

# 小麦根腐病药剂筛选和品种抗性鉴定

孙 华, 王茹茹, 史聪聪, 张立荣\*, 刘大群, 杨文香\*

(河北农业大学植物保护学院/河北省农作物病虫害生物防治技术创新中心, 河北 保定 071001)

**摘要:**近年来小麦根腐病的发生逐渐加重,为减轻小麦根腐病在实际生产中带来的损失,本研究通过室内毒力测定,比较8种杀菌剂对小麦根腐病病原菌麦根腐平脐蠕孢的抑制作用。室内毒力测定结果表明,氟环唑、苯醚甲环唑·嘧菌酯和腈菌唑对小麦根腐病的抑制作用较好,其 $EC_{50}$ 分别为0.005、0.061、0.462 mg/L,  $EC_{90}$ 分别为0.349、8.520、7.782 mg/L。通过盆栽试验对河北省56份小麦品种进行抗性鉴定,其中科农2009为抗病品种;济麦22、山农20、观35、石家庄8号和周麦22为中抗品种;其他为感病品种和高感品种。小麦根腐病高效杀菌剂和抗性品种的筛选,为小麦根腐病的防治奠定了基础。

**关键词:**小麦根腐病;杀菌剂;抑制作用;抗性品种;麦根腐平脐蠕孢

中图分类号:S121.4\*7

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2023)03-0058-04

## Screening of Fungicides and Resistant Varieties against Wheat Root Rot

SUN Hua, WANG Ruru, SHI Congcong, ZHANG Lirong\*, LIU Daqun, YANG Wenxiang\*

(College of Plant Protection, Hebei Agricultural University/Technological Innovation Center for Biological Control of Crop Diseases and Insect Pests of Hebei Province, Baoding 071001, China)

**Abstract:** In recent years, the occurrence of wheat root rot has been increasing gradually. In order to reduce the losses caused by wheat root rot in production, this study compared the inhibitory effects of 8 fungicides for *Bipolaris sorokiniana* causing wheat root rot by laboratory toxicity test. The results of indoor toxicity test showed that epoxiconazole, difenoconazole and azoxystrobin had a large inhibitory effect on wheat root rot, the  $EC_{50}$  were 0.005, 0.061, 0.462 mg/L, respectively, and  $EC_{90}$  were 0.349, 8.520, 7.782 mg/L, respectively. Resistance of the 56 wheat varieties from Hebei Province was identified by pot experiment. Kenong 2009 was the resistant variety, Jimai 22, Shannong 20, Guan 35, Shijiazhuang 8 and Zhoumai 22 were medium resistant varieties, the others were susceptible varieties and high susceptible varieties. The screening of effective fungicides and resistant varieties of wheat root rot laid a foundation for the prevention and control of wheat root rot disease.

**Key words:** Wheat root rot; Fungicides; Inhibitory effects; Resistant varieties; *Bipolaris sorokiniana*

小麦是我国重要的粮食作物<sup>[1]</sup>。小麦根腐病(Wheat root rot)是一种危害小麦的世界性土传真菌病害<sup>[2]</sup>,在小麦整个生长期均可造成危害<sup>[3]</sup>,因其危害小麦部位不同,又称其为根腐斑点病、青枯病、黑胚病<sup>[4]</sup>。小麦根腐病不仅影响产量,还降低品质和商品价值。由小麦根腐病引起的减产通常可

达15%~25%<sup>[2]</sup>,严重地块减产30%~70%,其形成的大量黑胚,对小麦品质也造成了严重的影响。

引起小麦根腐病的病原菌有麦根腐平脐蠕孢(*Bipolaris sorokiniana*)、尖孢镰孢(*Fusarium oxysporium*)、层出镰孢(*F. proliferatum*)、黄色镰孢(*F. culmorum*)、腐霉菌(*Pythium* spp.)和链格孢(*Alternaria* spp.)等,其中麦根腐平脐蠕孢为优势病原菌<sup>[5]</sup>。这些病原菌寄生范围较广,不仅能侵染小麦,还能侵染玉米、水稻和几十种禾本科杂草<sup>[6-7]</sup>,为小麦根腐病的防治增添难度。另外,小麦根腐病的发生还与气候条件、栽培管理和品种抗性等有很大关系。其中,种植模式的单一化<sup>[8]</sup>、田间管理不善和缺乏抗病品种<sup>[9]</sup>等因素都会造成该病害发生逐年加重。所以有效防治小麦根腐病,提高

