

不同抗性小麦品种上麦红吸浆虫幼虫的空间分布型与理论抽样数*

高 贺^{1**} 韩宪琪¹ 冯安荣² 成卫宁^{1***}

(1. 西北农林科技大学, 农业部西北黄土高原作物有害生物综合治理重点实验室, 杨凌 712100;

2. 陕西省富平县植保植检站, 富平 711700)

摘 要 【目的】 为了解小麦品种抗性对麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) 幼虫在麦穗上空间分布型的影响, 为科学调查提供合理的抽样依据。【方法】 2015 年 5 月采用剥穗调查法对陕西省周至县试验田种植的 4 个抗虫和 4 个感虫小麦品种麦红吸浆虫幼虫危害进行调查, 应用 6 种聚集度指标和 Iwao M^*-m 回归法综合分析了幼虫在抗性不同小麦品种上的空间分布结构。【结果】 幼虫在抗、感小麦品种整穗及麦穗上、中、下部位上空间分布型一致, 均呈聚集分布, 但在抗虫品种上聚集强度大于感虫品种; 抗、感小麦品种上分布的基本成分均为个体群, 个体间相互吸引。聚集均数 λ 分析表明, 幼虫在抗性较强品种上的聚集主要由小麦穗部化学物质和形态结构等环境因素引起, 感虫品种上则由环境因素和成虫的产卵习性共同作用所致。幼虫在抗、感小麦品种上的发生趋势一致, 均是上部发生最重, 中部次之, 下部最轻。根据 Iwao 回归法中的分布型参数, 确立了幼虫在不同虫口密度和允许误差条件下的理论抽样数。【结论】 麦红吸浆虫幼虫在抗性不同小麦品种上均呈聚集分布, 调查时应根据当地栽培品种平均虫口密度选择适宜的抽样数量。

关键词 麦红吸浆虫, 抗虫品种, 感虫品种, 空间分布型, 理论抽样数

Spatial distribution pattern and theoretical sampling of *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) larvae in wheat cultivars with different resistance levels

GAO He^{1**} HAN Xian-Qi¹ FENG An-Rong² CHENG Wei-Ning^{1***}

(1. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Loess Plateau, Ministry of Agriculture,

Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Plant Protection and Quarantine Station of Fuping County, Shaanxi Province, Fuping 711700, China)

Abstract 【Objectives】 To determine the effect of wheat variety on the spatial distribution pattern of larvae of *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae) in wheat ears, so as to provide scientific guidance for field sampling. 【Methods】 The number of *S. mosellana* larvae in wheat kernels of four resistant, and four susceptible, wheat varieties planted in experimental fields in Zhouzhi County, Shaanxi province, were investigated by dissecting wheat ears in May 2015. Six aggregation indices, and Iwao's regression models, were applied to analyze the spatial distribution patterns of larvae. 【Results】 *S. mosellana* larvae had a clumped distribution both within the entire ear of each of the eight wheat varieties, and in the top, middle and bottom, sections of wheat ears. The degree of clumping was greater in resistant, than in susceptible, wheat varieties. The basic unit of distribution was individual groups in both resistant and susceptible varieties suggesting that there was mutual attraction between individual larvae. The mean λ value indicated that clumping in varieties with higher resistance was mainly

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (31371933); 陕西省自然科学基金项目 (2014JM3070); 西北农林科技大学资助项目 (TGZX2014-11)

**第一作者 First author, E-mail: gaohe365@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: cwning@126.com

收稿日期 Received: 2016-02-19, 接受日期 Accepted: 2016-04-27

caused by environmental factors, including chemical substances and the physical structure of wheat ears, whereas that in susceptible varieties might be due to a combination of the oviposition habits of adults and environmental heterogeneity. The distribution of larvae in different parts of wheat ears was similar in all varieties. The highest number of larvae were found in the top of wheat ears, followed by the mid-section, with the least number of larvae in the bottom part. The theoretical sampling number within allowable error was determined according to Iwao's regression formula. **[Conclusion]** *S. mosellana* larvae had a clumped distribution in the ears of eight wheat cultivars with different levels of resistance. Feasible sampling numbers should be confirmed by field studies based on the average larval density in local cultivars.

Key words *Sitodiplosis mosellana*, resistant wheat cultivars, susceptible wheat cultivars, spatial distribution pattern, theoretical sampling

麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) 是世界小麦生产上间隙性大发生的重要害虫 (Gong *et al.*, 2014; Jacquemin *et al.*, 2014)。1 年发生 1 代, 小麦抽穗期成虫盛发并产卵, 幼虫孵化后危害正在灌浆的小麦籽粒, 造成麦粒瘪疮、空壳或霉烂, 严重影响小麦的产量和品质。20 世纪 50 年代和 80 年代, 该虫曾 2 次在我国大面积暴发成灾, 损失惨重 (袁锋等, 2003); 近年来, 随着免耕技术的推广 (张智等, 2012)、小麦品种的更替 (武予清等, 2013) 和联合收割机跨区作业 (高军等, 2009) 等因素的影响, 该虫再度猖獗, 而且较前两次范围更大、危害更重 (Miao *et al.*, 2013; 武予清等, 2014), 严重威胁小麦的高效、优质生产。

