

河北廊坊小麦穗期蚜虫优势度和生态位分析

黄宗北^{1,2}, 张智³, 李祥瑞², 朱勋², 张爱环^{1*}, 张云慧^{2*}

(1. 北京农学院生物与资源环境学院, 农业农村部华北都市农业重点实验室, 北京 102206; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193; 3. 北京市植物保护站, 北京 100029)

摘要 为明确华北小麦穗期主要蚜虫种类及其生态位, 为京津冀地区小麦蚜虫预测预报和科学防控提供技术支持, 采用五点式和棋盘式取样法系统调查了河北廊坊小麦穗期不同蚜虫种类的种群动态及其在植株上的分布, 利用生态位理论, 计算获草谷网蚜 *Sitobion miscanthi* (Takahashi)、禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) 和麦无网长管蚜 *Metopolophium dirhodum* (Walker) 3 种优势蚜虫的生态位宽度和重叠度。禾谷缢管蚜的时空生态位最宽, 其次为获草谷网蚜和麦无网长管蚜, 其中禾谷缢管蚜的生态位宽度随时间推移呈上升趋势, 其他两种蚜虫呈下降趋势。不同蚜虫种类之间存在生态位重叠, 其中获草谷网蚜与禾谷缢管蚜的重叠度最大, 为 2.073 0, 获草谷网蚜与麦无网长管蚜的重叠度最低, 为 1.656 4; 随时间推移, 获草谷网蚜与禾谷缢管蚜之间的竞争趋于增强, 禾谷缢管蚜与麦无网长管蚜之间的竞争趋于减弱, 而获草谷网蚜与麦无网长管蚜的竞争关系相对稳定。获草谷网蚜是当地小麦蚜虫主要优势种群, 禾谷缢管蚜时空生态位宽度最大, 与获草谷网蚜竞争激烈, 麦无网长管蚜时空生态位相对稳定。

关键词 小麦; 麦蚜; 生态位; 种间竞争

中图分类号: S 435.122.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022715

Analysis of the dominance and niche of aphids at the wheat earing stage in Langfang, Hebei province

HUANG Zongbei^{1,2}, ZHANG Zhi³, LI Xiangrui², ZHU Xun², ZHANG Aihuan^{1*}, ZHANG Yunhui^{2*}

(1. College of Bioscience and Resource Environment, Beijing University of Agriculture, Key Laboratory of Urban Agriculture (North China), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 102206, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Beijing Plant Protection Station, Beijing 100029, China)

Abstract By field survey and analyzing the main aphid species and their niches at the wheat earing stage in North China, this study aimed to provide a technical support for the prediction system and scientific prevention and control of wheat aphids in Beijing-Tianjin-Hebei region. We used five-point sampling and chessboard sampling methods to investigate the species, dynamics and position of wheat aphid on plants at the earing stage of wheat in Langfang. The niche theory was used to calculate the niche width and overlap of three wheat dominant aphids, *Sitobion miscanthi* (Takahashi), *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) and *Metopolophium dirhodum* (Walker). *R. padi* had the widest temporal-spatial niche, followed by *S. miscanthi* and *M. dirhodum*. The niche width of *R. padi* showed an upward trend with time, while the other two aphid species showed a downward trend. Niche overlap existed between different aphid species; *R. padi* and *S. miscanthi* had the largest overlap (2.073 0), and *S. miscanthi* and *M. dirhodum* had the lowest overlap (1.656 4). With the passage of time, the competition between *S. miscanthi* and *R. padi* tended to intensify, and the competition between *R. padi* and *M. dirhodum* tended to weaken, while the competition between *S. miscanthi* and *M. dirhodum* was relatively stable. *S. miscanthi* was the main dominant species of local wheat aphids. The temporal-spatial niche width of *R. padi* was the largest, and its competition with *S. miscanthi* was fierce. The temporal-spatial niche of *M. dirhodum* was

收稿日期: 2022-11-11 修订日期: 2022-12-07

基金项目: 国家小麦产业技术体系(CARS-03)

* 通信作者 E-mail: 张爱环 zhangaihuan@126.com; 张云慧 yhzhang@ippcaas.cn

relatively stable.

