

区域性景观组成对玉米苗期捕食性天敌的生态学效应*

张晴晴^{1,2,3**} 李超¹ 李丽莉¹ 欧阳芳² 宋莹莹¹
卢增斌¹ 董松¹ 于毅¹ 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, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院大学, 生物互作卓越创新中心, 北京 100049)

摘要 【目的】明确区域性景观组成对玉米苗期捕食性天敌的生态学效应, 可为开展玉米田有害生物生态调控提供理论基础。【方法】以山东省 92 块玉米田为研究区域, 基于玉米苗期捕食性天敌种群数量、试验点的遥感影像和土地覆盖类型分类数据, 运用混合效应模型分析了耕地、居住工业交通、草地、林地、水体 5 种土地覆盖类型的面积比例对玉米苗期捕食性天敌种群数量的影响。【结果】共调查到 3 744 头捕食性天敌, 其中草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* (55.29%), 龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* (25.32%), 小花蝽 *Orius similis* (6.73%), 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum* (4.01%), 异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (3.58%) 和三突花蛛 *Misumenops tricuspidatus* (3.47%) 为主要捕食性天敌。发现林地和水体生境对龟纹瓢虫的种群数量有显著的正效应, 草地和水体生境对三突花蛛的种群数量有显著的正效应, 水体和林地生境对捕食性天敌的总数量有显著正效应。【结论】华北农田景观中非作物生境作为捕食性天敌的资源库, 在玉米苗期捕食性天敌维持中起重要作用。

关键词 景观组成; 玉米苗期; 捕食性天敌; 种群数量

Ecological effects of farmland landscape composition on predator populations during the maize seedling stage

ZHANG Qing-Qing^{1,2**} LI Chao¹ LI Li-Li¹ OUYANG Fang¹ SONG Ying-Ying¹
LU Zeng-Bin¹ DONG Song¹ YU Yi¹ MEN Xing-Yuan^{1***}

(1. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Science, Ji'nan 250100, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. CAS Center for Excellence in Biotic Interactions, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract 【Objectives】 Understanding the ecological effects of regional landscape composition on the natural predators of maize pests during the maize seedling stage could provide a theoretical basis for the ecological control of pests in maize field. 【Methods】 Research was conducted at 92 sample points in corn fields in Shandong province. Based on population dynamics, remote sensing imaging and land cover classification data, we used a mixed effects model to analyze the effects of cropland, residential industrial traffic, grassland, forest and water, on predator populations during the maize seedling. 【Results】 A total number of 3 744 predatory species were identified, of which the most abundant were *Erigonidium graminicolum* (55.29%), *Propylaea japonica* (25.32%), *Orius similis* (6.73%), *Theridion octomaculatum* (4.01%), *Harmonia axyridis* (3.58%) and *Misumenops tricuspidatus* (3.47%). Forest and water habitat had a significant positive effect on the abundance of *Propylaea japonica*, and grassland and water habitat had a significant positive effect on the abundance of *Misumenops tricuspidatus*.

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2017YFD0200400); 山东省农业科学院农业科技创新工程 (CXGC2019G01); 国家自然科学基金项目 (31800349); 山东省重点研发计划项目 (2018GNC111019)

**第一作者 First author, E-mail: sybil321@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: menxy2000@hotmail.com

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

Water and forest habitat had a significant positive effect on the overall number of predatory species. **[Conclusion]** Non-crop habitat plays a crucial role in maintaining populations of the natural predators of maize pests during the maize seedling stage in the north China farmland landscape.

Key words landscape composition; maize seedling stage; predators; population quantity

农田景观是由耕地、草地、林地、树篱等不同斑块的镶嵌体 (Turner, 1990), 生物物种在各类斑块中栖息、觅食和转移扩散。但现代农业集约化发展, 耕地不断扩张, 非作物生境减少, 导致了农田景观格局单一化, 农田景观中生物多样性下降, 对害虫灾变和自然天敌控害的影响已经成为了研究热点 (Bianchi *et al.*, 2006)。因此, 评估农田景观格局对天敌的生态学效应, 对于减轻人类活动和气候变化对农田生态系统造成的影响, 增强天敌的控害能力, 降低农药使用量等十分重要 (Tschamtko *et al.*, 2012)。