收稿日期:2020-04-08

基金项目:河北省现代农业产业技术体系创新团队项目(HBCT2018010204)

作者简介:孙 华(1988-),女,在读硕士,主要从事植物病害生物防治与分子植物病理学研究。

通讯作者:张立荣,女,博士,副教授,E-mail: Zlr139@126.com

杨文香,女,博士,教授,E-mail: wenxiangyang2003@163.com

小麦品质及产量就显得尤为重要。

本研究从小麦根腐病的化学防治和抗病品种入手,旨在筛选出能高效安全防治小麦根腐病的化学药剂和抗性品种。通过室内毒力测定8种化学药剂对小麦根腐病的防效,并对河北省56个小麦品种的抗性进行鉴定,从而为该病害的田间防控提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

小麦品种:郑州5389和河北省56个小麦生产品种(详见表1)。供试菌种:麦根腐平脐蠕孢(*Bi-*

*polaris sorokiniana*)。供试化学农药:20.00%苯醚甲环唑·啞菌酯(苯甲·啞菌酯),SC,河北威远生化农药有限公司;40.00%腈菌唑(信生),WP,陶氏益农中国有限公司;3.00%噻霉酮,WP,陕西大华特科技实化有限公司;27.00%噻虫嗪·苯醚甲环唑·啞菌酯(酷拉斯),FSB,先正达投资有限公司;1.00%申嗪霉素,SC,上海农乐生物制品股份有限公司;8.00%霜脲氰·代森锰锌(72%霜脲·锰锌),WG,山东京博农化有限公司;50.00%甲基硫菌灵(星托),SC,青岛星牌作物科学有限公司;12.50%氟环唑(欧博),EC,巴斯夫(中国)有限公司。

表1 河北省56个小麦生产品种

| 小麦品种   | 小麦品种   | 小麦品种   | 小麦品种   | 小麦品种   | 小麦品种  |
|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 科农2009 | 山农22   | 石新828  | 烟99102 | 邯麦16   | 周麦24  |
| 济麦22   | 邯麦15   | 衡s29   | 石麦15   | 中信麦99  | 津麦6   |
| 山农20   | 农大399  | 邢麦7    | 衡6632  | 良星66   | 石4185 |
| 观35    | 河农825  | 藁优2018 | 石新733  | 河农9206 | 周麦16  |
| 石家庄8号  | 众信5199 | 良星99   | 河农6049 | 邢麦13   | 郑9023 |
| 周麦22   | 京东17   | 科农2011 | 婴泊700  | 冀麦585  | 郑麦366 |
| 京东22   | 保麦10   | 沧麦12   | 邯6172  | 豫麦34   | 轮选987 |
| 衡4399  | 科农199  | 邯4589  | 河农826  | 石优20   | 京东8号  |
| 邯农1412 | 邯生-130 | 邯41344 | 石麦22   | 烟农19   | 中麦895 |
| 衡观136  | 河农5290 |        |        |        |       |

### 1.2 杀菌剂室内毒力测定

采用菌丝生长速率法测定杀菌剂对小麦根腐病原菌麦根腐平脐蠕孢的抑制作用<sup>[10]</sup>。将药剂按比例加入PDA培养基中获得终浓度如表2,以无菌水为对照,将直径为6 mm的病原菌菌饼倒扣于平板中央,每个处理3次重复,25℃培养6 d后用十字交叉法测量菌落直径,计算抑制率。抑制率(%)=[(对照菌落直径-处理菌落直径)/(对照菌落直径-菌饼直径)]×100。