Key words wheat; wheat aphids; niche; interspecies competition

我国小麦蚜虫主要有获草谷网蚜(又称麦长管蚜) *Sitobion miscanthi* (Takahashi)、禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus)、麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* (Rondani) 和麦无网长管蚜 *Metopolophium dirhodum* (Walker)。20 世纪 50~60 年代,我国麦蚜为害轻,年发生面积一般在 190 万~460 万 hm^2 ;70 年代以后,麦蚜演变为常发性主要害虫,发生面积呈不断上升趋势,尤其是 20 世纪 90 年代以来,受气候变化、耕作制度变迁和品种更替等因素影响,麦蚜发生面积迅速上升^[1-3]。近年来,麦蚜发生为害面积达 1 200 万~1 400 万 hm^2 ,成为黄淮海麦区最重要的害虫^[4-8]。根据《农作物病虫害防治条例》^[9],我国农作物病虫害实行分类管理,获草谷网蚜、禾谷缢管蚜和麦二叉蚜被列为一类农作物病虫害。受蚜虫自身生物学习性影响,不同麦区的蚜虫优势种类有很大差异,同一麦区蚜虫优势种类随时间也会发生明显变化,因此,明确小麦蚜虫在不同地区、小麦不同生育期的优势种群,对于该类害虫的科学防控具有重要的指导意义。

生态位是衡量物种在生态系统中竞争激烈程度的重要指标^[10]。生态位宽度、重叠度和竞争指数可以反映不同物种在群落中的资源利用能力、相似程度以及竞争强度^[11]。小麦蚜虫是不同种类的混合种群,在植株上空间分布及随着小麦生育期变化其空间分布的变化规律非常复杂^[1]。从时间和空间生态位角度探索麦蚜种群交替发生规律、种间的竞争与共存机制及种群对环境的适应性,是开展麦蚜综合防治的基础^[12]。国内对小麦蚜虫生态位的研究主要集中在江淮和黄淮麦区,研究对象主要为获草谷网蚜、禾谷缢管蚜和麦二叉蚜^[13-16],而对京津冀麦区蚜虫生态位的报道较少。本文在河北廊坊麦田,对小麦穗期主要蚜虫的种群消长动态和生态位进行了调查分析,旨在进一步了解京津冀地区不同种类蚜虫对时间、空间及营养资源的利用程度及其相互关系,揭示京津冀麦区蚜虫混合种群的竞争共存机制和复合为害特点,为京津冀麦区小麦蚜虫的科学防控提供依据。

1 材料与方法

1.1 调查时间与地点

试验于 2021 年 4 月 30 日至 5 月 29 日在中国

农业科学院植物保护研究所廊坊中试基地(116°36'E,39°30'N)进行,小麦品种为‘轮选 987’,2020 年 10 月 8 日播种,生长期不施用任何化学农药。

1.2 调查方法

选择长势良好的麦田。采用五点取样法,4 月 30 日开展系统调查,每点调查 10 个单茎,共计 30 个点,记录不同蚜虫种类和数量,7 d 调查 1 次,因降雨等天气原因会提前或推迟 1 天,于 5 月 29 日结束。小麦抽穗后,5 月 8 日开展生态位调查,棋盘式取样 10 个点,每点调查 15 个单茎,共计 150 茎,7 d 调查 1 次,5 月 29 日结束。生态位调查记载每单茎小麦各部位的蚜虫种类与数量,小麦单茎植株从上向下依次记为穗、穗秆、旗叶、第 1 节间、第 1 叶等,依次类推(图 1)。

