



棉花生境面积及其破碎化对棉蚜数量的影响

宋海燕¹ 李丽莉¹ 宋莹莹¹ 欧阳芳² 于毅¹ 胡辰璐³ 卢增斌^{4*} 门兴元^{1*}

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100; 2. 中国科学院动物研究所, 北京 100101; 3. 山东省滨州市滨城区农业农村局, 滨州 256600; 4. 山东省农业科学院玉米研究所, 小麦玉米国家工程实验室, 农业农村部黄淮海北部玉米生物学与遗传育种重点实验室, 济南 250100)

摘要: 为探讨农作物面积减少及其破碎化对害虫种群的影响, 采用微景观试验模型系统连续2年研究5个梯度棉花生境面积(棉花种植比例分别为20%、40%、60%、80%和100%, 其余均种植玉米)及2种破碎化(完全连通与完全破碎)对棉蚜 *Aphis gossypii* 数量的影响。结果表明, 棉花生境面积较小(棉花种植比例为20%)时破碎化程度越高, 棉蚜数量越多, 而生境面积较大(棉花种植比例为40%)时棉蚜的响应正好相反; 生境面积中等(棉花种植比例为60%)时, 破碎化程度对棉蚜数量影响不大; 生境面积大(棉花种植比例为80%)时, 破碎化对棉蚜数量的影响存在年度效应, 2014年破碎化程度越大, 棉蚜数量越少, 2015年则无影响。棉花生境面积、破碎化及两者之间的互作对棉蚜数量无显著影响, 棉花生境面积、破碎化与调查时间的互作也不影响棉蚜数量, 但调查时间显著影响棉蚜数量, 棉花生境面积、破碎化与调查时间三者之间的互作效应呈年度变化。总之, 棉蚜对棉花面积变动及其破碎化展示出较强的适应性。

关键词: 生境面积; 破碎化; 棉蚜; 适应性; 农田景观

Effects of cotton planting area and fragmentation on the abundance of cotton aphid *Aphis gossypii*

Song Haiyan¹ Li Lili¹ Song Yingying¹ Ouyang Fang² Yu Yi¹ Hu Chenlu³ Lu Zengbin^{4*} Men Xingyuan^{1*}

(1. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China; 2. Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Bincheng District, Binzhou 256600, Shandong Province, China; 4. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Maize in Northern Yellow-Huai River Plain, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; National Engineering Laboratory of Wheat and Maize, Maize Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China)

Abstract: To elucidate the effects of crop habitat area and fragmentation on insect pests, the experimental model landscape system was used to study five levels of cotton habitat areas (the planting ratios of cotton were 20%, 40%, 60%, 80% and 100%, respectively) and two kinds of fragmentation (fully clumped and totally fragmented) on the abundance of the cotton aphid *Aphis gossypii*. The results showed that, when cotton habitat area was small (the planting ratio of cotton was 20%), the higher the fragmentation, the more the aphids; when cotton habitat area increased (the planting ratio of cotton was 40%), the higher the fragmentation, the less the aphids; when cotton habitat area was medium (the planting ratio of cotton was 60%), cotton aphids were not affected by fragmentation; when cotton habitat area was larger (the planting ratio of cotton was 80%), fragmentation had an annual effect on the number

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201900), 山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2021A38)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: luzengbin12345@163.com, menxy2000@hotmail.com

收稿日期: 2021-08-08

of aphids and aphids reduced in fragmented habitats in 2014, but no difference was observed between fragmentations in 2015. Cotton habitat area, fragmentation and their interactions did not significantly impact the number of cotton aphids, and the aphids were also not affected by the interaction between cotton habitat area and survey time, and between the fragmentation and survey time. However, the survey time showed a significant influence, and the interactions among cotton habitat area, fragmentation and survey time depended on the years surveyed. In conclusion, *A. gossypii* showed a strong suitability for the change in cotton habitat area and fragmentation.