表2 杀菌剂的浓度梯度

| 有效成分          | 浓度梯度(mg/L)                             |
|---------------|--|
| 苯醚甲环唑·啞菌酯     | 9.340,0.934,0.093,0.062,0.047          |
| 腈菌唑           | 2.700,0.540,0.270,0.180,0.027          |
| 噻霉酮           | 91.200,45.600,9.120,4.560,0.456        |
| 噻虫嗪·苯醚甲环唑·啞菌酯 | 315.00,126.00,31.500,3.986,2.875       |
| 申嗪霉素          | 37.500,3.750,1.875,0.623,0.375         |
| 霜脲氰·代森锰锌      | 12.500,2.500,1.250,0.838,0.013         |
| 甲基硫菌灵         | 469.000, 150.080, 93.800, 9.380, 9.094 |
| 氟环唑           | 0.500,0.050,0.010,0.005,0.003          |

### 1.3 河北省56个小麦品种对小麦根腐病的抗性鉴定

自然土过筛后与营养土按6:4的比例混合,充分混匀后用烘箱165℃高温灭菌2 h,取出喷适量无菌水,放置2 d后备用。将供试菌株在PDA培养基上活化,在25℃光照培养箱内培养。当菌丝长到整个平板的3/4时停止培养,将菌丝块接到小米培养基上,25℃培养5 d,当小米表面长满菌丝时即停止培养,晾干备用。将无菌土与小米培养基按125:1的比例混合均匀制成菌土。装入塑料花盆中,每盆盛放200 g菌土,种植10粒小麦种子,在温室培养,每隔2 d浇1次水,温室温度控制在白天(25±2)℃、晚间(20±2)℃,自然光照。30 d后调查发病情况。每个品种进行3次重复。灭菌土不拌菌相同种植和培养方式作为空白对照。

发病情况调查及抗性标准:将麦苗从土中取出,用清水冲洗根茎部,采用小麦根腐病苗期病情分级标准如下:0级,茎基部无病斑;1级,病斑围绕茎基部25%以下;3级,病斑围绕茎基部26%~50%;5级,病斑围绕茎基部51%~75%;7级,病斑围绕茎基部76%以上,植株萎蔫,接近死亡或死亡。病情指数=[∑[(各级级值×该级病株

数)])/调查总株数×最高级值]×100。抗性分级标准如下:高感(HS),40<DI≤100;感病(S),30<DI≤40;中抗(MR),20<DI≤30;抗病(R),10<DI≤20;高抗(HR),0<DI≤10;免疫(I),DI=0。

## 2 结果与分析

### 2.1 杀菌剂室内毒力测定

氟环唑、苯醚甲环唑·嘧菌酯和腈菌唑对小麦

根腐病的抑制作用较好,其EC<sub>50</sub>分别为0.005、0.061、0.462 mg/L,EC<sub>90</sub>分别为0.349、8.520、7.782 mg/L(见表3)。其他药剂如噻霉酮、噻虫嗪·苯醚甲环唑·咯菌腈、申嗪霉素、霜脲氰·代森锰锌和甲基硫菌灵的抑制作用较差,其EC<sub>50</sub>分别为37.151、23.720、5.240、9.005、841.680 mg/L。说明在相同抑制率的情况下,苯醚甲环唑·嘧菌酯、腈菌唑和氟环唑用药量少、浓度低,抑菌效果较好。