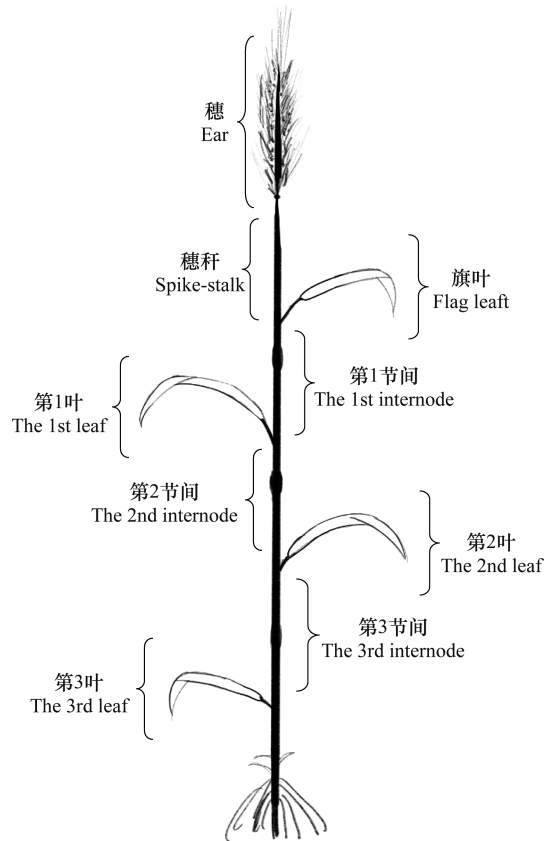


图 1 小麦植株各部分示意图

Fig. 1 Schematic diagram of each part of a wheat plant

1.3 数据分析方法

生态位宽度(B)参考 Levins^[17]的方法进行计算(公式 1),式中 P_i 为物种利用第 i 类资源占总资源的比例, S 为资源总数,本文中包括穗、茎秆和叶片

数。生态位重叠度(L)参考 Hurlbert^[11]的方法计算(公式 2),式中 P_{ij} 和 P_{ik} 分别为在资源状态 i 下不同麦蚜种类 j 、 k 所占的比例, a_i 为资源状态 i 可利用的数目。种间竞争程度使用 May^[18]的种间竞争指数(C)(公式 3)评价,式中 P_i 和 P_j 分别表示不同麦蚜种类 i 和 j 利用某一资源状态的个体比例。

$$B = \frac{1}{\left[s \sum_{i=1}^s P_i^2 \right]}$$

(1)

$$L = \sum_{i=1}^n \left[\frac{P_{ij} P_{ik}}{a_i} \right]$$

(2)

$$C = \sum P_i P_j / \left| \left(\sum P_i^2 \right) \left(\sum P_j^2 \right) \right|^{1/2}$$

(3)

2 结果与分析

2.1 小麦蚜虫种群消长动态及垂直分布

小麦穗期蚜虫以获草谷网蚜为优势种,累计数量占调查总蚜量的 72.29%,禾谷缢管蚜、麦无网长管蚜种群消长曲线比较平稳,累计数量分别占调查总蚜量的 10.79%和 16.92%,麦二叉蚜在下部叶片零星可见。4 月 30 日当地小麦处于孕穗期,获草谷网蚜、禾谷缢管蚜、麦无网长管蚜 3 种蚜虫种群数量较少,5 上中旬小麦处于抽穗扬花期,3 种蚜虫种群数量持续上升,5 月 21 日小麦处于灌浆期蚜虫种群数量达到最高,5 月 28 日以后随着温度的升高、小麦生育期处于灌浆后期,蚜虫种群数量急剧下降(图 2)。

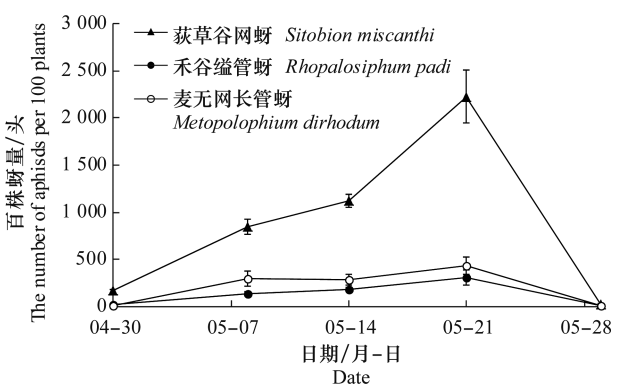


图 2 廊坊地区小麦蚜虫种群消长曲线
Fig. 2 Dynamic curves of wheat aphid populations in Langfang area