Key words: habitat area; fragmentation; *Aphis gossypii*; flexibility; agricultural landscape

棉花是我国重要的经济作物之一,是关系国计民生的重要战略物资。黄淮海地区曾经是我国棉花的重要产区,20世纪80年代到21世纪初该区内山东省棉花种植面积和产量连续多年位居全国前列。但是近十多年以来,受劳动力成本增加、无法实现全程机械化和经济效益低等多种因素制约,山东省棉花种植面积急剧下降,大规模、连片种植的棉花被玉米、花生等作物“分割包围”,变成了小面积、零星种植,种植棉花的地块成了“孤岛”,不同地块之间的连通性大大降低(王桂峰等,2019),这种格局变化必然会影响到棉蚜 *Aphis gossypii* 等重要害虫。多个研究已表明农田景观格局变化确实影响了农田生态系统中害虫与天敌的数量、多样性及相互作用等(欧阳芳和戈峰,2011;卢增斌等,2016;张永生,2018)。因此,深入阐明棉花当前的种植格局对棉蚜等重要害虫的影响具有重要意义。

目前,黄淮海地区棉花种植格局的变化涉及到2个相对独立的生态过程——生境丧失和生境破碎化。生境丧失是指生境面积的减少和部分生境的丧失(Fahrig, 1997; 2002; Collinge, 2000),生境破碎化是指大生境被分割成多块相对不连续的小块生境,而整体面积维持不变(Fahrig, 2002)。国内外多位学者已经评价了生境面积丧失与破碎化对昆虫的影响(Schmitt & Seitz, 2002; Schtickzelle & Baguette, 2003; 赵紫华等, 2011),如 Grez et al. (2008)发现在生境面积丧失和破碎化较高的景观中苜蓿蚜 *Aphis craccivora* 数量少,而苜蓿斑蚜 *Therioaphis trifolii* 数量多; Fahrig (2003)通过比较发现,相比生境丧失来说,破碎化对多个生态过程的影响是非常弱的;随后 Fahrig (2017)进一步分析了破碎化的单独作用,结果显示在381个事例中,分别有76%和24%对破碎化存在正向响应和负向响应。微景观试验模型系统(experimental model landscape system, EMLS)是以中性景观模型为基础,可以构建生境面积与破碎化均独立的多个景观类型(With, 1997),在国际上被广

泛用于研究真实景观系统对生态学过程的影响,如 With & Pavuk (2011)使用该系统研究了红三叶草生境面积丧失与破碎化对物种丰富度和天敌-猎物关系的影响,结果发现与破碎化相比,生境面积对物种丰富度的影响更大、更持久,而破碎化表现为细微的、短暂的影响,同时破碎化通过干扰天敌对猎物的搜索行为和数量聚集效应削弱了天敌对害虫暴发的控制能力(With et al., 2002),该系统也非常适合研究棉花生境面积丧失及其破碎化对棉蚜的影响。

棉蚜属半翅目蚜科,是棉花生产中的主要害虫,其可以直接取食植物汁液,造成叶片卷曲、发黄变黑和植株矮缩,还可以分泌蜜露影响植物的光合作用及传播植物病毒(张永孝等, 1982; Castle, 1992)。同时,它对环境有较强的适应性,如为适应不同季节温度的变化,形成了苗蚜、伏蚜和秋蚜3个生态型(张永孝等, 1982)。为深入阐明棉花当前的种植格局对棉蚜的生态学效应,于田间采用EMLS连续2年研究5个梯度棉花生境面积(棉花种植比例分别为20%、40%、60%、80%和100%,其余均种植玉米)及2种极端破碎化(完全连通和完全破碎)对棉蚜数量的影响,以期对棉蚜的防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物:棉花品种为鲁棉研28号,由山东省棉花研究中心和中国农业科学院生物研究所共同选育而成,是转 *cry1A* 基因抗虫常规品种,高抗枯萎病,耐黄萎病,抗棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (王家宝等, 2014);玉米品种为郑单958,由河南省农业科学院粮食作物研究所选育而成,是目前我国种植面积最大的玉米品种,高抗矮花叶病毒、黑粉病,抗大小斑病(堵纯信等, 2006)。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

