全黑暗培养，7 d后采用十字交叉法测量菌落直径。每皿为1个重复，每个处理3个重复。

1.2.4 pH对宽颈附球菌生长影响的测定

用浓度均为1 mol/L的HCl和NaOH溶液将察式培养基pH分别调至4、5、6、7、8、9、10和11。宽颈附球菌菌株FC1-2活化方法同上，用灭菌打孔器在菌落边缘打取直径5 mm的菌饼，分别接种至不同pH的察氏平板中央，于25 ℃全黑暗培养，7 d后采用十字交叉法测量菌落直径。每皿为1个重复，每个处理3个重复。

1.2.5 光照条件对宽颈附球菌生长影响的测定

宽颈附球菌菌株FC1-2活化方法同上，用灭菌打孔器在菌落边缘打取直径5 mm的菌饼转接到新的PDA平板上，置于温度均为25 ℃，光照分别为24 h光照、24 h黑暗和12 h光暗交替条件下培养，7 d

后采用十字交叉法测量菌落直径。每皿为1个重复，每个处理3个重复。

1.2.6 5种药剂对宽颈附球菌室内毒力的测定

采用含毒介质法测定275 g/L氟唑菌酰羟胺·丙环唑悬浮剂、18.7%丙环·嘧菌酯悬浮剂、40%唑醚·戊唑醇悬浮剂、17%唑醚·氟环唑微乳剂和40%苯醚甲环唑悬浮剂这5种药剂对宽颈附球菌的室内毒力(陈年春，1991)。用灭菌蒸馏水将上述5种药剂配制成一定浓度母液，依次用灭菌蒸馏水将5种药剂的母液稀释至不同浓度。275 g/L氟唑菌酰羟胺·丙环唑的浓度分别为0.86、0.43、0.21、0.11和0.05 mg/L，18.7%丙环·嘧菌酯的浓度分别为93.50、46.75、23.38、11.69和5.84 mg/L，40%唑醚·戊唑醇的浓度分别为40.00、20.00、10.00、5.00和2.50 mg/L，17%唑醚·氟环唑的浓度分别为85.00、17.00、2.13、1.06和0.53 mg/L，40%苯醚甲环唑的浓度分别为100.00、40.00、10.00、4.00和2.00 mg/L。每个250 mL三角瓶中加入99 mL PDA培养基，分别吸取1 mL不同浓度的5种药剂，制成含不同浓度药液的PDA平板，以添加等量灭菌蒸馏水的PDA平板为对照。打取直径为5 mm的宽颈附球菌菌株FC1-2菌饼，分别置于含不同浓度药液的PDA平板上，每个药剂每个浓度接1个菌饼，每个浓度重复3次，置于25 ℃恒温培养箱中黑暗培养，待对照菌落长满培养皿时，采用十字交叉法测量不同药剂不同浓度的菌落直径，计算抑制率。抑制率=(对照菌落直径−含药平板菌落直径)/对照菌落直径×100%。以药剂浓度对数为自变量、抑制率对应的概率值为因变量进行回归分析，得到毒力回归方程及相关系数r。根据毒力回归方程计算有效抑制中浓度EC_{50}。