获草谷网蚜主要分布在穗部及旗叶以上,5 月 8 日旗叶以上蚜量占单茎蚜量的 57.13%,并随着时间推移逐渐增多,5 月 29 日占整株蚜量的 86.74%,其中 5 月 21 日穗部所占比例最高,为 44.01%。禾谷缢管蚜 5 月 8 日在植株不同部位分布均匀,穗部旗叶以上占 21.76%,随着时间推移,植株上部蚜量占比逐渐增高,5 月 29 日旗叶及以上的蚜量占整株蚜量的 69.74%,其中穗部占 36.84%。麦无网长管蚜基本不上穗,主要分布在旗叶、第 1 叶和第 2 叶,5 月 8 日占整株虫量的 85.48%,5 月 14 日和 21 日分别占 95.23%和 95.57%,5 月 29 日下降为 76.36%。随着温度升高,小麦灌浆后期叶部营养物质的消减,穗秆、第 1 节间蚜虫比例上升(表 1)。

表 1 廊坊地区 3 种小麦蚜虫在小麦不同部位的垂直分布¹⁾

Table 1 Distribution of three wheat aphids species in different parts of wheat plants in Langfang area

调查日期/ 月-日	3 种小麦蚜虫在廊坊小麦植株上不同部位的分布/% Distribution of three aphid species in different parts of wheat plants in Langfang area											
	种类 Species	占比 Ratio	穗 Ear	穗秆 Spike-stalk	旗叶 Flag leaf	第 1 节间 1st internode	第 1 叶 1st leaf	第 2 节间 2nd internode	第 2 叶 2nd leaf	第 3 节间 3rd internode	第 3 叶 3rd leaf	基部 Base
05-08	I	65.96	32.73	0.66	23.74	1.11	17.84	3.33	17.46	0.10	2.64	0.38
	II	11.04	3.12	5.97	12.67	1.65	15.15	0.28	25.99	4.68	26.35	4.13
	III	23.00	0.00	0.00	13.92	0.00	35.29	2.79	36.27	0.00	11.36	0.37
05-14	I	70.69	41.14	1.57	26.43	0.48	18.59	0.03	10.51	0.10	1.14	0.00
	II	11.42	21.54	9.93	7.60	12.52	21.54	13.27	9.27	1.84	2.42	0.08
	III	17.89	0.04	0.99	45.87	0.61	33.71	0.24	15.65	0.00	2.88	0.00
05-21	I	74.96	44.01	2.14	24.85	1.33	16.45	0.71	8.23	0.28	1.98	0.02
	II	10.34	24.11	3.42	16.28	5.73	19.31	3.62	21.31	0.40	5.13	0.70
	III	14.70	0.00	1.24	40.36	1.32	29.43	0.00	23.78	0.00	3.64	0.23
05-29	I	68.09	38.81	18.08	29.85	6.63	4.81	0.17	1.16	0.00	0.50	0.00
	II	14.89	36.84	10.53	22.37	14.47	14.47	0.00	1.32	0.00	0.00	0.00
	III	17.02	0.00	9.09	41.82	12.73	25.45	1.82	9.09	0.00	0.00	0.00

1) I: 获草谷网蚜; II: 禾谷缢管蚜; III: 麦无网长管蚜; “占比”为不同种类蚜虫占总蚜量的比例。
I: *Sitobion miscanthi*; II: *Rhopalosiphum padi*; III: *Metopolophium dirhodum*. The ratio is the proportion of one aphid species to the total number of aphids.

