亚洲玉米螟为害对玉米产量的影响与防治指标研究

李妍颖， 李梅梅， 杨 琪， 陈丽慧， 李伯辽， 房爱省， 何柯杭，
董继广， 赵玉婉， 于志浩， 郝引川*， 仵均祥*

（西北农林科技大学植物保护学院，杨凌 712100）

摘要 为明确玉米螟为害对玉米造成的经济损失，制定合理的防治指标，及时进行科学防治，2018 年和 2019 年调查了田间自然条件下玉米螟在不同品种上发生为害情况，对虫口密度与产量损失率的关系进行了统计分析。结果表明，2018 年玉米螟发生为害程度明显重于 2019 年；雌穗受害程度明显高于茎秆。虫口密度在 0～4 头/株范围内与单穗重呈负相关，与产量损失率呈正相关。回归分析表明，2018 年玉米螟虫口密度(X)与供试品种产量损失率(Z)之间关系为：$Z_{郑单958}=1.367X-1.539$，$R^2=0.978\ 0$；$Z_{陕单609}=2.059X-2.317$，$R^2=0.926\ 2$；$Z_{陕单650}=2.139X-1.495$，$R^2=0.955\ 9$；$Z_{新单47}=1.908X-1.97$，$R^2=0.978\ 9$；$Z_{泽玉8911}=1.309X-1.147$，$R^2=0.989\ 8$。2019 年玉米螟虫口密度(X)与供试品种产量损失率(Z)之间的关系为：$Z_{郑单958}=1.241\ 3X-1.094\ 2$，$R^2=0.954\ 1$；$Z_{陕单609}=1.867\ 7X-1.766\ 4$，$R^2=0.981\ 4$；$Z_{陕单650}=1.603\ 5X-1.692\ 0$，$R^2=0.970\ 1$。根据 2018 年和 2019 年两年 5 个品种 8 组调查数据分析，结合当地玉米螟防治实际费用，确定玉米螟防治指标为 3.15 头/株，或 315 头/百株，这一研究结果可为基于农药减施增效的玉米螟科学防治提供理论依据。

关键词 玉米螟； 虫口密度； 产量损失率； 防治指标

中图分类号： S435.132 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2020592

Effects of *Ostrinia furnacalis* (Guenée) on maize yield and treatment threshold

LI Yanying， LI Meimei， YANG Qi， CHEN Lihui， LI Boliao， FANG Aisheng， HE Kehang，
DONG Jiguang， ZHAO Yuwan， YU Zhihao， HAO Yinchuan*， WU Junxiang*

(*College of Plant Protection*, *Northwest A & F University*, *Yangling* 712100, *China*)

Abstract In order to determine the economic loss of maize caused by *Ostrinia furnacalis* (Guenée), and reasonably determine the control indexes and make timely and scientific control of the corn borer. The occurrence and damage of corn borer on different maize varieties were investigated in the field in 2018 and 2019. Meanwhile, the statistical relationships between population densities and yield loss rates were analyzed. The results showed that the degree of occurrence and damage of *O. furnacalis* (Guenée) was more serious in 2018 than in 2019, and the damage degree of maize ears was more severe than that of stalk. With increasing insect population densities from zero to four individuals per plant, the population density was negatively correlated with single spike weight, but positively correlated with the yield loss rate. Regression analysis shows that the relationship between corn borer population density (X) and yield loss rate (Z) of tested varieties in 2018 was $Z_{ZD958}=1.367X-1.539$, $R^2=0.978\ 0$; $Z_{SD609}=2.059X-2.317$, $R^2=0.926\ 2$; $Z_{SD650}=2.139X-1.495$, $R^2=0.955\ 9$; $Z_{XD47}=1.908X-1.97$, $R^2=0.978\ 9$; $Z_{ZY8911}=1.309X-1.147$, $R^2=0.989\ 8$; while the relationship in 2019 was $Z_{ZD958}=1.241\ 3X-1.094\ 2$, $R^2=0.954\ 1$; $Z_{SD609}=1.867\ 7X-1.766\ 4$, $R^2=0.981\ 4$; $Z_{SD650}=1.603\ 5X-1.692\ 0$, $R^2=0.970\ 1$. According to the data analysis of eight groups of five maize varieties investigated in two years, combined with the actual control cost of local corn borers, the treatment threshold of the corn borer was 3.15 individuals per plant or 315 individuals per 100 plants. The results provided a theoretical basis for scientifically managing and controlling the corn borer in compliance with the principle of reducing pesticide use and increasing efficiency.

Key words *Ostrinia furnacalis*； population density； yield loss rate； treatment threshold

收稿日期： 2020－11－09 **修订日期**： 2020－12－28
基金项目： 国家重点研发计划(2017YFD0201807)
* 通信作者 E-mail：郝引川 h.ychuan@163.com；仵均祥 junxw@nwsuaf.edu.cn

亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*（Guenée）俗称玉米钻心虫、蛀茎虫、箭杆虫[1]，是我国玉米生产中历史性、灾害性的害虫[2]。近年来在我国许多地方玉米螟为害加重[3]，如辽宁省灯塔地区玉米螟为害造成玉米减产严重的可达 15%以上[4]，陕西关中地区玉米螟百株虫量达 174.7 头[5]。同时，在玉米螟的防治实践中，只单方面考虑玉米螟对玉米的为害，忽视了玉米对玉米螟为害的抵抗能力、忍耐能力和自身调节补偿能力，造成了多施药、重复施药，导致生产成本提高，环境污染和生态失衡加剧，因此，制定科学的防治指标对防治决策有重要意义。关于玉米螟为害损失与防治指标的研究，20 世纪中后期曾有较多的报道[6-12]。近年来的工作则明显较少，仅偶见报道[13-14]。鉴于此，本试验在大田条件下，通过调查田间自然发生的玉米螟为害情况，构建玉米螟虫口密度与单穗重、产量损失率的数学模型，确定玉米螟防治指标，为基于农药减量使用的害虫综合治理工作提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试虫源为田间自然发生虫源。试验地点为位于陕西省杨陵区武功县武功镇凉马村的国家玉米产业技术体系玉米品种试验地（34°21′N，108°02′E），海拔 552 m。试验地地势平坦，土壤肥力中等，排灌条件良好。

供试玉米品种为‘陕单 609’‘陕单 650’‘新单 47’‘泽玉 8911’‘郑单 958’，均由西北农林科技大学农学院国家玉米产业技术体系种植管理。每个品种种植面积 667 m^2，品种之间随机排列。种植方式为条播，宽窄行种植，宽行行距 70 cm，窄行行距 50 cm，株距 25 cm，密度 4 500 株/667 m^2。2018 年和 2019 年玉米播种时间均为 6 月初，玉米长势良好，整齐一致，在玉米生长期间不使用任何药剂防治，其他田间管理同大田。

1.2　试验方法

1.2.1　玉米螟发生为害情况调查

玉米蜡熟期按品种分别调查玉米螟幼虫对茎秆和雌穗的为害情况。采取五点取样，每点两行，每行顺行调查 30 株，每个品种调查 300 株。记载调查茎秆和雌穗上的虫孔数和幼虫数。根据常识认定：茎秆上的虫孔数与茎秆内的幼虫数一致；但若发现雌穗明显被害但剥开苞叶后幼虫已逃逸时，则标记为 1 头幼虫，明显看到有 2 头幼虫或在雌穗有 2 处部位被害时，则记为 2 头幼虫。计算茎秆、雌穗、整株被害率和百秆虫量、百穗虫量、百株虫量。

1.2.2　考种及产量损失测定

玉米成熟后采收前，根据玉米螟整体发生情况，每个品种按以下 8 个指标随机采集未受害株和受害株的玉米雌穗，分别装袋带回室内晾干，脱粒后用 JM-B20002 型电子天平称重。

空白对照：穗 0 秆 0，全株无虫，未受害；穗 0 秆 1（X1）：穗部未受害，秆上有 1 头虫为害；穗 1 秆 0（X2）：穗部有 1 头幼虫为害，茎秆上无虫眼；穗 1 秆 1（X3）：穗部有 1 头幼虫为害，茎秆上有 1 个虫眼；穗 1 秆 2（X4）：穗部有 1 头幼虫为害，茎秆上有 2 个虫眼；穗 2 秆 0（X5）：穗部有 2 头幼虫为害，茎秆上无虫眼；穗 2 秆 1（X6）：穗部有 2 头幼虫为害，茎秆上有 1 个虫眼；穗 2 秆 2（X7）：穗部有 2 头幼虫为害，茎秆上有 2 个虫眼。

每处理 3 次重复，每个重复取 20 个雌穗，每个品种共采 480 个雌穗。确定虫口密度与产量损失率之间的关系时，将各处理的总虫量相加，转换为单株虫口密度，依次为：0、1、2、3、4 头/株。茎秆与雌穗上的幼虫数记载方法同 1.2.1。

1.3　数据处理

数据经 Excel 整理后采用 SPSS 软件进行单因素方差分析，利用 Duncan 氏新复极差法进行多重比较。通过主成分分析法确定影响玉米产量的主要因素[15]。

1.3.1　发生为害参数计算

分别计算出茎秆、雌穗、整株被害率和百秆、百穗、百株虫量，计算公式如下：

茎秆被害率＝被害茎秆数/调查株数×100%；

百秆虫量＝被害茎秆幼虫数/调查株数×100；

雌穗被害率＝被害雌穗数/调查雌穗数×100%；

百穗虫量＝被害雌穗幼虫数/调查雌穗数×100；

被害株率＝被害株数/调查株数×100%；

百株虫量＝百秆虫量＋百穗虫量。

1.3.2　玉米产量损失率计算

产量损失率＝（对照组单穗重－处理组单穗重）/对照组单穗重×100%。

1.3.3 经济允许损失水平(*EIL*)计算

$$EIL=\frac{C\times 100}{P\times Y\times EC}$$

式中,C 为防治成本(元/667m²),P 为玉米单价(元/kg),Y 为玉米产量(kg/667m²),EC 为防治效果(%)。

2 结果与分析

2.1 玉米螟发生为害情况调查

2.1.1 2018 年和 2019 年玉米螟发生为害程度比较

从表 1 中可以看出,2018 年玉米螟发生为害程度明显重于 2019 年。2018 年 5 个供试玉米品种的平均整株被害率达 82.33%。其中品种'泽玉 8911'整株被害率仅为 69.33%,显著低于其他 4 个玉米品种($P<0.05$),其他 4 个玉米品种整株被害株率高达 83%以上。5 个供试玉米品种的平均百株虫量为 155.73 头,其中品种'泽玉 8911'百株虫量为 115 头,显著低于其他 4 个玉米品种($P<0.05$),其他 4 个玉米品种百株虫量达 152 头以上。