我国华北农田的景观主要由农作物、水体、防护林、草地、居住工业交通等多种斑块组成。其中, 农田景观中草地是维持天敌种群数量的重要组成部分, 林地在增强自然天敌生物防治功能中发挥着重要作用 (Elliott *et al.*, 2002)。Yang 等 (2009) 通过 2 年的研究发现, 非作物生境促进华北地区玉米捕食性天敌的丰富度。张晴晴等 (2019) 发现成株期的夏玉米田捕食性天敌在多个空间尺度下对耕地和居住工业交通生境均有显著的正响应。近年来, 随着我国土地利用方式的转变及城镇化建设, 农田景观格局趋于单一化, 这些景观格局的变化势必会影响天敌及植食性害虫的发生及扩散转移, 从而影响天敌的控害能力 (欧阳芳和戈峰, 2011)。然而, 过去研究集中在棉田、麦田及玉米成株期捕食性天敌对农田景观的响应, 缺少景观组成对玉米苗期的捕食性天敌种群数量影响的相关研究。

山东省属温带季风气候, 年平均温度 12-16 °C, 是我国玉米的主要产区之一, 面积达 300 余万公顷, 春夏季的农田景观主要由农作物、防护林、居民区等组成。本研究选取山东省 92 块周围不同景观组成的玉米田, 调查了其中玉米苗期捕食性天敌的种群数量, 基于遥感影像与土地覆盖分类数据, 以景观变量 (耕地、居住工业交

通、草地、林地、水体 5 种土地覆盖类型的面积比例) 作为固定效应, 探讨了区域性景观中不同的组成成分对玉米苗期捕食性天敌的影响, 拟回答以下 3 个科学问题: (1) 农田景观组成是否影响玉米苗期田间捕食性天敌种类和数量?

(2) 不同捕食性天敌对景观组成的响应有何差异? (3) 这些效应在不同的空间尺度上有何变化? 以此明确华北区域性景观组成对玉米苗期捕食性天敌的生态学效应, 为开展玉米田有害生物生态调控提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区域及样地选择

在山东省不同景观组成的夏玉米田选取 92 个取样点, 对玉米苗期进行捕食性天敌种群数量调查。选择的样地为各个调查区域中典型玉米田, 调查田块的面积不小于 0.066 7 hm², 样地之间的距离不小于 20 km, 如图 1 所示。

1.2 捕食性天敌种群数量调查

2018 年 7 月 11-21 日, 山东省夏玉米田处于苗期, 尚没有喷施农药, 在每个选定的取样点进行捕食性天敌的调查, 每块田对角线 5 点取样, 每点取 10 株。详细记录整株苗期玉米上捕食性天敌龟纹瓢虫 *Propylaea japonica*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、中华通草蛉 *Chrysopa intima*、三突花蛛 *Misumenops tricuspidatus*、草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*、八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*、小花蝽 *Orius similis* 7 种捕食性天敌的种群数量。同时实地调查玉米田周围的景观组成, 用于遥感数据的校正。

