棉花生境面积及其破碎化对烟粉虱种群的影响*

宋海燕[1**] 李丽莉[1] 李 超[1] 欧阳芳[3] 于 毅[1] 卢增斌[2***] 门兴元[1***]

（1. 山东省农业科学院植物保护研究所，济南 250100；2. 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；3. 中国科学院动物研究所，北京 100101）

摘 要 **【目的】** 阐明棉花生境面积变化及其破碎化对烟粉虱 *Bemisia tabaci* 种群的作用规律，为合理利用作物布局进行害虫生态调控提供理论支撑。**【方法】** 采用国际流行的微景观试验模型系统（Experimental model landscape system，EMLS）进行试验设计，田间条件下连续两年研究了棉花生境面积变化（20%、40%、60%、80%和 100%；其他为玉米生境面积）及 2 种极端破碎化（完全连通 *C* clumped：*H*=1.0；完全破碎 *F* fragmented：*H*=0.0）下烟粉虱种群数量变化，采用广义线性模型（GLM）分析各因素对烟粉虱种群数量的影响。**【结果】** 棉花生境面积及其破碎化单独作用时均对烟粉虱种群数量无显著影响，而取样时间则有显著影响。烟粉虱种群数量也没有受到取样时间与棉花生境面积、取样时间与破碎化以及三者交互作用的显著影响。但是，棉花生境面积与破碎化的互作效应则存在年度变化，2014 年无显著作用，2015 年显著影响烟粉虱种群。当棉花生境面积较小（20%）或较大（80%）时，破碎化程度高，烟粉虱种群数量少；棉花生境面积中等（40%和 60%）时，破碎化程度低，烟粉虱种群数量少。**【结论】** 烟粉虱种群对棉花生境面积变化有较强的适应性，而生境破碎化只能在一定程度上产生影响。

关键词 棉花生境面积；破碎化；烟粉虱；生态调控

Effects of varying the proportion of cotton habitat area and their fragmentation on the abundance of *Bemisia tabaci*

SONG Hai-Yan[1**] LI Li-Li[1] LI Chao[1] OUYANG Fang[3]
YU Yi[1] LU Zeng-Bin[2***] MEN Xing-Yuan[1***]

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

Abstract **[Objectives]** To determine the effects of varying the proportion of cotton habitat area and their fragmentation on *Bemisia tabaci* populations and thereby investigate the effectiveness of controlling insect pests by changing crop planting patterns. **[Methods]** The experimental model landscape system (EMLS) was adopted to assess the effects of varying the proportion of cotton habitat area (20%, 40%, 60%, 80%, 100%), and of two levels of fragmentation (*C* clumped: *H* = 1.0; *F* fragmented: *H* = 0.0), on *B. tabaci* populations in a 2-year field trial. A generalized linear model (GLM) was used to analyze the effects of various factors on *B. tabaci* populations. **[Results]** The proportion of cotton habitat area and the level of fragmentation had no significant effects on *B. tabaci* populations, whereas survey time had a significant effect. *B. tabaci* abundance was also not significantly affected by the interactions between survey time and cotton habitat area, survey time and fragmentation, and among these three variables. However, the significance of the interaction between cotton habitat area and fragmentation depended on the year, with no significant effects in 2014 and significant effects in 2015. When the area planted

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划（2017YFD0201900）；国家自然科学基金项目（31800349）；山东省农业科学院农业科技创新工程（CXGC2019G01）

**第一作者 First author，E-mail：shy_810903@126.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：luzengbin12345@163.com；menxy2000@hotmail.com

收稿日期 Received：2019-12-20；接受日期 Accepted：2020-01-10

in cotton was 20% or 80%, *B. tabaci* abundance was lower if there was a high degree of fragmentation. However, when the area planted in cotton was 40% and 60%, *B. tabaci* abundance was lower with less fragmentation. **[Conclusion]** *B. tabaci* can adapt to different proportions of cotton habitat area and the effects of fragmentation were subtle.