2019 年 5 个供试玉米品种的平均整株被害率仅仅为 15.9%,其中品种'新单 47'和'泽玉 8911'整株被害率仅为 10%左右,整株被害率最高的品种为'陕单 650',其被害率也仅为 22.50%。5 个供试玉米品种的平均百株虫量为 19 头,百株虫量最多的品种是'陕单 650',为 28.50 头。

表 1 2018 年和 2019 年不同玉米品种玉米螟发生为害情况[1)]

Table 1 Occurrence and damages of the *Ostrinia furnacalis* on different maize varieties in 2018 and 2019

年份 Year	品种 Variety	被害率/% Damage rate			虫量/头 Insects number		
		整株 Whole plant	茎秆 Stalk	雌穗 Spike	百株 100 plants	百秆 100 stalks	百穗 100 spikes
2018	郑单 958	(84.33±2.01)a	(33.67±5.39)a	(81.00±2.15)b	(161.67±11.43)ab	(48.33±10.03)a	(113.33±2.74)b
	陕单 609	(88.00±1.22)a	(29.33±2.27)a	(87.00±1.62)a	(172.00±4.93)ab	(37.33±2.82)a	(134.67±6.27)a
	陕单 650	(83.67±3.22)a	(29.67±5.01)a	(78.33±2.30)b	(152.00±7.88)b	(39.33±7.95)a	(112.67±3.19)b
	新单 47	(86.33±0.82)a	(29.67±2.00)a	(82.67±0.85)ab	(178.00±1.62)a	(41.67±2.93)a	(136.33±1.93)a
	泽玉 8911	(69.33±1.80)b	(23.33±2.17)a	(61.33±1.62)c	(115.00±5.14)c	(29.33±3.36)a	(85.67±4.46)c
平均	Average	82.33	29.13	78.07	155.73	39.20	116.53
2019	郑单 958	(18.50±3.02)a	(4.50±2.15)a	(16.50±2.57)a	(23.50±4.23)a	(5.50±3.10)a	(18.00±1.84)a
	陕单 609	(17.50±4.54)a	(3.00±3.00)a	(16.00±3.67)a	(19.50±5.61)a	(3.00±3.00)a	(16.50±3.67)a
	陕单 650	(22.50±4.87)a	(4.00±1.00)a	(19.50±5.39)a	(28.50±5.22)a	(4.00±1.00)a	(24.50±6.04)a
	新单 47	(10.67±2.12)b	(1.33±0.26)b	(10.50±0.38)b	(12.00±3.12)b	(2.08±0.71)b	(10.74±1.54)b
	泽玉 8911	(10.33±1.36)b	(1.20±0.46)b	(9.33±0.34)b	(11.50±2.37)b	(1.65±0.44)b	(10.26±1.39)b
平均	Average	15.9	2.81	14.37	19	3.25	16

1) 表中数据为平均值±标准差。同列数据后不同小写字母表示经邓肯氏新复极差方法检验在 0.05 水平差异显著。
Data are mean±SD. Different lowercase letter in the same column indicate significant difference at 0.05 level based on Duncan's new multiple range test.

2.1.2 不同部位受害程度比较

茎秆和雌穗比较,玉米螟更喜欢为害雌穗,不论是从被害率($F_{2018}=1.975$, $P=0.00$; $F_{2019}=9.044$, $P=0.02$),还是从单位虫量($F_{2018}=3.498$, $P=0.00$; $F_{2019}=4.787$, $P=0.01$)来看,雌穗受害程度均远远高于茎秆,2018 年和 2019 年的结果相同。2018 年 5 个供试玉米品种的平均茎秆被害率为 29.13%,百秆虫量为 39.20 头,5 个玉米品种茎秆被害率和百秆虫量无显著差异($P>0.05$)。5 个供试玉米品种的平均雌穗被害率达 78.07%,百穗虫量 116.53 头(表 1)。

2019 年 5 个供试玉米品种的平均茎秆被害率为 2.81%,百秆虫量为 3.25 头。5 个供试玉米品种的平均雌穗被害率达 14.37%,百穗虫量 16 头。

2.2 利用主成分分析法确定影响玉米产量损失的主要因素

对各处理的产量损失率进行主成分分析,首先对 7 个指标的相关性进行分析,以确定指标是否适合进行因子分析。相关系数矩阵如表 2 所示,可以看出,7 个指标适宜进行因子分析。在所有主成分构成中,得到两个特征值大于 1 的主成分 MF1 和 MF2(表 3),由于第一主成分(MF_1)的方差贡献率

高达 56.47%,说明 MF_1 最能说明总体信息,因此,选取第一主成分进行分析。由表 4 可知,X6 在 MF_1 上有较高的载荷,说明 MF_1 主要反映了 X6 的信息,且 MF_1 与 X6 呈正相关,因此,在雌穗和茎秆同时受害的情况下,雌穗对产量损失率有直接影响且影响较大。

表 2　7 个指标相关系数矩阵[1)]

Table 2　Correlation coefficient matrix of seven indicators

因子 Factor	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X1	1	−0.586	0.004	−0.023	−0.151	0.526	0.508
X2	−0.586	1	−0.285	−0.431	0.768	−0.954	−0.648
X3	0.004	−0.285	1	0.484	−0.26	0.49	0.779
X4	−0.023	−0.431	0.484	1	−0.042	0.646	0.178
X5	−0.151	0.768	−0.26	−0.042	1	−0.639	−0.588
X6	0.526	−0.954	0.49	0.646	−0.639	1	0.697
X7	0.508	−0.648	0.779	0.178	−0.588	0.697	1