1.3 遥感数据获取

使用 Landsat TM/ETM 的分辨率为 30 m 的卫星影像, 运用 eCognition developer 遥感图像处

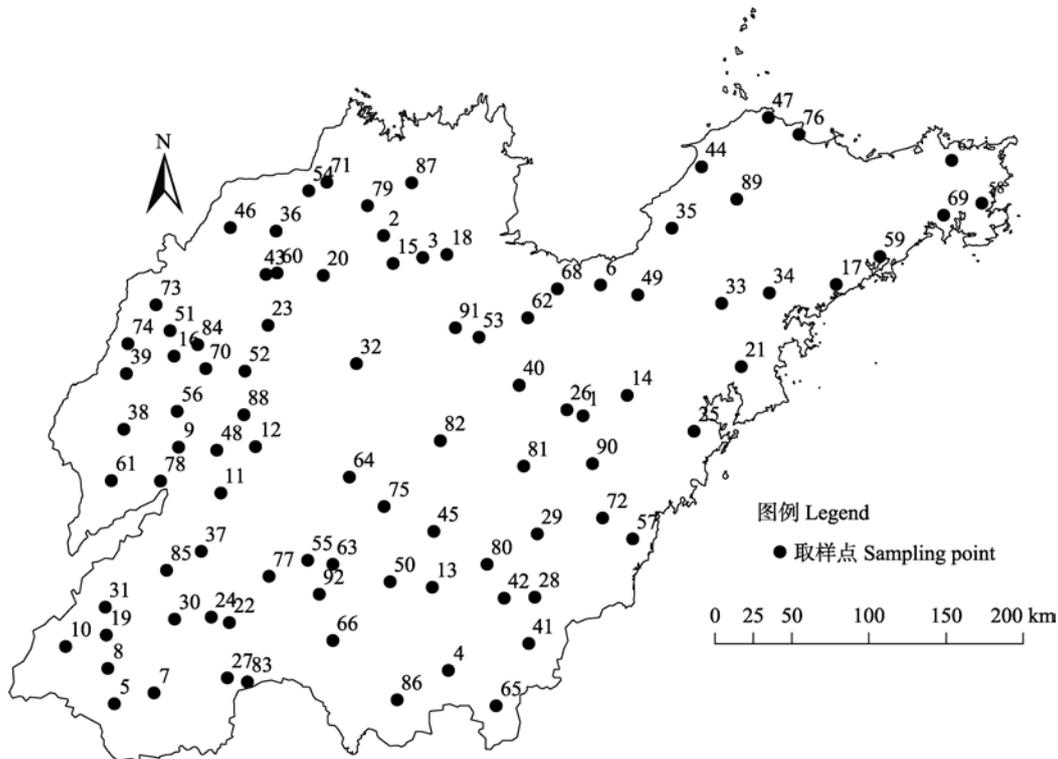


图 1 玉米苗期捕食性天敌调查点分布

Fig. 1 Investigation of predatory natural enemies in maize seedling stage

理软件并结合野外的调查标定, 解译遥感影像, 获得山东省土地覆被分类的栅格数据。一级土地覆盖类型归为 8 类: 耕地、居住工业交通、草地、林地、水体、未利用土地、湿地、山地, 方法参考张晴晴等 (2019) 和欧阳芳等 (2016), 调查区域主要是农区, 涉及耕地、居住工业交通、草地、林地、水体 5 种土地覆盖类型。以调查点为中心, 从 6 个尺度建立缓冲区 (5、4、3、2、1、0.5 km), 并运用 ArcGIS 10.0 计算 5 种土地覆盖类型的面积比例。

1.4 数据分析

运用 ArcGIS 10.0 绘制苗期夏玉米田调查点及 7 种主要捕食性天敌的分布图, 利用 IDW 绘制捕食性天敌种群数量的等值线图; 为验证假说 (1) - (3), 运用混合效应模型分析 7 种捕食性天敌及捕食性天敌总数量分别与不同尺度下景观斑块面积比例的关系, 将时间作为随机效应, 景观变量 (耕地、居住工业交通、草地、林地、水体 5 种土地覆盖类型的面积比例) 作为固定效

应, 运用 R 3.6.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 夏玉米苗期捕食性天敌的种群数量特征

在山东省夏玉米田总共调查到捕食性天敌 3 744 头, 其中草间小黑蛛占 55.29%, 龟纹瓢虫占 25.32%, 小花蝽占 6.73%, 八斑球腹蛛占 4.01%, 异色瓢虫占 3.58%, 三突花蛛占 3.47%, 中华通草蛉占 1.55%。捕食性天敌种群数量平均为 41 头/百株, 最大值为 146 头/百株。

2.2 捕食性天敌的种群空间特征与分布

从夏玉米苗期捕食性天敌的种群分布 (图 2) 可以看出, 各类捕食性天敌在山东省呈现区域性分布。从总体上看, 鲁北、鲁西北及鲁西南地区捕食性天敌种群数量较高, 而鲁中及鲁东部分地区的种群数量较低 (图 2)。其中, 龟纹瓢虫主要分布在鲁西北和鲁西南地区, 三突花蛛和八斑球腹蛛集中分布于鲁西北地区, 小花蝽分布在鲁西北和鲁中地区 (图 2)。