Key words cotton habitat area; fragmentation; *Bemisia tabaci*; ecology-control

生境是昆虫赖以生存的基础。生境破碎化包括生境面积丧失和破碎化，对昆虫种群具有重要的影响（Andren，1999；张大治等，2019）。生境破碎化导致斑块数量增加、面积减少和斑块间隔离度增加，严重影响物种的繁殖、迁移能力（Fischer and Lindenmayer, 2007；武晶和刘志民，2014）和种群密度（Summerville and Crist，2004）。生境破碎化还改变了物种的丰度、优势度和种群发生动态，并且这种变化随生境面积变动和破碎化呈现相应的规律性（杨芳和贺达汉，2006；刘美佳等和蔡平，2011；李雪婷，2018）。Golden 和 Crist（1999）发现完整生境中昆虫的物种丰度高于破碎生境。赵紫华等（2011）报导了生境丧失与破碎化对昆虫群落及不同类群的分布均有显著影响。贺泽帅等（2018）的研究表明苦豆子斑块面积对害虫数量影响不显著，但斑块隔离度增加能够减轻害虫对种子的危害。张大治等（2019）则发现随着苦豆子斑块面积增大，种子中的害虫密度降低，豆粒的危害率随着生境破碎化程度增加呈升高的趋势。因此，生境面积及其破碎化对昆虫种群的影响是不一致的，必须加以深入研究。

棉花是重要的经济作物，在我国国民经济中占有重要地位。近年来，随着种植业结构调整和植棉效益下降，山东省棉花种植面积逐年下降，在大部分地区形成了与其他作物镶嵌种植的农田景观格局。但是，这种景观格局对棉花害虫生态学效应的研究还比较少。烟粉虱 *Bemisia tabaci* 属半翅目 Hemiptera 粉虱科 Aleyrodidae，是棉花上的主要害虫之一，其若虫和成虫均能危害植物，可直接吸食植物汁液，影响植物生长，也可以通过分泌蜜露、诱发煤污病等方式，降低植物产量和质量（Barro，1995；Oliveira *et al.*，2001；薛夏等，2012；宋海燕等，2017）。目前，棉花上烟粉虱的防控主要依赖化学农药，大量使用化学农药产生了诸多负面影响，如靶标害虫抗性上升、次要害虫暴发、农药残留超标及生物多样性下降等。因此，深入阐明棉花生境面积变化和破碎化对烟粉虱种群的影响，从而加强对其的生态防控，对减少化学农药使用具有重要意义。

本文采用微景观试验模型系统（EMLS）在田间条件下连续两年研究了棉花生境面积 5 个梯度及 2 个水平的极端破碎化（完全连通和完全破碎）对烟粉虱种群数量的影响，分析了棉花生境面积和破碎化对烟粉虱的作用效果，以期为利用农田景观设计加强对烟粉虱的生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验在山东省农业科学院济阳试验基地开展。济阳区位于黄河下游北岸，鲁北平原的南部，属于暖温带半湿润季风气候区，四季分明，雨热同季，光照充足，年平均气温 12.8 ℃，年平均无霜期 195 d，年降水量 583.3 mm，96%以上为潮土，土壤肥沃，适宜多种农作物生长，是山东省重要的棉花种植区。

1.2 试验设计

整个试验采用国际流行的微景观试验模型系统（EMLS）开展研究。棉花和玉米镶嵌种植，其中玉米为隔离作物，棉花生境面积比例设置 5 个水平：20%、40%、60%、80%和 100%，相应的玉米生境面积分别为 80%、60%、40%、20%和 0，同时设置 1 个全部种植玉米的处理（棉花生境面积比例为 0），生境破碎化设置 2 个极端值（完全连通 *C* clumped：*H*=1.0；完全破碎 *F* fragmented：*H*=0.0）。田间作物种植布局采用 Qrule 模型构建（Gardner，1999），详见图 1，共计 10 个种植类型，每个处理 3 次重复，合计 30

个小区。每个小区面积为 16 m × 16 m，分成 256 个栅格，每个栅格的面积为 1 m × 1 m，以栅格为单位种植棉花，每栅格种植 4 株棉花，株距 50 cm，行距 50 cm，其余栅格种植玉米（每栅格种植 6 株玉米，株距 30 cm，行距 50 cm）。小区之间间距为 5 m，整个试验区外面设置 5 m 宽的玉米保护带，减少外界对试验的干扰。小区内的杂草采用人工摘除，小区之间的杂草采用除草剂除去，以减少杂草生境对试验所产生的干扰，试验期间不喷施任何杀虫剂。

