

张俊喜, 成晓松, 宋益民, 等. 中国水稻稻曲病研究进展[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(1): 234-240.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.01.037

## 中国水稻稻曲病研究进展

张俊喜<sup>1</sup>, 成晓松<sup>2</sup>, 宋益民<sup>3</sup>, 王伟<sup>1</sup>, 仇彩云<sup>1</sup>, 周加春<sup>1</sup>, 李红阳<sup>1</sup>, 顾慧玲<sup>1</sup>, 孙星星<sup>1</sup>

(1. 江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏 盐城 224002; 2. 盐都区植保站, 江苏 盐都 224001; 3. 江苏沿江地区农业科学研究所, 江苏 南通 226541)

**摘要:** 稻曲病的发生不仅造成水稻产量损失, 而且对人畜健康安全产生威胁。本文综述了中国建国以来稻曲病的发生分布与危害、生物学特性、主要影响因素、防治技术及国内研究报道情况, 提出生产上迫切需要解决的难题: 一是稻曲病的发生规律, 二是防治稻曲病的高效安全药剂及其关键应用技术。

**关键词:** 稻曲病; 生物学特性; 防治

**中图分类号:** S432.4<sup>+</sup>1; S511

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2016)01-0234-07

## Research advances in rice false smut (*Ustilaginoidea virens*) in China

ZHANG Jun-xi<sup>1</sup>, CHENG Xiao-song<sup>2</sup>, SONG Yi-min<sup>3</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>, QIU Cai-yun<sup>1</sup>, ZHOU Jia-chun<sup>1</sup>, LI Hong-yang<sup>1</sup>, GU Hui-ling<sup>1</sup>, SUN Xing-xing<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Sciences in the Coastal District of Jiangsu Province, Yancheng 224002, China; 2. Yandu Station of Plant Protection, Yandu 224001, China; 3. Institute of Agricultural Sciences of the Changjiang River Bank District, Nantong 226541, China)

**Abstract:** The occurrence of rice false smut not only causes yield loss, but also brings a threat to human and animal health and safety. The paper summarized the studies on the disease in the following aspects: distribution and damage, biological characteristics, major influencing factors, prevention and control. Besides, the paper raised two issues in rice production, the occurrence rule of rice false smut, and the efficient and safe agents controlling rice false smut and the key application technology.

**Key words:** *Ustilaginoidea virens*; biological characteristic; prevention and control

水稻稻曲病是由稻曲病菌引起的水稻穗部真菌病害, 于 1878 年在印度首次被发现, 其广泛分布于亚洲、非洲、南美洲、欧洲等水稻主产区的 40 多个国

家<sup>[1]</sup>。1899 年稻曲病菌定名为 *Ustilaginoidea virens* (Cooke) P. Henn<sup>[2]</sup>。20 世纪 80 年代稻曲病在中国农业生产上是次要病害, 之后随水稻品种更新加快、调运频繁, 施肥水平提高, 稻曲病渐趋加重, 其毒素对人畜危害日益受到重视。稻曲病发生危害的历史短, 研究起步晚, 很多研究结果不尽一致, 特别是在稻曲病发生规律和防治应用方面, 因此很多内在机理有待揭示。本文根据稻曲病的发生危害和研究现状, 提出值得深入研究的方向和内容, 为今后开展稻

收稿日期: 2015-04-15

基金项目: 江苏省自然科学基金项目 (BK20141264); 江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX(15)1054]

作者简介: 张俊喜 (1966-), 男, 江苏盐城人, 副研究员, 主要研究方向为水稻病虫害防治基础和应用研究。(Tel) 0515-68668961; (E-mail) ycnkzjx@sohu.com