试验于2014年和2015年在山东省农业科学院

试验基地内进行。该基地地处黄河冲击平原,占地面积约 133 hm²,以农作物新品种创制、新技术研究和新成果新技术集成示范为主要任务,基础设施良好,种植棉花、玉米和小麦等多种农作物。棉花是棉蚜的主要寄主植物,为适宜生境,玉米为不适宜生境。

本试验中设计 5 个梯度的棉花生境面积和 2 种破碎化程度,共 10 个景观类型,每个景观类型随机排列,重复 3 次,共 30 个小区。同时设置 1 个全部种植玉米的景观类型(CK)。5 个梯度的棉花生境面积小区大小相同,仅棉花种植比例不同,分别为 20%、40%、60%、80% 和 100%,其余均种植玉米;2 种破碎化程度为完全连通和完全破碎,景观中斑块之间的关系强度分别为 1.0 和 0.0,其越低则表示景观斑块之间的关系强度越低,破碎化程度越严重,当一个小区全部种植同一种农作物(棉花或玉米)时,不同斑块之间完全连通,不存在破碎的情况。不同的景观类型由 Qrule 模型构建,即每个棉花生境面积按照完全连通和完全破碎来种植,田间种植布局图参照宋海燕等(2020)。每个小区区长 16 m、宽 16 m,将每个小区平均分成 256 个边长为 1 m 的栅格,每个栅格按照景观类型种植棉花或者玉米,种植棉花时每个栅格内种植 4 株,株距 50 cm,行距 50 cm,种植玉米时每个栅格内种植 6 株,株距 30 cm,行距 50 cm,2 种作物均在 2014 年和 2015 年 5 月中下旬种植。每个小区之间间隔 5 m,以减少昆虫之间的相互扩散;整个试验区外设置 5 m 宽的玉米保护带,以减少外界对试验的干扰。采取人工去除小区内杂草,水肥管理按当地习惯,试验中不使用任何杀虫剂。

1.2.2 昆虫数量调查

每年从 7 月开始调查棉蚜数量,9 月结束,每 15 d 左右调查 1 次。每次调查时选择晴天进行,每个小区随机选取 100 株棉花进行调查,当植株小时调查整株上的棉蚜数量,当植株大时,每株选择上、中、下 3 片叶子进行调查,每次调查持续 2~3 d。2014 年共调查 6 次,2015 年共调查 5 次。

1.3 数据分析

采用 SPSS 20.0 软件中广义线性模型分析棉花生境面积、破碎化、调查时间及其互作对棉蚜数量的影响,其中棉蚜数量在分析前先进行 $\lg(x+1)$ 转化。

2 结果与分析

2.1 不同棉花生境面积时棉蚜数量

2.1.1 2014 年不同棉花生境面积时的棉蚜数量

生境完全连通时,7 月 8 日、9 月 2 日和 9 月 24 日

棉蚜数量随棉花种植比例的增加呈先上升后下降的趋势,峰值分别出现在棉花种植比例为 40%、40% 和 80% 时,分别为 39.17、4 391.67 和 6 375.00 头/百株;7 月 26 日棉蚜数量持续降低,棉花种植比例为 100% 时棉蚜数量最少,为 131.00 头/百株,而 8 月 19 日棉蚜数量持续增加,棉花种植比例为 100% 时棉蚜数量最多,为 1 285.33 头/百株;8 月 6 日棉蚜数量呈双峰趋势,分别在棉花种植比例为 40% 和 80% 时出现峰值,分别为 121.67 头/百株和 147.92 头/百株(图 1)。

生境完全破碎时,仅 9 月 24 日棉花种植比例为 40% 时,棉蚜数量最多,为 7 913.33 头/百株,其余调查日期均是棉花种植比例为 20% 时棉蚜数量最多,分别为 50.00、400.00、230.00、1 925.00 和 3 560.00 头/百株。随着棉花种植比例的增加,不同调查日期棉蚜数量呈现不同趋势,其中 7 月 8 日、8 月 6 日和 9 月 2 日,棉蚜数量先下降后上升;7 月 26 日和 8 月 19 日,棉蚜数量持续下降;9 月 24 日,棉蚜数量先上升后下降(图 1)。

