

引用格式:

李民华, 易永, 黄晚华, 黄安凤, 刘思华. 玉米灌浆中后期倒伏风灾指标及对产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(1): 9-16.

LI M H, YI Y, HUANG W H, HUANG A F, LIU S H. The lodging index of wind disaster in the middle and late grouting stages of maize and the effects on grain yield[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(1): 9-16.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 玉米灌浆中后期倒伏风灾指标及对产量的影响

李民华<sup>1,2</sup>, 易永<sup>1,2</sup>, 黄晚华<sup>2,3\*</sup>, 黄安凤<sup>1,2</sup>, 刘思华<sup>2,3</sup>

(1. 怀化市农业气象试验站, 湖南 怀化 418000; 2. 气象防灾减灾湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410118; 3. 湖南省气象科学研究所, 湖南 长沙 410118)

**摘要:** 为探讨风灾倒伏对春玉米产量的影响, 基于 2017—2019 年在湖南中方县不同海拔高度上的春玉米分期播种试验, 围绕 14 次 5 级风力, 特别是 7 次最大风速 12.0 m/s 的强对流天气过程开展玉米风灾倒伏调查, 结合 2018 年开展的玉米风灾倒伏模拟试验, 分析玉米灌浆中后期风灾倒伏的临界风灾指标及其对春玉米产量的影响。结果表明: 风速是造成玉米倒伏的关键外部因子, 中单 808、先玉 1171 倒伏风灾指标大约在 13.0~14.0 m/s 之间, 品种间略有差异; 穗位低、抗弯折力较强是先玉 1171 抗倒伏能力较强的主要原因; 同一品种在一定范围内随植株高度、穗位的增高, 风灾指标稍有下降; 玉米灌浆中后期倒伏对产量的影响, 以百粒质量下降为主; 倒伏距成熟期时间越长、离吐丝越近, 百粒质量和产量损失越大。先玉 1171、中单 808 在成熟前 14 d 之内发生茎弯折倒伏, 产量损失不显著; 在距成熟约 25、33 d 发生茎弯折倒伏, 产量损失可分别达 10%、20% 以上。

**关键词:** 春玉米; 倒伏; 风灾指标; 产量

中图分类号: S513; S424

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2021)01-0009-08

## The lodging index of wind disaster in the middle and late grouting stages of maize and the effects on grain yield

LI Minghua<sup>1,2</sup>, YI Yong<sup>1,2</sup>, HUANG Wanhua<sup>2,3\*</sup>, HUANG Anfeng<sup>1,2</sup>, LIU Sihua<sup>2,3</sup>

(1. Huaihua Agrometeorological Experimental Station, Huaihua, Hunan 418000, China; 2. Key Laboratory of Hunan Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Changsha, Hunan 410118, China; 3. Hunan Institute of Meteorological Sciences, Changsha, Hunan 410118, China)

**Abstract:** To investigate the effect of wind disaster lodging on spring maize yield and the index of wind disaster, the data was collected from the stage seeding experiment of maize in different altitudes in Zhongfang County from 2017 to 2019. The experiments suffered 14 gale process above level 5 especially 7 severe convection weather process that the maximum wind speed was above 12.0 m/s. The results were together analyzed with the wind disaster lodging simulation experiment conducted in 2018. We can conclude that wind speed was the key external factor for maize lodging, the index of wind disaster lodging of Zhongdan 808 and Xianyu 1171 were about 13.0-14.0 m/s, varieties vary slightly; lower ear height, better elasticity of the stem, and more strong bending resistance were the main reason for the strong lodging resistance of Xianyu 1171; with the increase of plant height and ear height, the index of wind disaster decreased slightly. The effect of lodging on yield in the middle and late grouting was mainly manifested in the decrease of 100-grain weight, the time from lodging to mature was longer, the loss of yield and 100-grain weight was greater. Xianyu 1171 and zhongdan 808 had no significant yield loss due to stem bending and lodging within 14 days before maturity, but lodging

收稿日期: 2019-11-27

修回日期: 2020-02-01

基金项目: 科技部“十三五”重点研发计划(2016YFD0300101-05)

作者简介: 李民华(1964—), 男, 湖南邵东县人, 高级工程师, 主要从事农业气象工作, 895485094@qq.com; \*通信作者, 黄晚华, 硕士, 正研级高级工程师, 主要从事农业气象资源利用及气象防灾减灾工作, huangwh2008@163.com

occured 25 days and 33 days before maturity, yield loss was more than 10% and 20% respectively.