表3 不同杀菌剂对病原菌的毒力测定

| 有效成分          | 毒力回归方程            | EC <sub>50</sub> (mg/L) | EC <sub>90</sub> (mg/L) | r     |
|---------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------|
| 苯醚甲环唑·嘧菌酯     | $y=5.725+0.598x$  | 0.061                   | 8.520                   | 0.943 |
| 腈菌唑           | $y=5.376+1.0156x$ | 0.462                   | 7.782                   | 0.950 |
| 噻霉酮           | $y=2.809+1.396x$  | 37.151                  | 307.503                 | 0.896 |
| 噻虫嗪·苯醚甲环唑·咯菌腈 | $y=3.761+0.902x$  | 23.720                  | 636.430                 | 0.750 |
| 申嗪霉素          | $y=4.549+0.627x$  | 5.240                   | 580.549                 | 0.911 |
| 霜脲氰·代森锰锌      | $y=4.38+0.649x$   | 9.005                   | 846.845                 | 0.882 |
| 甲基硫菌灵         | $y=3.26+0.592x$   | 841.680                 | 122 712.500             | 0.830 |
| 氟环唑           | $y=6.598+0.693x$  | 0.005                   | 0.349                   | 0.980 |

### 2.2 品种抗性鉴定

由表4可知,河北省56个小麦生产品种中没有免疫品种,其中科农2009为抗病品种,占参试品种的1.8%;济麦22、山农20、观35、石家庄8号和周麦22为中抗品种,占参试品种的8.9%;京东22、衡4399、邯农1412、衡观136、山农22、邯麦15、农大399、河农825、众信5199、京东17、保麦10、科农199、邯生-130、石新828、衡s29、邢麦7和藁优

2018为感病品种,占参试品种的30.4%;良星99、科农2011、沧麦12、邯4589、邯41344、烟99102、石麦15、衡6632、石新733、河农6049、婴泊700、邯6172、河农826、石麦22、邯麦16、中信麦99、良星66、河农9206、邢麦13、冀麦585、豫麦34、石优20、烟农19、周麦24、津麦6、石4185、周麦16、郑9023、郑麦366、轮选987、京东8号、中麦895和河农5290为高感品种,占参试品种的58.9%。

表4 河北省56个小麦生产品种抗性鉴定结果

| 小麦品种   | 病情指数  | 抗性 | 小麦品种   | 病情指数  | 抗性 |
|--------|-------|----|--------|-------|----|
| 科农2009 | 20.00 | R  | 烟99102 | 43.23 | HS |
| 济麦22   | 24.69 | MR | 石麦15   | 43.62 | HS |
| 山农20   | 24.69 | MR | 衡6632  | 43.85 | HS |
| 观35    | 27.23 | MR | 石新733  | 43.85 | HS |
| 石家庄8号  | 27.23 | MR | 河农6049 | 44.62 | HS |
| 周麦22   | 27.69 | MR | 婴泊700  | 44.85 | HS |
| 京东22   | 32.92 | S  | 邯6172  | 46.62 | HS |
| 衡4399  | 33.00 | S  | 河农826  | 47.23 | HS |
| 邯农1412 | 33.15 | S  | 石麦22   | 47.38 | HS |
| 衡观136  | 33.85 | S  | 邯麦16   | 47.92 | HS |
| 山农22   | 35.31 | S  | 中信麦99  | 48.54 | HS |
| 邯麦15   | 35.54 | S  | 良星66   | 48.69 | HS |
| 农大399  | 35.69 | S  | 河农9206 | 49.23 | HS |
| 河农825  | 35.92 | S  | 邢麦13   | 49.62 | HS |
| 众信5199 | 36.15 | S  | 冀麦585  | 50.00 | HS |
| 京东17   | 36.23 | S  | 豫麦34   | 50.23 | HS |
| 保麦10   | 36.31 | S  | 石优20   | 51.31 | HS |

续表 4

| 小麦品种    | 病情指数  | 抗性 | 小麦品种    | 病情指数  | 抗性 |
|---------|-------|----|---------|-------|----|
| 科农 199  | 36.31 | S  | 烟农 19   | 51.31 | HS |
| 邯生-130  | 36.92 | S  | 周麦 24   | 51.31 | HS |
| 石新 828  | 38.46 | S  | 津麦 6    | 52.63 | HS |
| 衡 s29   | 39.08 | S  | 石 4185  | 52.63 | HS |
| 邢麦 7    | 39.15 | S  | 周麦 16   | 54.15 | HS |
| 冀优 2018 | 39.92 | S  | 郑 9023  | 55.38 | HS |
| 良星 99   | 40.08 | HS | 郑麦 366  | 57.54 | HS |
| 科农 2011 | 41.38 | HS | 轮选 987  | 57.69 | HS |
| 沧麦 12   | 41.69 | HS | 京东 8 号  | 64.08 | HS |
| 邯 4589  | 43.08 | HS | 中麦 895  | 68.38 | HS |
| 邯 41344 | 43.15 | HS | 河农 5290 | 69.92 | HS |