2.1.2 2015 年不同棉花生境面积时的棉蚜数量

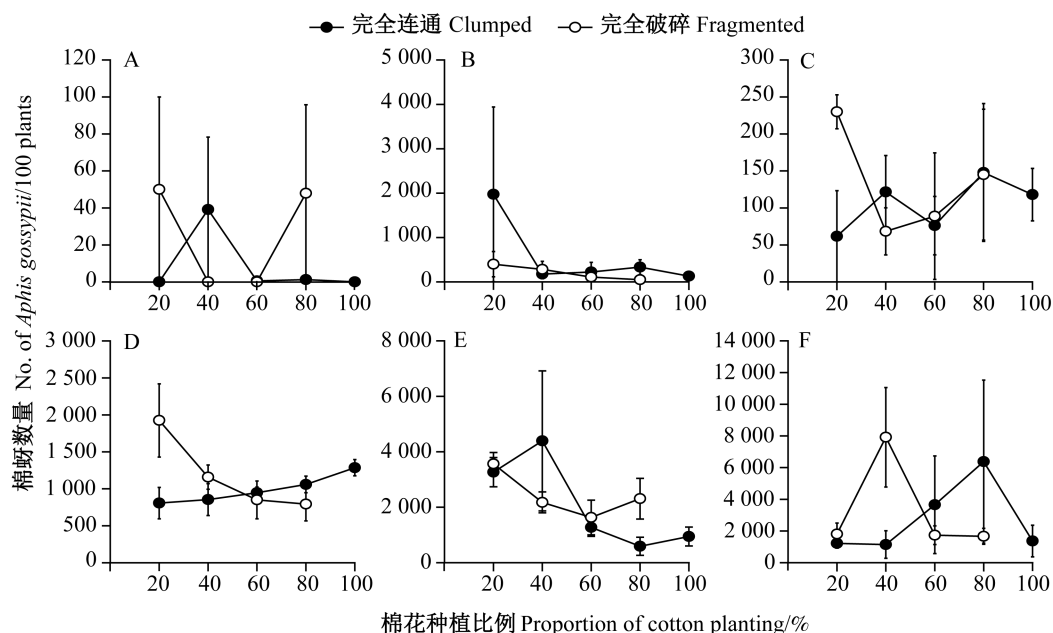
生境完全连通时,随着棉花种植比例增加,不同调查日期棉蚜数量的变化趋势不同,其中 7 月 16 日、7 月 31 日和 8 月 29 日棉蚜数量呈波动变化,棉花种植比例为 100%、40% 和 40% 时棉蚜数量最多,分别为 387.00、25.83 和 343.33 头/百株;8 月 10 日棉蚜数量呈先上升后下降的趋势,棉花种植比例为 40% 时棉蚜数量最多,为 36.67 头/百株;9 月 8 日棉蚜数量不断下降,棉花种植面积比例为 20% 时棉蚜数量最多,为 238.33 头/百株(图 2)。

生境完全破碎时,随着调查时间的推进和棉花种植比例的增加,棉蚜数量分别呈上升-下降-上升、下降-上升、持续下降、持续下降和下降-上升-下降的趋势,棉花种植比例为 40%、80%、20%、20% 和 60% 时棉蚜数量最多,分别为 423.33、62.08、140.00、656.67 和 185.56 头/百株(图 2)。

2.2 不同棉花面积破碎化时棉蚜数量

2.2.1 2014 年不同棉花面积破碎化时的棉蚜数量

棉花种植比例为 20% 时,除 7 月 26 日外,其他 5 个调查日期完全破碎时的棉蚜数量均高于完全连通时;棉花种植比例为 40% 时,7 月 8 日、8 月 6 日和 9 月 2 日完全连通时的棉蚜数量均高于完全破碎时,其他 3 个调查日期则正好相反;棉花种植比例为 60% 时,破碎化程度对棉蚜数量的影响较小;棉花种植比例为 80% 时,除 7 月 8 日和 9 月 2 日外,其他 4 个调查日期完全连通时的棉蚜数量高于完全破碎时(图 1)。