种群的分布型是种群内个体在其生存空间的分布形式, 是种群的重要属性之一 (Park *et al.*, 2007)。昆虫种群的空间格局常因种类、发育阶段、种群密度、栽培管理方式和寄主种类等的差异而不同 (Wheeler, 2001; García, 2006; 嵇薇等, 2013)。弄清昆虫种群的空间格局, 有助于发展精确的抽样方法, 准确估计种群密度, 对害虫种群监测和综合防治措施的制定具有重要意义。

了解麦红吸浆虫幼虫在麦穗上的空间分布型是弄清其发生动态、分布、制定科学调查方案和预测危害损失的基础。尽管前人曾对麦红吸浆虫幼虫在麦穗上的空间分布格局进行过研究, 但均以单一小麦品种为研究对象, 侧重了解田块间分布型的差异 (Mukerji *et al.*, 1988; 仵均祥和沈宝成, 1996; 仵均祥等, 2000; 伏召辉等, 2011), 尚未见有关小麦品种对分布型影响的报道。众所周知, 吸浆虫幼虫在颖壳内不移动, 其

在麦穗上的分布很大程度上与成虫的产卵习性有关, 成虫产卵对小麦品种又具有选择性 (Lamb *et al.*, 2001; Ganeshiarachchi and Harris, 2009), 故推测小麦品种抗性可能影响幼虫在麦穗上的分布。鉴于此, 我们以多年抗性表现稳定的 4 个抗虫和 4 个感虫小麦品种为材料 (郝亚楠等, 2014), 综合分析抗性不同小麦品种上麦红吸浆虫幼虫的空间分布结构, 以期为该虫的田间调查提供准确的技术。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验地设于近年来麦红吸浆虫重发区陕西省西安市周至县侯家村 (N34°9', E109°10'), 该村地势平坦, 土壤为娄土, 农民注重苗木生产, 对小麦不够重视, 种植后基本不管理。2014 年秋季选择当年麦红吸浆虫发生严重的一块田, 面积约 3 400 m², 虫口密度为 390 万头/667 m²。选择 2013 和 2014 连续 2 年吸浆虫抗性鉴定圃中抗性表现较好的 4 个小麦品种——晋麦 47、科农 1006、陕麦 139、陕农 33 和 4 个高感品种——小偃 22、小偃 315、西农 822 和西农 88 (郝亚楠等, 2014), 于小麦播种适期统一播于上述田块, 其中抗虫品种陕麦 139、晋麦 47、陕农 33 和高感品种小偃 22 面积约 550 m², 其余 4 个品种约 300 m²。试验地按当地常规管理, 试验期间不施用任何农药, 翌年春季进行小麦被害调查。

1.2 调查方法

2015 年小麦乳熟期, 吸浆虫幼虫老熟但未落土前, 每个品种田 5 点取样, 每点随机取 30

穗,带回室内逐穗逐粒从基部至顶部剥查,记载每个籽粒中麦红吸浆虫幼虫数及籽粒所在小穗的位置。当天采的样尽量剥完,如不能完成,编号放入 4℃冰箱保存。根据统计结果计算每个品种的平均穗被害率、粒被害率、单穗幼虫数、估计损失率和幼虫在麦穗上的空间分布型。计算估计损失率时,麦粒中的幼虫数分为 5 级:0 级:无虫/粒;1 级:1 头/粒;2 级:2 头/粒;3 级:3 头/粒;4 级:≥4 头/粒(屈振刚等,2011)。

估失率 (%) =

$$\frac{\sum_{i=1}^4 (\text{各级粒数} \times \text{相应级别值})}{4 \times \text{总粒数}} \times 100.$$

1.3 空间分布型测定

1.3.1 聚集度指标法 根据每个品种整穗和麦穗上、中、下不同部位(仟均样等,2000)上麦红吸浆虫幼虫平均密度 m 和样本方差 S^2 ,采用扩散系数 $C = S^2/m$ 、丛生指数 $I = S^2/m - 1$ 、平均拥挤度 $M^* = m + S^2/m - 1$ 、聚块性指标 M^*/m 、Cassie 指标 $C_a = (S^2 - m)/m^2$ 和负二项分布参数 $K = m^2/(S^2 - m)$ 分析麦红吸浆虫幼虫在抗性不同小麦品种及麦穗不同部位上的分布型。

1.3.2 M^*-m 回归分析法 Iwao 提出的样本平均拥挤度 M^* 与平均密度 m 的回归关系式为 $M^* = \alpha + \beta m$, 式中 α 为分布的基本成分按大小分布的平均拥挤度,当 $\alpha = 0$ 时分布的基本成分为单个个体, $\alpha < 0$ 时个体间相互排斥; $\alpha > 0$ 时个体间相互吸引,分布的基本成分为个体群。 β 为基本成分的空间分布图式,当 $\beta = 1$ 时为随机分布, $\beta < 1$ 时为均匀分布, $\beta > 1$ 时为聚集分布。