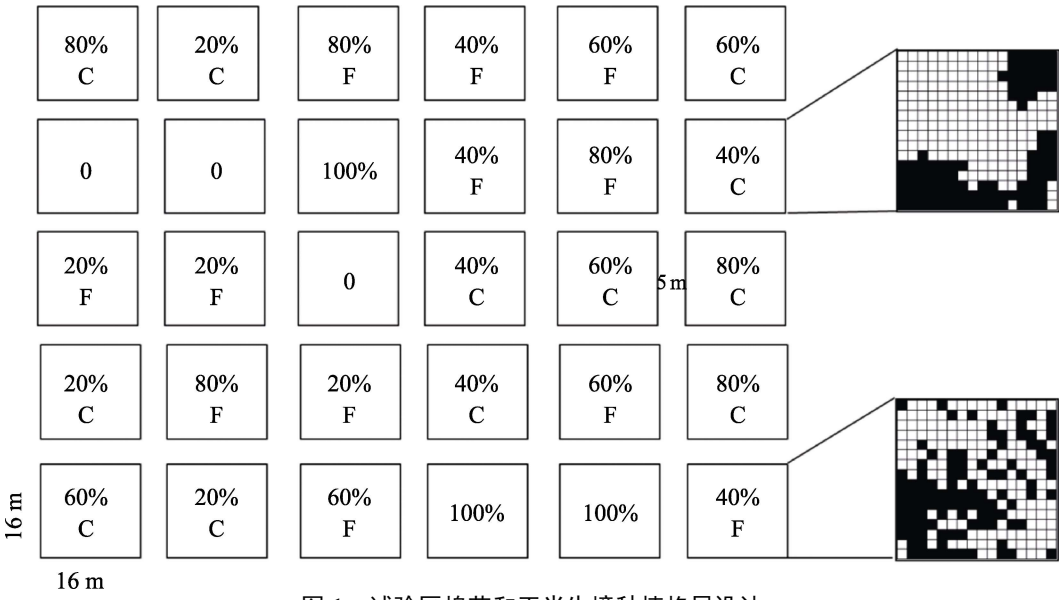

图 1　试验区棉花和玉米生境种植格局设计

Fig. 1　Patch structre and pattern of cotton and maize crops in experimental fields

图中数字代表每小区内棉花生境面积种植比例（0、20%、40%、60%、80%和 100%），其余为玉米生境面积。C 和 F 代表破碎化程度的 2 个极端，即完全连通（*C* clumped：*H*=1.0）和完全破碎（*F* fragmented：*H*=0.0）。

The number in the Fig.1 represents the proportion of cotton planting area in each plot, and the rest is maize planting area. *C* and *F* mean two levels of extreme fragmentation (*C* clumped: *H* = 1.0; *F* fragmented: *H* = 0.0).

1.3　烟粉虱数量调查

采用人工直接观察法调查烟粉虱的数量。每次调查持续 2-3 d，每小区随机选取 100 株棉花，详细记录烟粉虱的数量。2014 年和 2015 年分别调查 6 次和 5 次。

1.4　数据分析

采用统计软件 SPSS 20.0（IBM Inc., New York, USA）中的广义线性模型（GLM）分析棉花生境面积、破碎化、调查时间及其交互作用对烟粉虱种群数量的影响。采用软件 SigmaPlot 14.0（Systat Software Inc., San Jose, CA）制作烟粉虱种群动态图。对所有的分析，显著性水平设置为 α=0.05。

2　结果与分析

2.1　生境面积与破碎化对烟粉虱种群数量的影响

两年中棉花生境面积和破碎化对烟粉虱种群数量均没有显著影响，调查时间则有显著影响（表 1）。棉田生境面积与调查时间、破碎化与调查时间以及三者之间的交互作用对烟粉虱种群也均无显著影响。但是，棉花生境面积与破碎化的互作效应则存在年度变化，2014 年无显著影响，2015 年显著影响烟粉虱种群。

2.2　烟粉虱种群动态

烟粉虱种群动态见图 2 和图 3。2014 年在完全破碎情况下，7 月 8 日和 9 月 2 日在棉花生境

表 1 各因素对烟粉虱种群影响的统计分析结果

Table 1 The statistical results of the effects of cotton habitat area, fragmentation and survey times on *Bemisia tabaci* population