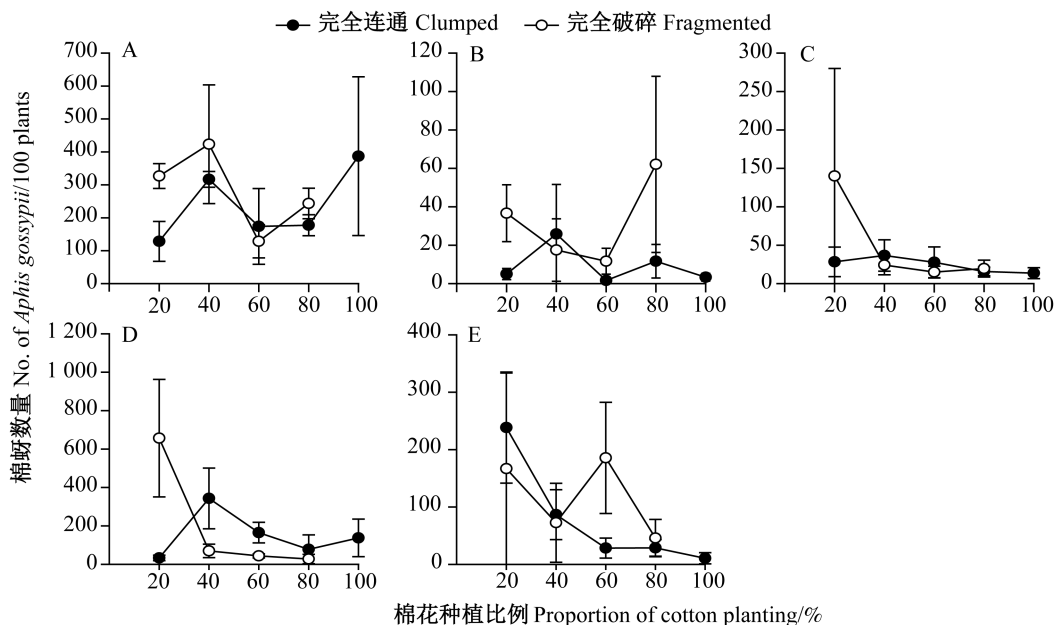


A~F: 调查日期分别为7月8日、7月26日、8月6日、8月19日、9月2日和9月24日。A~F: Survey dates on 8 July, 26 July, 6 Aug, 19 Aug, 2 Sep and 24 Sep, respectively.

图1 2014年不同棉花生境面积及其破碎化时棉蚜数量

Fig. 1 No. of *Aphis gossypii* in different cotton areas and fragmentations in 2014

图中数据为平均数±标准误。Data in the figure are mean±SE.



A~E: 调查日期分别为7月16日、7月31日、8月10日、8月29日和9月8日。A~E: Survey dates on 16 July, 31 July, 10 Aug, 20 Aug, 20 Aug and 8 Sep, respectively.

图2 2015年不同棉花生境面积及其破碎化时棉蚜数量

Fig. 2 No. of *Aphis gossypii* in different cotton areas and fragmentations in 2015

图中数据为平均数±标准误。Data in the figure are mean±SE.

2.2.2 2015年不同棉花面积破碎化时的棉蚜数量

棉花种植比例为20%时,除9月8日外,其他4个调查日期完全破碎时的棉蚜数量高于完全连通时;棉花种植比例为40%时,除7月16日外,其他4个调

查日期完全连通时的棉蚜数量高于完全破碎时;棉花种植比例为60%时,除9月8日外,其他4个调查日期的2种破碎化程度时的棉蚜数量差异不大;棉花种植比例为80%时,除7月31日外,其他4个调查

日期的2种破碎化程度时的棉蚜数量差异不大(图2)。

2.3 棉花生境面积及其破碎化对棉蚜数量的影响

在2年中,调查时间均显著影响棉蚜数量,棉花生境面积、破碎化及两者之间的互作均对棉蚜数量

无显著影响,棉花生境面积与调查时间、破碎化与调查时间的互作也对棉蚜数量无显著影响,2014年棉花生境面积、破碎化与调查时间三者之间的互作对棉蚜数量有显著影响,而2015年无显著影响(表1)。

