

播期、年份及杂交种对玉米子粒镰刀菌和伏马毒素污染及主要农艺性状的影响

马盼盼¹, 韩占府¹, 高岭巍¹, 郭红甫¹, 岳振国¹,
刘晓帆¹, 姬社林¹, 张 力¹, 李 婧²

(1. 濮阳市农林科学院, 河南 濮阳 457000; 2. 濮阳市气象局, 河南 濮阳 457000)

摘 要: 2022年和2023年连续两年研究两个播期对早、中熟两个玉米杂交种收获后子粒镰刀菌和伏马毒素污染及主要农艺性状的影响, 开展植力源田间药效试验, 为对我国玉米典型病害顶腐病、茎腐病和穗腐病的防控提供基础信息和风险警示。结果表明, 早播早熟郑单958的轮枝镰刀菌污染率和伏马毒素含量均低于晚播中熟濮单12。播期和杂交种处理之间的产量参数差异显著。早播使穗长、穗粒数、穗粒重和子粒产量有所增加。除穗粒数外, 濮单12的子粒产量等指标均高于郑单958; 这些性状还受不同年份的影响。喷施过植力源的玉米病株率明显低于清水对照组。由此可见, 玉米要获得高产同时降低镰刀菌和伏马毒素污染, 早播非常重要, 喷施适量植力源可以提高植株的抗性。

关键词: 玉米; 播期; 镰刀菌; 伏马毒素

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Influence of Sowing Dates, Year and Hybrid on *Fusarium* and Fumonisin Contamination of Maize Grains and Major Agronomic Traits

MA Pan-pan¹, HAN Zhan-fu¹, GAO Ling-wei¹, GUO Hong-fu¹, YUE Zhen-guo¹,
LIU Xiao-fan¹, JI She-lin¹, ZHANG Li¹, LI Jing²

(1. Puyang Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Puyang 457000;

2. Puyang Meteorological Service, Puyang 457000, China)

Abstract: To provide foundational information and risk warning for the prevention and control of top rot, stalk rot and ear rot, which are typical diseases of maize in China, the effects of two sowing dates in two consecutive years on post-harvest *Fusarium* and fumonisin contamination of grains and on key agronomic traits of two early and mid-maturity maize hybrids were studied. Field efficacy trials of Zhiliyuan were conducted in the same period. The results showed that the contamination rate of *Fusarium verticillioides* and fumonisin content of the early-sown early-maturing hybrid Zhengdan958 were lower than those of the late-sown medium-maturing hybrid Pudan 12. Yield parameters differed significantly between sowing dates and hybrid treatments. Early sowing increased ear length, grain number per ear, grain weight per ear and grain yield. Except for the number of grains in the ear, the yield of Pudan 12 and its yield components were higher than that of Zhengdan958, and these traits were also affected by the different years. The disease rate of maize plants sprayed with Zhiliyuan was significantly lower than that of the water control group. These findings suggest that early sowing is very important for achieving high yields and reducing *Fusarium* and fumonisin contamination in maize. In addition, moderate spraying of Zhiliyuan can improve the resistance of maize plants.

Key words: Maize; Sowing date; *Fusarium*; Fumonisin

录用日期: 2024-12-11

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2300600)、濮阳市高直链淀粉玉米工程技术研究中心项目(231023)

作者简介: 马盼盼(1987-), 助理研究员, 硕士, 研究方向为玉米和大豆育种及配套技术。E-mail: mppyouxiang@163.com

韩占府为本文共同第一作者。

高岭巍和郭红甫为本文通信作者。

玉米被广泛地应用于食品、饲料和生物燃料的生产等方面,对国民经济的发展具有重要作用^[1]。2023年我国国家统计局最新数据,玉米种植面积占粮食作物总播种面积的37.2%,约为44 218.90千hm²;总产量2 888.42亿kg,约占当年粮食总产的41.5%。玉米病害会降低子粒产量和品质,顶腐病、茎腐病和穗腐病是由镰刀菌引起的常见玉米真菌病害^[2-3]。玉米感染镰刀菌的常见途径是通过空气传播的分生孢子在花丝上成熟,然后通过花丝进入并感染玉米子粒,但出现症状的子粒比例很低,大多没有症状^[4]。玉米子粒同时受到不止一种镰刀菌污染,轮枝镰刀菌是主要种类,它是一种内生菌,可在植物体内长期存活,而且在有症状和无症状的玉米粒中都能被发现^[5]。