曲病的研究提供一些有益参考。

## 1 稻曲病分布与危害

### 1.1 稻曲病在中国的发生分布

20 世纪 50 年代,稻曲病是对内植物检疫对象之一,湖南 1955 年、广西 1957 年均报道有稻曲病发生<sup>[3]</sup>。1975 年湖北随县稻曲病局部重发<sup>[4]</sup>。20 世纪 80 年代后稻曲病在中国主要稻区发生逐年加重,从最南端海南直至最北端黑龙江。江西省湖口县 1980 年稻曲病穗发病率高达 4.1%<sup>[5]</sup>。黑龙江省在 1987 年发现稻曲病,1996 年稻曲病就成为影响水稻生产的重要病害<sup>[6]</sup>。贵州省黎平县 1990 年稻曲病危害严重,其发生面积占种植面积的 28.0%,平均单产损失 36.9%,最严重的单产损失达 79.7%<sup>[7]</sup>。王金辉等<sup>[8]</sup>报道,2004 年湖南省中稻稻曲病严重流行,20%以上中稻田块病穗率达 40%~90%。2005 年全国稻曲病大发生,局部地区出现绝收现象<sup>[9]</sup>。陈德西等<sup>[10]</sup>报道,2000~2009 年稻曲病重发生区主要分布在云南中部、江西北部、福建西南的局部地区;中等发生区包括云南中部和西南部、四川西北部、江西的大部以及福建、浙江、安徽、湖北和湖南与江西交接部分地区;轻发生区主要是长江流域和南部稻区,以及辽海平原。安徽省 2008 年稻曲病发生面积已上升至  $5.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ <sup>[11]</sup>。江苏省扬州市 2008~2011 年稻曲病发生面积达 43.83%~52.51%<sup>[12]</sup>。2011 年赵德明等<sup>[13]</sup>报道稻曲病已成为山区和丘陵地区水稻生产中的第一大病害。2013 年余小平等<sup>[14]</sup>报道广东梅县 80%稻田有稻曲病的发生。2014 年陈晓等<sup>[15]</sup>报道水稻稻曲病是贵州省清镇市水稻生产上常发病害,老病区常年病穗率在 50%以上。2014 年董坤等<sup>[16]</sup>调查结果表明稻曲病在云南各稻作区普遍存在且发生严重。2014 年安徽芜湖县稻曲病是自 2008 年以来,发生面积最大、程度最重的一年,发生面积为  $9.4 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,占水稻种植面积的 54.2%<sup>[17]</sup>。

### 1.2 稻曲病的危害

1.2.1 稻曲病发生症状 稻曲病自水稻开花后至乳熟期发生。稻曲病菌入侵谷粒后,在颖壳内迅速生长形成菌丝块,以后逐渐扩大,使颖壳合缝处稍张开露出淡黄带绿色的小型块状突起,后逐渐包裹全部颖壳呈墨绿色,形成稻曲球。长势好的水稻田块单穗稻曲球数少、稻曲球体积大。稻曲球表面起初

光滑,之后发生龟裂,散落墨绿色粉末。陈丽等<sup>[18]</sup>观察到稻曲球表面是一层密集的厚垣孢子,菌丝与稻粒的胚乳层界限分明。

1.2.2 稻曲病的危害损失 稻曲病导致的产量损失,不仅是发生稻曲球的谷粒本身,还影响邻近谷粒的营养输送,从而导致稻粒质量下降。李小湘等<sup>[19]</sup>报道,每穗每增加 1 粒病粒,空秕率平均递增 5.14%。1 粒稻曲球上多达  $1.2 \times 10^8$  个厚垣孢子<sup>[20]</sup>,破裂后严重污染稻谷。季宏平<sup>[21]</sup>研究结果表明,当每穗病粒为 1~2 粒时,产量损失率在 10.0% 以内,当病粒增加到 3 粒以上时,损失率达 22.7%,病粒达 10 粒时,产量损失达 57.8%。高俊等<sup>[22]</sup>研究结果表明,稻曲病危害水稻主要造成水稻空瘪率增加,千粒质量下降,从而导致减产。

1.2.3 稻曲病菌毒性 稻曲病菌产生的毒素对人畜食用稻谷安全及对农田环境的生态安全产生严重隐患。稻曲病病原菌次生代谢物有两类,一类为绿核菌素,属于萘并吡喃酮类,为脂溶性有色物质;另一类为稻曲病病原菌毒素 (Ustiloxins),又称黑粉菌素,属于环肽类,为水溶性无色物质,它是一类具有阻断真核细胞有丝分裂活性物质,有较强的细胞毒活性,对人畜和植物有毒害作用,也是一种具有潜在应用前景的抗肿瘤药物<sup>[23]</sup>。研究人员从稻曲球中分离到 Ustiloxins A-E 6 种毒素,用稻曲病粒喂养兔、鸡、老鼠等动物,能导致肝、肾脏等内部器官病变<sup>[20]</sup>。冷其昌等<sup>[24]</sup>研究结果表明,用含稻曲病病粒研磨的饲料喂养鸡、兔 35~84 d,可引起死亡和内脏部分器官的病变。日本学者<sup>[25]</sup>研究证实稻曲病菌毒素 Ustiloxins 是类抗真核细胞有丝分裂的环形成肽。陈美军等<sup>[26]</sup>进行了稻曲毒素活性检测和细胞定位的研究,发现粗毒素对小麦胚根、胚芽的生长有强烈的抑制作用。高杜娟等<sup>[27]</sup>研究结果表明,稻曲菌素处理水稻种子,可抑制抗病品种的种子萌发,能促进感病品种的种子萌发。