1.2.7 5种药剂对玉米白斑病田间防效的测定

2025年在玉米白斑病重发区的辽宁省凤城市宝山镇大山头村进行田间防效试验。5月9日播种玉米，种植密度67 500株/hm^2，种植面积26.7 hm^2，无灌溉，底肥50 kg复合肥，苗前喷施除草剂(50%乙草胺乳油1.875 kg/hm^{2}和80%唑嘧磺草胺0.0375 kg/hm^2)。待玉米长至10叶期和灌浆期，利用无人机分别进行1次叶面喷雾，两次用药间隔30 d。试验共设6个处理，即275 g/L氟唑菌酰羟胺·丙环唑、18.7%丙环·嘧菌酯、40%唑醚·戊唑醇、17%唑醚·氟环唑、40%苯醚甲环唑和清水处理(对照)，用量分别为750、1 050、300、900和900和60 000 mL/hm^2，同时添加助剂U伴5 mL，每公顷用水量为60 L。每个处理重复3次，每个重复1个小区，每个小区长50 m、宽20 m，面积为0.1 hm^2，小区顺序排列，小区之间间隔20 m，并设保护行。分别在第1次用药后15、25 d和第2次用药后7、25 d调查各小区发病情况。每个小区随机取5点调查，每点调查30株植株。取点时避开相邻小区间的保护行和边行。按照分级标准确定每株的病级。分级标准：0级，无病斑；1级，零星病斑，发病叶片面积/总叶面积<10%；3级，少量病斑，10%≤发病叶片面积/总叶面积<30%；5级，中量病斑，30%≤发病叶片面积/总叶面积<50%；7级，大量病斑，50%≤发病叶片面积/总叶面积<70%；9级，叶片基本被病斑覆盖，发病叶片面积/总叶面积≥70%。根据公式计算病情指数和防效。病情指数=∑(各级病叶数×各级代表值)/(调查总叶数×最高级值)×100，防效=(对照区病情指数−处理区病情指数)/对照区病情指数×100%。

1.3 数据分析

采用SPSS 27.0软件对试验数据进行统计分析，应用最小显著差异(least significant difference，LSD)法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 宽颈附球菌的生物学特性

2.1.1 碳、氮源对宽颈附球菌生长的影响

在添加淀粉、乳糖、麦芽糖、葡萄糖等8种碳源的察氏培养基上宽颈附球菌均可生长，其中以麦芽糖为碳源时宽颈附球菌菌丝生长速度最快，菌落直径为6.77 cm，以蔗糖、乳糖、甘露醇和淀粉为碳源时菌丝生长速度次之，菌落直径分别为6.65、6.55、6.53和6.52 cm，但这五者之间差异不显著(图1-A)。在添加酵母浸粉、蛋白胨、牛肉膏等7种氮源的察氏培养基上宽颈附球菌均可生长，其中以蛋白胨为氮源时宽颈附球菌菌丝生长速度最快，菌落直径为7.43 cm，以酵母浸粉为氮源时菌丝生长速度次之，菌落直径为7.05 cm，宽颈附球菌对无机氮源硝酸钾、硝酸钠、硫酸铵的利用能力较强，菌落直径分别为6.88、6.76和6.53 cm(图1-B)。

2.1.2 培养基对宽颈附球菌生长的影响

在CLPA培养基上宽颈附球菌菌丝生长速度最快，菌落直径为7.42 cm，显著大于其他培养基(P<0.05)；在PSA、PDA和CMX培养基上菌丝生长速度次之，菌落直径分别为6.98、6.93和6.73 cm，这三者之间差异不显著；在MM和WA培养基上菌丝生长速度较慢，显著低于其他处理(P<0.05，图1-C)。

2.1.3　温度对宽颈附球菌生长的影响

宽颈附球菌菌丝的适宜生长温度为25~28 ℃，其中当温度为25 ℃时菌丝生长最快，菌落直径为7.6 cm，显著高于其他温度（P<0.05）。当温度为4 ℃和37 ℃时，菌丝生长速度显著下降（P<0.05，图1-D）。

2.1.4　pH对宽颈附球菌生长的影响

当pH为4~8时宽颈附球菌菌丝生长速率较快，菌落直径分别为6.45、6.53、6.75、6.93和6.55 cm，其中pH为7时菌丝生长速度最快，显著高于其他大部分处理（P<0.05，图1-E）。