镰刀菌会产生多种霉菌毒素(次级代谢物),这些毒素会影响农作物的质量以及人类和动物的健康^[6]。伏马毒素是玉米及其产品中的主要霉菌毒素,于1988年首次从轮枝镰刀菌中分离出来^[7]。伏马毒素可导致动物和人类的急性和慢性疾病,被国际癌症研究机构(IARC)划分到2B组人类致癌物^[8]。另外,他有15种同源物(A、B、C和P),其中以B型伏马毒素(FBs)含量最高。最常见的FBs是伏马毒素B₁(FB₁)、伏马毒素B₂(FB₂)和伏马毒素B₃(FB₃),其中FB₁污染最广、毒性最强^[9]。粮食污染中超过60%的伏马毒素都是FB₁^[10]。

当前预防玉米镰刀菌和伏马毒素污染的主要措施有培育抗性品种、生物控制、加强轮作、增施氮肥以及化学防控等,其中化学农药控制比较直接有效^[11]。相对于猛加力600倍液、50%多菌灵可湿性粉剂和20%噻森铜悬浮剂,植力源600倍液对镰刀菌等真菌引起的玉米顶腐病等病害防治效果最显著^[12]。中量元素水溶肥料“植力源”(Ca≥20.0%、Mn+Cu≤1.0%,质量分数)由具备抗性诱导功能的中量元素钙以及微量元素铜、锰构成,其作用机制在于诱导基础抗性,抵御病原体胁迫,并促进有害代谢产物以及内源或外源生物活性物质的降解,向健株方向调节内源激素的含量及其比值(多向调节),重新优化内源激素系统的比例,平衡作物生长,减缓变态反应,缓解非正常生长,促使作物迅速恢复正常生长^[13-15]。

Vesna Krnjaja等^[16]研究发现,玉米轮枝镰刀菌和FBs污染受播期、年份和玉米杂交种抗性影响,镰刀菌属的发生和流行以及伏马毒素的产生也受到气候条件的影响。Blandino M等^[17]研究发现,在晚播处理尤其是周期较长的玉米杂交种中,轮枝镰

刀菌和禾谷镰孢菌产生的FBs含量明显较高。姚彦坡等研究表明,适时播种和使用相应的抗性玉米杂交种是减少镰刀菌和伏马毒素污染的有效农业措施。关于玉米的产量性状与播期的关系,Djaman K等^[18]研究发现,晚播种会导致玉米产量减少是由于子粒灌浆期和生理成熟期的温度较低。徐田军等^[19]研究发现,适当调整玉米播期可以使其生育期内的气候资源,光照和温度等的分配得到改变,从而影响到光能利用和最后产量。本研究以郑单958和濮单12为试验材料,探究这两个品种在为期两年(2022年和2023年)的生长季节内,两种播期(早播6月8日和晚播6月27日)对其收获后子粒中镰刀菌和伏马毒素污染以及主要农艺性状穗长、穗粒数、穗粒重、千粒重和子粒产量的影响,为选育对以上3种病害更有抵抗力基因型玉米杂交种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

郑单958:夏播种植区平均生育期96 d,抗镰孢穗腐病,高抗镰孢茎腐病,为夏播早熟品种。濮单12:夏播种植区平均生育期102 d,中抗镰孢穗腐病,感镰孢茎腐病,为夏播中熟品种。植力源:濮阳市农林科学院研制、濮阳市农科农化有限公司生产,生产执行标准为NY 2266-2012。

1.2 试验设计与方法

试验采用裂区设计(三因素)^[20]:主区为两个玉米杂交种;裂区为播期,早播6月8日和晚播6月27日;裂裂区为穗期喷施两次植力源600倍液和同时时间喷施等量清水,共计8个处理,每个处理3次重复,共24个小区。每个小区行长6.67 m,行距60 cm,5行区,计产面积为中间3行12 m²。

