

DOI: 10.5846/stxb201903060418

孙健龙, 田呈明, 康峰峰, 王彬力. 新疆额河河谷林区景观格局对杨树植食性昆虫危害的影响. 生态学报, 2021, 41(2): 815-821.

Sun J L, Tian C M, Kang F F, Wang B L. Effects of landscape pattern of XinJiang Irtysh river riparian forest on the damage of poplar herbivores insect. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(2): 815-821.

新疆额河河谷林区景观格局对杨树植食性昆虫危害的影响

孙健龙, 田呈明, 康峰峰*, 王彬力

北京林业大学林学院, 北京 100083

摘要:开展森林景观格局与植食性昆虫危害关系的研究,是构建景观生态安全格局和实现有害生物生态调控的重要理论依据。在额河河谷林区开展实地调查获取杨树植食性昆虫危害数据,基于遥感数据提取景观格局相关指数,使用线性混合效应模型(Linear Mixed-Effects Models)分别从景观水平和景观类型水平上分析了林区景观格局与林地、耕地、草地和荒地的景观格局对两种植食性昆虫危害的影响。结果表明在额河河谷林区中,景观破碎化是造成两种植食性昆虫危害加重的关键,但食叶率和潜叶蛾虫口密度对景观格局的响应不完全一致;景观水平下,景观丰富度和景观连接度越高,食叶率越高,平均斑块面积与潜叶蛾虫口密度呈显著负相关;景观类型水平下,林地的斑块数量越多,额河河谷林区受到的植食性昆虫危害越严重,耕地面积的增加导致潜叶蛾虫口密度上升,荒地的景观凝聚力指数和草地的平均斑块分维数与食叶率呈显著正相关。因此在优化景观格局时,合理规划景观组成并减少景观破碎化有助于维持经济发展和生态保护的平衡,促进森林的可持续发展。

关键词:额尔齐斯河;景观格局;破碎化;生态安全;植食性昆虫

Effects of landscape pattern of XinJiang Irtysh river riparian forest on the damage of poplar herbivores insect

SUN Jianlong, TIAN Chengming, KANG Fengfeng*, WANG Binli

Forestry College of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Researching the relationship between forest landscape pattern and the damage caused by herbivorous insects provides an important theoretical basis for constructing landscape ecological security pattern and realizing ecological regulation of pests. A field survey was carried out to obtain the data on damage caused by herbivorous insects in the Irtysh river riparian forest, and landscape index was extracted based on remote sensing data. This study analyzed the effects of forest landscape pattern and landscape characteristics of forest land, farmland, grassland and wasteland on the damage caused by two kinds of herbivorous insects, at the level of landscape and landscape type respectively with Linear Mixed-Effects Models. The results showed that landscape fragmentation was the key factor which compounded the damage caused by two herbivorous insects in the Irtysh river riparian forests, but the responses of leaf chewers and leaf miner to the landscape pattern were not completely consistent. At the landscape level, the damage caused by leaf chewers was significantly positively correlated with landscape richness and landscape connectivity, while the damage caused by leaf miner was significantly negatively correlated with mean patch area. At the level of landscape type, the damage caused by herbivorous insects in the Irtysh river riparian forest was positively correlated with the number of patches in the forest. The increase of cultivated land area led to the increase of population density of leaf miners. The landscape cohesion index of wasteland and

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0600105)

收稿日期:2019-03-06; 修订日期:2020-06-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: phoonkong@bjfu.edu.cn

the average patch fractal dimension of grassland were significantly positively correlated with the rate of damage caused by leaf chewers. Therefore, when optimizing the landscape pattern, making a reasonable landscape composition and reducing landscape fragmentation can help maintain a balance between economic development and ecological protection and promote the sustainable development of forests.