1.4 聚集原因分析

根据 Blackith (1961) 提出的种群聚集均数 λ 分析麦红吸浆虫幼虫在麦穗上的聚集原因。 $\lambda = mr/2K$, 其中 K 为负二项分布参数, m 为平均值, r 为自由度为 $2K$ 且 $\alpha = 0.5$ 时 $\chi^2_{0.5}$ 的分布函数值。当 $\lambda < 2$ 时,聚集主要由环境因素引起; $\lambda \geq 2$ 时,聚集由昆虫自身的生物学习性或自身生物学习性与环境条件共同作用所致。

1.5 理论抽样数的确定

根据 Iwao 的理论抽样原理,采用如下公式确定麦红吸浆虫幼虫在不同虫口密度、不同误差条件下的最适理论抽样数。 $N = (t^2/D^2)[(\alpha+1)/m + \beta - 1]$, 其中 N 为理论抽样数, D 为允许误差值, t 为置信度,取 $t = 1.96$ (置信度为 95% 时的正态离差值), m 为平均虫口密度, α 、 β 为 Iwao 回归式中的参数。

1.6 数据分析

不同小麦品种受害程度及麦穗不同部位幼虫密度应用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析,Duncan's 新复极差法进行多重比较;各种聚集度指标和回归模型采用 DPS 软件进行计算。

2 结果与分析

2.1 不同小麦品种受害程度比较

由表 1 可知,不同小麦品种受害程度差异极显著,其中前期以估计损失率为基础鉴定为感虫的 4 个品种穗被害率、粒被害率、单穗虫口数和估计损失率分别为 89.99%~95.35%、11.99%~15.04%、9.86%~14.14 头和 4.93%~6.07%,均极显著高于 4 个抗虫品种对应的 29.16%~69.33%、2.93%~6.99%、0.92%~4.99 头和 0.37%~2.40%。

抗虫和感虫品种内部受害程度差异亦显著,感虫品种中小偃 22 号受害最重,除穗被害率外,其他几个指标均显著高于西农 822 和西农 88,但与小偃 315 差异不显著。抗虫品种中陕麦 139 受害最轻,陕农 33 最重,晋麦 47 和科农 1006 居中。

2.2 抗虫、感虫小麦品种上麦红吸浆虫幼虫的空间分布型

2.2.1 聚集度指标分析 表 2 结果表明,抗、感小麦品种上麦红吸浆虫幼虫扩散系数 C 、平均拥挤度 M^* 、聚块性指标 M^*/m 均大于 1,丛生指数 I 和 Cassie 指标 C_a 均大于 0,负二项分布参数 K 均大于 0 小于 8;4 个感虫品种上负二项分布 K 值均大于 4 个抗虫品种。表明麦红吸浆虫幼虫在抗、感小麦品种上均呈聚集分布,但在抗虫品种

表 1 麦红吸浆虫对不同小麦品种的危害程度
Table 1 Damage degree of different wheat cultivars caused by *Sitodiplosis mosellana* larvae

	指标 Index	穗被害率 (%) Percentage of infested ear	粒被害率 (%) Percentage of infested grain	单穗虫口数 Insect number per ear	估计损失 (%) Estimated loss rate
感虫品种 Susceptible cultivars	小偃 22 Xiaoyan 22	92.28 ± 5.11 a A	15.04 ± 1.04 a A	14.14 ± 1.25 a A	6.07 ± 0.51 a A
	小偃 315 Xiaoyan 315	89.99 ± 1.19 a A	14.40 ± 1.00 ab A	11.45 ± 0.96 b AB	5.39 ± 0.42 ab A
	西农 822 Xinong 822	92.63 ± 4.51 a A	12.67 ± 0.87 bc A	10.52 ± 0.99 b B	4.95 ± 0.42 b A
	西农 88 Xinong 88	95.35 ± 1.37 a A	11.99 ± 0.89 c A	9.86 ± 0.89 b B	4.93 ± 0.42 b A
抗虫品种 Resistant cultivars	陕农 33 Shannong 33	69.33 ± 4.37 bB	6.99 ± 0.71 d B	4.99 ± 0.55 c C	2.40 ± 0.27 c B
	晋麦 47 Jinmai 47	58.95 ± 1.54 c BC	5.28 ± 0.59 de BC	3.51 ± 0.45 cd CD	1.76 ± 0.21 cd BC
	科农 1006 Kenong 1006	49.38 ± 1.71 c C	3.16 ± 0.49 ef C	2.25 ± 0.39 df CD	1.08 ± 0.18 de CD
	陕麦 139 Shanmai 139	29.16 ± 3.42 d D	2.93 ± 0.50 f C	0.92 ± 0.19 f D	0.37± 0.07 e CD

表中数据为平均值 ± 标准误, 同列数据后标有不同大、小写字母分别表示 Duncan’s 多重比较差异极显著 ($P<0.01$) 或显著 ($P<0.05$)。表 3 同。
The data in the table are mean ± SE, and those followed by different capital or small letters in the same column indicate significant difference at 0.01 or 0.05 levels by Duncan’s multiple range test, respectively. The same for Table 3.