两年玉米生育期(4-9月)内的气候数据来源于濮阳市气象局。

镰孢菌种的形态学鉴定依据为Leslie & Summerell^[21]和Booth^[22]。

镰刀菌发病率=(受镰刀菌属感染的子粒数量/子粒总数)×100%。

伏马毒素含量测定参照酶联免疫吸附法(SN/T1958-2007)。

成熟期收获中间3行果穗,取每个重复代表性10穗的穗长(EL)、穗粒数(NGE)、穗粒重(GWE)和千粒重(TGW)进行分析,脱粒后使用美国ALMACO测产系统测定重量和含水量,子粒产量(GY)按含水量为14%时的产量计算。

1.3 试验地概况

试验于濮阳市农林科学院试验农场(N 35°4'50"/E 114°57'2",海拔 56 m)进行,前茬作物为小麦。该研究区域位于黄河下游第四纪的过渡性冲积平原,季节变化明显,降水量适中,日照条件良好,热量资源充沛,雨季与热季同步,无霜期较长,且全年无极端恶劣气候现象,有利于玉米等作物生长。

1.4 数据处理与分析

采用WPS软件进行数据处理和作图,利用SPSS软件(IBM SPSS Statistic 20.0)进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 气候分析

由图1可以看出,在玉米生长期(6月至9月),与

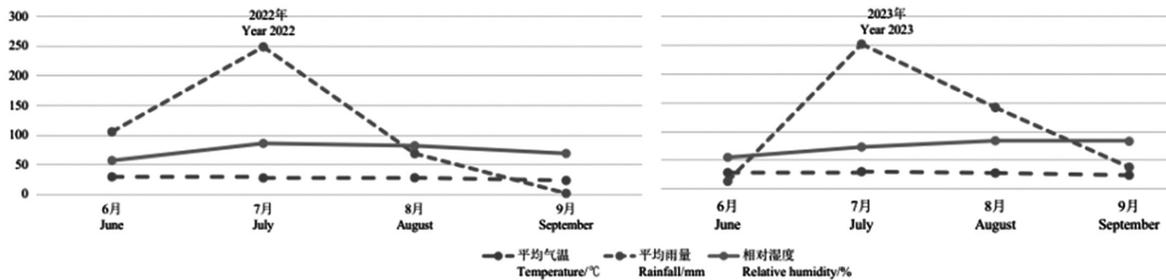


图1 2022-2023年4-9月平均气温、雨量和相对湿度

Fig.1 Mean monthly temperature, rainfall, and relative humidity during the period April - September in 2022 and 2023

2022年(421.2 mm、72.5%和 26.1 °C)相比,2023年的总降雨量(441.4 mm)、月平均相对湿度(72.8%)和月平均气温(26.6 °C)稍高。这两年7月玉米吐丝期的月平均气温分别为 26.6 °C和 29.2 °C,与镰刀菌在玉米中侵染和流行的适宜温度范围 15~28 °C相吻合。2022年8月(26.9 °C)和2023年8月(26.8 °C)持续高温。2022年9月和2023年9月玉米灌浆期和成熟期的平均气温、平均相对湿度和总降雨量分别为

22.3 °C、68%、0.6 mm和 22.9 °C、82%、36.8 mm。

2.2 年份、播期及杂交种对玉米子粒镰刀菌和伏马毒素污染的影响

两年的玉米子粒上都发现了禾谷镰刀菌种群、亚黏团镰孢和轮枝镰刀菌,后两者会产生FBs。轮枝镰刀菌在本研究所有的玉米处理中都普遍存在,禾谷镰刀菌种群和亚黏团镰孢则是零星分离,发生率较低(表1)。

表1 年份、杂交种和播期对轮枝镰刀菌发病率和FBs含量的影响

Table 1 Effects of year, hybrids and sowing time on the incidence of *F. verticillioides* and FBs content

处理 Treatment	轮枝镰刀菌发病率(%) Incidence of <i>F. verticillioides</i>	伏马毒素含量(mg/kg) FBs content
2022年	12.600	3.390
2023年	9.800	3.530
F值	0.202	0.356
郑单958	7.600 b	2.890 b
濮单12	13.600 a	4.040 a
F值	0.265**	0.487**
早播	7.900 b	1.190 b
晚播	13.200 a	5.720 a
F值	0.387**	0.296**
处理间(F值)		
年份×杂交种	0.352	0.432**
年份×播期	0.468	0.506**
杂交种×播期	0.362	0.398**
年份×杂交种×播期	0.218	0.226**
均值	10.800	3.460

注:不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。“**”表示在 $P<0.01$ 水平上极显著相关。下表同。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences at $P<0.05$ level. ** indicated extremely significant correlation at $P<0.01$.