2.1.5　光照条件对宽颈附球菌生长的影响

在24 h光照、24 h黑暗以及12 h光暗交替条件下，宽颈附球菌菌丝生长速度差异不显著，但全光照条件最有利于其生长（图1-F）。

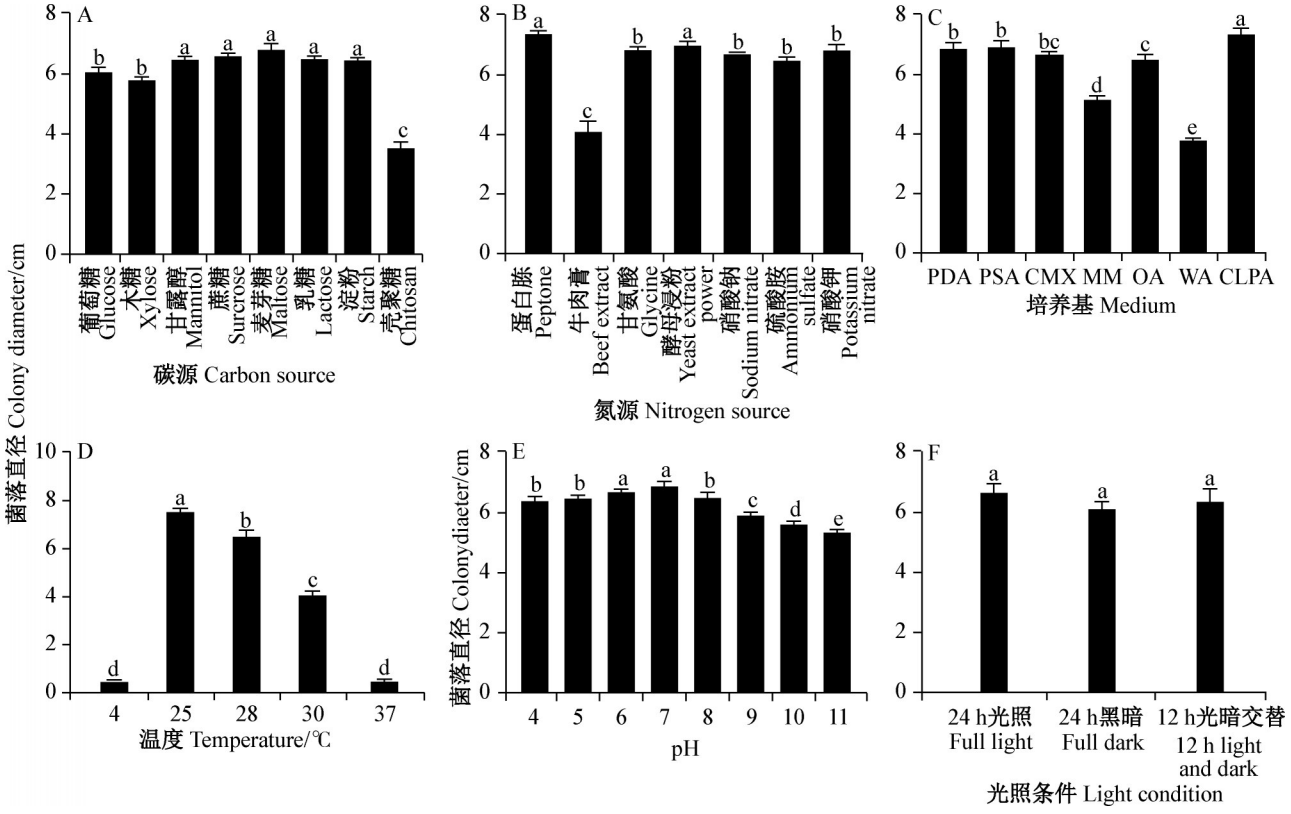


图1　宽颈附球菌的生物学特性

Fig. 1　Biological characteristics of *Epicoccum latusicollum*

图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示不同处理间经LSD法检验差异显著（P<0.05）。Data are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments according to LSD test (P<0.05).

2.2　5种药剂对宽颈附球菌的室内毒力

5种药剂对宽颈附球菌的室内毒力差异显著。275 g/L氟唑菌酰羟胺·丙环唑对菌丝的毒力最强，EC_{50}为0.150 mg/L；17%唑醚·氟环唑的毒力次之，EC_{50}为1.700 mg/L；40%唑醚·戊唑醇、40%苯醚甲环唑和18.7%丙环·嘧菌酯的毒力较差，EC_{50}分别为2.258、3.196和6.930 mg/L（表1）。