1) X1:穗 0 秆 1;X2:穗 1 秆 0;X3:穗 1 秆 1;X4:穗 1 秆 2;X5:穗 2 秆 0;X6:穗 2 秆 1;X7:穗 2 秆 2. 表中的相关系数是以 7 个指标的产量损失率为基础分析得到的。下同。
X1: Spike 0 stalk 1; X2: Spike 1 stalk 0; X3: Spike 1 stalk 1; X4: Spike 1 stalk 2; X5: Spike 2 stalk 0; X6: Spike 2 stalk 1; X7: Spike 2 stalk 2. The correlation coefficients are calculated based on the yield loss rate of seven indicators. The same applies below.

表 3　影响产量损失的主成分因子的方差贡献率[1)]

Table 3　Variance contribution rates of principal component factors affecting yield loss

主成分 Principal component	初始特征值 Initial eigenvalue			提取载荷平方和 Extraction sums of squared loadings		
	特征值 Eigenvalue	方差百分比/% Percentage of variance	累计总方差贡献率/% Total variance contribution rate	特征值 Eigenvalue	方差百分比/% Percentage of variance	累计总方差贡献率/% Total contribution rate of variance
MF1	3.953	56.471	56.470	3.953	56.470	56.47
MF2	1.310	18.709	75.180	1.310	18.709	75.18
MF3	0.925	13.208	88.388			
MF4	0.813	11.612	100			
MF5	0	0	100			
MF6	0	0	100			
MF7	0	0	100			

1) MF1～ MF7 为通过分析 7 个处理得到的 7 个主成分。
MF1−MF7 are seven principal components obtained by analyzing seven treatments, respectively.

表 4　7 个指标初始因子载荷矩阵[1)]

Table 4　Matrix of initial factor loading of seven indicators

因子 Factor	载荷 Loading	
	MF1	MF2
X1	0.536	−0.602
X2	−0.925	0.240
X3	0.622	0.607
X4	0.505	0.672
X5	−0.709	0.262
X6	0.964	0.027
X7	0.858	−0.014

1) MF1、MF2 分别为:第一主成分、第二主成分。
MF1 and MF2 are the first and second principal components, respectively.

2.3　虫口密度与产量损失之间的关系

2.3.1　虫口密度与单穗重之间的关系

统计和回归分析结果表明,2018 年供试玉米品种的虫口密度(X)与单穗重(Y)之间存在如下线性回归关系(图 1):$Y_{郑单958}=-1.839\ 9X+134.73$,$R^2=0.978\ 2$;$Y_{陕单609}=-2.663\ 9X+129.73$,$R^2=0.926\ 3$;$Y_{陕单650}=-2.576\ 1X+119.59$,$R^2=0.956\ 0$;$Y_{新单47}=-2.317X+158.04$,$R^2=0.978\ 8$;$Y_{泽玉8911}=-1.423\ 3X+108.56$,$R^2=0.989\ 6$。2019 年供试玉米品种的虫口密度($X$)与单穗重($Y$)之间存在如下线性回归关系(图 2):$Y_{郑单958}=-1.414\ 3X+111.55$,$R^2=0.950\ 4$;$Y_{陕单609}=-2.133\ 6X+114$,$R^2=0.981\ 2$;$Y_{陕单650}=-1.555\ 8X+97.384$,$R^2=0.970\ 7$。

由图 1 和图 2 可以看出,随着虫口密度在 0～4 头/株逐渐增加,单穗重逐渐降低,‘陕单 609’单株每增加 1 头幼虫,单穗重减少的量最多,达 2.663 9 g,‘陕单 650’次之,平均减少2.576 1 g,‘新单 47’单穗重平均减少 2.317 g,‘郑单 958’单穗重平均减少

1.839 9 g，‘泽玉 8911’的单穗重减少量最少，为 1.423 3 g。通过新复极差法进行显著性检验，当虫口密度为 4 头/株时的‘郑单 958’‘陕单 650’‘陕单 609’‘新单 47’的单穗重显著低于虫口密度为 1 头/株的单穗重（$P<0.05$）；‘泽玉 8911’不同虫口密度间单穗重差异不显著（$P>0.05$）（图 1）。