2.2 不同时间小麦蚜虫的空间生态位及竞争系数

3 种小麦蚜虫种群的空间生态位随时间变化呈现不同变化(表 2)。禾谷缢管蚜生态位宽度最大,即在小麦植株上的取食为害范围最广,平均为 0.547 7,且随时间推移不断增加;荻草谷网蚜和麦无网长管蚜的平均生态位宽度分别为 0.299 8 和 0.257 4,随

时间推移不断下降。荻草谷网蚜和禾谷缢管蚜的生态位重叠度较高,生态位重叠指数平均为 1.793 3,最高可达 2.454 8;荻草谷网蚜与麦无网长管蚜的生态位重叠值相对稳定,平均为 1.692 0,最高 1.810 4;禾谷缢管蚜与麦无网长管蚜的生态位重叠指数随时间不断下降,平均为 1.762 5,最高 1.955 3(表 2)。

表 2 廊坊地区 3 种小麦蚜虫空间生态位随时间的变化¹⁾

Table 2 Changes of spatial niche of three wheat aphid species over time in Langfang area

调查日期/月-日 Investigation date	生态位宽度(B) Niche breadth			生态位重叠度(L) Niche overlap		
	BⅠ	BⅡ	BⅢ	L(Ⅰ,Ⅱ)	L(Ⅰ,Ⅲ)	L(Ⅱ,Ⅲ)
05-08	0.378 5	0.495 4	0.274 8	1.205 4	1.632 7	1.955 3
05-14	0.279 9	0.527 9	0.267 7	1.609 4	1.810 4	1.847 9
05-21	0.272 1	0.530 4	0.253 8	1.903 7	1.694 6	1.651 1
05-29	0.268 7	0.637 1	0.233 3	2.454 8	1.630 3	1.595 7
平均值 Average value	0.299 8	0.547 7	0.257 4	1.793 3	1.692 0	1.762 5

1) Ⅰ: 荻草谷网蚜; Ⅱ: 禾谷缢管蚜; Ⅲ: 麦无网长管蚜。下同。
Ⅰ: *Sitobion miscanthi*; Ⅱ: *Rhopalosiphum padi*; Ⅲ: *Metopolophium dirhodum*. The same applies below.

从竞争指数(表 3)来看,荻草谷网蚜与禾谷缢管蚜的竞争强度随着时间推移逐步趋于激烈,在 5 月 29 日竞争指数最高达 0.950 4。荻草谷网蚜与麦无网长管蚜的竞争强度相对稳定。禾谷缢管蚜与麦无网长管蚜的竞争系数逐步下降,这些数据变化与生态位重叠值的变化相一致。

表 3 廊坊地区 3 种小麦蚜虫生态位竞争指数随时间的变化
Table 3 Changes of niche competition indices of three wheat aphids species over time in Langfang area

调查日期/月-日 Investigation date	生态位竞争指数(C) Niche competition index		
	C(Ⅰ,Ⅱ)	C(Ⅰ,Ⅲ)	C(Ⅱ,Ⅲ)
05-08	0.587 6	0.636 1	0.846 0
05-14	0.775 2	0.636 9	0.742 9
05-21	0.845 3	0.566 9	0.698 4
05-29	0.950 4	0.590 8	0.625 1

2.3 小麦穗期蚜虫种群时-空生态位

在时间生态位宽度上,禾谷缢管蚜的生态位宽度最宽,为 0.705 9,其他依次为荻草谷网蚜 0.536 5

和麦无网长管蚜 0.486 1,说明禾谷缢管蚜的发生期最长,可以取食不同生育期的小麦植株,其余 2 种蚜虫发生期较短或发生数量较少。3 种蚜虫在小麦中后期一直存在,禾谷缢管蚜和麦无网长管蚜的时间生态位重叠系数最大,为 1.343 5,荻草谷网蚜和麦无网长管蚜的时间生态位重叠系数最小,为 1.054 3。

在空间生态位宽度上,禾谷缢管蚜的生态位宽度最宽,为 0.671 9,其他依次为麦无网长管蚜 0.354 3 和荻草谷网蚜 0.323 3,空间生态位重叠度荻草谷网蚜与禾谷缢管蚜(1.694 3) > 荻草谷网蚜与麦无网长管蚜(1.571 1) > 禾谷缢管蚜与麦无网长管蚜(1.458 8)。

在时-空二维生态位上,禾谷缢管蚜生态位宽度最广(0.474 3),荻草谷网蚜次之(0.173 5),麦无网长管蚜最小(0.172 2)。在时空生态位重叠度方面荻草谷网蚜与禾谷缢管蚜(2.073 0) > 禾谷缢管蚜与麦无网长管蚜(1.959 9) > 荻草谷网蚜与麦无网长管蚜(1.656 4)(表 4)。