因子 Factor	2014			2015		
	χ^2	*df*	*P*	χ^2	*df*	*P*
棉花生境面积 Cotton habitat area	3.85	4	0.43	5.13	4	0.28
破碎化 Fragmentation	0.44	1	0.51	0.02	1	0.88
调查时间 Survey times	581.24	5	0.00	331.91	4	0.00
棉花生境面积 × 破碎化 Cotton habitat area × Fragmentation	1.27	3	0.74	9.22	3	0.03
棉花生境面积 × 调查时间 Cotton habitat area × Survey times	24.78	20	0.21	13.94	16	0.60
破碎化 × 调查时间 Fragmentation × Survey times	3.17	5	0.67	0.59	4	0.96
棉花生境面积 × 破碎化 × 调查时间 Cotton habitat area × Fragmentation × Survey times	3.16	15	0.99	17.90	12	0.12
截距 Intercept	10 941.89	1	<0.000 1	20 140.15	1	<0.000 1

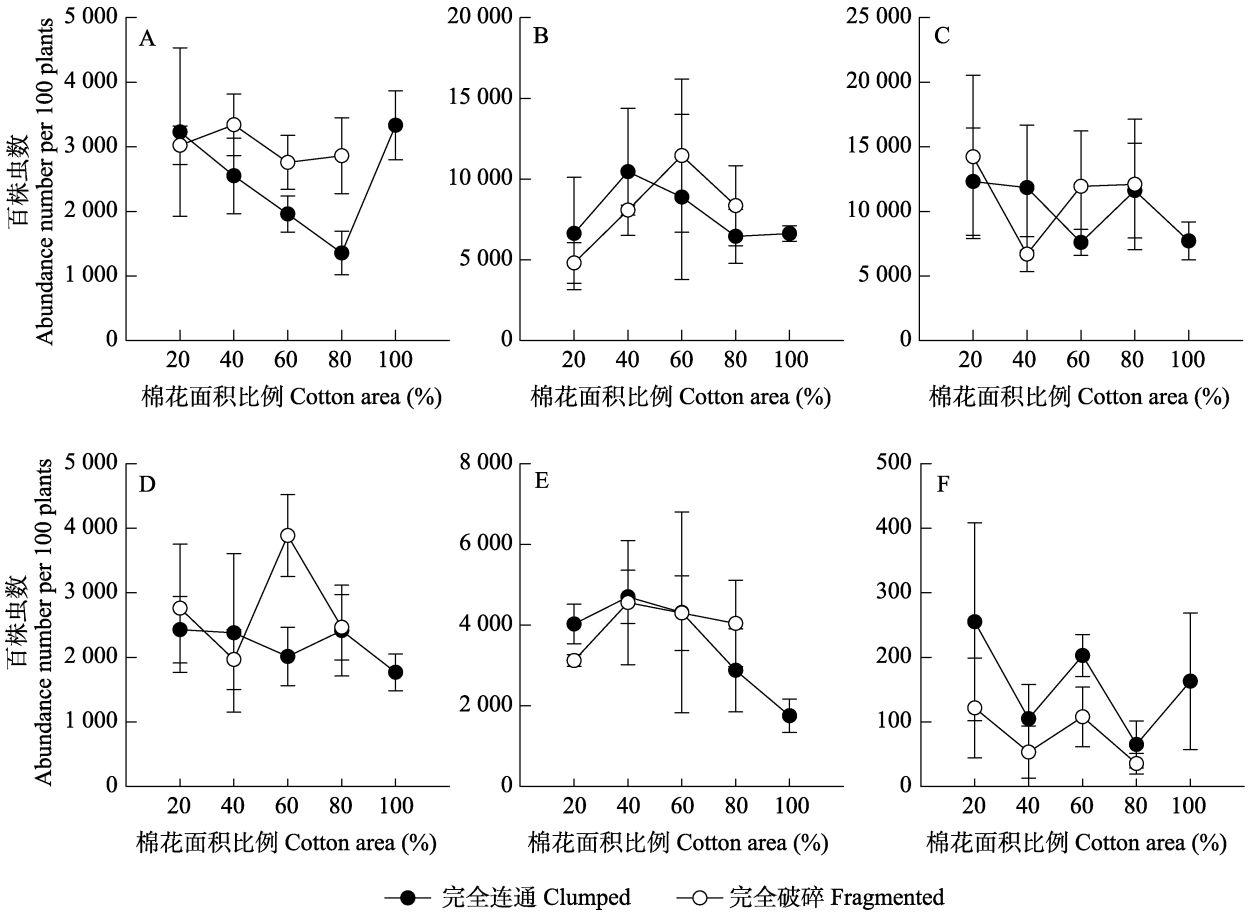

图 2 2014 年不同处理烟粉虱种群数量动态

Fig. 2 Population dynamics of *Bemisia tabaci* in different treatments in 2014

A-F 分别代表 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 mean 8 July, 26 July, 6 Aug., 19 Aug., 2 Sep. and 24 Sep., respectively.

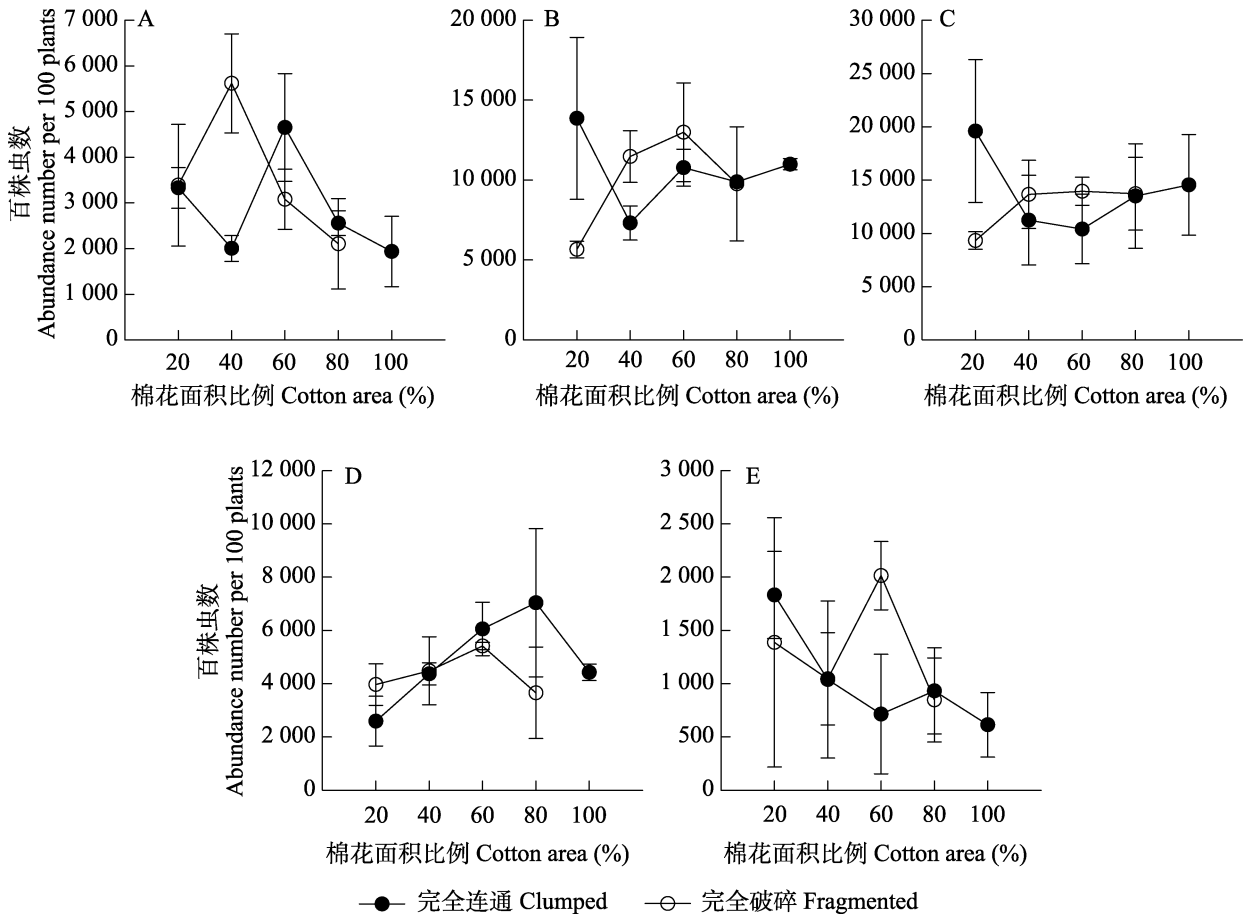

图 3　2015 年不同处理烟粉虱种群数量动态

Fig. 3　Population dynamics of *Bemisia tabaci* in different treatments in 2015

A-E 分别代表 7 月 16 日、7 月 31 日、8 月 10 日、8 月 20 日和 9 月 8 日。

A-E mean16 July, 31 July, 10 Aug., 20 Aug., 8 Sep., respectively.