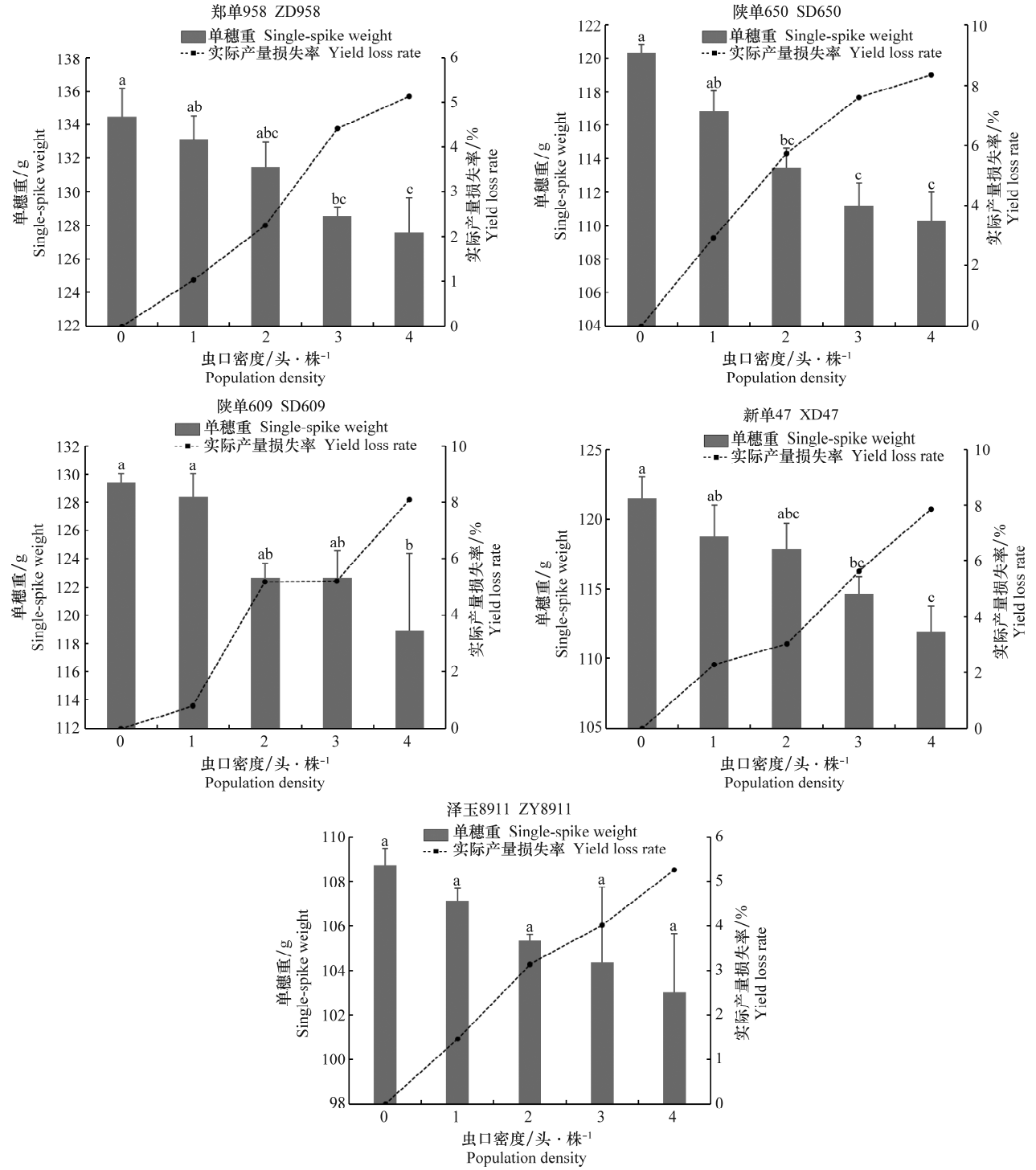

图 1　2018 年玉米螟虫口密度与玉米单穗重、产量损失率的关系

Fig. 1　Relationships between the *Ostrinia furnacalis* population density and the corn single-spike weight and yield loss rate in 2018

与 2018 年结果相似，2019 年随着单株每增加 1 头幼虫，‘陕单 609’单穗重的减少量最多，为 2.133 6 g，‘陕单 650’次之，平均减少 1.555 8 g，‘郑单 958’单穗重平均减少 1.414 3 g。显著性检验结果表明，

‘陕单 609’和‘陕单 650’的虫口密度对单穗重有显著影响($P<0.05$),虫口密度为 4 头/株时,单穗重均最小;‘郑单 958’不同虫口密度间单穗重差异不显著($P>0.05$)(图 2)。