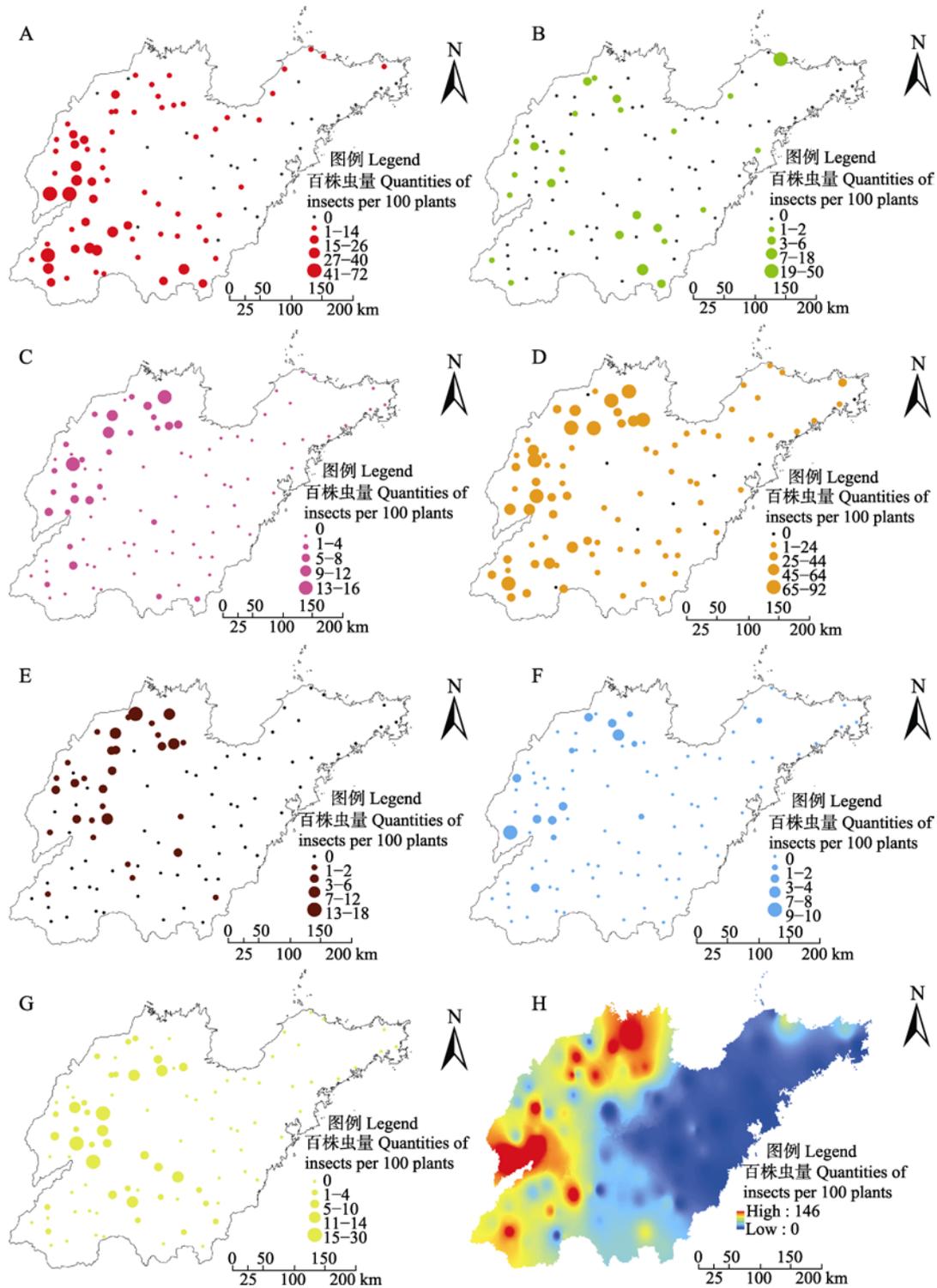


图 2 玉米苗期捕食性天敌的种群数量分布图

Fig. 2 Population distribution of predatory natural enemies in maize seedlings stage

- A. 龟纹瓢虫的百株虫量; B. 异色瓢虫的百株虫量; C. 八斑球腹蛛的百株虫量; D. 草间小黑蛛的百株虫量;
 E. 三突花蛛的百株虫量; F. 草蛉的百株虫量; G. 小花蝽的百株虫量; H. 7 种捕食性天敌的总百株虫量。
 A. Quantities of *Propylaea japonica* per 100 plants; B. Quantities of *Harmonia axyridis* per 100 plants; C. Quantities of *Theridion octomaculatum* per 100 plants; D. Quantities of *Erigonidium graminicolum* per 100 plants; E. Quantities of *Misumenops tricuspidatus* per 100 plants; F. Quantities of *Chrysoperla sinica* per 100 plants; G. Quantities of *Orius similis* per 100 plants; H. Quantities of 7 species predators per 100 plants.