## 2 稻曲病菌生物学特性

### 2.1 病原菌特征特性

稻曲病菌发育分无性态和有性态 2 种类型,其无性态为 *U. virens* (Cooke) Tak 属无性孢子类绿核菌属绿核菌,有性态为 *Claviceps oryzaesativae* Hashioka 属子囊菌亚门麦角菌属稻麦角菌。它的无性态在稻曲病发生危害过程中据主导作用。稻曲病在田间以

厚垣孢子和菌核 2 种主要形态越冬。

稻曲病菌厚垣孢子(无性态)有 3 种颜色。王疏等<sup>[28]</sup>研究报道,稻曲病菌除黑色厚垣孢子不能萌发,其他 2 种孢子均可萌发,其最适萌发温度为 25~30 ℃,pH 值为 5~8;黄色厚垣孢子低温(4 ℃)保存可存活 1 年左右。姚琳等<sup>[29]</sup>研究结果表明厚垣孢子完全可以成为来年稻曲病的初次侵染来源。

病菌生长后期在温、湿度适宜的情况下可在稻曲球上形成菌核。稻曲病菌有性阶段主要是菌核萌发形成子座、子囊和子囊孢子。缪巧明<sup>[30]</sup>报道,在一定湿度和光照条件下,菌核发芽主要取决于温度,形成子实体的最适温度为 26~28 ℃,在土表或土表下 2~3 cm 的菌核均可发芽形成子实体,所产生的子囊孢子可成为稻曲病的初次侵染来源之一。

稻曲病菌可侵染水稻幼苗胚根、胚芽鞘以及孕穗期雄蕊的花丝,属活体营养型真菌,其侵染模式为胞间侵染和扩展,仅在孕穗期侵染水稻生长发育成稻曲球<sup>[31]</sup>。稻曲病分生孢子是理想的接种体,用分生孢子或菌丝片段-分生孢子混合液做接种体的发病率高,而且其制备技术也相对成熟,稻曲病厚垣孢子亦可作接种体,但其接种发病率较低<sup>[32]</sup>。王疏等<sup>[33]</sup>试验结果表明,注射接种发病率明显高于喷雾接种,接种后的相对低温处理有利于病害发生,人工接种成功的关键因子是菌源和环境条件。张君成等<sup>[34]</sup>研究结果表明,水稻抽穗破口前 6~9 d 接种稻曲病菌发病率高。缪巧明<sup>[35]</sup>研究结果表明,在水稻幼芽期及抽穗期用当年或室内保存的上年黄绿色厚垣孢子接种,都能引发稻曲病。何会流等<sup>[36]</sup>、胡容平等<sup>[37]</sup>等研究结果表明,采用稻曲球(粉)或菌核直接撒在田间也能接种成功。张平等<sup>[6]</sup>研究结果表明厚垣孢子是次年田间病害的主要侵染源。沈永安等<sup>[38]</sup>连续研究结果表明厚垣孢子能越冬作为初侵染源。土壤带菌在稻曲病发生过程中所起的作用比种子带菌更为重要<sup>[6,19]</sup>。王国良<sup>[39]</sup>研究结果表明,用当年田间自然发病病粒上新形成的稻曲病菌厚垣孢子,在水稻孕穗末期至破口期喷雾或注射接种可获成功。

王文斌等<sup>[40]</sup>、王丽梅等<sup>[41]</sup>对不同致病力稻曲病菌的生物学特性进行研究,发现稻曲病菌菌丝最适生长温度均为 28 ℃,在 7 d 内致病力弱的菌株生长速度快于致病力强的菌株,菌丝生长的最适 pH 值为 6~7。王文斌等<sup>[42-43]</sup>研究结果表明,稻曲病菌

分生孢子萌发率与致病力呈极显著正相关;稻曲病菌菌株的致病力与产孢量之间具有显著相关性,相关程度为中等;致病力与菌丝的生长速率没有相关性。王疏等<sup>[33]</sup>首次进行了稻曲病白化菌株的分离、培养研究,并在水稻孕穗期接种成功。

## 2.2 分离培养

稻曲病菌分离方法<sup>[44]</sup>主要有厚垣孢子悬液法、组织分离法、菌核萌发法 3 种。采用厚垣孢子悬液法进行稻曲病菌分离成功率低,且保存 60 d 以上的稻曲球成活率大大下降;采用组织分离法可获得良好的稻曲病菌分离效果,分离约 10 d 可见白色菌丝;采用菌核萌发法进行稻曲病菌分离成功率高、污染小,分离约 15 d 长出白色菌丝。表面消毒时间长短是分离成功与否的关键因素之一。