2.3　5种药剂对玉米白斑病的田间防效

5种药剂对玉米白斑病的田间防效存在显著差异（表2）。275 g/L氟唑菌酰羟胺·丙环唑对玉米白斑病的防效最好，第1次药后15 d和25 d及第2次药后7 d和25 d的防效分别为71.98%、77.97%、66.32%和58.64%，显著高于其他处理（P<0.05）；17%唑醚·氟环唑的防效次之，第1次药后15 d和25 d及第2次药后7 d和25 d的防效分别为64.76%、70.32%、59.42%和52.36%，显著高于其他处理（P<0.05）；18.7%丙环·嘧菌酯、40%苯醚甲环唑、40%唑醚·戊唑醇对玉米白斑病的防效中等，防效介于20.39%~55.21%之间（表2）。

3　讨论

白斑病在中国各玉米主产区均有发生，其中在西南地区多次暴发成灾（张珊，2023）。不同地区玉米白斑病的病原菌也各不相同，其中病害重发区云南、山

东和辽宁省的优势病原菌均为宽颈附球菌(薛春生等,2025)。不同地区玉米白斑病病原菌的生物学特性也略有差异。例如,云南省罗平县宽颈附球菌菌株WS-191的最适碳、氮源分别为甘露醇、酵母粉,山东省枣庄市宽颈附球菌菌株ST-1的最适碳、氮源分别为蔗糖、酵母粉(何雨航等,2024)。本研究结果显示,辽宁省凤城市宽颈附球菌菌株FC1-2的最适碳、氮源分别为麦芽糖、蛋白胨。虽然这3株宽颈附球菌菌株的最适碳、氮源存在差异,但在相应最适碳、氮源培养基上各菌株的生长速度差异不明显。在6种供试培养基中,宽颈附球菌菌株WS-191在察氏培养基上生长速度最快(张珊,2023),而本研究结果显示在CLPA培养基上宽颈附球菌菌株FC1-2生长速度最快,究其原因可能是两者选用的培养基不同。

表1 5种药剂对宽颈附球菌的毒力回归方程

Table 1 Toxicity regression equations for five fungicides against *Epicoccum latusicollum*

药剂 Fungicide	毒力回归方程 Toxicity regression equation	r^2	EC_{50}/(mg/L)
275 g/L 氟唑菌酰羟胺·丙环唑 275 g/L pydiflumetofen·propiconazole	y=1.28+1.52x	0.927	0.150
18.7%丙环·嘧菌酯 18.7% propiconazole·azoxystrobin	y=−0.98+1.17x	0.984	6.930
40%唑醚·戊唑醇 40% pyraclostrobin·tebuconazole	y=−0.21+0.60x	0.980	2.258
17%唑醚·氟环唑 17% pyraclostrobin·epoxiconazole	y=−0.13+0.56x	0.967	1.700
40%苯醚甲环唑 40% difenoconazole	y=−0.21+0.43x	0.962	3.196

x:药剂浓度对数;y:抑制率对应的概率值。x: Logarithm of fungicide concentration; y: probit value corresponding to the inhibition rate.