2.3 玉米苗期区域性景观对捕食性天敌种群数量的影响

草间小黑蛛、龟纹瓢虫、小花蝽、八斑球腹蛛、异色瓢虫、三突花蛛和草蛉 7 种玉米苗期捕食性天敌对区域性景观中不同尺度下的各种斑块类型面积有不同响应 (表 1)。其中, 龟纹瓢虫和三突花蛛对不同景观类型的面积比例有显著的响应, 其他 5 种捕食性天敌对不同景观类型的面积比例没有显著响应。

捕食性天敌的总量在 5 km 尺度下对景观有显著响应。5 km 尺度下, 林地和水体对龟纹瓢

虫的种群数量有显著的正效应, 草地、居住工业交通和耕地对龟纹瓢虫无显著影响, 其他 5 个尺度 (4、3、2、1、0.5 km) 下不同斑块类型的面积比例对龟纹瓢虫无显著影响 (表 1)。

在 4 km 和 3 km 尺度下, 草地对三突花蛛的种群数量有显著的正效应, 居住工业交通、耕地、林地及水体对三突花蛛没有显著影响; 在 2 km 和 1 km 尺度下, 水体对三突花蛛的种群数量有显著正效应, 草地、居住工业交通、耕地及林地对三突花蛛没有显著影响。在 0.5 km 尺度下, 5 种斑块类型对三突花蛛均无显著性影响 (表 2)。

表 1 景观对玉米苗期龟纹瓢虫种群数量的影响

Table 1 Landscape effect on the population of *Propylaea japonica* in maize seedling stage

尺度 Scale	斑块类型 Patch type	估计值 Estimate	标准误差 SE	自由度 <i>df</i>	<i>t</i> 值 <i>t</i> value	<i>P</i> 值 <i>Pr(> t)</i>
5 km	草地 Grassland	3.951	2.215	79.512	1.784	0.078 3
	居住工业交通 Urban	3.683	2.147	79.318	1.784	0.090 3
	耕地 Cropland	3.849	2.151	79.418	1.790	0.077 3
	林地 Forest	4.278	2.168	78.823	2.028	0.047 5*
	水体 Water	4.507	2.191	79.953	2.057	0.043 0*

*表示 *P* 值小于 0.05, 因变量对自变量有显著效应。下表同。

* indicates that *Pr(>|t|)* is less than 0.05, and the dependent variable has a significant effect on the independent variable. The same below.

表 2 景观对玉米苗期三突花蛛种群数量的影响

Table 2 Landscape effect on the total population of *Misumenops tricuspidatus* in maize seedling stage