## 2.3 群体遗传多样性

稻曲病菌遗传基因相对稳定。王文斌等<sup>[43]</sup>研究结果表明,基因类群与地理区域之间显著相关,推测稻曲病菌属于局域性传播;基因类群与生物学特性之间没有相关性。李燕等<sup>[45]</sup>通过对江苏 48 个稻区稻曲病菌进行分析,结果表明江苏地区稻曲病菌群体的遗传分化不明显,遗传多样性稳定。张敏等<sup>[46]</sup>对四川省稻曲病菌菌株进行遗传多样性研究,结果表明地理来源不同的稻曲菌株变异程度不同,遗传多样性复杂,与寄主间的遗传差异相关性小。杨秀娟等<sup>[47]</sup>对福建省的稻曲病菌的遗传多样性进行研究,结果表明稻曲病菌遗传多样性丰富,从福建西部地区分离获得的菌株具有较高的遗传多样性,晚稻上分离到的菌株遗传多样性高于早稻上分离到的菌株。

# 3 影响稻曲病发生的因素

稻曲病发生的主因是气候、品种以及肥料。气候条件是影响稻曲病菌萌发和入侵的重要因素。在气候适宜条件下,菌核萌发产生的子囊孢子、厚垣孢子萌发产生的分生孢子随气流散落在孕穗期水稻叶鞘内而引起发病。张正炜等<sup>[48]</sup>、王丽梅等<sup>[41]</sup>研究结果表明,稻曲病菌孢子在阴雨天全天释放,晴天以夜间释放为主;在孕穗期(剑叶展开后 5~6 d)田间接种发病率最高。在广东,1985 年晚稻天气干旱,各地稻曲病发病很轻,但华南农业大学农场稻曲病严重发生<sup>[19]</sup>。刘见平等<sup>[49]</sup>研究结果表明,感病品种(组合)和水稻孕穗至抽穗期间 5 d 以上降水天气



是引起稻曲病大发生的 2 个关键因子。

王文斌等<sup>[42]</sup>研究结果表明,对稻曲病发病程度影响最大的是水稻品种。尹小乐等<sup>[50]</sup>研究结果表明,稻曲病平均病情指数为:杂交籼稻>杂交粳稻>常规晚粳>常规中粳。何会流等<sup>[36]</sup>研究结果表明,四川省水稻品种中大部分对稻曲病感病。胡容平等<sup>[37]</sup>研究结果表明,水稻的稃尖颜色和芒色的不同,稻曲病的发生率差异较大。不同水稻品种在相同条件下发病程度差别较大,吕锐玲等<sup>[51]</sup>、王连平等<sup>[52]</sup>研究结果表明,杂交稻稻曲病发生程度远重于常规稻。李秀清<sup>[53]</sup>研究结果表明,不同水稻品种对稻曲病的抗病能力有极大差异,有的早稻品种穗发病率高达 26.5%,有的品种不发病。胡娟等<sup>[54]</sup>研究结果表明,随着播种期推迟,稻曲病发生加重,产量呈下降趋势。

洪素娣等<sup>[55]</sup>研究结果表明,氮肥的使用直接加重稻曲病的发生;在氮肥用量相同的前提下,缺磷时稻曲病明显加重,缺钾和缺锌的影响相对较小。岑汤校等<sup>[56]</sup>研究结果表明,单位面积总氮肥量的增加有利于稻曲病的发生,磷、钾肥的施用对稻曲病发生程度的影响不显著,合理的氮、磷、钾肥有利于提高水稻的产量和降低稻曲病的危害程度。沈厚兴等<sup>[57]</sup>研究结果表明,稻田合理增施磷肥和硼肥能极大降低稻曲病的发生率。金素心等<sup>[58]</sup>报道,稻曲病发生的田块边缘重于中间,这可能是因边际效应(小气候和肥力的差别)或侵染源(病菌孢子入侵量)不同造成。

## 4 稻曲病的防治技术

### 4.1 水稻对稻曲病抗性

稻曲病的抗性研究,起初开展了田间抗病种质材料的鉴定、筛选,杂交育种后代与亲本抗性相关程度研究,发展到运用致病毒素筛选突变体研究,再到从生化角度研究水稻抗病机理,最新发展到进行抗病基因组分的检测和稻曲病菌基因组序列图的绘制研究。

李余生等<sup>[59-60]</sup>进行水稻稻曲病抗性基因检测分析,共发现 *qFsr1*、*qFsr2*、*qFsr4*、*qFsr8*、*qFsr10a*、*qFsr10b*、*qFsr11*、*qFsr12* 等 8 个 QTLs,分别位于第 1、2、4、8、10、11 和 12 染色体上,其中 *qFsr10a* 和 *qFsr11* 及其附近的标记可望在稻曲病抗性分子辅助选择育种中加以应用。徐建龙等<sup>[61]</sup>在水稻第 10 和第 12