表 2 麦红吸浆虫幼虫在不同小麦品种上的聚集度指标
Table 2 Aggregation index of *Sitodiplosis mosellana* larvae in different wheat cultivars

	指标 Index	m	S^2	C	M^*	M^*/m	I	C_a	K	λ
感虫品种 Susceptible cultivars	小偃 22 Xiaoyan 22	14.14	233.1950	16.4919	29.6319	2.0956	15.4919	1.0956	0.9127	9.4789
	小偃 315 Xiaoyan 315	11.45	139.3099	12.1633	22.6166	1.9747	11.1633	0.9747	1.026	7.7583
	西农 822 Xinong 822	10.52	147.3520	14.0068	23.5268	2.2364	13.0068	1.2364	0.8088	6.6995
	西农 88 Xinong 88	9.86	119.7051	12.1405	21.0005	2.1299	11.1405	1.1299	0.8851	6.5295
抗虫品种 Resistant cultivars	陕农 33 Shannong 33	4.99	45.7248	9.1572	13.1505	2.6336	8.1572	1.6336	0.6121	2.7073
	晋麦 47 Jinmai 47	3.51	30.5201	8.7034	11.2101	3.1968	7.7034	2.1968	0.4552	1.5953
	科农 1006 Kenong 1006	2.25	22.4052	9.9431	11.1965	4.9688	8.9431	3.9688	0.2520	1.0251
	陕麦 139 Shanmai 139	0.92	5.56403	6.0479	5.9679	6.4868	5.0479	5.4868	0.1823	0.4185

上聚集强度大于感虫品种。 K 值表明, 幼虫在抗虫品种上的聚集强度与虫口密度密切相关, 即平均单穗虫口数越低, 聚集强度越大; 在感虫品种上聚集强度虽没有表现出明显的规律, 但总体与虫口密度负相关。

2.2.2 $Iwao$ 的 M^*-m 回归分析 将表 2 麦红吸浆虫幼虫平均密度 m 和平均拥挤度 M^* 按 $Iwao$ 回归法进行线性回归, 得到感虫品种上的回归式为 $M^*=2.2054+1.9132m$ ($R=0.9542$), 抗虫品种上为 $M^*=5.7211+1.5969m$ ($R=0.9017$), 所有品种上为 $M^*=5.5471+1.6293m$ ($R=0.9888$)。由于截距 α 均大于 0, 斜率 β 均大于 1, 说明抗、感虫小麦

品种上麦红吸浆虫幼虫均呈聚集分布, 分布的基本成分为个体群, 个体间相互吸引。

2.3 麦红吸浆虫幼虫在抗虫、感虫小麦品种麦穗不同部位的分布特点

2.3.1 麦穗不同部位幼虫发生量比较 由表 3 可知, 麦红吸浆虫幼虫在抗虫、感虫小麦品种上均是麦穗上部发生最重, 中部次之, 下部最轻。其中 4 个感虫品种上上部和中部显著高于下部, 西农 822 上部显著高于中部, 但小偃 315、小偃 22 和西农 88 上部与中部之间差异不显著。4 个抗虫品种上亦是上部极显著高于下部, 且陕麦

139 和科农 1006 上部极显著或显著高于中部, 但陕农 33 和晋麦 47 上部与中部, 以及其余 2 个品种中部与下部之间差异不显著。

2.3.2 麦穗不同部位幼虫聚集度指标分析 表

4 结果表明, 麦红吸浆虫幼虫在所有参试小麦品种麦穗上、中和下部扩散系数 C 、平均拥挤度 M^* 、聚块性指标 M^*/m 均大于 1, 丛生指数 I 和 Cassie 指标 C_a 均大于 0, 负二项分布参数 K 均

表 3 抗虫、感虫小麦品种麦穗不同部位麦红吸浆虫幼虫发生量

Table 3 Number of *Sitodiplosis mosellana* larvae in different position of wheat ear of different cultivars

部位 Position	感虫品种 Susceptible cultivars				抗虫品种 Resistant cultivars			
	小偃 22 Xiaoyan 22	小偃 315 Xiaoyan 315	西农 822 Xinong 822	西农 88 Xinong 88	陕农 33 Shannong 33	晋麦 47 Jinmai 47	科农 1006 Kenong 1006	陕麦 139 Shanmai 139
上部 Upper	5.96±0.64 a A	4.78±0.46 a A	5.11±0.52 a A	4.05±0.50 a A	2.33±0.30 a A	1.60±0.23 a A	1.23±0.22 a A	0.63±0.14 a A
中部 Middle	5.63±0.50 a A	3.87±0.38 a AB	3.67±0.40 b A	3.99±0.39 a A	1.91±0.23 a A	1.47±0.21 a A	0.63±0.14 b AB	0.21±0.07 b B
下部 Lower	2.55±0.28 b B	2.57±0.32 b B	1.74±0.24 c B	1.82±0.23 b B	0.77±0.12 b B	0.49±0.10 b B	0.40±0.12 b B	0.08±0.03 b B