Key Words: Irtysh river; landscape pattern; fragmentation; Ecological security; herbivores insects

近年来随着有害生物生态调控策略的提出,景观生态学相关指标被结合于有害生物发生、蔓延和爆发的研究中^[1-2]。生态景观安全格局防控有害生物是生态学原理在森林保护学上的应用,是综合管理层面的新理论探索^[3-4]。目前国内外的相关研究多集中于农业景观,强调非作物生境(如农田边缘、休耕地、草地和林地)在农业景观中的生态作用^[5-6]。而森林景观格局与有害生物危害关系的研究相对较少,对森林景观的研究也通常关注于森林斑块本身的性质与生态学现象的联系^[5,7]。因此不仅基于景观尺度,在各景观元素类型尺度上讨论景观格局对有害生物群落的影响,将为建立景观安全格局提供重要的理论参考。

额尔齐斯河发源于新疆阿勒泰地区,在其流域形成的平原河谷林区被称为我国的“杨树基因库”,因此额尔齐斯河谷林区在经济、生态和生物多样性上具有重要的保护价值^[8]。长期以来,由于受到人类开垦耕地、过度放牧、滥砍滥伐、毁林开荒等行为,造成景观破碎化严重,河谷林区生态系统平衡遭到破坏以及多种森林病虫害的蔓延^[9]。本研究以额尔齐斯河北屯段河谷杨树林为研究对象,分析景观水平和景观类型水平下植食性昆虫危害对景观格局变化的相应。研究结果对理解森林病虫害的发生具有现实意义,同时有利于实现生态调控林业有害生物的合理规划及利用目的。

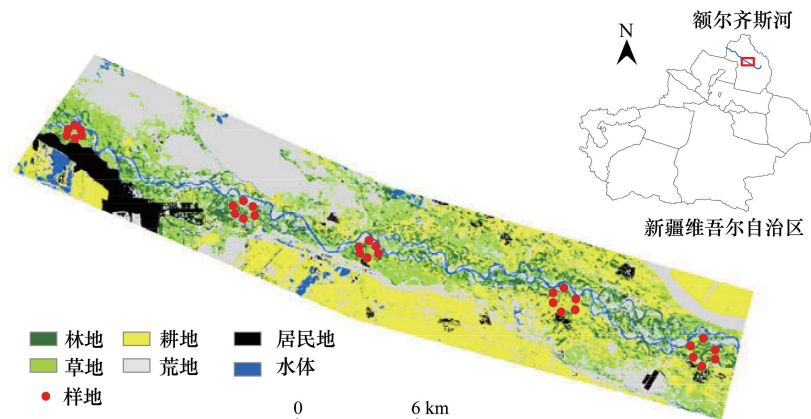


图1 研究区及样地示意图

Fig.1 Distribution of sampling sites in the research area

1 研究区域概况

研究区域位于新疆额尔齐斯河北屯段,地处 $47^{\circ}16' - 47^{\circ}23'N$, $87^{\circ}44' - 88^{\circ}13'E$, 调查范围跨度约 40km (图1)。由于地处内陆以及受到周围高山环抱的影响,具有典型的干旱气候特征:全年降水较少,气候干旱、蒸发量大。降水在年内变化表现为双峰型,主峰出现在 6、7 月,次峰出现在 10—11 月。7、8 月是植物生长最为茂盛的时期。自然土壤类型主要有暗色草甸土、普通草甸土、盐化草甸土、灌耕草甸土、河滩潮湿土、草甸棕钙土以及半固定风沙土等。

2 研究方法

2.1 植食性昆虫危害调查

考虑到交通因素和河谷林的水土条件差异,本研究在角萨特村、阿克恰普巴村、唐克村、克孜尔哈英村和乌古孜拜村共设置了 30 个 30m×30m 的样点,所有样点之间的距离均大于 300m。在样地范围内随机选取 5 棵杨树,利用剪枝法(每棵杨树选取东、西、南、北四个方向在 2—4m 的高度处各剪取 50cm 长的枝条 1 枝),统计枝条上由于受到食叶害虫咬食叶片,形成严重孔洞或缺刻的叶片数。食叶率的计算方法为被食叶片数与调查总叶数的比值。