表1 棉花生境面积、破碎化及取样时间对棉蚜数量影响的统计分析结果

Table 1 Statistical results of the effects of cotton area, fragmentation and survey time on *Aphis gossypii* populations

因子 Factor	2014			2015		
	χ^2	df	P	χ^2	df	P
棉花生境面积 Cotton area	3.78	4	0.44	3.29	4	0.51
破碎化 Fragmentation	3.18	1	0.07	0.40	1	0.53
调查时间 Survey time	461.17	5	0.00	88.72	4	0.00
棉花生境面积×破碎化 Cotton area×fragmentation	6.30	3	0.10	3.98	3	0.26
棉花生境面积×调查时间 Cotton area×survey time	10.61	20	0.96	21.60	16	0.16
破碎化×调查时间 Fragmentation×survey time	1.18	5	0.95	5.82	4	0.21
棉花生境面积×破碎化×调查时间 Cotton area×fragmentation×survey time	28.91	15	0.02	20.66	12	0.06

3 讨论

生境面积变化与破碎化是2种不同的生态过程,物种对这2个因子的响应很大程度上是由物种自身的生物学特性和该物种对生境的依赖程度决定(Andren, 1999)。本研究结果表明棉花生境面积、破碎化及两者之间的互作对棉蚜数量无显著影响,这可能与棉蚜的较强适应性有关。棉蚜在长期进化过程中形成了独特的生存哲学,比如为适应不同寄主植物和环境条件形成的干母、有翅胎生雌蚜、性母、无翅有性雌蚜和有翅雄蚜等,同时为应对温度变化形成的苗蚜和伏蚜,苗蚜不耐高温,主要在棉花生长早期发生,伏蚜耐高温,在盛夏发生和为害。杨芳和贺达汉(2007)研究结果也表明生境破碎化对动植物群落组成无明显影响,斑块面积并不影响植物-昆虫-寄生物的相互关系,与本研究结果一致。本研究结果还显示棉花生境面积、破碎化与调查时间三者之间的互作存在年度变化,这种现象可能与年度气候有关,也可能与年度内取样时间间隔有关。

本研究结果还表明,生境完全破碎时且棉花种植比例为20%时和生境完全连通时且棉花种植比例为40%时,棉蚜数量多次出现峰值;棉花生境面积中等(棉花种植比例为60%)时,破碎化对棉蚜数量影响不大;当棉花生境面积较大(棉花种植比例为80%)时,破碎化对棉蚜数量的影响存在年度效应,这说明棉花生境面积较小,破碎化程度越高,有利于棉蚜的发生,原因如下:第一,棉蚜成虫飞行能力较强,可以迅速在寄主之间进行转移,破碎化在一定程度上只能影响棉蚜并不能完全限制棉蚜;第二,破碎化也可能影响天敌的搜索行为和对猎物的数量聚集效应,进而降低了天敌的控害效果(Braschler et al.,

2003),导致棉蚜数量增加,因为棉蚜等专食性昆虫受生境破碎化的影响强烈,而广食性天敌则更多受周围景观多样性的影响(杨芳和贺达汉,2007;刘美佳和蔡平,2011);第三,农田内农作物种植面积越大越集中,其他类型的景观越少且面积越小,不利于天敌数量的维持,并会导致棉蚜数量上升(欧阳芳等,2016;张晴晴等,2018)。

近年来景观格局对昆虫多样性及种间关系影响的研究被广泛关注,生境破碎化对昆虫群落的影响也成为景观生态学和昆虫种群生态学的研究新热点(杨芳和贺达汉,2007)。本研究根据棉花种植格局发生变化的农业生产实际,考虑了棉花生境面积与破碎化等2个景观因子对棉蚜数量的影响,但缺乏对昆虫类群的特征如运动性、个体大小、行为等方面的考虑,导致得出的结论存在一定的局限性。下一步将统筹考虑多种因素,设计更加合理的试验,从而更加全面阐明生境丧失-生境破碎化-害虫及天敌之间的相互关系。