尺度 Scale	斑块类型 Patch type	估计值 Estimate	标准误差 SE	自由度 <i>df</i>	<i>t</i> 值 <i>t</i> value	<i>P</i> 值 <i>Pr(> t)</i>
4 km	草地 Grassland	0.381 1	0.184 4	78.972 0	2.067	0.042*
	居住工业交通 Urban	0.276 5	0.167 4	77.965 8	1.652	0.103
	耕地 Cropland	0.275 3	0.168 8	78.124 8	1.631	0.107
	林地 Forest	0.207 8	0.184 2	77.402 6	1.128	0.263
	水体 Water	0.279 4	0.184 6	78.400 9	1.514	0.134
3 km	草地 Grassland	0.343 0	0.164 4	79.426 7	2.086	0.040 2*
	居住工业交通 Urban	0.251 9	0.146 4	78.471 5	1.721	0.089 2
	耕地 Cropland	0.246 4	0.147 5	78.569 2	1.670	0.098 8
	林地 Forest	0.185 7	0.160 7	77.988 6	1.156	0.251 2
	水体 Water	0.281 6	0.165 7	79.172 5	1.699	0.093 2
2 km	草地 Grassland	0.235 9	0.139 3	79.422 6	1.693	0.094 3
	居住工业交通 Urban	0.179 4	0.127 7	78.302 7	1.405	0.164 1
	耕地 Cropland	0.175 2	0.127 9	78.244 8	1.370	0.174 7
	林地 Forest	0.134 7	0.141 6	77.857 1	0.952	0.344 3
	水体 Water	0.324 6	0.159 2	80.858 1	2.040	0.044 7*
1 km	草地 Grassland	0.098 1	0.103 5	79.772 3	0.948	0.346 1
	居住工业交通 Urban	0.097 1	0.091 7	79.092 9	1.060	0.292 5
	耕地 Cropland	0.092 3	0.091 0	78.718 3	1.015	0.313 3
	林地 Forest	0.054 7	0.121 4	80.006 2	0.450	0.653 8
	水体 Water	0.262 3	0.112 7	81.581 7	2.328	0.022 4*

在 5 km 尺度下, 水体和林地对捕食性天敌的总数量有显著正效应。在其他 5 个尺度(4、3、

2、1、0.5 km) 下捕食性天敌总量对不同斑块类型的面积比例无显著响应(表 3)。

表 3 景观对玉米苗期捕食性天敌种群总数量的影响

Table 3 Landscape effect on the total population of predatory natural enemies in maize seedling stage

尺度 Scale	斑块类型 Patch type	估计值 Estimate	标准误差 SE	自由度 <i>df</i>	<i>t</i> 值 <i>t</i> value	<i>P</i> 值 <i>Pr</i> (> <i>t</i>)
5 km	草地 Grassland	10.551	5.526	76.312	1.909	0.060 0
	居住工业交通 Urban	10.117	5.356	76.177	1.889	0.062 7
	耕地 Cropland	10.510	5.365	76.243	1.959	0.053 8
	林地 Forest	10.893	5.400	75.918	2.017	0.047 2*
	水体 Water	11.920	5.474	76.670	2.177	0.032 5*

3 结论与讨论

气候因素和景观驱动是影响害虫发生的两大因素, 而气候因素在实际的农事操作中难以控制, 因此, 研究农田景观如何抵消气候变化带来的不利影响显得尤为重要 (Tschamntke *et al.*, 2012)。本研究主要探讨了不同土地覆盖类型对 7 种玉米苗期捕食性天敌的生态学效应, 并分析了不同尺度下捕食性天敌对不同斑块面积比例的响应。

3.1 非作物生境有利于玉米苗期捕食性天敌种群数量增加

龟纹瓢虫是北方小米-玉米轮组农田生态系统中重要的捕食性天敌, 其属于广食性的天敌类群, 龟纹瓢虫在麦蚜发生平稳期、盛发期、消退期对麦蚜有稳定的控制作用, 控害指数分别为 35%、42%和 32% (于汉龙等, 2014)。本研究发现, 林地和水体生境对龟纹瓢虫的种群数量有显著的正效应, 产生的原因在于农田附近的防护林可为龟纹瓢虫提供栖息地及花粉、花蜜等食物来源 (赵紫华等, 2012; Yang *et al.*, 2019), 田块周围的非作物生境增加, 瓢虫等自然天敌的种群数量显著增加 (Pfister *et al.*, 2017)。

三突花蛛是地栖性的捕食性天敌, 对于控制玉米田中的棉铃虫、玉米螟幼虫等起重要作用 (辛肇军等, 2012)。本研究表明, 在 4 km 和 3 km 尺度下, 草地对三突花蛛的种群数量有显著的正效应, 在 2 km 和 1 km 尺度下, 水体对三突花蛛的种群数量有显著正效应。据 Batary 等 (2012)

研究发现, 有机管理的农田可以通过增加草地的覆盖率来增加蜘蛛类的种群数量。Liu 等 (2018) 发现, 棉田附近的半自然生境可以增加蜘蛛的种群数量, 非作物生境作为重要的天敌库, 在棉田中害虫暴发时可以迁移到附近的棉田控害; 当棉田收割时, 可以为天敌提供栖息地和食物资源。因此, 草地及水体周边的植被可以为三突花蛛提供适宜的栖息地和食物来源, 从而维持其整个种群的繁衍。