The same below.

杂交种和播期对轮枝镰刀菌发病率和FBs含量影响极显著。晚播使轮枝镰刀菌的发生率和FBs含量显著增加,早熟杂交种郑单958的轮枝镰刀菌发生率和FBs含量比中熟濮单12低。年份×杂交种、年份×播期、杂交种×播期和年份×杂交种×播期相互作用的 F 值对FBs含量影响极显著。

2.3 年份、播期及杂交种对玉米子粒主要农艺性状的影响

研究因素对EL、NGE、GWE、TGW和GY的影响见表2。播期对EL、NGE、GWE和GY的影响具有显

著统计学意义,早播获得的值较高。对EL、NGE、GWE和GY的研究发现,不同杂交种之间差异显著,除穗粒数NGE外,中熟杂交种濮单12的EL、GWE和GY均高于早熟杂交种郑单958。年份对EL、GWE、TGW和GY的影响极显著,2022年值较高。年份×杂交种的相互作用对EL和GWE的影响显著,对NGE影响极显著;年份×播期的相互作用对EL影响显著;杂交种×播期对GWE和GY的影响以及年份×杂交种×播期对EL和GY的影响均为极显著。

表2 年份、杂交种和播期对产量构成性状及子粒产量的影响

Table 2 Effects of year, hybrids and sowing time on the yield component traits and grain yield

处理 Treatment	穗长(cm) Ear length	穗粒数(粒) Grains per ear	穗粒重(g) Grain weight per ear	千粒重(g) 1 000-grain weight	产量(kg/hm ²) Yield
2022年	17.020 a	524.240	200.050 a	397.760 a	12 578.260 a
2023年	15.060 b	521.680	116.980 b	276.850 b	8 622.220 b
F 值	0.563**	0.498	1.218**	1.687**	3.222**
郑单958	15.950 b	525.050 b	138.990 b	289.450	9 079.950 b
濮单12	16.550 a	522.560 a	174.820 a	337.650	11 157.330 a
F 值	0.512**	0.986**	1.132**	1.986	2.987**
早播	16.980 a	545.360 a	165.860 a	332.280	11 997.020 a
晚播	15.860 b	526.250 b	142.320 b	314.690	9 032.650 b
F 值	0.496**	0.879*	1.216**	1.532	3.012**
处理间(F 值)					
年份×杂交种	0.486*	0.698**	1.032*	0.332	0.362
年份×播期	0.543*	0.215	0.419	0.306	0.297
杂交种×播期	1.214	1.512	1.546**	0.983	2.685**
年份×杂交种×播期	1.126**	1.023	0.798	1.105	3.069**
均值	16.240	527.520	156.500	324.780	10 411.240

注:“*、**”分别表示在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 水平上显著和极显著相关。

Note: * and ** indicated extremely significant correlation at the $P<0.05$ and $P<0.01$ level, respectively.

2.4 植力源防治效果分析

从田间试验结果可以看出(表3),喷施植力源后,郑单958和濮单12的顶腐病、茎腐病及穗腐病的

病株率都明显低于对照。在玉米穗期的大喇叭口期和吐丝期喷施特定浓度的植力源,能够显著降低以上3种病害发生的严重程度。

表3 植力源对玉米顶腐病、茎腐病及穗腐病的防治效果

Table 3 Effects of Zhiliyuan on controlling top/stalk/ear rot on maize

%

品种 Variety	处理 Treatment	病株率 Disease plant rate					
		2022年			2023年		
		顶腐病 Top rot	茎腐病 Stalk rot	穗腐病 Ear rot	顶腐病 Top rot	茎腐病 Stalk rot	穗腐病 Ear rot
郑单958	清水对照(CK)	5.25	4.90	0.90	5.15	2.10	1.30
	植力源	3.05	2.60	0.00	2.36	0.20	0.10
濮单12	清水对照(CK)	4.62	10.00	1.90	3.89	12.00	2.00
	植力源	2.36	6.00	0.20	1.96	9.60	0.80