表 4 麦红吸浆虫幼虫在不同小麦品种麦穗不同部位的聚集指标

Table 4 Aggregation index of *Sitodiplosis mosellana* larvae in different position of wheat ear of different cultivars

指标	Index	部位	Position	m	S^2	C	M^*	M^*/m	I	C_a	K
感虫品种 Susceptible cultivars	小偃 22 Xiaoyan 22	上部	Upper	5.9600	61.6226	10.3394	15.2994	2.5670	9.3394	1.5670	0.6382
		中部	Middle	5.6267	37.9134	6.7382	11.3648	2.0198	5.7382	1.0198	0.9806
		下部	Lower	2.5533	12.0072	4.7026	6.2559	2.4501	3.7026	1.4501	0.6896
	小偃 315 Xiaoyan 315	上部	Upper	4.7800	31.2734	6.5426	10.3226	2.1595	5.5426	1.1595	0.8624
		中部	Middle	3.8700	21.7086	5.6047	8.4780	2.1888	4.6047	1.1888	0.8412
		下部	Lower	2.5700	15.5089	6.0424	7.6091	2.9646	5.0424	1.9646	0.5090
	西农 822 Xinong 822	上部	Upper	5.1067	40.2436	7.8806	11.9873	2.3474	6.8806	1.3474	0.7422
		中部	Middle	3.6733	24.4496	6.6560	9.3293	2.5397	5.6560	1.5397	0.6495
		下部	Lower	1.7400	8.7843	5.0484	5.7884	3.3267	4.0484	2.3267	0.4298
	西农 88 Xinong 88	上部	Upper	4.0467	37.7763	9.3352	12.3818	3.0598	8.3352	2.0598	0.4855
		中部	Middle	3.9933	22.5302	5.6419	8.6353	2.1624	4.6419	1.1624	0.8603
		下部	Lower	1.8200	7.9338	4.3592	5.1792	2.8457	3.3592	1.8457	0.5418
抗虫品种 Resistant cultivars	陕农 33 Shannong 33	上部	Upper	2.3300	13.8478	5.9348	7.2681	3.1149	4.9348	2.1149	0.4728
		中部	Middle	1.9100	7.9857	4.1737	5.0871	2.6587	3.1737	1.6587	0.6029
		下部	Lower	0.7700	2.1093	2.7276	2.5009	3.2340	1.7276	2.2340	0.4476
	晋麦 47 Jinmai 47	上部	Upper	1.6000	7.6375	4.7735	5.3735	3.3584	3.7735	2.3584	0.4240
		中部	Middle	1.4667	6.7606	4.6095	5.0762	3.4610	3.6095	2.4610	0.4063
		下部	Lower	0.4867	1.4193	2.9163	2.4030	4.9377	1.9163	3.9377	0.2540
	科农 1006 Kenong 1006	上部	Upper	1.2267	7.3577	5.9981	6.2248	5.0745	4.9981	4.0745	0.2454
		中部	Middle	0.6267	2.9604	4.7240	4.3506	6.9425	3.7240	5.9425	0.1683
		下部	Lower	0.4000	2.0134	5.0336	4.4336	11.0839	4.0336	10.0839	0.0992
	陕麦 139 Shanmai 139	上部	Upper	0.6267	2.9872	4.7668	4.3935	7.0109	3.7668	6.0109	0.1664
		中部	Middle	0.2067	0.6885	3.3317	2.5383	12.2823	2.3317	11.2823	0.0886
		下部	Lower	0.0800	0.1681	2.1007	1.1807	14.7584	1.1007	13.7584	0.0727

大于 0 小于 8。负二项分布 K 值在抗虫品种上除陕农 33 是中部>上部>下部外, 其他 3 个品种上均是上部>中部>下部, 在感虫品种小偃 22 和西农 88 上为中部>下部>上部, 在小偃 315 和西农 822 上为上部>中部>下部。表明麦红吸浆虫幼虫在抗、感小麦品种麦穗不同部位上均呈聚集分布, 聚集强度在抗虫品种上为下部最强, 在感虫品种上无规律性。

2.4 聚集原因分析

麦红吸浆虫幼虫在抗虫、感虫小麦品种麦穗不同部位数量分布差异显著且均呈聚集分布, 故调查时必须整穗剥查, 此时 4 个感虫品种和低抗品种陕农 33 上聚集均数 λ 大于 2, 3 个高抗品种上小于 2 (表 2)。说明幼虫在抗性较强品种上的聚集主要由环境因素引起, 在感虫品种上的聚集除与环境因素有关外, 还与自身生物学特性有关。