**Keywords:** spring maize; lodging; the index of wind disaster; yield

风灾倒伏是玉米生产过程的不利因子之一。茎秆性状(穗位高、株高、茎粗、茎秆强度等)<sup>[1-3]</sup>、栽培措施(肥料、密度、栽培方式等)<sup>[4-6]</sup>、病虫害<sup>[7]</sup>等均与玉米倒伏密切相关。倒伏造成玉米减产主要是引起穗粒数减少和百粒质量下降<sup>[8-10]</sup>,其中,茎倒对玉米产量的损失大于根倒<sup>[11]</sup>。倒伏对玉米品质的影响,以对粗蛋白、粗脂肪的影响较大,对淀粉含量影响较小<sup>[12]</sup>。玉米是湖南第一大旱粮作物,以春玉米为主,一般3月中旬至4月上旬播种,6月中下旬抽雄,8月收获<sup>[13]</sup>。生育中后期时有暴雨、大风及局地强对流天气发生,造成玉米倒伏减产。

笔者于2017—2019年在湖南中方县泸阳镇开展了春玉米分期播种试验,旨在研究玉米灌浆至成熟期间5级以上风力<sup>[14]</sup>对玉米倒伏的影响;总结分析不同品种、不同播期玉米倒伏程度与最大风速、植株高度、穗位高的关系;结合风灾倒伏人工模拟试验,研究不同时期倒伏对玉米产量损失的影响,建立产量损失率与倒伏时期的定量关系模型,旨在为玉米生产减灾防灾提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况

玉米分期播种试验在湖南省中方县泸阳镇3个海拔高度(250、500、730 m)进行。2017—2019年连续3年于海拔250 m处设4个播期,在3月上旬至4月中旬播种,每个播期间隔10 d左右。每播期每品种设4次重复(其中1个重复用于试验生物量测定取样)。统一基质育苗。采用起垄宽窄行定向栽培,垄长5.8 m,垄宽与沟宽之和为1.25 m,每垄栽2行,每行18株,窄行间距0.4 m,宽行间距0.85 m。每株第一片叶统一朝向垄外侧。每个重复小区栽12垄,共432株,栽培密度为49 500株/hm<sup>2</sup>。总施肥量为:N, 270 kg/hm<sup>2</sup>; P, 90 kg/hm<sup>2</sup>; K, 180 kg/hm<sup>2</sup>。以基肥、大喇叭口期肥为主,其氮肥所占比例分别为总氮施肥量的50%、45%;拔节期对生长不平衡的小植株偏施肥。各生育期不受病虫害和干旱等胁迫影响。

2018、2019年还在海拔高度500、730 m处开展了分期播种试验,均设4个播期,每播期每品种设4次重复;在海拔高度250 m处育苗后移栽至大田。试验品种均为中单808和先玉1171。

### 1.2 观测内容和方法

试验期间,在海拔高度250、730 m处分别安装VP2 6162B 农田小气候监测站,每30 min传输1次农田小气候数据,按《农业气象观测规范》记录风速、风向及气温、相对湿度、辐射量、降水量等气候要素,风杆高度为3.5 m;观测记录玉米发育期、植株高度、穗位高、生物量、产量等生物要素;开展自然风灾倒伏调查。

1) 倒伏株率( $D$ )。各试验小区连续调查100株,每播期每品种共调查400株。按每播期品种统计总株数( $N$ )、倒伏株数( $N_i$ ),计算倒伏株率。

2) 产量损失。玉米成熟时,每小区取倒伏、未倒伏代表性植株各20株,按《农业气象观测规范》测量穗长、穗粗、秃尖长、穗粒数、棒总质量、棒籽粒质量、百粒质量。

### 1.3 人工模拟倒伏试验

于2018年7月10日在海拔250 m试验地,模拟2017年7月29日自然倒伏情景,对4个播期2个品种3个重复进行人工玉米茎折弯试验,各小区玉米折弯50株,每个品种每播期折弯150株。折弯方法为:以一只手作支点,另一只手用力使玉米节或节间弯折;茎弯折节位为玉米地上部3~6节,为非完全折断,折断后茎表皮、表皮内机械组织、基本组织保持连接。

### 1.4 数据处理

1) 产量损失率( $R$ )。 $R=(Y_0 - Y_1)/Y_0 \times 100\%$ 。

式中: $R$ 为倒伏株产量损失率; $Y_0$ 为未倒伏株平均产量; $Y_1$ 为倒伏株平均产量。

2) 产量损失显著性检验。采用 $t$ 检验法,通过Excel 2007完成。

3) 模型的建立。采用逐步回归、残差回归等方法,运用SPSS完成建模。

## 2 结果与分析

### 2.1 影响玉米倒伏株率的关键因子分析

#### 2.1.1 风速对玉米倒伏株率的影响

对玉米灌浆腊熟期间发生的5级以上风力,特别是最大风速 12.0 m/s的强对流天气过程进行调查。从表1可以看出,当最大风速<13.00 m/s时,中单808与先玉1171均无倒伏发生。当最大风速为13.0 m/s,中单808有少量植株倒伏,先玉1171无倒伏发生;当最大风速为14.8 m/s,中单808倒伏株率为35%~70%,先玉1171倒伏株率在0~20%;当最大风速达到20.0 m/s时,中单808、先玉1171倒伏株率均达80%以上,两品种间倒伏程度差异较小。可见,