研究区域还有一种特殊的食叶危害,由潜叶蛾造成,危害特点为以幼虫潜入叶片组织取食叶肉并造成叶片被害处形成椭圆形斑痕,斑痕之间区别明显。本研究利用剪枝法,在枝条上随机选取 5 个叶片统计潜叶蛾虫口密度的斑痕数。这种统计潜叶蛾虫口密度斑痕的方法在相关研究植食性昆虫危害的研究中被证明是有效的^[10]。因此潜叶蛾虫口密度的计算方法为潜叶斑痕的数量与总调查叶数的比值。

调查时间为 2018 年 7 月—8 月,对样地中所有叶片的潜叶蛾虫口密度和所有枝条的食叶率分别取均值作为最终结果。

2.2 遥感影像数据预处理和景观格局分析

研究中使用的遥感数据源为 2018 年 9 月 6 日的 Sentinel-S2A 卫星影像,其空间分辨率为 10m×10m。使用 ENVI5.2 遥感图像处理软件对遥感图像进行预处理后,结合实地调查数据,通过监督分类方法(分类器为 Support Vector Machine),并根据研究区域实际土地覆盖类型情况并借鉴井学辉在研究区域的历史研究^[9],将栅格数据的土地利用类型合并整理为 6 类:林地、草地、耕地、荒地、居民地和水体。分类后的景观分类图分类总精度达到 85% 以上,满足下一步研究条件。

以样地为中心,300m 半径为缓冲区,使用景观格局分析软件 FRAGSTATS4.2 计算各个缓冲区内的景观格局指数。在景观水平上选取边缘总长度(TE)、景观凝聚力指数(COHESION)、平均斑块面积(AREA_MN)、平均斑块分维数(FRAC_MN)以及景观多样性指数(SHDI)来描述景观整体格局;在景观类型水平上以林地、耕地、草地和荒地为对象,选取边缘总长度(TE)、景观凝聚力指数(COHESION)、平均斑块分维数(FRAC_MN)、斑块类型总面积(CA)以及斑块总数(NP)来描述各景观类型的景观特征。景观指数的计算方法和生态意义参见文献^[11-12]。

2.3 数据处理

本研究利用 Pearson 相关系数对食叶率和潜叶蛾虫口密度数据进行相关性分析,并进行显著性检验。使用 nlme 包的 lme() 函数分别以食叶率和潜叶蛾虫口密度为因变量建立与景观格局指数的线性混合效应模型,并根据 AIC 值评估模型拟合的效果。为了避免变量间的高相关性,计算了模型的方差膨胀因子(vif)并剔除了具有高共线性的变量,以保证所有变量的 vif 值小于 10。所有的分析计算在 R3.5.3 统计软件中进行。

3 结果与分析

3.1 研究区域植食性昆虫危害数据分布特征

对所有样地植食性昆虫危害的调查统计结果显示,30 个样地中食叶率的最小值为 9%,最大值为 51%,均值为 19%,多数样地的数值在 15%—20% 之间,而潜叶蛾虫口密度的最小值为 0.21 头幼虫/叶,最大值为 2.92 头/叶,均值为 0.91 头/叶,多数样地的数值在 0.5 头/叶—1 头/叶之间。通过 Pearson 相关性分析,食叶率和潜叶蛾虫口密度的相关性为不显著相关($r=0.11$, $P=0.54$),因此可以忽略两种植食性昆虫危害的互相作用。

3.2 景观水平上景观格局与植食性昆虫危害的关系

在景观水平上用线性混合效应模型分析两种植食性昆虫危害与景观指数的关系。结果显示,景观指数与食叶率的线性混合效应模型的 AIC 值更小,表明预测效果相对较好(表 2)。根据模型参数,平均斑块面积指