面积 40%时烟粉虱数量最多；7 月 26 日和 8 月 19 日在棉花面积 60%时最多；8 月 6 日和 9 月 24 日则在棉花面积 20%时最多。完全连通情况下，7 月 8 日在棉花面积 100%时烟粉虱最多，7 月 26 日和 9 月 2 日在棉花面积 40%时最多，8 月 6 日、8 月 19 日、9 月 24 日在棉花面积 20%时最多。2015 年在完全破碎情况下，7 月 16 日和 8 月 10 日在棉花生境面积 40%时烟粉虱最多，7 月 31 日、8 月 20 日、9 月 8 日在棉花面积 60%时最多。完全连通情况下，7 月 16 日在棉花面积 60%时烟粉虱最多，7 月 31 日、8 月 10 日、9 月 8 日在棉花面积 20%时最多，8 月 20 日在棉花面积 80%时最多。

总体上看，2015 年当棉田生境面积为 20%、80%时，烟粉虱种群在完全连通时大多高于完全破碎；生境面积为面积 40%、60%时，完全破碎大多高于完全连通。同等破碎化程度下，各棉花生境面积中烟粉虱数量均呈现先上升后下降的趋势。

3　结论与讨论

多个研究表明昆虫对生境面积的响应存在一个阈值，当生境面积丧失超过 70%-90%时，昆虫群落的稳定性就会受到严重影响（Roland and Taylor，1997；Fahrig，2002；赵紫华等，2011）。本文研究结果表明，当棉花生境面积较小（20%）或较大（80%）时，破碎化程度高，烟粉虱种群数量少；棉花生境面积中等（40%和 60%）时，破碎化程度低，烟粉虱种群数量少。这是由于棉花生境面积较小时，作为隔离用的玉米生境面积

较大，阻隔了烟粉虱种群的聚集，反之，棉花生境面积中等或较大时，较多的植物对烟粉虱种群起到了一种稀释作用。同时，破碎化程度越高，斑块越分散，受外界影响越大（王晶，2009），烟粉虱搜索寄主植物的难度就会增加。另外，生境面积小，为烟粉虱提供的庇护场所相应的也较小，导致烟粉虱被天敌捕获的机率增加。

不同物种对生境破碎化都有其独特的反应，这种反应在很大程度上取决于物种自身的生物学特性（杨芳和贺达汉，2006）。本文中生境面积和破碎化单独作用时对烟粉虱种群没有显著影响，说明烟粉虱对寄主植物种植面积变化和破碎化具有较强的适应能力。烟粉虱具有迁飞和搜索等行为特性，这种特性使烟粉虱具有较强的移动能力，不易受到生境面积和破碎化的影响，可以迅速在寄主之间转移，以获得更大的生存空间（Byrne，1999；王勇，2007）。

本文是在人工设置的景观格局下进行的，但实际中农田生态系统景观复杂性远远高于景观设计。昆虫对生境面积和破碎化的响应会受到气候条件和人为活动的双重干扰。因此，生境面积和破碎化的影响还需要在更大的时空范围内进行研究，还需要更多的数据来支撑。

参考文献 (References)

Andren H, 1999. Habitat fragmentation, the random sample hypothesis and critical thresholds. *Oikos*, 84: 306–308.

Barro PJD, 1995. *Bemisia tabaci* Biotype B: A Review of Its Biology, Distribution and Control. Canberra: CSIRO Division of Entomology. 58.

Byrne DN, 1999. Migration and dispersal by sweet potato whitefly *Bemisia tabaci*. *Agriultural and Forest Meteorology*, 97(4): 309–316.

Fischer J, Lindenmayer DB, 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: A synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 16(3): 265–280.

Fahrig L, 2002. Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: a synthesis. *Ecological Applications*, 12(2): 346–353.