2.5 理论抽样数的确定

分别将 Iwao M^*-m 回归模型中的 α 和 β 值代入最适理论抽样模型中, 得出根据感虫、抗虫和所有小麦品种计算的理论抽样公式分别为 $N=(t^2/D^2)$ (3.2054/ $m+0.9132$)、 $N=(t^2/D^2)(6.7211/m+0.5969)$ 和 $N=(t^2/D^2)(6.5471/m+0.6293)$ 。当 $t=1.96$ 时, 获得麦红吸浆虫幼虫在不同虫口密度下的理论抽样数 (表 5)。从表 5 看出, 在相同允许误差下,

随着单穗虫口密度的增大, 所需抽样数逐渐减少; 在虫口密度相同的情况下, 随着允许误差的增大, 所需抽样数依次减少。

实际调查时, 应根据人力与时间选择相应的允许误差, 然后依据调查田块小麦穗虫密度, 查表确定抽样数量。但从表 5 可知, 计算依据不同, 查表获得的抽样数就不同, 尤其虫口密度较小时, 依据感虫品种公式表查得的数据与其他两个公式表查得的差异较大; 因各地吸浆虫发生程度和栽培品种不同, 建议以所有品种为依据计算的为准。例如本实验田 8 个小麦品种平均虫口密度为 7.2, 在允许误差为 0.2 时的理论抽样数为 150 穗。

3 讨论

本研究结果表明, 麦红吸浆虫幼虫在同一田块抗性不同小麦品种上分布型一致, 均为聚集分布, 但聚集强度在抗虫、感虫品种上不同。该结果与仵均祥和沈宝成 (1996) 报道的小偃 6 号上、仵均祥等 (2000) 报道的小偃 22 号上及伏召辉等 (2011) 报道的武农 148 小麦品种上均为聚集分布, 聚集强度因田块而异的结果相似, 说明吸浆虫幼虫在小麦上聚集分布的格局不受品种抗性和田间管理方式的影响, 但聚集强度与其有关。该结论与西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 成虫和若虫在不同蔬菜种类上分布型一致 (路虹

表 5 麦红吸浆虫幼虫在不同密度下的理论抽样数
Table 5 Theoretical sampling numbers under different density of *Sitodiplosis mosellana* larvae

公式来源 Source of formula	允许误差 D Permissible variation	平均密度 (头/穗) Average density (number per wheat ear)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
感虫品种 Susceptible cultivars	0.1	1 582	967	761	659	597	556	527	505	488	474	463	453	446	439
	0.2	396	242	190	165	149	139	132	126	122	118	116	113	111	110
	0.3	176	107	85	73	66	62	59	56	54	53	51	50	50	49
抗虫品种 Resistant cultivars	0.1	2 811	1 520	1 090	875	746	660	598	552	516	488	464	444	428	414
	0.2	703	380	272	219	186	165	150	138	129	122	116	111	107	103
	0.3	312	169	121	97	83	73	66	61	57	54	52	49	48	46
所有品种 All cultivars	0.1	2 757	1 499	1 080	871	745	661	601	556	521	493	470	451	435	421
	0.2	689	375	270	218	186	165	150	139	130	123	118	113	109	105
	0.3	306	167	120	97	83	73	67	62	58	55	52	50	48	47

等, 2007), 以及白背飞虱 *Sogatella furcifera* 若虫在水稻上聚集分布的格局不受品种影响, 但聚集强度与品种抗性有关的结论相似 (唐小艳等, 2010)。小麦品种抗性强弱与聚集强度关系密切, 抗性越强, 聚集强度越高, 与伏召辉等 (2011) 报道的小麦受害程度与聚集强度负相关的结果一致。

聚集均数 λ 分析表明, 幼虫在抗性较强小麦品种上的聚集主要由环境因素引起, 这可能与麦穗挥发物、颖壳硬度、厚度、籽粒化学物质等因子有关 (Abdel-Aa, 2002; Birkett *et al.*, 2004), 本研究中高抗品种陕麦 139 和晋麦 47 颖壳硬且厚, 籽粒阿魏酸含量较高 (待发表), 这可能与其上的聚集分布有关。感虫品种上的聚集除与环境因子有关外, 也可能与其生物习性有关。众所周知, 吸浆虫成虫产卵对麦穗生育期要求严格 (武予清等, 2015), 对小麦品种具有选择性 (Lamb *et al.*, 2002), 通常在一处产卵一粒或数粒 (Ganehiarachchi and Harris, 2007), 幼虫在麦穗上没有转移能力, 这些都可能是引起聚集分布的原因。