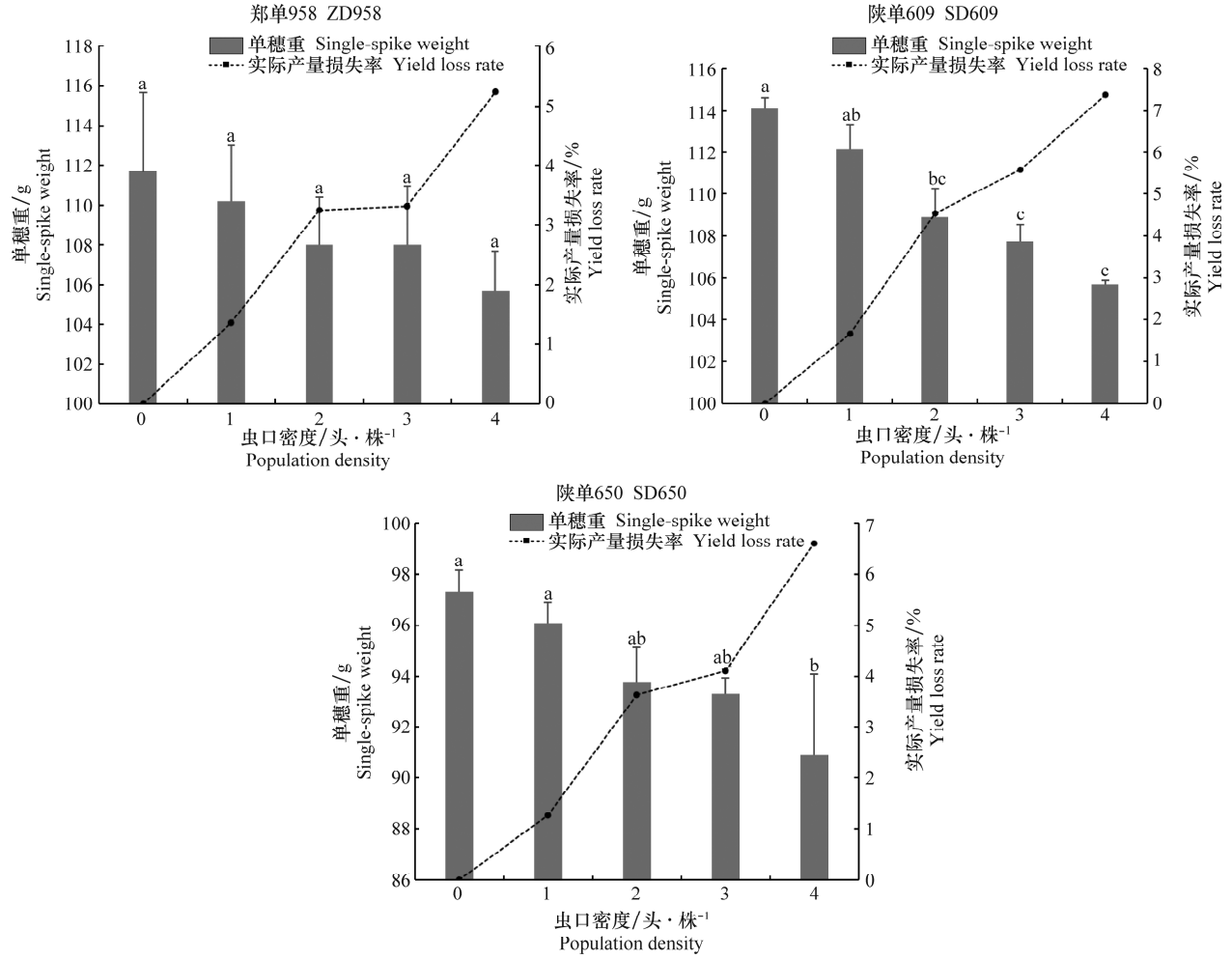

图 2　2019 年玉米螟虫口密度与玉米单穗重、产量损失率的关系

Fig. 2　Relationships between the *Ostrinia furnacalis* population density and the corn single-spike weight and yield loss rate in 2019

2.3.2　虫口密度与产量损失率之间的关系

拟合分析表明,2018 年供试玉米品种的玉米螟幼虫虫口密度(X)与产量损失率(Z)之间存在如下回归关系:$Z_{郑单958}=1.367X-1.539$,$R^2=0.978\ 0$;$Z_{陕单609}=2.059X-2.317$,$R^2=0.926\ 2$;$Z_{陕单650}=2.139X-1.495$,$R^2=0.955\ 9$;$Z_{新单47}=1.908X-1.97$,$R^2=0.978\ 9$;$Z_{泽玉8911}=1.309X-1.147$,$R^2=0.989\ 8$。2019 年供试玉米品种的玉米螟幼虫虫口密度(X)与产量损失率(Z)之间存在如下回归关系:$Z_{郑单958}=1.241\ 3X-1.094\ 2$,$R^2=0.954\ 1$;$Z_{陕单609}=1.867\ 7X-1.766\ 4$,$R^2=0.981\ 4$;$Z_{陕单650}=1.603\ 5X-1.692\ 0$,$R^2=0.970\ 1$。

由此可见,虫口密度与产量损失率呈正相关(图 1～2),随着虫口密度在 0～4 头/株逐渐增加,产量损失率逐渐增高。其中 2018 年供试玉米品种的实际产量损失率在 1%～8%,‘陕单 609’和‘陕单 650’实际产量损失率最高,均达到 8%,‘新单 47’次之,‘郑单 958’和‘泽玉 8911’实际产量损失率稍低,在 1%～5%。2019 年供试玉米品种的实际产量损失率在 1%～7%,当虫口密度达 4 头/株时,‘陕单 609’实际产量损失率最高,为 7.38%。

综上所述,玉米螟虫口密度与单穗重呈负相关,与产量损失率呈正相关,随虫口密度的增加,单穗重逐渐减少,产量损失率逐渐上升。随着虫口密度在 0～4 头/株逐渐增加,每增加 1 头幼虫,‘陕单 609’单穗重减少最多,平均减少 2.398 8 g。当虫口密度达 4 头/株时,‘陕单 609’单穗重最少,实际产量损失率最高,‘泽玉 8911’单穗重最高,实际产量损失

率最低。

2.4 防治指标的确定

根据当地农业生产实际，多方调查确认，目前玉米田玉米螟的药剂防治仍以采用背负式喷雾器喷施杀虫剂为主要措施，平均防治费用（包括药剂、机械损耗、人力成本等）约为 35 元/667 m^2，防治效果约为 95%，玉米价格约 2 元/kg。据此计算所得经济允许损失水平（*EIL*），再将此值代入虫口密度与产量损失率模拟关系式中，最终得出供试玉米品种的防治指标。综合 2018 年和 2019 年 5 个供试品种 8 组调查数据的分析结果，玉米田玉米螟防治指标为 3.15 头/株，或 315 头/百株（表 5）。