表 4 3 种小麦蚜虫种群时间、空间以及时空生态位宽度及重叠值

Table 4 Niche breadth and niche overlap of three wheat aphid species in temporal, spatial and spatio-temporal dimensionality

维度 Dimensionality		生态位宽度(B) Niche breadth			生态位重叠度(L) Niche overlap		
		BⅠ	BⅡ	BⅢ	L(Ⅰ,Ⅱ)	L(Ⅰ,Ⅲ)	L(Ⅱ,Ⅲ)
时间 Temporal		0.536 5	0.705 9	0.486 1	1.223 5	1.054 3	1.343 5
空间 Spatial		0.323 3	0.671 9	0.354 3	1.694 3	1.571 1	1.458 8
时-空 Spatio-temporal		0.173 5	0.474 3	0.172 2	2.073 0	1.656 4	1.959 9

3 结论与讨论

生态位差异是物种取食选择与群落各环境因子共同作用的结果^[19-20]。在我国北方地区 4 月—5 月,小麦蚜虫发生的关键为害期受冷空气和高温天气影响较大,不同种类蚜虫对温度的适应范围差异会对它们种群变化造成一定的影响^[21-23]。从小麦抽穗、扬花到灌浆期这段时间,小麦植株不同部位的含水量、营养物质变化较大,穗部及植株上半部营养含量偏高,而成熟后期,小麦籽粒变硬,不利于刺吸式害虫的取食^[1]。本研究中小麦蚜虫的为害盛期为 5 月中下旬,伴随温度升高和小麦进入成熟期,蚜虫种群数量急剧下降。3 种小麦主要蚜虫的垂直分布也显示随着小麦生育期的推进,植株中上部的蚜虫分布比例逐渐升高,尤其是荻草谷网蚜主要分布在旗叶及以上部位,禾谷缢管蚜在穗部的比例随时间推移逐渐增加,麦无网长管蚜在旗叶和第 2 叶的比例逐渐增加。

时空生态位是以调查日期内的时间和空间作为资源单元,以各个日期调查的生态位的平均值来表示整个小麦生长发育中后期的蚜虫生态位宽度以及重叠度,当物种所利用的资源完全独立时则物种的多维生态位参数就是各资源生态位参数估计值之乘积^[24-25]。从时空二维生态位重叠度来看,荻草谷网蚜与麦无网长管蚜重叠度最小,荻草谷网蚜与禾谷缢管蚜、禾谷缢管蚜与麦无网长管蚜的生态位重叠度相对较高,竞争较为激烈,这是由于荻草谷网蚜主要生活于小麦植株的上部,麦无网长管蚜主要分布于小麦植株中部,两者取食范围相对固定,对于时间和空间资源的利用较少,随着时间的推移,荻草谷网蚜集中于小麦穗部及第 1 叶片以上,生态位宽度逐渐变窄;麦无网长管蚜不上穗,主要分布于第 1 和第 2 叶片,对时间空间的资源利用率低;而禾谷缢管蚜在小麦抽穗初期在植株的分布较为均匀,对食物资源的利用比较充分,随着小麦生育期的推进逐渐向植株中上部及穗部转移,与荻草谷网蚜和麦无网长管蚜的竞争增强。