Gardner RH, 1999. RULE: A Program for the Generation of Random Mapsand the Analysis of Spatial Patterns. Landscape Ecological Analysis. New York: Springer. 280–303.

Golden DM, Crist TO, 1999. Experimental effects of habitat fragmentation on old-field canopy insects: Community, guild and species responses. *Oeologia*, 118(4): 371–380.

He ZS, Li XT, Zhang DZ, 2018. Correlation analysis of patch area and patch isolation with the seed pest damage rate of *Sophora alopecuroides*. *Journal of Environmental Entomology*, 40(6): 1293–1298. [贺泽帅, 李雪婷, 张大治, 2018. 苦豆子斑块面积及斑块隔离度与豆荚螟发生情况的关联分析. 环境昆虫学报, 40(6): 1293–1298.]

Liu MJ, Cai P, 2011. Effects of habitat fragmentation on the insect diversity. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 39(26): 16017–16019. [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.]

Li XT, 2018. The effect of patch pattern of *Sophora alopecuroides* on the damage rate of seed pest and community structure of its natural enemies. Master dissertation. Yinchuang: Ningxia University. [李雪婷, 2018. 苦豆子破碎化斑块格局对种子害虫危害率及其天敌群落结构的影响. 硕士学位论文. 银川: 宁夏大学.]

Oliveira MRV, Henneberryb TJ, Andersonc P, 2001. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection*, 20(9): 709–723.

Roland J, Taylor PD, 1997. Insect parasitoid species respond to forest structure at different spatial scales. *Nature*, 386(6626): 710–714.

Song HY, Li LL, Yu Y, Lu ZB, Zhang AS, Zhou XH, Li WQ, Men XY, 2017. The effects of water and nitrogen fertilizer on the food preferences of *Bemisia tabaci* adults. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(1): 1–6. [宋海燕, 李丽莉, 于毅, 卢增斌, 张安盛, 周仙红, 李文强, 门兴元, 2017. 浇水与施氮肥对烟粉虱成虫趋性的影响. 应用昆虫学报, 54(1): 1–6.]

Summerville KS, Crist TO, 2004. Contrasting effects of habitat quantity and quality on moth communities in fragmented landscapes. *Ecography*, 27(1): 3–12.

Wang Y, 2007. Overwinter and diffusion of in Jiangsu region. Master dissertation. Yangzhou: Yangzhou University. [王勇, 2007. 江苏地区烟粉虱的越冬及田间扩散规律研究. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学.]

Wang J, 2009. The change of landscape pattern in Maqu. Master dissertation. Lanzhou: Lanzhou University. [王晶, 2009. 玛曲县景观格局动态变化研究. 硕士学位论文. 兰州: 兰州大学.]

Wu J, Liu ZM, 2014. Effect of habitats fragmentation on biodiversity: A review. *Chinese Journal of Ecology*, 33(7): 1946–1952. [武晶, 刘志民, 2014. 生境破碎化对生物多样性的影响研究综述. 生态学杂质, 33(7): 1946–1952.]

Xue X, Li SJ, Chen JJ, Ren SX, Qiu BL, 2012. Detection of endosymbionts in different *Bemisia tabaci* populations and their effects on whitefly host. *Hans Journal of Agricultural Sciences*, 2(1): 5–12. [薛夏, 李绍建, 陈驹坚, 任顺祥, 邱宝利, 2012. 不同生境烟粉虱体内共生菌的检测及其对寄主生物学特性的影响. 农业科学, 2(1): 5–12.]

Yang F, He DH, 2006. Effect of habitats fragmentation on biodiversity. *Ecological Science*, 25(6): 564–567. [杨芳, 贺达汉, 2006. 样地破碎化对生物多样性的影响. 生态科学, 25(6): 564–567.]

Zhang DZ, Zhang SX, Ma ZF, Wu GS, 2019. Effects of habitat fragmentation on seed pest populations and damage rate of *Sophora alopecuroides*. *Ecological Science*, 38(2): 31–35. [张大治, 张圣昕, 马志芳, 吴光胜, 2019. 生境破碎化对苦豆子种子害虫种群数量及危害率的影响. 生态科学, 38(2): 31–35.]

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. [赵紫华, 王颖, 贺达汉, 张蓉, 朱猛蒙, 董风林, 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.]