条染色体上定位到 2 个抗稻曲病 QTLs(*qFsr10* 和 *qFsr12*)。马慧等<sup>[62]</sup>运用致病毒素筛选抗稻曲病突变体。唐善军等<sup>[63]</sup>研究结果表明,两系杂交稻( $F_1$ )稻曲病病穗率、病情指数、平均每穗病粒数和单穗最高病粒数与恢复系对应指标呈极显著正相关。李小娟等<sup>[64]</sup>通过水稻对稻曲病的抗性生化研究发现,在抗病水稻品种中苯丙氨酸解氨酶(*PAL*)、过氧化物酶(*POD*)和多酚氧化酶(*PPO*)3 种酶活性在水稻孕穗期接种稻曲病菌分生孢子液后迅速提高,变化幅度较大,说明这 3 种防御酶与水稻抗稻曲病有一定的关系。甘林等<sup>[65]</sup>研究结果表明,水稻品种对稻曲病的抗、感性与水稻叶耳间距、孕穗期、抽穗期和防御酶(*POD* 和 *SOD*)活性无必然的联系,但与每穗谷粒数和穗型有一定关系。

水稻品种对稻曲病的抗性机理仍不清晰,目前部分省份主栽水稻品种未见免疫品种<sup>[66]</sup>,水稻整体抗性还较弱,中国水稻抗稻曲病育种还有待进一步加强和提高。张舒等<sup>[67]</sup>在 2010-2013 年从湖北省 300 多份材料中研究筛选出对稻曲病免疫的材料 4 份,为稻曲病的抗病育种奠定了基础。

### 4.2 稻曲病的防治适期

水稻破口前 10 d(剑叶与倒二叶叶枕相平)施药对稻曲病防效最好<sup>[68-69]</sup>。张正炜等<sup>[48]</sup>研究结果表明,防治稻曲病的最佳时期是水稻剑叶完全展开期。陈月娣等<sup>[70]</sup>研究结果表明,在甬优 12 等籼、粳杂交超级稻上应用药剂防治稻曲病,控制效果最佳的施药时机应在 20% 左右的植株剑叶伸出倒 2 叶叶环时(距破口始穗的天数为 12~15 d)。在没有稻曲病的地区通过种植带菌的水稻种子能诱发稻曲病的严重发生<sup>[71]</sup>。药剂浸种能减轻水稻稻曲病的发病程度<sup>[72]</sup>。

### 4.3 综合防治技术

稻曲病的防治应以选择抗病水稻品种为主,辅以可行的农业栽培管理措施,根据天气状况进行必要的药剂防治。我们根据 20 多年在江苏盐城地区的连续观察,发现不同水稻类型和品种对稻曲病的抗性差异明显,因此在稻曲病重发地区选择合适品种是防治稻曲病的重要措施。目前就水稻类型看,其抗性差别为:常规粳稻>常规籼稻>杂交粳稻>杂交籼稻。在农业管理措施方面,可清除菌源,合理密植,搁田控害,配方施肥,提高水稻植株自身抗性。化学防治药剂中苯甲·丙环唑、己唑·嘧菌酯、丙

环·咪鲜胺、多菌灵等及时使用对稻曲病的防治较优。生物药剂井冈霉素、井冈·枯芽菌(纹曲宁)、枯草芽孢杆菌可湿性粉剂等及时按技术要求施用,对稻曲病也有较好的防效。李永川等<sup>[73]</sup>研究结果表明青霉菌灭活菌丝体及其代谢产物(商品名:多肽保)可诱导水稻产生系统抗病性,促进水稻体内相关蛋白基因的表达,从而提高水稻自身对于稻曲病的抵抗能力。

## 5 展望

### 5.1 加强稻曲病抗性品种选育

不同水稻品种对稻曲病的抗性差异很大,因此加强水稻抗稻曲病品种选育尤为重要。首先要加强水稻抗性品种的田间筛选,挖掘抗性种质资源;其次要开展抗性品种的分子研究,对抗稻曲病基因定位,之后进行抗性基因的分子标记辅助选择和克隆,有针对性进行抗性分子育种研究。