风速是引起玉米倒伏的关键外部因子。

#### 2.1.2 播期与植株高度及穗位高对玉米倒伏株率的影响

从表1可以看出,2017年7月29日的风灾,中单808、先玉1171均以第II、III播期倒伏株率较高,第I播期的次之,第IV播期的倒伏株率最低,其中,先玉1171第IV播期无倒伏发生。2018年7月26日发生风灾,中单808第III播期和第IV播期有植株倒伏,第II播期无倒伏发生。分析其原因,发现倒伏株率主要与植株高度、穗位高相关,与播期迟早相关性不大,同一天气过程、同一品种不同播期玉米倒伏株率随植株高度、穗位高度升高略有加重趋势。

表 1 先玉 1171 与中单 808 的植株性状与风灾倒伏株率

Table 1 Plant characters and wind disaster lodging rate of Xianyu 1171 and Zhongdan 808

品种	年份	海拔高度/m	风灾发生日期(月-日)	播期	株高/cm	穗位高/cm	茎粗/cm	风速/(m·s <sup>-1</sup> )	倒伏株率/%
中单 808	2017	250	07-29	I	300	140	2.90	14.8	45
				II	314	146	2.78	14.8	70
				III	313	143	2.65	14.8	65
				IV	290	127	2.70	14.8	35
	2018	730	07-26	II	275	104	2.70	13.0	0
				III	289	109	2.61	13.0	6
				IV	300	119	2.80	13.0	11
				IV	300	119	2.80	12.6	0
				IV	294	114	2.80	20.0	85
				IV	283	114	2.39	12.5	0
先玉 1171	2017	250	07-29	I	325	109	2.57	14.8	10
				II	334	115	2.39	14.8	20
				III	331	113	2.43	14.8	15
				IV	307	94	2.33	14.8	0
	2018	730	07-26	II	288	86	2.39	13.0	0
				III	325	89	2.50	13.0	0
				IV	330	99	2.44	13.0	0
				IV	330	99	2.44	12.6	0
2018	730	08-09	IV	320	93	2.44	20.0	80	
2019	08-01	IV	297	82	2.00	12.5	0		
2019	08-13	IV	297	82	2.00	12.9	0		
2019	08-23	IV	297	82	2.00	12.5	0		

表中所列数据为玉米灌浆腊熟期间发生的7次最大风速 12.0 m/s的情况。

### 2.2 不同品种间玉米倒伏株率的比较

2017年7月29日,先玉1171与中单808 4个播期的平均倒伏株率分别为(11.25±8.54)%、(53.75±16.52)%,先玉1171较中单808平均低42.5%;2018

年7月26日,先玉1171各播期无倒伏发生,中单808倒伏株率最高达11%。可见,先玉1171抗倒伏能力相对较强,倒伏株率较低。

对2个品种的植株性状进行比较,发现先玉

1171较中单808穗位低18~33 cm；先玉1171植株高度较中单808高13~36 cm；先玉1171茎粗较中单808小0.07~0.39 cm。根据力矩原理，穗位低，植株重心低，在相同风力条件下基部茎秆受弯折力较小，抗弯折能力较强。2018年，用YYD-1茎秆强度测定仪测量了先玉1171、中单808第II播期(成熟前0~1 d)、第III播期(成熟前4~5 d)、第IV播期(成熟前13~14 d)地上部茎基部第3节间的抗弯折力，每个重复取代表性植株3株。结果显示，先玉1171较中单808各播期抗弯折力大，幅度为28.3~81.3 N。可见，重心低、抗弯折力强是先玉1171抗倒伏能力强于中单808的主要原因。

### 2.3 玉米倒伏风灾指标分析

根据7次最大风速 12.0 m/s强对流天气下不同播期玉米的倒伏株率，建立关系模型，如图1。中单808的倒伏株率与最大风速的关系式： $y = -2.5262x^2 + 94.217x - 788.5, R^2 = 0.909, f = 44.957, P = 0.000$ ；先玉1171的倒伏株率与最大风速的关系为 $y = 1.0819x^2 - 24.381x + 134.9, R^2 = 0.961, f = 113.22, P = 0.000$ 。根据公式推算，在12.0~20.0 m/s，玉米倒伏株率与最大风速存在显著正相关趋势。若以倒伏株率为10%作为玉米倒伏受害指标，运用以上公式计算得出中单808、先玉1171的受害风速指标分别为13.0、13.9 m/s。结合不同播期玉米倒伏的实况资料分析，在玉米正常生长条件下，中单808、先玉1171倒伏风速指标为13.0~14.0 m/s。