表 5 2018 年和 2019 年玉米螟的经济允许损失水平和防治指标

Table 5 Economic injury levels and control indexes of *Ostrinia furnacalis* in 2018 and 2019

年份 Year	品种 Variety	产量/kg·(667m^2)$^{-1}$ Yield	经济允许损失水平/% Economic injury level	经济阈值/头·株$^{-1}$ Economic threshold
2018	郑单 958	605.21	3.043 7	3.352 4
	陕单 609	582.30	3.163 5	2.661 7
	陕单 650	541.62	3.401 1	2.289 0
	新单 47	546.71	3.369 4	2.798 4
	泽玉 8911	489.33	3.764 5	3.752 1
2019	郑单 958	502.56	3.665 4	3.834 4
	陕单 609	513.50	3.587 4	2.866 5
	陕单 650	437.85	4.207 2	3.679 0
平均 Average		527.39	3.525 3	3.154 2

3 结论与讨论

于 2018 年和 2019 年对 5 个供试品种 8 组调查数据的分析结果表明，不同年度之间玉米螟的发生为害程度差异很大，2018 年明显重于 2019 年。造成这一现象的主要原因与玉米生长发育过程中是否喷药有密切的关系。2018 年玉米整个生长发育过程中未喷洒过任何农药。但 2019 年由于草地贪夜蛾的迁入，当地政府为了有效控制草地贪夜蛾的为害，在玉米生长的喇叭口期至灌浆期，短期内先后统一组织进行了 3 次喷药防治，极大地压低了玉米螟的虫口基数，造成了玉米螟发生为害程度显著下降的现象。

比较玉米植株不同部位受害程度，雌穗受害率和百穗虫量显著大于茎秆被害率和百秆虫量；茎秆、雌穗同时受害时，雌穗受害对产量损失率的影响更大。这与笔者以前报道的玉米螟更倾向于为害玉米雌穗，茎秆受害率远小于雌穗的结果完全一致[16]。因此，进行玉米螟防治工作时，可将防治重点放至雌穗上，以保证玉米产量的更大收成。虫口密度与单穗重呈负相关，与产量损失率呈正相关，随着虫口密度在 0～4 头/株逐渐增加，单穗重逐渐降低，产量损失率逐渐上升。这一结果在不同年度和 5 个不同品种之间有一定的差异，但总体趋势是一致的。关于他们之间的关系模型，周淑香等[13]报道产量损失率可以用对数模型进行预测；李研学等[12]指出产量损失率可用直线模型预测；李帅强等[17]研究发现产量损失率可以用二次曲线、直线、对数以及幂函数模型进行预测，但以直线模型拟合效果最好。本研究中，采用线性回归拟合效果最好，进而构建了虫口密度与产量损失率模型，并根据两年 5 个供试品种 8 组调查数据的分析，得出玉米田玉米螟防治指标为 3.15 头/株，或 315 头/百株。但必须强调的是，天敌对玉米螟的发生为害程度及产卵损失可能也存在一定影响，因此这一结果可能会因地区、年度、品种、气候条件、天敌等的变化而有所变化[18-21]。

参考文献

[1] 仵均祥. 农业昆虫学（北方本 植物保护专业用）[M]. 3 版. 北京：中国农业出版社，2016.

[2] 中国农业百科全书编辑委员会. 中国农业百科全书·昆虫卷[M]. 北京：中国农业出版社，1990.

[3] 张婷，许叁卫，李翠芳，等. 瑞丽市夏季玉米高产高效栽培技术[J]. 云南农业科技，2020(1)：36－38.

[4] 赵宏玉. 灯塔地区玉米螟为害玉米的调查分析及防治措施[J]. 现代农业科技，2019(3)：99－100.

[5] 赵士文，陈秀琳，陈丽慧，等. 陕西省关中夏玉米后期钻蛀性害虫的发生及不同玉米品种的抗虫性调查[J]. 植物保护，2017，43(5)：164－168.

[6] DEAY H O，PATCH L H，SNELLING R O. Loss in yield of dent corn infested with the August generation of the European corn borer [J]. Journal of Economic Entomology，1949，42(1)：81－87.

[7] 吴维钧，蔡宁华. 穗期玉米螟为害对夏玉米产量损失影响初报[J]. 植物保护学报，1963，2(2)：135－139.

[8] 邱式邦，周大荣，董慧芳，等. 玉米不同生育期遭受螟害对产量损失的影响[J]. 植物保护学报，1964，3(3)：307－312.

[9] 忻亦芬，彭元发，李鈞. 沈阳地区玉米螟危害对产量损失研究初报[J]. 辽宁农业科学，1964(3)：41－45.