抗虫、感虫小麦品种麦穗不同部位幼虫分布趋势相同, 均为上部最多, 中部次之, 下部最少。与 Mukerji 等 (1988) 对卵和幼虫的调查结果完全一致。分析认为这可能是因为小麦顶部小穗分化较晚, 成虫盛发期正值其分化期, 颖壳较薄而软, 更适合产卵。由于麦穗不同部位幼虫数量差异较大且均为聚集分布, 剥穗调查吸浆虫危害时, 必须整穗剥查, 否则与实际误差较大。

抽样数量的确定是田间调查方案的主要内容, 一个合适的抽样数不仅节约人力、物力, 而且能提高调查的精度。本研究以抗性明显不同小麦品种上幼虫分布格局为依据确立的理论抽样数, 作为危害调查时的参考依据, 可以减少调查的盲目性, 提高种群密度估算的准确性, 对准确预测吸浆虫危害和防治策略的制定具有重要意义。

参考文献 (References)

Abdel-Aa ESM, Hucl P, Sosulski FW, Graf R, Gillott C, Pietrzak L,

2001. Screening spring wheat for midge resistance in relation to ferulic acid content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8): 3559–3566.

Birkett MA, Bruse TA, Marthn JL, Smart LE, Oakley J, Wadhams LJ, 2004. Responses of female orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana*, to wheat panicle volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 30(7): 1319–1328.

Blackith RE, 1961. The water reserves of hatchling locusts. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 3(2): 99–107.

Fu ZH, Zheng YL, Zhang BQ, Zhang Y, Wu JX, 2011. Damage character and spatial distribution pattern of the larvae of wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) in the ears of wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 31(1): 181–185. [伏召辉, 郑余良, 张宝强, 张亚, 仵均祥, 2011. 小麦吸浆虫幼虫在麦穗上的危害特点及空间分布型研究. 麦类作物学报, 31(1): 181–185.]

Ganehiarachchi GASM, Harris MO, 2007. Oviposition behavior of orange wheat blossom midge on low-vs. high-ranked grass seed heads. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 123(3): 287–297.

Ganehiarachchi GASM, Harris MO, 2009. Ovipositing females of a short-lived gall midge take time to assess suboptimal grass seed heads. *Physiological Entomology*, 34(2): 119–128.

Gao J, Wang HJ, Wang CH, 2009. Investigation and analysis on the transmission of wheat blossom midge by cross-operating of combine harvester in Hebei province. *China Plant Protection*, 29(10): 5–8. [高军, 王贺军, 王朝华, 2009. 河北省小麦吸浆虫随联合收割机跨区作业传播的调查分析. 中国植保导刊, 29(10): 5–8.]

García FJM, 2006. Analysis of the spatio-temporal distribution of *Helicoverpa armigera* Hb. in a tomato field using a stochastic approach. *Biosystems Engineering*, 93(3): 253–259.

Gong ZJ, Miao J, Duan Y, Jiang YL, Li T, Wu YQ, 2014. Identification and expression profile analysis of putative odorant-binding proteins in *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae). *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 444(2): 164–170.

Hao YN, Zhang J, Long ZR, Wang Y, Cheng WN, 2014. Screening of resistance indicators and evaluation of the resistance of wheat varieties to the orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(11): 1321–1327. [郝亚楠, 张箭, 龙治任, 王越, 成卫宁, 2014. 小麦品种(系)对麦红吸浆虫抗性指标筛选与抗性评价. 昆虫学报, 57(11): 1321–1327.]

Jacquemin G, Chavalle S, De Proft M, 2014. Forecasting the emergence of the adult orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae) in Belgium. *Crop Protection*, 58: 6–13.

Lamb RJ, Smith MAH, Wise IL, Clarke P, Clarke J, 2001.