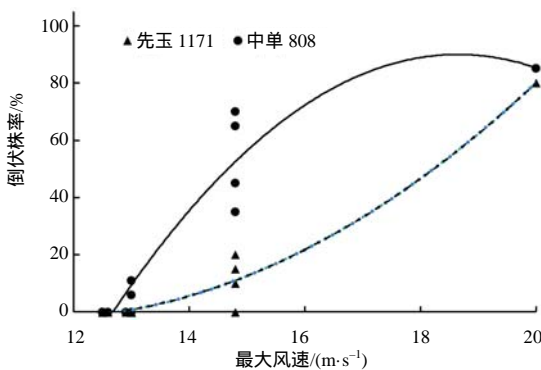


图 1 玉米倒伏株率与最大风速的关系

Fig.1 The relation between maize lodging rate and maximum wind speed

利用图1曲线公式生成的倒伏株率风速模拟残差( $y_e = y - y_i$ ,  $y$ 为倒伏株率实测值,  $y_i$ 为倒伏株率模拟值)进行分析,建立模拟残差值与玉米植株高度的关

系,结果如图2所示。本研究中,中单808植株高度为275~314 cm,先玉1171植株高度为288~334 cm,中单808与先玉1171倒伏株率风速的模拟残差值与植株高度呈抛物线曲线关系,关系式分别为 $y = 0.0247x^2 - 14.108x + 2011.5, R^2 = 0.4956, f = 4.421, P = 0.046$ 和 $y = 0.0172x^2 - 10.623x + 1637.2, R^2 = 0.5055, f = 4.50, P = 0.042$ 。从此公式推得,中单808、先玉1171植株高度分别为286、309 cm时,达到模拟曲线顶点,之后随着植株高度增加,玉米倒伏株率的模拟残差值增加,说明随玉米植株高度升高,其倒伏风灾指标有所降低。

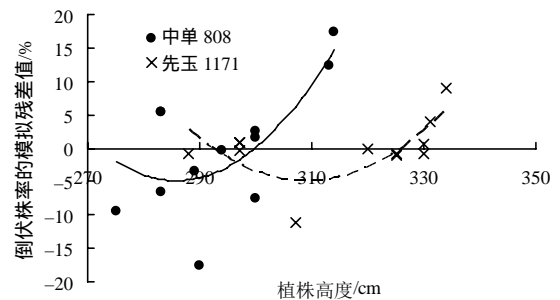


图 2 玉米倒伏株率的模拟残差值与植株高度的关系

Fig.2 The relationship between simulated residuals of lodging rate and plant height of maize

### 2.4 倒伏对不同播期玉米产量要素的影响

本试验中,2018年8月9日玉米倒伏时已接近成熟,2018年7月26日玉米倒伏植株数较少;因此,倒伏对玉米产量要素的影响的研究主要基于2017年7月29日的自然风灾倒伏和2018年7月10日人工倒伏模拟试验资料。2017年7月29日倒伏时,中单808第I期、第II期、III期、IV期分别处在吐丝后47、41、34、27 d,即成熟前5、10、17、24 d;先玉1171第I期、第II期、III期、IV期分别处在吐丝后47、42、36、27 d,成熟前5、10、17、24 d。2018年7月10日人工模拟倒伏处理时,中单808第I期、第II期、III期、IV期分别在吐丝后42、37、32、22 d,成熟前14、17、21、32 d;先玉1171第I期、第II期、III期、IV期分别处在吐丝后42、37、32、21 d,成熟前14、17、21、32 d。

#### 2.4.1 倒伏对穗粒数的影响

从表2可以看出,2017年7月29日自然风灾时,先玉1171第I~III期倒伏株穗粒数损失率在3.30%之内,中单808第I~IV期倒伏株穗粒数损失

率在 3.98% 之内,均未达显著水平。2018 年 7 月 10 日的人工模拟倒伏试验,第 I 期、第 II 期、第 III 期倒伏株与未倒伏株穗粒数无显著差异;第 IV 播期的先玉 1171、中单 808 的倒伏株较未倒伏株平均穗粒数分别减少 50.47、45.83 粒,损失率分别为 7.70%、7.50%,差异显著。说明自然风灾倒伏和人工茎弯

折试验,对玉米穗粒数的影响趋势相似,当倒伏发生在距吐丝 27 d 之后,倒伏对玉米穗粒数无显著影响;随倒伏时期提早,对穗粒数的影响增加;倒伏发生距成熟 32 d 之前,即距吐丝 22 d 之内时,对穗粒数的影响达显著水平。

表 2 不同播期 2 个供试玉米品种的穗粒数及损失率

Table 2 Spikelets per panicle and loss rate of two maize varieties at different sowing dates