表2 5种药剂对玉米白斑病的田间防效

Table 2 Field efficacy of five fungicides against maize white spot

药剂 Fungicide	第1次药后15 d 15 d after the first application		第1次药后25 d 25 d after the first applicationt		第2次药后7 d 7 d after the second application		第2次药后25 d 25 d after the second application	
	病情指数 Disease index	防效 Control efficacy/%	病情指数 Disease index	防效 Control efficacy/%	病情指数 Disease index	防效 Control efficacy/%	病情指数 Disease index	防效 Control efficacy/%
275 g/L 氟唑菌酰羟胺·丙环唑 275 g/L pydiflumetofen·propiconazole	5.19± 0.13 f	71.98± 1.26 a	11.36± 1.04 f	77.97± 2.08 a	22.67± 0.51 e	66.32± 0.99 a	40.90± 2.07 f	58.64± 2.00 a
17%唑醚·氟环唑 17% pyraclostrobin·epoxiconazole	6.52± 0.34 e	64.76± 2.63 b	15.31± 1.27 e	70.32± 2.39 b	27.33± 0.75 d	59.42± 0.83 b	47.11± 1.96 e	52.36± 1.84 b
18.7%丙环·嘧菌酯 18.7% propiconazole·azoxystrobin	8.30± 0.34 d	55.21± 0.78 c	32.59± 1.28 d	36.78± 2.58 c	41.78± 0.34 c	37.95± 0.67 c	68.52± 0.64 d	30.71± 0.91 c
40%苯醚甲环唑 40% difenoconazole	10.37± 0.64 c	44.03± 1.88 d	40.74± 1.28 b	20.97± 2.39 e	47.57± 1.68 b	29.34± 2.89 d	77.75± 2.29 b	21.37± 2.46 e
40%唑醚·戊唑醇 40% pyraclostrobin·tebuconazole	14.74± 0.64 b	20.39± 3.08 e	39.26± 1.28 c	23.84± 2.60 d	47.56± 0.55 b	29.35± 1.33 d	73.28± 3.90 c	25.89± 4.07 d
对照 CK	18.52± 0.51 a		51.55± 0.14 a		67.33± 0.56 a		98.89± 0.38 a	

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示不同处理间经LSD法检验差异显著(P<0.05)。Data are mean±SE. Different lowercase letters within the same column indicate significant differences among different treatments according to LSD test (P<0.05).

自不同寄主和生境分离获得的宽颈附球菌的生物学特性有明显差异。张珊(2023)研究结果显示在7~34 ℃温度范围内宽颈附球菌菌株WS191均可生长,其中28 ℃是该菌菌丝生长和分生孢子萌发的最

适温度，在pH 4~11范围内菌株WS191均可生长，其中pH 5是该菌菌丝生长的最适pH。何雨航等（2024）研究结果显示在10~30 ℃温度范围内宽颈附球菌菌株ST-1均可生长，其中25 ℃是该菌菌丝生长的最适温度，在pH 4~10范围内菌株ST-1菌丝均可生长，其中pH 7为该菌菌丝生长的最适pH。本研究结果显示宽颈附球菌菌株FC1-2菌丝生长的最适温度为25 ℃，最适pH为7，与何雨航等（2024）的研究结果相同，但菌株FC1-2菌丝生长的温度范围窄于菌株WS-191和ST-1，pH范围与菌株WS-191和ST-1相同。此外，本研究结果显示全光照条件最有利于菌株FC1-2菌丝生长。

三唑类药剂与琥珀酸脱氢酶抑制剂的复配制剂对多种植物病原真菌均有较强的毒力。例如，氟唑菌酰羟胺与戊唑醇、丙环唑和氟环唑复配后对花生褐斑病菌 *Cercospora arachidicola* 有较强的毒力，EC_{50}分别为0.168、0.251和0.271 mg/L（陈万龙，2024）。琥珀酸脱氢酶抑制剂、三唑类药剂以及这两者复配制剂氟唑菌酰胺、丙环唑和氟酰羟·苯甲唑对宽颈附球菌的毒力均较好，甲氧基丙烯酸酯类药剂及其与三唑类药剂的复配制剂嘧菌酯和丙环·嘧菌酯对宽颈附球菌的毒力也较好（程鑫等，2024；马艳等，2025；余亿等，2025）。本研究结果显示氟唑菌酰羟胺·丙环唑悬乳剂、丙环·嘧菌酯悬浮剂、唑醚·戊唑醇悬浮剂、唑醚·氟环唑微乳剂和苯醚甲环唑悬浮剂5种药剂对宽颈附球菌均有一定的毒力，其中琥珀酸脱氢酶抑制剂与三唑类药剂的复配制剂氟唑菌酰羟胺·丙环唑对宽颈附球菌的毒力最好，EC_{50}为0.150 mg/L，甲氧基丙烯酸酯类与三唑类药剂的复配制剂唑醚·氟环唑、唑醚·戊唑醇、苯醚甲环唑和丙环·嘧菌酯对宽颈附球菌的毒力也较好，EC_{50}介于1.700~6.930 mg/L之间，表明三唑类药剂、琥珀酸脱氢酶抑制剂、甲氧基丙烯酸酯类药剂的复配制剂对宽颈附球菌的抑制效果均较好。