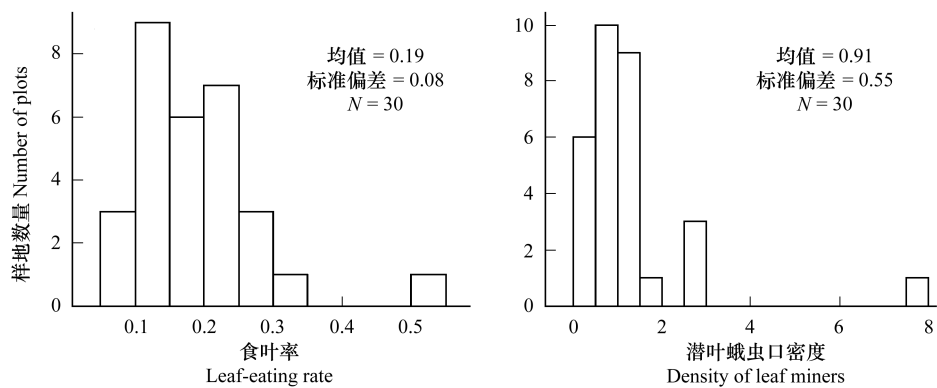


图2 额河谷林区植食性昆虫危害数据分布特征

Fig.2 Data distribution characteristics of damage of herbivorous insects in Irtysh river riparian forest

数(AREA_MN)与食叶率和潜叶蛾虫口密度呈显著负相关,景观凝聚力指数(COHESION)和景观多样性指数(SHDI)与食叶率显正相关(表2)。

表2 景观水平上景观指数与植食性昆虫危害的线性混合效应模型

解释变量 Variable	食叶率 Leaf-eating rate			潜叶蛾虫口密度 Density of leaf miners		
	系数估计值 Estimate	P	AICc	系数估计值 Estimate	P	AICc
截距 Intercept	-8.76	0.03 *	-23.82	-8.94	0.76	72.97
边缘总长度(TE)	-1.0×10 ⁻⁵	0.39		-8.6×10 ⁻⁵	0.31	
平均斑块面积指数(AREA_MN)	-0.34	0.02 *		-1.59	0.01 *	
平均斑块分维数(FRAC_MN)	2.49	0.27		8.04	0.63	
景观凝聚力指数(COHESION)	0.06	0.00 **		0.03	0.81	
景观多样性指数(SHDI)	0.33	0.01 *		-0.62	0.52	

**:P<0.01; *:P<0.05

3.3 景观类型水平上景观格局与植食性昆虫危害的关系

在景观类型水平上,建立了两组线性混合效应模型(Model1—Model8)分别拟合两种植食性昆虫危害与四种不同景观类型(林地、耕地、草地和荒地)的景观特征之间的关系。景观指数与食叶率的拟合模型中(Model1—Model4),Model3的AIC值较低,因此预测效果相对较好,这说明草地的景观格局与食叶率的相关性更强。根据Model1和Model5的参数,林地景观的斑块总数(NP)与食叶率和潜叶蛾虫口密度均显著正相关,这说明景观中林地斑块的数量越多,河谷林区受到的植食性昆虫危害越严重。表3中,草地的景观凝聚力指数(COHESION)与食叶率呈显著正相关,这表明草地景观的连通度促进食叶率的上升。而荒地的平均斑块分维数(FRAC_MN)与食叶率呈显著负相关,表明荒地的斑块形状越复杂,食叶率越低。

在景观指数与潜叶蛾虫口密度的拟合模型中(Model5—Model8),Model6的AIC值较低,说明耕地的景观格局与潜叶蛾虫口密度的相关性更强。表4中,林地景观的景观凝聚力指数(COHEISON)与潜叶蛾虫口密度显著正相关,这表明林地景观的连通度促进潜叶蛾虫口密度的上升。同时,耕地的斑块类型总面积(CA)和平均斑块分维数(FRAC_MN)与潜叶蛾虫口密度显著正相关,耕地景观的景观凝聚力指数(COHESION)与潜叶蛾虫口密度呈显著负相关,耕地面积增加和斑块形状复杂化会加重潜叶蛾虫口密度。

表 3 景观类型水平上景观指数与食叶率的线性混合效应模型

Table 3 Linear mixed effect model of landscape index and Leaf-eating rate at landscape type level