参 考 文 献 (References)

- Andren H. 1999. Habitat fragmentation, the random sample hypothesis and critical thresholds. *Oikos*, 84(2): 306
- Braschler B, Lampel G, Baur B. 2003. Experimental small-scale grassland fragmentation alters aphid population dynamics. *Oikos*, 100(3): 581-591
- Castle SJ. 1992. Field and laboratory transmission of watermelon mosaic virus 2 and zucchini yellow mosaic virus by various aphid species. *Phytopathology*, 82(2): 235
- Collinge SK. 2000. Effects of grassland fragmentation on insect species loss, colonization, and movement patterns. *Ecology*, 81(8): 2211-2226
- Du CX, Cao CJ, Cao Q, Bi MM, Dong ZK, Zhang FL. 2006. The

- breeding and application of maize hybrid Zhengdan 958. *Journal of Maize Sciences*, 14(6): 43–45, 49 (in Chinese) [堵纯信, 曹春景, 曹青, 毕蒙蒙, 董战鲲, 张发林. 2006. 玉米杂交种郑单958的选育与应用. *玉米科学*, 14(6): 43–45, 49]
- Fahrig L. 1997. Relative effects of habitat loss and fragmentation on population extinction. *The Journal of Wildlife Management*, 61(3): 603
- Fahrig L. 2002. Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: a synthesis. *Ecological Applications*, 12(2): 346–353
- Fahrig L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34: 487–515
- Fahrig L. 2017. Ecological responses to habitat fragmentation per se. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48: 1–23
- Greze AA, Zaviezo T, Diaz S, Camousseigt B, Cortés G. 2008. Effects of habitat loss and fragmentation on the abundance and species richness of aphidophagous beetles and aphids in experimental alfalfa landscapes. *European Journal of Entomology*, 105(3): 411–420
- Liu MJ, Cai P. 2011. Effects of habitat fragmentation on the insect diversity. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 39(26): 16017–16019 (in Chinese) [刘美佳, 蔡平. 2011. 生境破碎化对昆虫多样性的影响. *安徽农业科学*, 39(26): 16017–16019]
- Lu ZB, Ouyang F, Zhang YS, Guan XM, Men XY. 2016. Impacts of landscape patterns on populations of the wheat mites, *Petrobia latens* (Müller) and *Penthaleus major* (Duges), in the North China Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 36(14): 4447–4455 (in Chinese) [卢增斌, 欧阳芳, 张永生, 关秀敏, 门兴元. 2016. 华北平原地区景观格局对麦田害螨种群数量的影响. *生态学报*, 36(14): 4447–4455]
- Ouyang F, Ge F. 2011. Effects of agricultural landscape patterns on insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1177–1183 (in Chinese) [欧阳芳, 戈峰. 2011. 农田景观格局变化对昆虫的生态学效应. *应用昆虫学报*, 48(5): 1177–1183]
- Ouyang F, Men XY, Guan XM, Xiao YL, Ge F. 2016. Ecological effect of regional agricultural landscape pattern on wheat aphids and their natural enemies. *Scientia Sinica (Vita)*, 46(1): 139–150 (in Chinese) [欧阳芳, 门兴元, 关秀敏, 肖云丽, 戈峰. 2016. 区域性农田景观格局对麦蚜及其天敌种群的生态学效应. *中国科学: 生命科学*, 46(1): 139–150]
- Schmitt T, Seitz A. 2002. Influence of habitat fragmentation on the genetic structure of *Polyommatus coridon* (Lepidoptera: Lycaenidae): implications for conservation. *Biological Conservation*, 107(3): 291–297