### 3 结论与讨论

小麦根腐病的病原菌种类较多,且其潜伏于土壤中,发病初期不易发现<sup>[1]</sup>,因此在防治上较为困难。目前,对于小麦根腐病的防治主要采用化学防治和抗性品种的选育。

市场上防治小麦根腐病的农药产品种类很多且防治效果参差不齐。苯醚甲环唑·嘧菌酯、腈菌唑和噻霉酮均为低毒且广谱类杀菌剂;霜脲氰·代森锰锌、甲基硫菌灵和氟环唑均为低毒且具有保护和治疗作用;噻虫嗪·苯醚甲环唑·咯菌腈和申嗪霉素在抑制病原菌同时还有促进小麦生长的作用。因此本研究采用菌丝生长法测定上述 8 种药剂对小麦根腐病病原菌麦根腐平脐蠕孢的抑制作用。结果表明 8 种药剂对麦根腐平脐蠕孢均有一定抑制作用,其中苯醚甲环唑·嘧菌酯、腈菌唑和氟环唑对麦根腐平脐蠕孢的抑制作用较好,室内毒力测定的  $EC_{50}$  分别为 0.061、0.462、0.005 mg/L。研究表明申嗪霉素能够抑制麦根腐平脐蠕孢的生长,其  $EC_{50}$  为 0.134 1 mg/L<sup>[12]</sup>,与本研究结果存在差异,这可能与病原菌的致病力有关。30 g/L 苯醚甲环唑悬浮种衣剂对小麦根腐病防效较好<sup>[13]</sup>;三唑类杀菌剂如戊唑醇、氟环唑和三唑酮等对小麦根腐病抑制作用明显<sup>[14]</sup>,与本研究结果一致。本研究中腈菌唑对麦根腐平脐蠕孢有较强的抑制作用。腈菌唑对小麦纹枯病、白粉病和赤霉病均有一定防效<sup>[15]</sup>。因此,使用腈菌唑能同时有效防治小麦多种病害,这为合理使用化学农药防治小麦病害提供了理论依据。

目前,小麦根腐病的抗性品种较少,因此培育和筛选抗性品种尤为重要。本研究中,河北省 56 个小麦生产品种中仅少数品种表现为抗病,其中

科农 2009 为抗病品种,占试验品种的 1.8%;济麦 22、山农 20、观 35、石家庄 8 号和周麦 22 为中抗品种,占试验品种的 8.9%。抗性品种的抗性可通过有性杂交,将抗性遗传给后代<sup>[16]</sup>。因此,抗性品种的筛选将为抗病育种提供种质资源,同时抗病品种的推广种植也有利于小麦根腐病防治。

化学防治具有防效快、成本低、使用方便等优点,同时也具有污染环境、容易使病原菌产生抗药性等缺点。目前小麦根腐病抗性品种较少,且连续种植同一品种容易丧失抗病性。本研究通过室内杀菌剂抑菌活性测定和品种抗性鉴定,筛选出小麦根腐病的抗性品种和杀菌剂。种植抗性品种和化学防治相结合,同时采用合理轮作、适期播种、合理水肥管理等农业措施,以使病害得到更好控制。