品种	播期	穗粒数		损失率/%	品种	播期	穗粒数		损失率/%
		倒伏株	未倒伏株				倒伏株	未倒伏株	
先玉 1171	2017-	712.10±13.60	720.00±6.56	1.09	中单 808	2017-	628.43±10.92	634.08±13.55	0.89
	2017-	665.39±17.63	660.80±9.80	-0.69		2017-	574.00±6.04	587.51±16.80	1.41
	2017-	632.20±16.50	651.80±18.32	3.30		2017-	568.05±11.88	581.42±17.86	2.30
	2017-					2017-	579.49±22.27	603.50±22.08	3.98
	2018-	706.67±12.60	714.09±17.09	1.04		2018-	644.13±18.5	637.62±6.59	-1.01
	2018-	707.88±15.80	703.39±8.87	-0.64		2018-	625.00±11.30	623.38±24.79	-0.26
	2018-	705.00±18.90	715.64±6.74	1.49		2018-	621.99±18.60	631.43±19.71	1.50
	2018-	(604.60±7.90)*	655.07±12.78	7.70		2018-	(565.24±14.73)*	611.07±21.84	7.50

“\*”示同一品种、同一年份、同一播期倒伏与未倒伏植株穗粒数在 0.05 水平差异显著。表中穗粒数负损失率系考种取样株间的正常波动。

#### 2.4.2 倒伏对百粒质量的影响

从表 3 可以看出,2017 年第 I 播期、第 II 播期和 2018 年第 I 播期,两品种倒伏发生在成熟前 14 d 内,百粒质量损失率在 3% 以内, $t$  检验不显著。2017 年第 III 播期、2018 年第 II 播期,两品种在成熟前 17 d 发生倒伏,百粒质量损失率均在 4.0% 左右, $t$

检验在 0.05 显著水平的临界期上下波动。随倒伏时期提早,百粒质量损失率加大,2018 年第 III、第 IV 播期在成熟前 21~32 d 发生倒伏,先玉 1171、中单 808 百粒质量损失率分别为 8.16%~12.23% 和 5.30%~8.70%, $t$  检验显著。

表 3 不同播期 2 个供试玉米品种的百粒质量

Table 3 100-seed weight of two maize varieties at different sowing dates

品种	播期	百粒质量/g		损失率/%	品种	播期	百粒质量/g		损失率/%
		倒伏株	未倒伏株				倒伏株	未倒伏株	
先玉 1171	2017-	34.60±0.26	35.00±0.38	1.14	中单 808	2017-	38.94±0.85	39.53±0.32	1.49
	2017-	34.00±0.45	34.75±0.32	2.16		2017-	37.11±0.56	38.26±0.76	3.00
	2017-	(33.2±0.42)*	34.70±0.48	4.32		2017-	(34.65±0.60)*	36.32±0.44	4.60
	2017-					2017-	(32.12±0.14)*	33.78±0.45	4.92
	2018-	33.34±0.45	33.55±0.99	0.63		2018-	40.17±0.56	40.37±0.42	0.50
	2018-	31.70±0.45	33.00±0.98	3.95		2018-	(37.98±0.15)*	39.36±0.43	3.50
	2018-	(28.37±0.56)*	30.89±0.43	8.16		2018-	(35.80±0.66)*	37.82±0.79	5.30
	2018-	(27.06±0.78)*	30.83±0.29	12.23		2018-	(34.82±0.56)*	38.14±0.74	8.70

“\*”示同一品种、同一年份、同一播期倒伏与未倒伏植株百粒质量在 0.05 水平差异显著。

#### 2.4.3 倒伏对植株籽粒产量的影响

从表 4 可以看出,2017 年第 I、II 播期和 2018 年第 I 播期,倒伏发生在成熟前 14 d 之内,2 个品种植株籽粒产量损失率在 4% 以内, $t$  检验不显著。随着倒伏提早,植株籽粒损失率增加,2018 年第 II

播期,2 个品种在成熟前 17 d 发生倒伏,籽粒产量损失率在  $t$  检验临界值上下波动。2017 年和 2018 年的第 III、IV 播期,先玉 1171、中单 808 倒伏造成的植株籽粒产量损失率分别为 7.40%~19.63% 和 6.86%~17.24%, $t$  检验达显著水平。