- Schtickzelle N, Baguette M. 2003. Behavioural responses to habitat patch boundaries restrict dispersal and generate emigration-patch area relationships in fragmented landscapes. *Journal of Animal Ecology*, 72(4): 533–545
- Song HY, Li LL, Li C, Ouyang F, Yu Y, Lu ZB, Men XY. 2020. Effects of varying the proportion of cotton habitat area and their fragmentation on the abundance of *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 99–104 (in Chinese) [宋海燕, 李丽莉, 李超, 欧阳芳, 于毅, 卢增斌, 门兴元. 2020. 棉花生境面积及其破碎化对烟粉虱种群的影响. *应用昆虫学报*, 57(1): 99–104]
- Wang GF, Wang AQ, Qin DL, Wei XW. 2019. Investigation report on the development of cotton industry in Shandong Province. *Cotton Sciences*, 41(4): 3–15 (in Chinese) [王桂峰, 王安琪, 秦都林, 魏学文. 2019. 山东省棉花产业发展情况调研报告. *棉花科学*, 41(4): 3–15]
- Wang JB, Wang LM, Jiang H, Zhao JS, Chen Y, Gao MW, Wang XL, Dong HZ. 2014. Breeding of high and stable-yielding cotton variety SCRC28 and its physiological characteristics for cultivation. *Cotton Science*, 26(6): 569–576 (in Chinese) [王家宝, 王留明, 姜辉, 赵军胜, 陈莹, 高明伟, 王秀丽, 董合忠. 2014. 高产稳产型棉花品种鲁棉研28号选育及其栽培生理特性研究. *棉花学报*, 26(6): 569–576]
- With KA. 1997. The application of neutral landscape models in conservation biology. *Conservation Biology*, 11(5): 1069–1080
- With KA, Pavuk DM. 2011. Habitat area trumps fragmentation effects on arthropods in an experimental landscape system. *Landscape Ecology*, 26(7): 1035–1048
- With KA, Pavuk DM, Worchuck JL, Oates RK, Fisher JL. 2002. Threshold effects of landscape structure on biological control in agroecosystems. *Ecological Applications*, 12(1): 52–65
- Yang F, He DH. 2007. Effects of habitat fragmentation on plant and insect-insect interactions. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(5): 642–646 (in Chinese) [杨芳, 贺达汉. 2007. 生境破碎化对植物-昆虫及昆虫之间相互关系的影响. *昆虫知识*, 44(5): 642–646]
- Zhang QQ, Lu ZB, Li LL, Guan XM, Ouyang F, Zhang YS, Men XY. 2018. Ecological effects of farmland landscape patterns on the populations of cotton aphids, *Aphis gossypii* Glover, in North China. *Acta Ecologica Sinica*, 38(4): 1366–1374 (in Chinese) [张晴晴, 卢增斌, 李丽莉, 关秀敏, 欧阳芳, 张永生, 门兴元. 2018. 区域性农田景观格局对棉蚜种群数量的生态学效应. *生态学报*, 38(4): 1366–1374]
- Zhang YS. 2018. Ecological effects of agricultural landscape patterns on aphids and ladybeetles. Ph. D thesis. Changsha: Hunan Agricultural University (in Chinese) [张永生. 2018. 农田景观格局对蚜虫及天敌瓢虫种群的生态学效应. 博士学位论文. 长沙: 湖南农业大学]
- Zhang YX, Zhao ZG, Cao CY. 1982. Studies on the damage of cotton caused by *Aphis gossypii* Giov. and the threshold for control. *Journal of Plant Protection*, 9(4): 229–236 (in Chinese) [张永孝, 赵之刚, 曹赤阳. 1982. 棉蚜为害损失与防治指标的研究. *植物保护学报*, 9(4): 229–236]
- Zhao ZH, Wang Y, He DH, Zhang R, Zhu MM, Dong FL. 2011. Effects of habitat loss and fragmentation on species loss and colonization of insect communities in experimental alfalfa landscapes. *Biodiversity Science*, 19(4): 453–462, 497 (in Chinese) [赵紫华, 王颖, 贺达汉, 张蓉, 朱猛蒙, 董凤林. 2011. 苜蓿草地生境丧失与破碎化对昆虫物种丧失与群落重建的影响. *生物多样性*, 19(4): 453–462, 497]

(责任编辑:张俊芳)