3 结论与讨论

3.1 年份、播期及杂交种对玉米子粒镰刀菌和伏马毒素污染的影响

我国玉米穗腐病的主要病原菌有拟轮枝镰孢菌和禾谷镰孢菌,此外,还可能涉及其他镰孢菌种类^[23]。本研究也发现,引起这两年玉米顶腐病、茎腐病和穗腐病的主要镰刀菌为轮枝镰刀菌(*F. verticillium*)和亚黏团镰孢(*F. subglutinans*),这两种菌是B型伏马毒素的潜在生产者,前者为主要菌种^[24]。

由镰刀菌引起的玉米穗腐病等病害通常发生在干旱年份,并且在玉米灌浆阶段,高温干燥的天气有利于镰刀菌疫病的流行^[25]。与抗性杂交种相比,在所有播期处理中,易感杂交种玉米子粒的轮枝镰刀菌和FBs污染程度更高,这些污染参数在早播时低于晚播。不同玉米品种对穗腐病的抵抗力也有差异。相关研究指出,不同品种的玉米在接种同一种镰刀菌后,其穗腐病的发生程度亦呈现出多样性^[26]。播期和玉米杂交程度对轮枝镰刀菌的发生率和FBs含量有显著影响,早播处理试验组中具有显病症状的玉米粒百分比和FBs含量均低于晚播处理,早熟抗性杂交种郑单958轮枝镰刀菌的发生率和FBs含量也都显著低于中熟濮单12。但没有观察到显著的年份效应,这可能与2022年7月(248.2 mm和26.6℃)和2023年7月(251.4 mm和29.2℃)即玉米吐丝期的总降雨量和平均气温值大致相同有关。

3.2 年份、播期及杂交种对玉米子粒主要农艺性状的影响

玉米早播,可以增大群体光能利用率,促进产量形成^[27]。播期推迟则会使有效积温不足,进而导致整个玉米生育期延迟性障碍^[28],吐丝后干物质积累量降低^[29],最终产量下降。除穗粒数外,中熟杂交种濮单12的子粒产量及其产量组成性状均高于早熟杂交种郑单958。这些性状还受不同年份的影响。2023年值较低,这可能与9月玉米灌浆期总降雨量比2022年偏多有关。早播处理分别是晚播的1.1倍(EL)、1.0倍(NGE)、1.2倍(GWE)和1.1倍(TGW)和1.3倍(GY)。

3.3 植力源防治效果分析

一定浓度的植力源,能够激活玉米的抗性机制,显著增强其对病虫害和环境压力的适应能力,进而实现其对顶腐病的有效遏制与延缓^[30]。本研究的田间试验中,在玉米喇叭口期和吐丝期各喷施一次植力源,3种病害的病株率显著降低。

早播可明显减少玉米中的轮枝镰刀菌和FBs污

染,并显著提高产量参数EL、NGE、GWE和GY。结果表明,提早播种对于降低伏马毒素污染和产生伏马毒素的镰刀菌属类的风险以及在玉米生产中实现高产非常重要。鉴于本研究晚播处理的玉米子粒中FBs水平非常高,拟轮枝镰孢发生率相对较高,相关的产量参数却较低。因此,在进行田间试验的地区,建议玉米种植者避免晚播。同时,也不建议中晚熟杂交种晚播。一般来说,提早播种的玉米子粒品质和产量更好更高。此外,植力源具备提升植株抗逆性能的功效,玉米大田生产中建议在大喇叭口期和吐丝期分别喷施一次植力源,推荐用药量为600倍液。

参考文献:

- [1] 齐世军. 玉米专业研究所发展实践与思考[J]. 农业科技管理, 2020, 39(3): 4.
- [2] QI S J. Practice and consideration on development of research institute focused on maize sciences[J]. Management of Agricultural Science and Technology, 2020, 39(3): 4. (in Chinese)
- [3] 孙华, 郭宁, 郑晓娟, 等. 玉米穗腐病病原菌新种镰孢的鉴定及其生物学特性分析[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(2): 145-151.
- [4] SUN H, GUO N, ZHENG X J, et al. Identification and biological characteristics analysis of *Fusarium andiyazi* causing maize ear rot [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2022, 24(2): 145-151. (in Chinese)
- [5] 孙华, 张海剑, 郭宁, 等. 黄淮海夏玉米主产区穗腐病病原菌的分离鉴定[J]. 植物保护学报, 2017, 44(5): 796-802.
- [6] SUN H, ZHANG H J, GUO N, et al. Isolation and identification of pathogens causing maize ear rot in Huang-Huai-Hai summer corn region[J]. Journal of Plant Protection, 2017, 44(5): 796-802. (in Chinese)
- [7] BLANDINO M, SALADINI M A, REYNERI A, et al. The influence of sowing date and insecticide treatments on *Ostrinia nubilalis* (Hübner) damage and fumonisin contamination in maize kernels[J]. Maydica, 2008, 53(1): 199-206.
- [8] FANDOHAN P, HELL K, MARASAS W F O, et al. Infection of maize by *Fusarium* species and contamination with fumonisin in Africa[J]. Afr. J. Biotechnol, 2003, 2: 570-579.
- [9] 朱晓慧, 陆启荣, 胡嗣祎, 等. 单端孢霉烯族毒素生物脱毒技术研究进展[J]. 动物医学进展, 2021, 42(5): 108-113.
- [10] ZHU X H, LU Q R, HU S W, et al. Progress on bio-detoxification technology of trichothecenes progress in veterinary medicine[J]. Progress in Veterinary Medicine, 2021, 42(5): 108-113. (in Chinese)
- [11] MILLER J D. Mycotoxins in small grains and maize: Old problems, new challenges[J]. Food Addit. Contam., 2008, 25: 219-230.
- [12] CARVAJAL-MORENO M. Mycotoxin challenges in maize production and possible control methods in the 21st century[J]. J. Cereal Sci., 2022, 103: 103293.
- [13] KAMLE M, MAHATO D K, DEVI S, et al. Fumonisin: Impact on agriculture, food, and human health and their management strategies [J]. Toxins, 2019, 11: 328.