表 4 不同播期 2 个供试玉米品种的籽粒产量

品种	播期	籽粒产量/(g m <sup>-2</sup> )		损失率/%	品种	播期	籽粒产量/(g m <sup>-2</sup> )		损失率/%
		倒伏株	未倒伏株				倒伏株	未倒伏株	
先玉 1171	2017-	1085.95±26.89	1104.54±18.55	1.68	中单 808	2017-	1136.40±16.44	1158.10±33.91	1.87
	2017-	979.8±25.5	1014.35±18.00	3.41		2017-	950.00±46.20	986.4±45.31	3.69
	2017-	(903.00±11.00)*	975.15±35.04	7.40		2017-	(874.12±23.77)*	938.50±15.52	6.86
	2017-					2017-	(860.10±20.22)*	941.54±20.80	8.65
	2018-	1090.20±16.00	1113.40±26.60	1.12		2018-	1097.23±25.90	1099.87±20.66	0.24
	2018-	1050.00±16.40	1083.93±17.60	3.13		2018-	1053.60±18.50	1097.5±27.90	4.00
	2018-	(914.90±15.20)*	1000.10±26.40	8.52		2018-	(1014.14±20.60)*	1095.89±17.40	7.46
	2018-	(773.40±15.60)*	961.90±14.00	19.63		2018-	(804.37±30.04)*	971.90±34.85	17.24

\*\*\*示同一品种、同一年份、同一播期倒伏与未倒伏植株籽粒产量在0.05水平差异显著。

2.5 产量损失率与玉米倒伏时期的关系

利用自然风灾倒伏(2017 年)和人工茎弯折倒伏模拟试验(2018 年)数据,分别建立 2 个品种百粒质量、单株产量损失率与倒伏距成熟天数的关系,如图 3、图 4、图 5、图 6。随着倒伏距成熟天数增加,百粒质量损失率、单株产量损失率均增加。从模型方程推得,倒伏每提早 1 d,中单 808 于 2017 年产量损失率增加 0.366 5% 2018 年产量损失率增加 0.990 3%;先玉 1171 于 2017 年、2018 年产量损失率分别增加 0.482 7%和 1.111%。这可能与 2018 年茎弯折时期较早且茎弯折后出现了持续高温天气有关。在此基础上,以单株产量损失率为指标,以<10%为轻度受害, 10%为中等以上受害程度,分别代入图 4、图 6 模拟方程。计算得到,2017 年自然风灾倒伏时,中单 808 遭受 10%产量损失,其倒伏距成熟约为 27 d;2018 年人工茎弯折处理,其倒伏距成熟时间约为 23 d;2017 年先玉 1171 受 10%的产量损失,倒伏距成熟约为 23 d,2018 年模拟约为 24 d。说明湖南春玉米在灌浆中后期在距成熟期 23~27 d(平均 25 d)之前倒伏,遭遇的产量损失会达中等程度( 10%)水平;随着倒伏时期进一步提早,产量

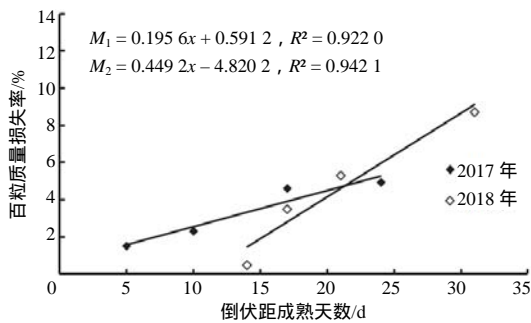


图 3 中单 808 百粒质量损失率与倒伏距成熟天数的关系  
Fig.3 The relationship between loss rate of 100-grain weight and the days from lodging to maturity of Zhongdan 808

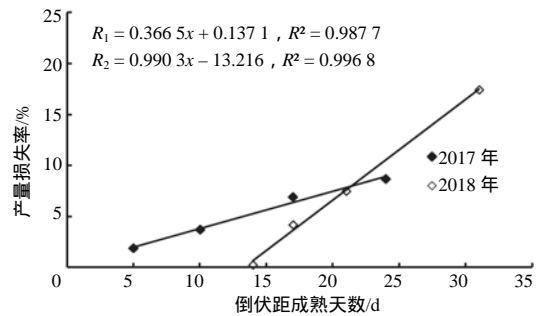


图 4 中单 808 产量损失率与倒伏距成熟天数的关系  
Fig.4 The relationship between yield loss rate per plant and the days from lodging to maturity of Zhongdan 808

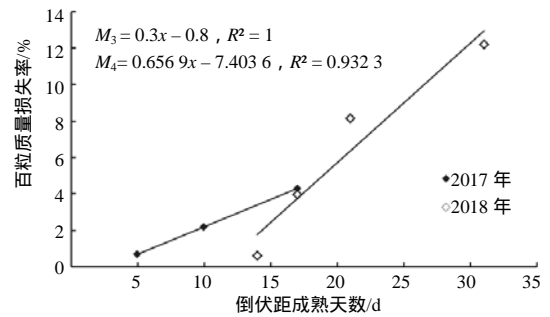


图 5 先玉 1171 百粒质量损失率与倒伏距成熟天数的关系  
Fig.5 The relationship between loss rate of 100-grain weight and the days from lodging to maturity of Xianyu 1171