### 5.2 加强稻曲病的发生规律研究

生产上稻曲病的发生无常。很多研究均得出稻曲病发生与水稻破口前后天气有关的结论,雨量、雨日是其主要因素。江苏2014年水稻破口前后雨水非常适合稻曲病的发生,然而全省稻曲病发生很轻,全生育期末用杀菌剂,甚至感病品种稻田发生程度也都非常轻。在江苏盐城、淮安一线以北地区,于2014年9月10日前后破口的粳稻田几乎找不到稻曲球。任何病害的发生都应有其规律可循,加强稻曲病的发生规律值研究,进行全面系统的调查,为水稻稻曲病的预测预报提供理论依据。全国要联合协作攻关,统盘设计,充分发挥中国疆土辽阔之优势,研究不同气候、不同水稻品种及其他不同生产条件下稻曲病的发生危害规律。

### 5.3 加强药剂筛选和关键应用技术研究

周奋启等<sup>[74]</sup>、张震等<sup>[75]</sup>、刘梦泽等<sup>[76]</sup>、胡双全等<sup>[77]</sup>与刘春莹<sup>[78]</sup>进行了多药剂对稻曲病的防效研究,结果差别较大,因此要加强对稻曲病高效安全药剂的筛选。进一步筛选出对稻曲病高效安全的杀菌剂品种或配方,以期减少杀菌剂的使用量,这样可大幅提高稻谷质量安全,减轻农药面源污染,为保护农田环境安全提供保障。在药剂品种或配方确定的前提下,应用技术也很关键,药剂使用时间差3~5 d,其防效相差高达30%左右。其他使用方法的差别也可造成药效的差别。

## 参考文献:

- [1] OU S H. Rice diseases [M]. Key, Surrey, England: Commonwealth Mycological Institute, 1972.
- [2] 黄齐望. 江西近年升级的稻曲病[J]. 江西农业大学学报, 1981, 6(2): 22-26.
- [3] 卢覃彰. 防治稻曲病的蔓延[J]. 农业科学通讯, 1957(12): 715.
- [4] 随县农业科病虫测报站. 稻曲病的发生与调查[J]. 华农科技, 1976(1): 4-6.
- [5] 高俊. 湖口县稻曲病发生情况调查[J]. 江西植保, 1981(3): 36-37.
- [6] 张平, 金官植, 李志丰. 黑龙江省稻曲病研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 1997(2): 48-51.
- [7] 王长金. 稻曲病发生发展的气候条件及其防治措施[J]. 中国农业气象, 1996, 17(3): 41-44.
- [8] 王金辉, 陈越华. 湖南省2004年中、晚稻稻曲病流行情况调查[J]. 中国植保导刊, 2005(8): 14-15.
- [9] 陈莉, 许娟, 丁克坚, 等. 药剂对稻曲病菌的毒力测定及复配研究[J]. 植物保护, 2012, 38(3): 159-161.
- [10] 陈德西, 何忠全, 封传红, 等. 水稻主要病害发生区划研究[J]. 西南农业学报, 2014, 27(3): 1072-1078.
- [11] 夏宝远, 王林. 我国水稻稻曲病的研究现状[J]. 畜牧与饲料科学, 2009, 30(1): 33-35.
- [12] 秦玉金, 刘学儒, 杨进. 扬州市近年稻曲病发生加重原因分析及防治对策[J]. 上海农业科技, 2012(3): 137-138.
- [13] 赵德明, 汪涛, 汤德祥, 等. 稻曲病的发生规律与防控技术[J]. 现代农业科技, 2011(13): 170, 172.
- [14] 余小平, 李文育, 廖世仪. 稻曲病的危害特征及其综合防治措施[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(8): 88, 154.
- [15] 陈晓, 郑中阳, 王永贵, 等. 不同药剂防治稻曲病的药效初探[J]. 耕作与栽培, 2014(2): 34.
- [16] 董坤, 董艳, 王海龙, 等. 云南稻作区主要有害怕生物发生动态及其复合为害[J]. 应用生态学报, 2014, 25(1): 201-210.
- [17] 秦青龙, 王新忠, 朱昌稳, 等. 2014年芜湖市稻曲病重发原因分析与防治对策[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(1): 78-79.
- [18] 陈丽, 胡东维, 陈美军, 等. 稻曲球及稻曲病菌菌落微结构的SEM观察[J]. 菌物学报, 2007, 26(1): 89-96.
- [19] 李小湘, 黎用朝. 稻曲病研究进展[J]. 湖南农学院学报, 1992, 18(增): 230-233.
- [20] NAKAMURA K, IZUMIYAMA N, OHTSUBO K, et al. Apoptosis induced in the liver, kidney and urinary bladder of mice by the fungal toxin produced by *Ustilaginoidea virens* [J]. Mycotoxins, 1993, 38: 25-30.
- [21] 季宏平. 水稻稻曲病产量损失及药剂防治的初步研究[J]. 黑龙江农业科学, 2000(4): 18-19.
- [22] 高俊, 奚本贵, 吴永方, 等. 稻曲病产量损失测定及经济阈值初探[J]. 江苏农业科学, 2001(3): 36-37, 43.
- [23] 范允卿, 张舒, 喻大昭, 等. 稻曲病病原菌毒素研究进展[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(21): 4071-4074.