林地和水体生境对于捕食性天敌的总量有显著正效应。华北地区农田景观多数由农作物和及周边的防护林构成, 林地作为重要的非作物生境, 在玉米的幼苗期可以涵养捕食性天敌; 在玉米收割后, 可以为捕食性天敌提供栖息地和食物资源, 从而保证捕食性天敌群落的稳定性。

3.2 玉米苗期与玉米成株期天敌对景观响应不一致

本研究发现, 玉米苗期林地和水体景观对龟纹瓢虫的种群数量有显著的正效应, 草地和水体景观对三突花蛛的种群数量有显著的正效应, 耕地、水体和林地景观对捕食性天敌的总数量有显著正效应。之前通过分析景观区域性农田景观对夏玉米田成株期捕食性天敌的生态学效应发现, 6 种空间尺度 (5、4、3、2、1、0.5 km) 下捕食性天敌对耕地和居住工业交通均有显著的正响应, 在 1 km 尺度下与玉米田面积呈显著正相关 (张晴晴等, 2019)。可见, 水体、草地、林地对玉米苗期的捕食性天敌有显著的正效应, 而耕地和居住工业交通对玉米成株期的捕食性天敌

有显著的正效应。这种不一致可能由于玉米苗期和成株期捕食性天敌的食物来源不同。其中,玉米苗期的主要害虫为蓟马、二代粘虫等(陈菊荣, 2018),玉米苗期的捕食性天敌的食物相对缺乏,而水体、草地、林地等非作物生境可以为玉米苗期的捕食性天敌提供花粉、水源等食物来源(Honek *et al.*, 2007; Villegas *et al.*, 2013; Schellhorn *et al.*, 2014)。待到玉米成株期后,玉米田害虫种群数量增加,捕食性天敌扩散转移到玉米上进行控害,而居住工业交通在玉米收割后可以为捕食性天敌提供越冬场所(赵紫华等, 2012)。显然,在玉米苗期农作物上捕食性天敌的猎物相对匮乏,此时农田周边的非作物生境可以为天敌提供食物资源,在玉米苗期捕食性天敌维持上起至关重要作用,当玉米成长至大喇叭口期,玉米田中食物资源逐渐丰富,捕食性天敌可由非作物生境转移至玉米捕食害虫。

探究区域性景观组成对玉米苗期捕食性天敌的响应机制,对于开展玉米田生态调控,减轻气候变化及农田集约化造成的重大害虫暴发带来的负面影响,减少农药的使用量及维持农田生态系统中的生物多样性有重大意义。本研究表明捕食性天敌龟纹瓢虫、三突花蛛等对玉米苗期及成株期的主要害虫,如玉米蚜、玉米螟幼虫等有较强的捕食作用,发现农田景观的非作物生境,如林地、草地和水体对玉米苗期的捕食性天敌种群数量维持有显著作用,从而可为华北玉米害虫的区域性生态调控工程提供支撑。

参考文献 (References)