#### 参考文献:

- [1] 张 敏,蔡瑞国,贾秀领,等.小麦抗寒机制的研究进展[J].东北农业科学,2016,41(4):37-42.
- [2] 王金凤,杜丽璞,李 钊,等.抗纹枯病、根腐病的转 *SN1* 基因小麦的获得与鉴定[J].作物学报,2012,38(5):773-779.
- [3] 李金凤.冬小麦根腐病发生原因及防治措施[J].现代农村科技,2013(7):24-25.
- [4] 贾廷祥,吴桂本,刘传德.我国小麦根腐性病害研究现状及防治对策[J].中国农业科学,1995(3):41-48.
- [5] 张德珍,李鹏昌,陈晓霞,等.山东省小麦根腐病原菌的分离鉴定[J].植物保护学报,2016,43(2):233-240.
- [6] 张铨哲,李 微,郝 璐,等.东北三省禾谷类作物真菌菌分离鉴定及污染率调查[J].东北农业科学,2016,41(1):68-72.
- [7] 李可凡,袁 方.小麦根腐病的发生规律及防治技术[J].河南农业科学,2003,32(5):58-59.
- [8] 李志力,王 浩,石明旺.小麦根腐病防治研究进展[J].河南科技学院学报(自然科学版),2016,44(3):26-29.
- [9] 胡艳峰,王利民,张一凡,等.黄淮地区主推小麦品种对根腐病抗性的初步鉴定与评价[J].河南农业科学,2016,45(6):62-66,71.

(下转第 82 页)