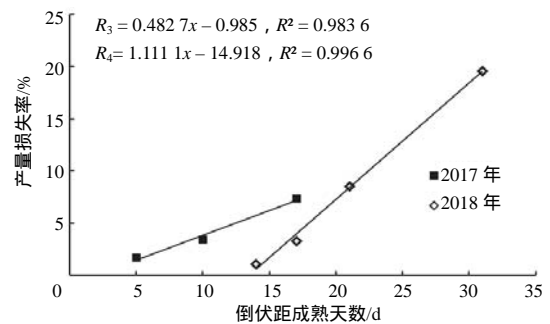


图 6 先玉 1171 产量损失率与倒伏距成熟天数的关系  
Fig.6 The relationship between yield loss rate per plant and the days from lodging to maturity of Xianyu 1171

损失率会进一步加大。利用2018年人工茎弯折产量损失模型预测时,中单808、先玉1171在成熟前32、34 d茎弯折倒伏,其产量损失率达20%以上。由于2017年自然风灾倒伏发生较迟,倒伏距成熟天数在24 d之内,与2018年人工茎弯折模拟结果有较大的差异,产量损失模型对较早时期倒伏的模拟效果不佳,有待进一步验证。

### 3 结论与讨论

中单808、先玉1171灌浆中后期风灾倒伏指标为13.0~14.0 m/s,两品种略有差异,先玉1171较中单808平均穗位低、抗弯折力强,倒伏风灾指标略大。玉米灌浆中后期倒伏对产量的影响,以百粒质量降低为主,随倒伏距成熟期天数增加,距吐丝期越近,产量损失越大。先玉1171、中单808在成熟前14 d之内发生茎弯折,百粒质量和产量有所下降,但损失不显著;在成熟前约25 d之前发生茎弯折,产量损失可达10%以上。

玉米风灾倒伏可分为折倒和根倒,本试验中自然风灾倒伏以茎弯折倒伏为主。人工模拟的茎弯折倒伏试验,各播期玉米倒伏发生在吐丝期 22 d 以后,玉米倒伏减产损失率在 20% 以内,与自然风灾倒伏的产量损失程度相近,低于程富丽等<sup>[10]</sup>和李树岩等<sup>[11]</sup>的研究结果。这主要由于本试验玉米倒伏发生在灌浆中后期,晚于程富丽等<sup>[10]</sup>试验中玉米倒伏期。中单 808、先玉 1171 两品种的生育期基本一致,不同播期玉米吐丝到成熟历期 51~56 d,灌浆速度高峰时段出现在吐丝后 15~40 d。玉米灌浆中后期发生倒伏后玉米茎秆弯折,导致光合作用和营养物质输送受影响,百粒质量下降<sup>[12]</sup>。本试验在距成熟期 14 d 之内发生的倒伏,产量损失不显著。农田小气候观测站风杆高度为 3.5 m,国家气象站地面气象观测资料以 10 m 风杆为标准,两者存在一定差异,以 3.5 m 风杆测定数据更接近玉米承受的风力实际值;因此,本试验玉米风灾指标在气象预警监测应用时,应考虑用相应的推算方法予以订正。

本研究中,建立了玉米产量损失率与倒伏距成熟天数的定量关系,可为玉米倒伏产量损失评估提供参考。不同品种植株性状的差异导致抗倒伏能力不一<sup>[15]</sup>。穗位低、茎秆韧性大、抗弯折力强是先玉 1171 抗倒伏能力强于中单 808 的主要原因;因此,

在多风灾地区,种植低穗位、茎秆韧性大、抗弯折力强的品种是抗风灾、防倒伏的有力措施之一。同一品种不同播期的倒伏株率与植株高度、穗位高有显著相关。通过栽培措施,降低玉米植株高度、穗位高度也是玉米风灾防御的有效措施之一。