- [24] 冷其昌,高俊.稻曲病菌对家禽和兔毒性试验初报[J].江西植保,1984(3):35-38.
- [25] KOISO Y, LI Y, IWASAKI S, et al. Ustiloxins, antimetabolic cyclic peptides from false smut balls on rice panicles caused by *Ustilaginoidea virens* [J]. J. Antibiot, 1994, 47: 765-773.
- [26] 陈美军,胡东维,徐颖.稻曲病菌毒素的活性测定、抗体制备与细胞定位[J].实验生物学报,2004,37(4):310-314.
- [27] 高杜娟,唐善军,陈友德,等.稻曲菌素与水稻品种抗稻曲病的相关性研究[J].湖南农业科学,2013(6):16-17,20.
- [28] 王疏,杜毅,褚茗莉,等.稻曲病菌生物学特性的研究[J].辽宁农业科学,1993(3):34-35.
- [29] 姚琳,叶慧丽,胡容平,等.稻曲病侵染机制的初步研究[J].西南农业学报,2012,25(4):1273-1276.
- [30] 缪巧明.稻曲病菌核的研究[J].云南农业大学学报,1994,9(2):101-104.
- [31] 胡东维,王疏.稻曲病菌侵染机制研究现状与展望[J].中国农业科学,2012,45(22):4604-4611.
- [32] 唐善军,高杜娟,陈友德,等.水稻品种稻曲病抗性鉴定研究进展[J].中国稻米,2012,18(3):14-18.
- [33] 王疏,白元俊,刘晓舟,等.稻曲病接种菌源及接种方法的研究[J].辽宁农业科学,1996(1):33-35.
- [34] 张君成,陈志谊,张炳欣,等.稻曲病的接种技术研究[J].植物病理学报,2004,34(5):463-467.
- [35] 缪巧明.稻曲病的侵染途径研究[J].云南农业大学学报,1992,7(1):40-42.
- [36] 何会流,毛建辉,卢代华,等.四川水稻品种对稻瘟病和稻曲病抗性评价[J].西南大学学报:自然科学版,2008,30(7):104-109.
- [37] 胡容平,叶慧丽,姚琳,等.水稻稻曲病抗源筛选与评价研究[J].西南农业学报,2012,25(1):144-148.
- [38] 沈永安,袁荣才.稻曲病菌越冬厚垣孢子接种试验续报[J].吉林农业科学,1992(4):57-59.
- [39] 王国良.稻曲病菌厚垣孢子侵染时期和侵染途径的研究[J].植物保护学报,1992,19(2):97-100.
- [40] 王文斌,陈志谊.不同致病力稻曲病菌的生物学特性研究[J].西南农业学报,2013,26(6):2301-2306.
- [41] 王丽梅,陈莉,丁克坚,等.水稻稻曲病菌生长与侵染影响因子的研究[J].安徽农业大学学报,2012,39(3):470-473.
- [42] 王文斌,尹小乐,李燕,等.影响稻曲病严重度主要因素的研究[J].西南农业学报,2014,27(3):1067-1071.
- [43] 王文斌,张荣胜,罗楚平,等.中国主要稻区稻曲病菌的生物学特性及群体遗传多样性[J].中国农业科学,2014,47(14):2762-2773.
- [44] 杨健源,曾列先,陈深,等.我国稻曲病研究进展[J].广东农业科学,2011(2):77-79.
- [45] 李燕,刘永锋,张荣胜,等.江苏省稻曲病菌的群体遗传结构[J].江苏农业学报,2012,28(2):296-301.
- [46] 张敏,李竞生,刘坚,等.四川省籼稻区水稻稻曲病菌遗传多样性分析[J].植物保护学报,2009,36(2):113-117.
- [47] 杨秀娟,王舒婷,姚锦爱,等.基于 RAPD 标记的福建省稻曲病菌遗传多样性分析[J].农业生物技术学报,2011,19(6):1110-1119.
- [48] 张正炜,陈莉,丁克坚,等.稻曲病菌侵染特点及病害防治适期研究[J].安徽农业大学学报,2013,40(4):656-659.
- [49] 刘见平,张松柏,徐志德,等.稻曲病大发生关键因子及药剂防治研究[J].作物研究,2006(4):318-323.
- [50] 尹小乐,陈志谊,于俊杰,等.江苏省水稻区域试验品种对稻曲病的抗性评价及稻曲病菌致病力分化研究[J].西南农业学报,2014,27(4):1459-1465.
- [51] 吕锐玲,周强,涂军明,等.66个水稻品种对稻曲病田间抗性的评价[J].湖北农业科学,2012,51(23):5354-5356.
- [52] 王连平,董明灶,郝娜,等.浙江省水稻品种抗稻曲病自然诱发鉴定初步研究[J].江西农业学报,2010,22(7):73-74.
- [53] 李秀清.几种早稻新品种稻曲病抗性差异调查初报[J].上海农业科技,2014(3):122,130.
- [54] 胡娟,王斌,徐宏斌,等.4种杀菌剂在不同播种期下对稻曲病发生程度及产量影响[J].中国农学通报,2014,30(31):300-303.
- [55] 洪素娣,蒋锁琴,许晓辉,等.肥料运筹对水稻纹枯病和稻曲病的影响[J].江苏农业科学,2013,41(7):127-128.
- [56] 岑汤杨,张震,张昌杰,等.氮磷钾施肥水平对水稻稻曲病为害的影响[J].浙江农业科学,2014(2):225-226.
- [57] 沈厚兴,付伍生.稻曲病发生调查初报[J].江西植保,1981(4):20-23.
- [58] 金素心,代光辉,何润梅,等.11个水稻品种抗稻曲病的田间抗病性评价[J].上海交通大学学报:农业科学版,2005,23(3):317-320.
- [59] 李余生,杨娟,黄胜东,等.不同环境下水稻稻曲病抗性位点检测[J].农业科学与技术,2014,15(3):449-452,473.
- [60] 李余生,黄胜东,杨娟,等.水稻抗稻曲病数量性状座位及效应分析[J].作物学报,2011,37(5):778-783.
- [61] 徐建龙,薛庆中,罗利军,等.近等基因导入系定位水稻抗稻曲病数量性状位点的研究初报[J].浙江农业学报,2002,14(1):14-19.
- [62] 马慧,张丽,钟鸣,等.运用致病毒素筛选抗稻曲病突变体的研究[J].安徽农业科学,2007,35(16):4746-4747.
- [63] 唐善军,高杜娟,陈友德,等.两系杂交稻稻曲病抗性遗传研究[J].Agricultural Science & Technology,2014,15(4):557-560.
- [64] 李小娟,刘二明,谭小平,等.3种防御酶在水稻抗稻曲病中的活性变化[J].植物保护,2010,36(1):91-94.
- [65] 甘林,林廷邦,阮宏椿,等.抗感稻曲病水稻品种的生殖期性状分析[J].中国农学通报,2013,29(36):343-346.
- [66] 何海永,谭清群,陈小均,等.贵州省水稻主栽品种抗稻曲病性鉴定与评价[J].南方农业学报,2013,44(6):939-942.
- [67] 张舒,吕小成,贾切,等.抗稻曲病水稻品种与材料的筛选与评价[J].湖北农业科学,2014,53(21):5163-5169.
- [68] 郭才国.不同施药时期和次数对稻曲病防治效果的影响[J].安徽农学通报,2013,19(1-2):80-81.
- [69] 张舒,张求东,罗汉刚,等.水稻稻曲病的药效试验和防治适期的选定[J].华中农业大学学报,2007,26(2):178-181.