模型 Model	解释变量 variable	食叶率 Leaf-eating rate		AICc
		系数估计值 Estimate	P	
Model1	林地			-7.23
	截距	-2.24	0.12	
	边缘总长度(TE)	-1.67×10^{-5}	0.32	
	斑块类型总面积(CA)	5.73×10^{-3}	0.6	
	斑块总数(NP)	7.31×10^{-3}	0.00 **	
	平均斑块分维数(FRAC_MN)	1.54	0.16	
	景观凝聚力指数(COHESION)	6.98×10^{-3}	0.32	
Model2	耕地			7.87
	截距	-0.14	0.91	
	斑块类型总面积(CA)	-5.86×10^{-3}	0.63	
	斑块总数(NP)	-0.01	0.58	
	平均斑块分维数(FRAC_MN)	0.11	0.92	
	景观凝聚力指数(COHESION)	3.37×10^{-3}	0.73	
Model3	草地			-22.99
	截距	-1.92	0.18	
	斑块类型总面积(CA)	-0.01	0.08	
	斑块总数(NP)	-3.43×10^{-3}	0.2	
	平均斑块分维数(FRAC_MN)	-0.28	0.45	
	景观凝聚力指数(COHESION)	0.02	0.04 *	
Model4	荒地			-22.99
	截距	1.94	0.09	
	斑块类型总面积(CA)	5.03×10^{-4}	0.96	
	斑块总数(NP)	4.89×10^{-5}	0.98	
	平均斑块分维数(FRAC_MN)	-1.71	0.02 *	
	景观凝聚力指数(COHESION)	1.13×10^{-3}	0.86	

** : $P < 0.01$; * : $P < 0.05$

表 4 景观类型水平上景观指数与潜叶蛾虫口密度的线性混合效应模型

Table 4 Linear mixed effect model of landscape index and population density of leaf miner on landscape type level

模型 Model	解释变量 variable	潜叶蛾虫口密度 Density of leaf miners		AICc
		系数估计值 Estimate	P	
Model5	林地			81.97
	截距	-12.34	0.19	
	边缘总长度(TE)	-1.24×10^{-4}	0.25	
	斑块类型总面积(CA)	-0.09	0.17	
	斑块总数(NP)	0.04	0.01 *	
	平均斑块分维数(FRAC_MN)	3.13	0.65	
	景观凝聚力指数(COHESION)	0.11	0.01 *	
Model6	耕地			40.04
	截距	-2.73	0.64	
	斑块类型总面积(CA)	0.12	0.03 *	
	斑块总数(NP)	-0.04	0.60	
	平均斑块分维数(FRAC_MN)	15.67	0.01 *	
	景观凝聚力指数(COHESION)	-0.15	0.00 **	
Model7	草地			72.33

续表

模型 Model	解释变量 variable	潜叶蛾虫口密度 Density of leaf miners		AICc
		系数估计值 Estimate	P	
Model8	截距	8.74	0.41	71.99
	斑块类型总面积 (CA)	0.01	0.67	
	斑块总数 (NP)	-0.03	0.07	
	平均斑块分维数 (FRAC_MN)	-1.48	0.59	
	景观凝聚力指数 (COHESION)	-0.06	0.52	
	荒地			
	截距	-1.53	0.83	
	斑块类型总面积 (CA)	-0.13	0.11	
	斑块总数 (NP)	0.02	0.33	
	平均斑块分维数 (FRAC_MN)	-2.7	0.59	
	景观凝聚力指数 (COHESION)	0.06	0.15	

** : $P<0.01$; * : $P<0.05$

4 讨论

4.1 景观水平上景观格局对植食性昆虫危害的影响

平均斑块面积的大小是景观破碎度高度的一个表征指标,两种植食性昆虫危害与平均斑块面积指数 (AREA_MN) 呈显著负相关,这说明景观破碎度越高,河谷林区受到的植食性昆虫危害越严重。这可能与景观破碎化产生的边缘效应有关,边缘效应可以通过改变边缘处的小气候、植物营养质量从而影响植食性昆虫^[13-14]。有研究通过荟萃分析,指出边缘的存在使植食性昆虫的数量和物种丰富度分别增加了 14% 和 65%,边缘植物受到的植食性危害比内部植物增加了 70%^[15]。同时景观破碎化也可以通过影响森林群落结构,降低植物多样性来影响植食性昆虫危害^[16-17]。另一方面,景观凝聚力指数 (COHESION) 和景观多样性指数 (SHDI) 与食叶率均呈显著正相关,说明景观连通性和景观异质性越高,食叶率越严重,多样化的景观结构可以为部分杨树食叶害虫提供替代寄主和栖息地从而加重危害。