[10] 陆锡康，姚瑞新，夏佩金. 春玉米一代玉米螟综防技术及其应

用[J]. 植物保护，1987，13(5)：8－10.
[11] 杨樟法，吕仲贤，王桂跃，等. 玉米螟为害玉米的产量损失估计及单株允许残留虫量[J]. 植物保护学报，1994，21(4)：333－337.
[12] 李研学，谢俊英，马兆东. 朝阳地区玉米螟为害损失调查及防治指标研究和探讨[J]. 植保技术与推广，1997，17(6)：3－5.
[13] 周淑香，鲁新，王振营，等. 二代玉米螟为害玉米产量损失研究[J]. 应用昆虫学报，2014，51(3)：676－679.
[14] 张宏波，田春晖，杨雪清，等. 东北地区亚洲玉米螟危害损失测定模型研究[J]. 玉米科学，2018，26(4)：144－149.
[15] 林文磊，吕美琴，李明松，等. 39 份春大豆种质资源的主成分分析及其聚类分析[J]. 福建农业学报，2018，33(10)：1016－1022.
[16] 李妍颖，何柯杭，房爱省，等. 不同玉米品种对玉米主要病虫害的抗性及大喇叭口期喷药对大斑病的田间防效[J]. 西北农业学报，2019，28(8)：1344－1350.
[17] 李帅强，张统书，刘宁，等. 辽宁省二代亚洲玉米螟为害防治的经济阈值[J]. 生态学杂志，2017，36(1)：104－109.
[18] 李潮海，苏新宏，谢瑞芝，等. 超高产栽培条件下夏玉米产量与气候生态条件关系研究[J]. 中国农业科学，2001，34(3)：311－316.
[19] 刘志娟，杨晓光，王文峰，等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 未来气候变暖对东北三省春玉米种植北界的可能影响的分析[J]. 中国农业科学，2010，43(11)：2280－2291.
[20] ROSENZWEIG C，IGLESIAS A，YANG X B，et al. Climate change and extreme weather events：Implications for food production，plant diseases，and pests [J]. Global Change & Human Health，2001(2)：90－104.
[21] 刘亚臣，丛斌，韩冰，等. 辽宁省春玉米主要病虫为害损失之研究[J]. 中国农学通报，2006，22(6)：297－300.

（责任编辑：杨明丽）

（上接 51 页）

[11] LEE I，KIM Y O，PARK S C，et al. OrthoANI：An improved algorithm and software for calculating average nucleotide identity [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology，2016，66(2)：1100－1103.
[12] CLAIRE B，LAIRD M R，WILLIAMS K P，et al. Islandviewer 4：expanded prediction of genomic islands for larger-scale datasets [J]. Nucleic Acids Research，2017(W1)：W30－W35.
[13] LIU Bo，ZHENG Dandan，JIN Qi，et al. VFDB 2019：A comparative pathogenomic platform with an interactive web interface [J]. Nucleic Acids Research，2018，47(D1)：D687－D692.
[14] ALCOCK B P，RAPHENYA A R，LAU T T Y，et al. CARD 2020：antibiotic resistome surveillance with the comprehensive antibiotic resistance database [J]. Nucleic Acids Research，2020，48(D1)：D517－D525.
[15] ANDREWS J M. BSAC Working Party on susceptibility testing ft. BSAC standardized disc susceptibility testing method [J]. Journal of Antimicrobial Chemotherapy，2001，48(S1)：43－57.
[16] KOROTKOV K V，SANDKVIST M，HOL W G J. The type Ⅱ secretion system：biogenesis，molecular architecture and mechanism [J]. Nature Reviews Microbiology，2012，10(5)：336－351.
[17] 罗国庆，唐翠明，王振江，等. 桑树杂交组合抗青枯病能力鉴定及与抗病相关酶活性的研究[J]. 蚕业科学，2010，36(2)：300－303.
[18] 朱勃. 桑细菌性枯萎病病原的定名、分子检测及肠杆菌基因水平转移的研究[D]. 杭州：浙江大学，2010.
[19] 姜星. 桑枯萎病病原细菌的分离、鉴定及分子检测方法的建立[D]. 镇江：江苏科技大学，2012.
[20] 杨宏宇. 桑枯萎病病原鉴定及分子生物学研究[D]. 广州：华南农业大学，2018.
[21] LOGANATHAN M，THANGAVELU R，PUSHPAKANTH P，et al. First report of rhizome rot of banana caused by *Klebsiella variicola* in India [J]. Plant Disease，2021，105(7)：2011.
[22] FAN H C，ZENG L，YANG P，et al. First report of banana soft rot caused by *Klebsiella variicola* in China [J]. Plant Disease，2016，100(2)：517.
[23] HUANG Min，HE Pengfei，MUNIR S，et al. Ecology and etiology of bacterial top rot in maize caused by *Klebsiella pneumoniae* KpC4 [J/OL]. Microbial Pathogenesis，2019，139：103906. DOI：10.1016/j.micpath.2019.103906.
[24] LIN Li，WEI Chunyan，CHEN Mingyue，et al. Complete genome sequence of endophytic nitrogen-fixing Klebsiella variicola strain DX120E [J/OL]. Standards in Genomic Sciences，2015，10(1)：22. DOI：10.1186/s40793-015-0004-2.
[25] FULTON J C，KLEIN J M，BEC S，et al. Draft genome sequences of plant-pathogenic *Klebsiella variicola* strains isolated from plantain in Haiti [J/OL]. Microbiology resource announcements，2020，9(29)：e00336-20. DOI：10.1128/MRA.00336-20.
[26] REYNA-FLORES F，BARRIOS-CAMACHO H，DANTÁN-GONZÁLEZ E，et al. Draft genome sequences of endophytic isolates of *Klebsiella variicola* and *Klebsiella pneumoniae* obtained from the same sugarcane plant [J/OL]. Genome Announcements，2018，6(12)：e00147-18. DOI：10.1128/genomeA.00147-18.
[27] ROSENBLUETH M，MARTÍNEZ L，SILVA J，et al. *Klebsiella variicola*，A novel species with clinical and plant-associated isolates [J]. Systematic and Applied Microbiology，2004，27(1)：27－35.

（责任编辑：杨明丽）