三唑类药剂与琥珀酸脱氢酶抑制剂的复配制剂不仅防治靶标广泛，尤其是对致病菌复杂的病害均有较好的防效。例如，唑醚·氟环唑和氟唑菌酰羟胺·丙环唑等对病原菌种类较多的番荔枝叶斑病有较好的防效（潘连富等，2025）；氟唑菌酰羟胺与丙环唑或戊唑醇复配对小麦赤霉病和花生褐斑病均有较好的防效（朱昌稳等，2021；陈万龙，2024；袁忠勤和顾国伟，2025）；氟唑菌酰羟胺·丙环唑对小麦赤霉病的防效为92%；氟唑菌酰羟胺与丙环唑、氰烯菌酯、丙硫菌唑和丙硫菌唑·戊唑醇复配对小麦赤霉病的防效为95%（朱昌稳等，2021；袁忠勤和顾国伟，2025）；氟唑菌酰羟胺与戊唑醇复配质量比为1∶9和2∶8对花生褐斑病有良好的防效，第1次施药后7 d的防效分别达到72.9%和76.6%，第2次施药后7 d的防效达到74.8%和78.3%，防效显著高于250 g/L戊唑醇水乳剂以及200 g/L氟唑菌酰羟胺悬浮剂（陈万龙，2024）。本研究结果显示氟唑菌酰羟胺·丙环唑和唑醚·氟环唑等5种药剂对玉米白斑病的防效介于20.39%~77.97%之间，其中275 g/L氟唑菌酰羟胺·丙环唑对玉米白斑病的防效最佳，与已有研究结果一致。

综上所述，本研究系统揭示辽宁省玉米白斑病优势病原菌宽颈附球菌的生物学特性，通过室内毒力测定和田间防效试验筛选出氟唑菌酰羟胺·丙环唑和唑醚·氟环唑这两种药剂用于防治玉米白斑病。后续将比较不同生境下宽颈附球菌的生物学特性，开展氟唑菌酰羟胺·丙环唑和唑醚·氟环唑对玉蜀黍棘壳 *Setophoma zeae-maydis* 和高粱附球菌 *Epicocccum latusicollum* 等其他玉米白斑病病原菌的室内毒力试验和田间防效试验，并开展抗玉米白斑病种质资源和品种鉴定，从而为辽宁省玉米白斑病绿色防控体系的完善提供参考。

参 考 文 献（References）

Chen NC, 1991. Pesticide bioassay technology[M]. Beijing: China Agricultural University Press, pp. 95–112 (in Chinese) [陈年春, 1991. 农药生物测定技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, pp. 95–112]

Chen Q, 2015. Phylogenetic and taxonomic studied on Didymellaceae[D]. Beiing: China Agricultural University (in Chinese) [陈倩 . 2015. 亚隔孢壳科的系统演化及分类学研究[D]. 北京: 中国农业大学]

Chen WL, 2024. Screening of novel fungicide combinations for control of peanut brown spot disease[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University (in Chinese) [陈万龙, 2024. 防治花生褐斑病新型杀菌剂组合筛选[D]. 沈阳: 沈阳农业大学]

Cheng X, Luo MZ, Yang F, Han WJ, Sun H, Shi J, Liu WD, Wu HX, 2024. Field efficacy of different chemicals in controlling maize white spot disease[J]. Plant Protection, 50(3): 355–360 (in Chinese) [程鑫, 罗茗钟, 杨峰, 韩伟君, 孙华, 石洁, 刘文德, 吴瀚翔, 2024. 不同杀菌剂对玉米白斑病的田间防治效果[J]. 植物保护, 50(3): 355–360]

Cui LN, Zou CJ, Zhang ZY, Duan LY, Huang JM, Wang LM, Xiao WH, Li WY, Yang XR, Xiang YJ, et al., 2023. First report of maize white spot disease caused by *Pantoea ananatis* in China[J]. Plant Disease, 107(1): 210