### 参考文献:

- [1] 马延华,王庆祥.玉米茎秆性状与抗倒伏关系研究进展[J].作物杂志,2012(2):10-15.  
MA Y H ,WANG Q X .Research progress on relationship between stem traits and lodging resistance in maize[J]. Crops , 2012(2) : 10-15 .
- [2] 勾玲,赵明,黄建军,等.玉米茎秆弯曲性能与抗倒能力的研究[J].作物学报,2008,34(4):653-661.  
GOU L , ZHAO M , HUANG J J , et al . Bending mechanical properties of stalk and lodging-resistance of maize(*Zea mays* L.)[J] . Acta Agronomica Sinica , 2008 , 34(4) : 653-661 .
- [3] 李得孝,员海燕,周联东.玉米抗倒伏性指标及其模拟研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(5):53-56.  
LI D X ,YUN H Y ,ZHOU L D Experimental research on the absorption-digestion technology for the treatment of diosgenin wastewater[J] . Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry , 2004 , 32(5) : 53-56 .
- [4] 边大红,刘梦星,牛海峰,等.施氮时期对黄淮海平原夏玉米茎秆发育及倒伏的影响[J].中国农业科学,2017,50(12):2294-2304.  
BIAN D H ,LIU M X ,NIU H F ,et al .Effects of nitrogen application times on stem traits and lodging of summer maize(*Zea mays* L.) in the Huang-Huai-Hai plain[J]. Scientia Agricultura Sinica , 2017 , 50(12) : 2294-2304 .
- [5] 孙世贤,顾慰连,戴俊英.密度对玉米倒伏及其产量的影响[J].沈阳农业大学学报,1989,20(4):413-416.  
SUN S X , GU W L , DAI J Y . The effect of density on lodging of crop[J] . Journal of Shenyang Agricultural University , 1989 , 20(4) : 413-416 .
- [6] 贾桂平,边大红,蔡丽君,等.土壤耕作方式对夏玉米抗茎倒伏能力的影响[J].华北农学报,2013,28(4):163-168.  
JIA G P ,BIAN D H ,CAI L J ,et al .Soil tillage methods on stalk lodging resistance of summer maize[J] . Acta Agriculturae Boreali-Sinica , 2013 , 28(4) : 163-168 .
- [7] 王亮,丰光,李妍妍,等.玉米倒伏与植株农艺性状和病虫害发生关系的研究[J].作物杂志,2016(2):

- 83-88 .  
WANG L ,FENG G ,LI Y Y ,et al .Relationship between maize lodging resistance and agronomic traits , plant diseases , and insect pests[J] . *Crops* , 2016(2) : 83-88 .
- [8] 李树岩, 马玮, 彭记永, 等. 大喇叭口及灌浆期倒伏对夏玉米产量损失的研究[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(19) : 3952-3964 .  
LI S Y ,MA W ,PENG J Y ,et al .Study on yield loss of summer maize due to lodging at the big flare stage and grain filling stage[J] . *Scientia Agricultura Sinica* , 2015 , 48(19) : 3952-3964 .
- [9] 席吉龙, 张建诚, 姚景珍, 等. 夏玉米灌浆期倒伏对产量的影响模拟研究[J]. *山西农业科学*, 2015, 43(6) : 705-708 .  
XI J L ,ZHANG J C ,YAO J Z ,et al .Simulation study on the influence of filling summer corn lodging on yield[J] . *Journal of Shanxi Agricultural Sciences* , 2015 , 43(6) : 705-708 .
- [10] 程富丽, 杜雄, 刘梦星, 等. 玉米倒伏及其对产量的影响[J]. *玉米科学*, 2011, 19(1) : 105-108 .  
CHENG F L ,DU X ,LIU M X ,et al .Lodging of summer maize and the effects on grain yield[J] . *Journal of Maize Sciences* , 2011 , 19(1) : 105-108 .
- [11] 李树岩, 王宇翔, 胡程达, 等. 抽雄期前后大风倒伏对夏玉米生长及产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(8) : 2405-2413 .  
LI S Y ,WANG Y X ,HU C D ,et al .Effects of strong wind lodging at pre- and post-tasseling stages on growth and yield of summer maize[J] . *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2015 , 26(8) : 2405-2413 .
- [12] 曹庆军, 曹铁华, 杨粉团, 等. 灌浆期风灾倒伏对玉米籽粒灌浆特性及品质的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(9) : 1107-1113 .  
CAO Q J ,CAO T H ,YANG F T ,et al .Effect of wind damage on grain-filling characteristics , grain quality and yield of spring maize(*Zea mays* L.)[J] . *Chinese Journal of Eco-Agriculture* , 2013 , 21(9) : 1107-1113 .
- [13] 周贤君, 邓小华, 陈玉君. 湖南省玉米生产县域尺度比较优势空间分布[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2008, 34(6) : 627-630 .  
ZHOU X J ,DENG X H ,CHEN Y J .Spatial distribution of comparative advantage of maize production counties in Hunan Province[J] . *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)* , 2008 , 34(6) : 627-630 .
- [14] 李树岩, 刘荣花, 胡程达. 河南省夏玉米大风倒伏气候风险分析[J]. *自然灾害学报*, 2014, 23(1) : 174-182 .  
LI S Y ,LIU R H ,HU C D .Climate risk analysis of strong wind lodging of summer maize in Henan Province[J]. *Journal of Natural Disasters* , 2014 , 23(1) : 174-182 .
- [15] 王韵翔, 吴裕如, 王承, 等. 播期对夏玉米生长发育及产量的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2019, 45(5) : 461-465 .  
WANG Y X ,WU Y R ,WANG C ,et al .Effects of sowing dates on the growth and yield for summer maize varieties[J] . *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)* , 2019 , 45(5) : 461-465 .

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 柳正