4.2 景观类型水平上景观格局对植食性昆虫危害的影响

研究结果发现,植食性昆虫危害与林地、耕地、草地和荒地的景观结构有密切的关系,但由于生态学作用不同,不同景观类型对植食性昆虫危害的影响也不同。林地生境作为本研究中植食性昆虫的栖息地,其景观特征对于植食性昆虫种群的存活、扩散和危害具有最直接的影响。林地的斑块总数 (NP) 与两种植食性昆虫危害呈显著正相关,林地的景观凝聚力指数 (COHESION) 与潜叶蛾虫口密度呈显著正相关,这说明林地的生境碎片化程度越高,额河河谷林区受到的植食性昆虫危害越高。在森林景观中,景观破碎化通常伴随着林地被分割、生境面积和连接度的下降^[16]。因此降低森林景观被破坏的程度,对控制林业有害生物的发生至关重要。

对于森林景观而言,很少有研究关注天敌生物从作物生境到林地生境的转移,以及这种转移对林业害虫的影响。但是近年来,耕地面积经常作为人类改造自然生境的指标参与生境破碎化的研究中^[18-20]。本研究中潜叶蛾虫口密度与耕地面积呈显著正相关,同时随着耕地的连通度增加,潜叶蛾虫口密度显著上升,可能一方面与作物生境对天敌生物种群的抑制作用有关,另一方面是由于耕地对河谷林区的破坏造成的。荒漠植被作为河谷林区的景观基质,荒地和草地的存在对食叶率也有显著影响。一方面荒地可能阻碍了植食性昆虫在不同生境间的转移^[19],另一方面有研究指出草地在调整植被结构、富集天敌资源甚至改善小气候上的作用^[20-21],因此对荒漠植被的景观特征对林业害虫危害的影响还需要深入研究。

总之,额河河谷林区受到的两种植食性昆虫危害与景观格局有密切的关系,且食叶率与潜叶蛾虫口密度对景观格局的响应不一致。大量研究表明,不同食性的害虫对景观格局的相应不同^[22]。根据资料显示,额河

河谷林区中杨树受到的食叶率是由多种杂食性害虫造成的,其中舞毒蛾(*Lymantria dispar*)和桦尺蠖(*Biston betularia*)主要危害杨树、桦树和落叶松,杨毛臀萤叶甲(*Agelastica alni orietalis* Baly)除危害林区外还会下树危害农作物^[23-24]。而造成潜叶蛾虫口密度的杨细蛾(*Lithoclella populifoliella* Trietschke)仅危害杨树^[25]。这解释了两种植食性昆虫危害产生差异的原因。虽然各景观类型的生态学作用不同,但破碎化是造成植食性昆虫危害加重的最关键原因。因此额河河谷林区可以通过维持天然林完整、推广集约化种植和适度营造生境隔离区,从而在经济发展和生态保护间找到平衡点。

参考文献(References):