Do Amaral AL, Dal Soglio FK, de Carli ML, Barbosa Neto JFB, 2005. Pathogenic fungi causing symptoms similar to *Phaeosphaeria* leaf

spot of maize in Brazil[J]. Plant Disease, 89(1): 44–49

Do Amaral AL, De Carli ML, Barbosa Neto JF, Dal Soglio FK, 2004. *Phoma sorghina*, a new pathogen associated with *Phaeosphaeria* leaf spot on maize in Brazil[J]. Plant Pathology, 53(2): 259

Guo ZN, Yu ZH, Wang HC, Xie HL, Liu TT, 2021. Leaf spot caused by *Epicoccum latusicollum* on tobacco in China[J]. Plant Disease, 105(2): 501

He PB, He PF, Wu YX, Chen Q, Zhao ZL, Kang B, Shahzai M, Tang P, Tan WZ, He YQ, et al., 2024. Symptom recognition and diagnosis of maize white spot[J]. Plant Protection, 50(1): 268–271 (in Chinese) [何鹏搏, 何鹏飞, 吴毅歆, 陈倩, 赵正龙, 亢波, MUNIR Shahzai, 唐萍, 谭万忠, 何月秋, 等, 2024. 玉米白斑病的症状识别与诊断[J]. 植物保护, 50(1): 268–271]

He YH, He PB, Zhang S, He PF, Chen Q, Zhao ZL, Wu YX, Liu YL, Munir S, Kong BH, et al., 2024. Identification of maize white spot in Shandong Province and risk analysis of the disease epidemics in China[J]. Journal of Maize Sciences, 32(8): 120–126 (in Chinese) [何雨航, 何鹏搏, 张珊, 何鹏飞, 陈倩, 赵正龙, 吴毅歆, 刘迎龙, Munir S, 孔宝华, 等, 2024. 山东玉米白斑病鉴定及我国白斑病发生流行风险分析[J]. 玉米科学, 32(8): 120–126]

Jia JQ, Li XL, Liu YS, Yang Y, Wang YQ, Sang DQ, Xiao SQ, Zhang D, Zhang WM, Meng W, et al., 2025. Identification of the pathogens causing maize white spot in Liaoning Province[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 55(5): 1013–1025 (in Chinese) [贾嘉琦, 李星来, 刘雨生, 杨颖, 王钰棋, 桑丹琪, 肖淑芹, 张丹, 张万民, 孟威, 等, 2025. 辽宁地区玉米白斑病病原菌种类鉴定[J]. 植物病理学报, 55(5): 1013–1025]

Liu CX, Wang HY, Hou XM, Zeng RQ, Ye HX, Gao Q, Zhou H, 2023. First report of *Epicoccum latusicollum* causing leaf spot disease on banana in China[J]. Plant Disease, 107(8): 2553

Ma Y, Zheng QL, Yang QW, Chang JS, Zhang SW, Xu JW, Zhao YM, Yang P, Zi SL, Zuo L, 2025. Comparison of control effects of pesticides on maize white spot disease in Dali, Yunnan[J]. China Plant Protection, 45(12): 99–101 (in Chinese) [马艳, 郑全利, 杨庆文, 常进昇, 张仕伟, 徐加文, 赵艳民, 杨彭, 自树兰, 左丽, 2025. 云南大理玉米白斑病防治药剂的效果比较[J]. 中国植保导刊, 45(12): 99–101]

Paccola-Meirelles LD, Ferreira AS, Meirelle WF, Marriel IE, Casela CR, 2001. Detection of a bacterium associated with a leaf spot disease of maize in Brazil[J]. Journal of Phytopathology, 149(5): 275–279

Pan LF, Lin SY, Huang KH, Li ZB, Li ML, 2025. Field efficacy evaluation of 7 compound fungicides against leaf spot in cherimoya[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 41(19): 126–131 (in Chinese) [潘连富, 林珊宇, 黄开航, 李战波, 李明伦, 2025. 7种复配杀菌剂对番荔枝叶斑病的田间防效评价[J]. 中国农学通报, 41(19): 126–131]