- [10] 黄文文. 玉米中禾谷镰刀菌复合群产毒特性与致病力的相关性研究[D]. 江苏:江苏大学, 2021.
- [11] 姚彦坡, 朱永官, 褚海燕. 防控玉米穗腐病日益紧迫[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(11): 2383–2385.
YAO Y P, ZHU Y G, CHU H Y. Address the growing urgency of ear rot in maize[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2023, 42(11): 2383–2385. (in Chinese)
- [12] 高洪泽, 兽永前, 董红民, 等. 玉米顶腐病药害诱发与防治[J]. 农业科技通讯, 2019(2): 157–158, 161.
GAO H Z, SHOU Y Q, DONG H M, et al. Induction and prevention of drug damage to corn top rot disease[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2019(2): 157–158, 161. (in Chinese)
- [13] 朱晓明. 烟草莠去津和硝磺草酮药害缓解措施研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [14] 程 星. 中量元素水溶肥“植力源”对小麦生长特性和产量的影响[J]. 上海农业科技, 2024(4): 100–102.
CHENG X. Effects of the water-soluble fertilizer “Zhiliyuan” on the growth characteristics and yield of wheat[J]. Shanghai Agriculture and Technology, 2024(4): 100–102. (in Chinese)
- [15] 高洪泽, 郭红甫, 聂红民, 等. 农肥植力源对花生主要性状及产量的影响[J]. 辽宁农业科学, 2023(2): 48–51.
GAO H Z, GUO H F, NIE H M, et al. Effects of fertilizer and plant power sources on main characters and yield of peanut[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2023(2): 48–51. (in Chinese)
- [16] VESNA K, VIOLETA M, ZORICA B, et al. Influence of sowing time on *fusarium* and fumonisin contamination of maize grains and yield component traits[J]. Agriculture, 2022, 12: 1042.
- [17] BLANDINO M, SCARPINO V, GIORDANO D, et al. Impact of sowing time, hybrid and environmental conditions on the contamination of maize by emerging mycotoxins and fungal metabolites[J]. Ital. J. Agron. 2017, 12: 3–11.
- [18] DJAMAN K, ALLEN S, DJAMAN D S, et al. Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency [J]. Environ. Chall., 2022, 6: 100417.
- [19] 徐田军, 吕天放, 赵久然, 等. 玉米子粒灌浆特性对播期的响应[J]. 应用生态学报, 2016, 27(8): 2513–2519.
XU T J, LÜ T F, ZHAO J R, et al. Response of grain filling characteristics of maize to sowing date[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(8): 2513–2519. (in Chinese)
- [20] 屈 洋, 马 雯, 刘晓婷, 等. 行距、覆反光膜和氮肥对高粱产量和品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2024, 42(6): 1–10.
QU Y, MA W, LIU X T, et al. Effects of row spacing, effective film mulching and nitrogen fertilizer on sorghum yield and quality[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2024, 42(6): 1–10. (in Chinese)
- [21] LESLIE J F, SUMMERELL B A. The *Fusarium* laboratory manual [M]. Iowa, USA: Blackwell Publishing Professional, 2006.
- [22] BOOTH C. The genus *Fusarium*[M]. Kew, Surrey, UK: Commonwealth Mycological Institute, 1971.
- [23] 秦子惠, 任 旭, 江 凯, 等. 我国玉米穗腐病致病镰孢种群及禾谷镰孢复合种的鉴定[J]. 植物保护学报, 2014, 41(5): 589–596.
QIN Z H, REN X, JIANG K, et al. Identification of *Fusarium* species and *F.graminearum* species complex causing maize ear rot in China[J]. Acta Phytopythologica Sinica, 2014, 41(5): 589–596. (in Chinese)
- [24] WANG J H, NDOYE M, ZHANG J B, et al. Population structure and genetic diversity of the *Fusarium graminearum* species complex[J]. Toxins(Basel), 2011, 3(8): 1020–1037.
- [25] PARSONS M W, MUNKVOLD G P. Associations of planting date, drought stress, and insects with *Fusarium* ear rot and fumonisin B₁ contamination in California maize[J]. Food Addit. Contam., 2010, 27: 591–607.
- [26] 姜 妍, 刘延兴, 李人杰, 等. 密度、施肥、种植方式及杀虫剂处理对玉米穗腐病及伏马毒素污染的影响[J]. 植物保护学报, 2019, 46(3): 693–698.
JIANG Y, LIU Y X, LI R J, et al. The influences of planting density, fertilizer level, tillage method and insecticide on maize ear rot and contamination of fumonisins[J]. Journal of Plant Protection, 2019, 46(3): 693–698. (in Chinese)
- [27] 马国胜, 薛吉全, 路海东, 等. 播种时期与密度对关中灌区夏玉米群体生理指标的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1247–1253.
MA G S, XUE J Q, LU H D, et al. Effects of planting date and density on population physiological indices of summer corn (*Zea mays* L.) in central Shanxi irrigation area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(6): 1247–1253. (in Chinese)
- [28] 杜桂娟, 曹敏建, 马凤江, 等. 播期对下茬青贮玉米物质生产特性的影响及气象条件分析[J]. 作物杂志, 2009(2): 36–40.
DU G J, CAO M J, MA F J, et al. Influence of sowing date on production characteristics of silage corn for the after crop and analysis of meteorological conditions[J]. Crops, 2009(2): 36–40. (in Chinese)
- [29] 豆 攀, 李孝东, 孔凡磊, 等. 播期对川中丘区玉米干物质积累与产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(2): 221–229.
DOU P, LI X D, KONG F L, et al. Effects of sowing date on dry matter accumulation and yield of maize in hilly regions of Sichuan province[J]. China Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(2): 221–229. (in Chinese)
- [30] 高洪泽, 孙刚强, 郭 慧, 等. 玉米顶腐病药剂防治试验研究[J]. 农业科技通讯, 2018(12): 47–48.
GAO H Z, SUN G Q, GUO H, et al. Research on the control of corn top rot disease by chemical fungicides[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2018(12): 47–48. (in Chinese)

(责任编辑: 栾天宇)