生态学家通过研究竞争物种对时间、空间和食物资源的利用策略来探讨竞争共存机制、协同进化、多物种群落演替及多样性等问题^[26-27]。已有的研究

表明,荻草谷网蚜的时间生态位宽度略高于禾谷缢管蚜,而禾谷缢管蚜的空间生态位宽度略大于荻草谷网蚜^[16]。邱光等^[14]对江苏南京地区麦蚜的调查发现,小麦抽穗后荻草谷网蚜的数量比例逐渐下降,禾谷缢管蚜上升为优势种群。而山东烟台小麦抽穗至灌浆期,荻草谷网蚜发生量大,并集中在穗部为害,禾谷缢管蚜量少,主要分布在旗叶及以下部位^[13]。本研究结果表明,荻草谷网蚜的生态位宽度随时间推移逐渐变窄,与安徽麦区荻草谷网蚜的变化趋势相似^[15]。禾谷缢管蚜的生态位宽度随时间推移不断变宽,在穗部的比例逐渐增高,但未上升为当地的优势种群。郭线茹等^[16]在河南的调查结果也显示,在小麦灌浆期禾谷缢管蚜有向上部叶片和麦穗转移的趋势,由于禾谷缢管蚜对高温的适应性高于其他几种蚜虫^[22],在小麦生长中后期,随着温度的升高,禾谷缢管蚜的取食范围和活动空间越来越大,繁殖加快,数量增多,其综合竞争力超过了荻草谷网蚜。王运兵等^[28]通过田间观测也发现,小麦穗期生态位相似的荻草谷网蚜和禾谷缢管蚜在食物资源共享上也存在细微的差异,荻草谷网蚜在麦穗上部多,甚至在麦芒上也有分布,禾谷缢管蚜在穗的下部数量多。荻草谷网蚜多在小麦颖壳上及穗轴的向光部分取食,而禾谷缢管蚜多在小穗的间隙中和穗轴的背光部分取食,形成相似近缘种间的资源分配及生态位的相似和分离,以达到它们能够最大限度地利用食物资源,保证物种的多样性和稳定性。

不同种类的小麦蚜虫因食物相同,习性相似,生活于相同或相近的空间,它们之间既相互协调又相互制约,形成了种间的竞争和共存关系。从生态位角度来看,它们之间的竞争十分明显,但在我国小麦主产区麦蚜均是以混合种群发生,这也是麦蚜在长期演化过程中对竞争的适应,表现为不同地区及同一地区不同生育期优势种不同,这也增加了防控的难度。尤其是随着近年来新烟碱类种衣剂以及病虫害“一喷三防”措施的大面积推广和应用,麦蚜抗药性增加^[29-30]。据田间抗性监测,4 种蚜虫在不同地区对不同种类农药都产生了不同程度的抗性^[31]。本文结果显示,尽管荻草谷网蚜的生态位比禾谷缢管蚜窄,但荻草谷网蚜一直是穗部的优

势种群,禾谷缢管蚜主要在穗部以下,在灌浆中后期才较多地向穗部移动,因此,荻草谷网蚜对小麦产量的影响更大^[1]。因此,明确不同地区小麦蚜虫的优势种群和对时间空间的利用率,可以为不同地区、小麦不同生育期的麦蚜“对靶”防治,制定科学用药方案,有助于我们更合理地进行麦蚜的综合治理。