Wu HX, Tang GF, Cao ZY, Chen Y, Cui LN, Zhang XH, Liu J, Liu WD, 2025. Research progress on major maize leaf spot diseases and integrated prevention and control technologies in China[J]. Plant Protection, 51(5): 326–335 (in Chinese) [吴瀚翔, 唐广飞, 曹志艳, 陈雨, 崔丽娜, 张祥辉, 刘杰, 刘文德, 2025. 我国玉米主要叶斑病研究进展与综合防控技术[J]. 植物保护, 51(5): 326–335]

Xue CS, Jia JQ, Li XL, Li WL, Xiao SQ, 2025. Research advances in maize white spot disease[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 55(5): 1001–1012 (in Chinese) [薛春生, 贾嘉琦, 李星来, 李文玲, 肖淑芹, 2025. 玉米白斑病研究进展[J]. 植物病理学报, 55(5): 1001–1012]

Yu Y, He YH, Cun HC, Liu YL, He PB, He PF, Wu YX, He YQ, Yang ZQ, 2025. Sensitivity of pathogen of maize white spot disease to different pesticides in three areas[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 53(16): 165–169 (in Chinese) [余亿, 何雨航, 寸海春, 刘迎龙, 何鹏搏, 何鹏飞, 吴毅歆, 何月秋, 杨志清, 2025. 3个地区玉米白斑病病原菌对不同药剂的敏感性[J]. 江苏农业科学, 53(16): 165–169]

Yuan ZQ, Gu GW, 2025. Control effect of different fungicides on wheat scab and prospect for reducing dosage[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 66(5): 1216–1220 (in Chinese) [袁忠勤, 顾国伟, 2025. 不同药剂对小麦赤霉病的防治效果及减量用药前景[J]. 浙江农业科学, 66(5): 1216–1220]

Zhang S, 2023. Isolation, identification and preliminary control of maize white spot disease[D]. Kunming: Yunnan Agricultural University (in Chinese) [张珊, 2023. 玉米白斑病病原菌的分离鉴定及防治初探[D]. 昆明: 云南农业大学]

Zhang S, Zhu ZP, He PB, Li YM, He PF, Chen Q, Chang W, Wu YX, Liu YL, Tan WZ, et al., 2022. Identification of the pathogen causing maize white spot and field evaluation of maize cultivars for resistance to the disease[J]. Journal of Plant Protection, 49(3): 840–847 (in Chinese) [张珊, 朱自萍, 何鹏搏, 李咏梅, 何鹏飞, 陈倩, 常玮, 吴毅歆, 刘迎龙, 谭万忠, 等, 2022. 云南省玉米白斑病病原菌鉴定与品种田间抗性评价[J]. 植物保护学报, 49(3): 840–847]

Zhao DL, Wu SP, He HY, Wu X, Tan QQ, Li JY, Chen ZH, 2024. Identification and pathogenicity of the pathogens of maize white spot in Kunming City of Yunnan Province[J]. Journal of Maize Sciences, 32(6): 111–118 (in Chinese) [赵玳琳, 吴石平, 何海永, 吴迅, 谭清群, 李继业, 陈泽辉, 2024. 云南省昆明市玉米白斑病病原菌鉴定及致病性测定[J]. 玉米科学, 32(6): 111–118]

Zhu CW, Wang MA, Huang ZY, 2021. Effect of fluconazole-based hydroxylamine on controlling wheat scab and its application techniques[J]. China Plant Protection, 41(12): 47–50 (in Chinese) [朱昌稳, 汪明艾, 黄正银, 2021. 氟唑菌酰羟胺防治小麦赤霉病的效果及使用技术[J]. 中国植保导刊, 41(12): 47–50]

Zong ML, 2023. Evaluation of resistance of maize cultivars to leukoplakia and research on chemical prevention and control technology[D]. Kunming: Yunnan Agricultural University (in Chinese) [宗明磊, 2023. 玉米品种对白斑病的抗性评价及化学防控技术研究[D]. 昆明: 云南农业大学]

（责任编辑：张俊芳）