- [ 2 ] Taya Forde, Roman Biek, Ruth Zadoks, et al. Genomic analysis of the multi-host pathogen *Erysipelothrix rhusiopathiae* reveals extensive recombination as well as the existence of three generalist clades with wide geographic distribution[J]. Biomedical Science, 2016, 17(1): 461.
- [ 3 ] Shen H G, Bender J S, Opriessnig T. Identification of surface protective antigen (*spa*) types in *Erysipelothrix reference* strains and diagnostic samples by *spa* multiplex real-time and conventional PCR assays[J]. Journal of Applied Microbiology, 2010, 109(4): 1227-1233.
- [ 4 ] 刘晓波. 猪丹毒丝菌保护性抗原筛选及鉴别诊断ELISA方法初步建立[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
- [ 5 ] Ding Yi, Zhu Dongmei, Zhang Jianmin, et al. Virulence determinants, antimicrobial susceptibility, and molecular profiles of *Erysipelothrix rhusiopathiae* strains isolated from China[J]. Emerging microbes & infections, 2015, 4(11): e69.
- [ 6 ] 葛晨霞, 程晓辉, 董晓庆. 猪群健康保障的有效措施研究[J]. 吉林农业科学, 2011, 36(2): 54-56.
- [ 7 ] 王力波, 刘芳, 谢江, 等. 猪丹毒丝菌不同年代分离菌株流行病学特征及部分生物学特性比较研究[J]. 中国兽医学报, 2016, 36(3): 423-430.
- [ 8 ] 王恩林. 猪丹毒的预防与治疗[J]. 畜牧兽医科技信息, 2019(3): 107.
- [ 9 ] 冯建远, 吴廷瑛, 郭旋, 等. 广西规模化猪场呼吸道病原菌调查及耐药性分析[J]. 中国猪业, 2020, 15(2): 66-69.
- [ 10 ] 梅冬林, 张云影, 赵岭乐, 等. 吉林省安全肉猪生产对策[J]. 吉林农业科学, 2004, 29(4): 48-50.
- [ 11 ] 陈章, 刘晓露, 姚焱彬, 等. 猪丹毒丝菌灭活疫苗制备及其对小鼠免疫效力的评价[J]. 西北农业学报, 2019, 28(6): 877-887.
- [ 12 ] 王千菊, 陈坚, 巫月生, 等. 一株猪丹毒杆菌的分离鉴定及其对活疫苗免疫猪的攻毒试验[J]. 广东畜牧兽医科技, 2014, 39(2): 29-33.
- [ 13 ] 姚焱彬, 陆萍, 杨志鹏, 等. 猪丹毒丝菌 *SpaA* 基因原核表达及表达蛋白质的免疫原性分析[J]. 畜牧兽医学报, 2017, 48(3): 492-500.
- [ 14 ] Takahashi T, Hirayama N, Sawada T, et al. Correlation between adherence of *Erysipelothrix rhusiopathiae* strains of serovar 1a to tissue culture cells originated from porcine kidney and their pathogenicity in mice and swine. [J]. Veterinary Microbiology, 1987, 13(1): 57-64.
- [ 15 ] Makino S, Yamamoto K, Murakami S, et al. Properties of repeat domain found in a novel protective antigen, SpaA, of *Erysipelothrix rhusiopathiae*[J]. Microbial Pathogenesis, 1998, 25: 101-109.
- [ 16 ] Ho To, Nagai S. Genetic and Antigenic Diversity of the Surface Protective Antigen Proteins of *Erysipelothrix rhusiopathiae* [J]. Clinical and Vaccine Immunology, 2007, 14(7): 813-820.
- [ 17 ] Cheun H I, Kawamoto K, Hiramatsu M, et al. Protective immunity of SpaA-antigen producing lactococcus lactis against *Erysipelothrix rhusiopathiae* infection[J]. Journal of Applied Microbiology, 2004, 96(6): 1347-1353.
- [ 18 ] 周迪, 杨旭夫, 彭凌. 红斑丹毒丝菌的分离鉴定及药敏试验[J]. 动物医学进展, 2020, 41(2): 33-38.
- [ 19 ] 王斌, 赵云霞, 江魁, 等. 弗氏佐剂乳化抗原不同注射体积与小鼠鼓包结痂形成及免疫原性的关系[J]. 畜牧兽医学(电子版), 2020(11): 4-6.
- [ 20 ] 吾鲁木汗·那孜尔别克, 刘祝祥, 李科, 等. 猪丹毒丝菌 C43311 株 *spaA* 基因 N 端免疫保护区的克隆和表达[J]. 微生物学报, 2008(2): 207-212.
- [ 21 ] 王宗升, 吕宁宁, 张翔. 猪丹毒疫病防控将成为猪场免疫新常态[J]. 猪业科学, 2019, 36(7): 96.
- [ 22 ] 蒋志琼, 钟泽民, 谭博敏, 等. 丹毒丝菌 *SpaA* 基因免疫保护区的克隆及其在毕赤酵母中的表达[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(3): 20-25.
- [ 23 ] 赵慧, 郑文岭, 马文丽. 信号肽对外源蛋白分泌效率的影响[J]. 生物学杂志, 2003, 20(5): 177-179.
- [ 24 ] 赵庆亮. 嗜吞噬细胞无形体 *msp2*、*msp4* 蛋白的原核表达及免疫原性研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2014.

(责任编辑:王昱)

(上接第 61 页)

- [ 10 ] 白耀博, 陈学进, 凤舞剑, 等. 徐州地区草莓灰霉病菌对腐霉利的抗药性研究[J]. 东北农业科学, 2017, 42(1): 31-33.
- [ 11 ] 闫佳会. 25 g/L 咯菌腈悬浮种衣剂防治小麦根腐病田间药效试验[J]. 青海农林科技, 2019(1): 71-73.
- [ 12 ] 张博, 刘苹, 张悦丽, 等. 几种生物制剂对小麦根腐病菌的毒力[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(3): 366-371.
- [ 13 ] 孙炳剑, 袁虹霞, 邢小萍, 等. 不同种子处理剂对小麦全蚀病的防治效果[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(4): 711.
- [ 14 ] 刘金晶. 一种安全高效小麦种衣剂的研制[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2015.
- [ 15 ] 季明东, 陆长婴, 徐润成. 腈菌唑防治小麦病害的效果[J]. 江苏农业科学, 1994(4): 39-40, 55.
- [ 16 ] 张荣昌. 小麦品种资源对根腐病的抗源筛选与利用[J]. 作物研究, 1995, 9(3): 27-28.

(责任编辑:王昱)