参考文献

- [1] 郭予元,曹雅忠,李世功,等. 麦蚜混合种群对小麦穗期的危害和动态防治指标初步研究[J]. 植物保护, 1988, 14(3): 2-5.
- [2] 倪汉祥,李光博. 我国小麦病虫害综合防治技术研究进展[J]. 中国农学通报, 1993(2): 16-19.
- [3] 曹雅忠,尹姣,李克斌,等. 小麦蚜虫不断猖獗原因及控制对策的探讨[J]. 植物保护, 2006, 32(5): 72-75.
- [4] MA Chunsen, MA Gang, PINCEBOURDE S. Survive a warming climate: insect responses to extreme high temperatures [J]. Annual Review of Entomology, 2020, 66: 163-184.
- [5] 黄冲,姜玉英,李春广. 1987 年—2018 年我国小麦主要病虫害发生危害及演变分析[J]. 植物保护, 2020, 46(6): 186-193.
- [6] 王纯枝,霍治国,郭安红,等. 中国北方冬小麦蚜虫气候风险评估[J]. 应用气象学报, 2021, 32(2): 160-174.
- [7] ZHANG Qingqing, MEN Xingyuan, HUI Cang, et al. Wheat yield losses from pests and pathogens in china [J/OL]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2022, 326: 107821. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107821.
- [8] SUN Xiao, SUN Yumen, MA Ling, et al. Multidecadal, continent-level analysis indicates agricultural practices impact wheat aphid loads more than climate change [J/OL]. Communications Biology, 2022, 5(1): 761. DOI: 10.1038/s42003-022-03731-z.
- [9] 农业农村部. 中华人民共和国农业农村部公告 第 333 号 [EB]. (2020-11-24) [2022-11-11]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-09/17/content_5544165.htm.
- [10] 王凤,鞠瑞亭,李跃忠,等. 生态位概念及其在昆虫生态学中的应用[J]. 生态学杂志, 2006(10): 1280-1284.
- [11] HURLBERT S H. The measurement of niche overlap and some relatives [J]. Ecology, 1978, 59(1): 67-77.
- [12] 张润志,张军,魏争鸣,等. 新疆麦蚜主要天敌的生态位[J]. 昆虫学报, 1999, 42(S1): 45-49.
- [13] 杨奉才,毛学明,郑建强,等. 麦蚜及其天敌生态位的初步研究[J]. 华东昆虫学报, 1994, 5(2): 69-72.
- [14] 邱光,肖英方,顾正远,等. 麦蚜混合种群发生规律与空间生态位演变[J]. 江苏农业科学, 1996(3): 37-39.
- [15] 陈高潮,耿继光. 两种麦蚜空间生态位的系统研究[J]. 安徽农业大学学报, 1998, 25(4): 359-362.
- [16] 郭线茹,付晓伟,罗梅浩,等. 小麦生长中后期麦蚜及其天敌生态位的研究[J]. 河南农业大学学报, 2008(4): 430-433.
- [17] LEVINS R. Evolution in changing environments [M]. Princeton University Press, 1968: 1-158.
- [18] MAY R M. Some notes on estimating the competition matrix [J]. Ecology, 1975, 56(3): 737-741.
- [19] SMITH E P. Niche breadth, resource availability, and inference [J]. Ecology, 1982, 63(6): 1675-1681.
- [20] 杨效文,马继盛. 生态位有关术语的定义及计算公式评述[J]. 生态学杂志, 1992(2): 46-51.
- [21] 胡胜昌,贡桑. 温度对麦无网长管蚜实验种群生长的影响[J]. 昆虫学报, 1985(1): 36-44.
- [22] 杨益众,戴志一,张凤举,等. 温度对禾谷缢管蚜发育和繁殖的影响[J]. 植物保护学报, 1994, 21(2): 155-161.
- [23] 许乐园,米勇,卢虹,等. 麦长管蚜在不同温度下的年龄-龄期生命表[J]. 植物保护学报, 2014, 41(6): 673-679.
- [24] 丁伟,赵志模,王进军,等. 三种玉米蚜虫种群的生态位分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1481-1484.
- [25] BARRO P. The impact of spiders and high temperatures on cereal aphid (*Rhopalosiphum padi*) numbers in an irrigated perennial grass pasture in south Australia [J]. Annals of Applied Biology, 2008, 121(1): 19-26.
- [26] 杨效文. 麦蚜种间竞争研究初报[J]. 生态学杂志, 1991(1): 1-5.
- [27] 朱春全. 生态位理论及其在森林生态学研究中的应用[J]. 生态学杂志, 1993(4): 41-46.
- [28] 王运兵,金德锐,王连泉,等. 麦蚜混合种群数量自我调节机制研究[J]. 河南职技师院学报, 1994(3): 5-8.
- [29] 张云慧,韩二宾,李祥瑞,等. 拌种吡虫啉残留对麦长管蚜实验种群的影响[J]. 昆虫学报, 2013, 56(1): 54-59.
- [30] 李亚萍,李祥瑞,张云慧,等. 吡虫啉悬浮种衣剂对麦无网长管蚜实验种群的影响[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 25-29.
- [31] GONG Peipang, LI Xingan, GAO Haifeng, et al. Field evolved resistance to pyrethroids, neonicotinoids, organophosphates and macrolides in *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) and *Sitobion avenae* (Fabricius) from China [J/OL]. Chemosphere, 2021, 269: 128747. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128747.

(责任编辑:杨明丽)