- Oviposition deterrence to *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae): a source of resistance for durum wheat (Gramineae). *The Canadian Entomologist*, 133(4): 579–591.
- Lamb RJ, Wise IL, Smith MAH, McKenzie RIH, Thomas J, Olfert OO, 2002. Oviposition deterrence against *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) in spring wheat (Gramineae). *The Canadian Entomologist*, 134(1): 85–96.
- Lu H, Gong YJ, Shi BC, Song JY, 2007. Spatial distribution pattern and sampling of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae), on cucumber and green bean. *Acta Entomologica Sinica*, 50(11): 1187–1193. [路虹, 宫亚军, 石宝才, 宋婧祎, 2007. 西花蓟马在黄瓜和架豆上的空间分布型及理论抽样数. 昆虫学报, 50 (11): 1187–1193.]
- Miao J, Wu YQ, Gong ZJ, He YZ, Duan Y, Jiang YL, 2013. Long-distance wind-borne dispersal of *Sitodiplosis mosellana* Géhin (Diptera: Cecidomyiidae) in northern China. *Journal of Insect Behavior*, 26(1): 120–129.
- Mukerji MK, Olfert OO, Doane JF, 1988. Development of sampling designs for egg and larval population of the wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae), in wheat. *The Canadian Entomologist*, 120(6): 497–505.
- Park YL, Krell RK, Carroll M, 2007. Theory, technology, and practice of site-specific insect pest management. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 10(2): 89–101.
- Qu ZG, Wen SM, Qu Y, Liu GR, 2011. Evaluation and identification of wheat varieties resistant to *Sitodiplosis mosellana*. *Journal of Plant Genetic Resources*, 12(1): 121–124. [屈振刚, 温树敏, 屈赞, 刘桂茹, 2011. 小麦品种抗麦红吸浆虫鉴定与抗性分析. 植物遗传资源学报, 12(1): 121–124.]
- Tang XY, Chen B, Li ZY, Li ZY, Wang F, 2010. Spatial distribution patterns and theoretical sampling of *Sogatella furcifera* of nymph in rice terrace fields in Yuanyang. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(5): 950–957. [唐小艳, 陈斌, 李正跃, 李梓亦, 王芳, 2010. 云南元阳梯田水稻田白背飞虱若虫空间分布型及理论抽样数. 昆虫知识, 47(5): 950–957.]
- Wei W, Yang MF, Liao QR, Yang H, Chen WL, 2013. The spatial distribution patterns and sampling technique of *Lissorhoptrus oryzophilus* larvae under two seedling-raising methods. *Acta Phytopylacica Sinica*, 40(2): 128–132. [巍薇, 杨茂发, 廖启荣, 杨洪, 陈文龙, 2013. 两种育秧方式下稻水象甲幼虫的空间分布型及其抽样技术. 植物保护学报, 40(2): 128–132.]
- Wheeler JAG, 2001. Biology of the Plant Bugs (Hemiptera: Miridae). New York: Cornell University Press. 507.
- Wu JX, Shen BC, 1996. A study on spatial distribution patterns and sampling techniques of wheat blossom midge on wheat heads. Proceedings of the Chinese Integrated Pest Management. Beijing: China Academic Journal Electronic Publishing House. 425–429. [仵均祥, 沈宝成, 1996. 麦红吸浆虫幼虫在麦穗上的空间分布型与抽样技术研究. 中国有害生物综合治理论文集. 北京: 中国农业科技出版社. 425–429.]
- Wu JX, Yuan F, Su L, 2000. Distribution and damaging characteristics of wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae) on wheat heads. *Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalis*, 28(4): 40–44. [仵均祥, 袁锋, 苏丽, 2000. 麦红吸浆虫在小麦穗上的分布和危害特点. 西北农业大学学报, 28(4): 40–44.]
- Wu YQ, Duan AJ, Zhang ZQ, Liu CY, Liu ST, Jiang YL, Miao J, Duan Y, Gong ZJ, Li T, 2013. Resistance grading method and evaluation in wheat varieties to orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) in China. *Acta Agronomica Sinica*, 39(12): 2171–2176. [武予清, 段爱菊, 张自后, 刘长营, 刘顺通, 蒋月丽, 苗进, 段云, 巩中军, 李彤, 2013. 小麦品种的麦红吸浆虫抗性分级方法及抗性评价. 作物学报, 39(12): 2171–2176.]
- Wu YQ, Duan AJ, Zhang ZQ, Liu CY, Liu ST, Miao J, Gong ZJ, Duan Y, Jiang YL, Li T, 2015. The synchronization of ear emerging stages of winter wheat with occurrent periods of orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae) adults and its damaged level. *Acta Ecologica Sinica*, 35(11): 1–9. [武予清, 段爱菊, 张自后, 刘长营, 刘顺通, 苗进, 巩中军, 段云, 蒋月丽, 李彤, 2015. 小麦抽穗期与麦红吸浆虫成虫发生期的同步性及其受害程度. 生态学报, 35(11): 1–9.]
- Wu YQ, Miao J, Gong ZJ, Duan Y, Jiang YL, Li T, 2014. Progress in research on the biology, ecology and control of the wheat blossom midge. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(6): 1450–1458. [武予清, 苗进, 巩中军, 段云, 蒋月丽, 李彤, 2014. 小麦吸浆虫的生物学、生态学及防治研究进展. 应用昆虫学报, 51(6): 1450–1458.]
- Yuan F, Wu JX, Hua BZ, Liu YH, Zhu CS, 2003. Studies on plagues caused by *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) and their law and control I. Spatial pattern and periodicity on plague emergence. *Journal of Northwest A&F University (Nature Science Edition)*, 31(5): 96–100. [袁锋, 仵均祥, 花保祯, 刘延虹, 祝传书, 2003. 麦红吸浆虫的灾害与成灾规律研究 I. 灾害出现的空间格局与周期性. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 31(5): 96–100.]
- Zhang Z, Liu YZ, Cheng DF, Sun JZ, Jiang JW, Yang LX, Liang XZ, 2012. Impacts of different tillage practices on population dynamics of the orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(5): 612–617. [张智, 张云慧, 程登发, 孙京瑞, 蒋金炜, 杨龙显, 梁相志, 2012. 耕作方式对麦红吸浆虫种群动态的影响. 昆虫学报, 55(5): 612–617.]