- [1] 郑云开, 尤民生. 农业景观生物多样性与害虫生态控制. 生态学报, 2009, 29(3): 1508-1518.
- [2] Hatt S, Boeraeve F, Artru S, Dufrène M, Francis F. Spatial diversification of agroecosystems to enhance biological control and other regulating services: an agroecological perspective. Science of the Total Environment, 2018, 621: 600-611.
- [3] 蒋桂娟, 徐天蜀. 景观安全格局研究综述. 内蒙古林业调查设计, 2008, 31(4): 89-91.
- [4] 张晴晴, 卢增斌, 李丽莉, 关秀敏, 欧阳芳, 张永生, 门兴元. 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, 2018, 38(4): 1366-1374.
- [5] Schuldt A, Baruffol M, Böhnke M, Bruehlheide H, Härdtle W, Lang A C, Nadrowski K, Von Oheimb G, Voigt W, Zhou H Z, Assmann T. Tree diversity promotes insect herbivory in subtropical forests of south-east China. Journal of Ecology, 2010, 98(4): 917-926.
- [6] Chaplin-Kramer R, O'Rourke M E, Blitzer E J, Kremen C. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. Ecology Letters, 2011, 14(9): 922-932.
- [7] 柏龙, 田呈明, 洪承昊, 康峰峰, 陈京元, 宋德文, 刘红高. 湖北宜昌松林景观格局对松材线虫流行及扩散的影响. 生态学报, 2015, 35(24): 8107-8116.
- [8] 郑书星. 新疆额尔齐斯河流域杨属克隆结构、遗传多样性及种间关系研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009: 119-119.
- [9] 井学辉, 臧润国, 曹磊, 陈东立, 郭仲军. 新疆额尔齐斯河流域北屯段景观格局及破碎化. 林业科学, 2008, 44(3): 21-28.
- [10] Castagnérol B, Giffard B, Péré C, Jactel H. Plant apparency, an overlooked driver of associational resistance to insect herbivory. Journal of Ecology, 2013, 101(2): 418-429.
- [11] 张永生, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰, 袁哲明. 区域农田景观格局对麦蚜种群数量的影响. 生态学报, 2018, 38(23): 8652-8659.
- [12] 王计平, 杨磊, 王伟, 陈利顶, 黄志霖. 黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较. 生态学报, 2011, 31(19): 5531-5541.
- [13] Laurance W F. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: implications for conservation//Tschamtk T, Leuschner C, Zeller M, Guhardja E, Bidin A, eds. Stability of Tropical Rainforest Margins. Berlin: Springer, 2007: 9-35.
- [14] Murcia C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. Trends in Ecology & Evolution, 1995, 10(2): 58-62.
- [15] De Carvalho Guimarães C D, Viana J P R, Cornelissen T. A meta-analysis of the effects of fragmentation on herbivorous insects. Environmental Entomology, 2014, 43(3): 537-545.
- [16] 龙贺兴, 时卫平, 刘金龙. 中国森林破碎化及其化解研究综述及展望. 世界林业研究, 2018, 31(1): 69-74.
- [17] Rand T A, Tylianakis J M, Tschamtk T. Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats. Ecology Letters, 2006, 9(5): 603-614.
- [18] Peter F, Berens D G, Farwig N. Effects of local tree diversity on herbivore communities diminish with increasing forest fragmentation on the landscape scale. PLoS One, 2014, 9(4): e95551.
- [19] Fourcade Y, Öckinger E. Host plant density and patch isolation drive occupancy and abundance at a butterfly's northern range margin. Ecology and Evolution, 2017, 7(1): 331-345.
- [20] Wäckers F L, Van Rijn P C J, Heimpel G E. Honeydew as a food source for natural enemies: making the best of a bad meal? Biological Control, 2008, 45(2): 176-184.
- [21] Werling B P, Dickson T L, Isaacs R, Gaines H, Gratton C, Gross K L, Liere H, Malmstrom C M, Meehan T D, Ruan L, Robertson B A, Robertson G P, Schmidt T M, Schrotenboer A C, Teal T K, Wilson J K, Landis D A. Perennial grasslands enhance biodiversity and multiple ecosystem services in bioenergy landscapes. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(4): 1652-1657.
- [22] Tschamtk T, Brandl R. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. Annual Review of Entomology, 2004, 49: 405-430.
- [23] 热西·叶木恩, 金格斯. 蓝叶甲在阿勒泰地区天然林发生规律及防控措施. 新疆农业科技, 2013, (6): 50-50.
- [24] 努尔古丽·马坎, 加娜古尔·阿的里汗, 刘爱华, 岳朝阳. 杨毒蛾在阿勒泰林区的发生危害及防治措施. 生物技术世界, 2015, (12): 38-38, 53-53.
- [25] 玛黑扎·哈德肯. 杨细蛾在阿勒泰天然林中发生规律及防控措施. 新疆林业, 2015, (5): 44-45.