- [70] 陈月娣,王超,徐铁平,等.籼粳交超级晚粳水稻曲病药剂控制时机的探讨[J].浙江农业科学,2013(11):1451-1453.
- [71] 谭桂凤.两优培九易感稻曲病的原因及其防治对策[J].广西农学报,2006,22(2):20-23.
- [72] 李宪.药剂浸种防治稻曲病和品种抗病性鉴定[J].安徽农业科学,1996,24(3):245-246,248.
- [73] 李永川,韦加贵,黄奎,等.青霉菌灭活菌丝体诱导水稻抗病增产效果研究[J].云南农业科技,2014(4):35-37.
- [74] 周奋启,耿跃,徐蕾,等.不同用药时期6种常用药剂对水稻稻曲病的防治效果研究[J].现代农药,2013,12(5):54-56.
- [75] 张震,柴荣耀,陈桂华,等.几种药剂防治水稻稻曲病效果试验[J].浙江农业科学,2010(6):1328-1329.
- [76] 刘梦泽,万荣,刘正,等.十二种药剂防治中稻稻曲病药效对比试验[J].湖北植保,2014(2):26-27.
- [77] 胡双全,张楚雄,陈环球,等.七种药剂防治稻曲病试验研究[J].湖北植保,2012(6):9-10,12.
- [78] 刘春莹.5种杀菌剂防治水稻稻曲病的效果比较[J].福建农业科技,2014(6):22-23.

(责任编辑:袁伟)