- Batary P, Holzschuh A, Orci KM, Samu F, Tscharnkte T, 2012. Responses of plant, insect and spider biodiversity to local and landscape scale management intensity in cereal crops and grasslands. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 146(1): 130–136.
- Bianchi FJJA, Booij CJH, Tscharnkte T, 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1595): 1715–1727.
- Chen JR, 2018. Analysis of occurrence diseases and pests and comprehensive control measures in summer maize seedling stage. *China Agricultural Technology Extension*, 34(8): 63–64. [陈菊荣, 2018. 夏玉米苗期病虫害发生分析及综合防治对策. 中国农技推广, 34(8): 63–64.]
- Elliott NC, Kieckhefer RW, Michels GJ, Giles KL, 2002. Predator abundance in alfalfa fields in relation to aphids, within-field vegetation, and landscape matrix. *Environmental Entomology*, 31(2): 253–260.
- Honek A, Martinkova Z, Pekar S, 2007. Aggregation characteristics of three species of Coccinellidae (Coleoptera) at hibernation sites. *European Journal of Entomology*, 104(1): 51–56.
- Liu B, Yang L, Zeng YD, Yang F, Yang YZ, Lu YH, 2018. Secondary crops and non-crop habitats within landscapes enhance the abundance and diversity of generalist predators. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 258: 30–39.
- Ouyang F, Ge F, 2011. Effects of agricultural landscape patterns on insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1777–1183. [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): 1777–1183.]
- 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 Vitae*, 46(1): 139–150. [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.]
- Pfister SC, Schirmel J, Entling MH, 2017. Aphids and their enemies in pumpkin respond differently to management, local and landscape features. *Biological Control*, 115: 37–45.
- Schellhorn NA, Bianchi FJJA, Hsu CL, 2014. Movement of entomophagous arthropods in agricultural landscapes: links to pest suppression. *Annual Review of Entomology*, 59(1): 559–581.
- Tscharnkte T, Tylianakis JM, Rand TA, Didham RK, Fahrig L, Batáry P, Bengtsson J, Clough Y, Crist TO, Dormann CF, Ewers RM, Fründ J, D. Holt R, Holzschuh A, Klein AM, Kleijn D, Kremen C, A. Landis D, Laurance W, Lindenmayer D, Scherber C, Sodhi N, Dewenter IS, Thies C, van der Putten WH, Westphal C, 2012. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses. *Biological Reviews*, 87(3): 661–685.
- Turner MG, 1990. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*, 4(1): 21–30.
- Villegas CM, Verdugo JA, Grez AA, Tapia J, Lavandero B, 2013. Movement between crops and weeds: Temporal refuges for aphidophagous insects in central Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, 40(2): 317–326.
- Xin ZJ, Li ZH, Ye BH, 2012. Predatory function of *Misumenopsis tricuspidata* on larvae of *Ostrinia furnacalis*. *Shandong Agricultural Sciences*, 44(10): 89–91. [辛肇军, 李照会, 叶保华,

2012. 三突花蛛对亚洲玉米螟幼虫的捕食作用. 山东农业科学, 44(10): 89-91.]
- Yang L, Lei X, Liu B, Zhang Q, Pan YF, Li Q, Li HQ, Lu YH, 2019. Non-crop habitats promote the abundance of predatory ladybeetles in maize fields in the agricultural landscape of northern China. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 277: 44-52.
- Yu HL, Li LM, Zhang SC, Yu Y, Zhang AS, Li LL, Zhou XH, Zhuang QY, Men XY, Ye BH, 2014. Effect of suppression of natural enemies on wheat aphids using enclosures in wheat fields. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(1): 107-113. [于汉龙, 李林懋, 张思聪, 于毅, 张安盛, 李丽莉, 周仙红, 庄乾营, 门兴元, 叶保华, 2014. 应用罩笼法定量评价天敌对麦蚜的控害作用. 应用昆虫学报, 51(1): 107-113.]
- Zhang QQ, Lu ZB, Li C, Li LL, Ouyang F, Men XY, 2019. Ecological effects of regional farmland landscape on population of predators in summer corn fields. *Shandong Agricultural Sciences*, 51(6): 125-129, 134. [张晴晴, 卢增斌, 李超, 李丽莉, 欧阳芳, 门兴元, 2019. 区域性农田景观对夏玉米田捕食性天敌的生态学效应. 山东农业科学, 51(6):125-129, 134.]
- Zhao ZH, Ouyang F, He HD, 2012. Edge effects and spillover effects of natural enemies on different habitat interfaces of agricultural landscape. *Scientia Sinica Vitae*, 42(10): 825-840. [赵紫华, 欧阳芳, 贺达汉, 2012. 农业景观中不同生境界面麦蚜天敌的边缘效应与溢出效应. 中国科学: 生命科学, 42(10): 825-840.]



草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (Smith)成虫

草地贪夜蛾隶属于鳞翅目 (Lepidoptera) 夜蛾科 (Noctuidae) 原产地为美洲热带和亚热带气地区。2016 年入侵非洲, 2018 在亚洲的印度首先发现并快速扩散到周边国家, 2019 年 1 月入侵中国云南并迅速扩散到 20 多个省区。

草地贪夜蛾成虫翅展 32-40 mm, 前翅深棕色, 后翅白色, 边缘有褐色带。雌蛾前翅呈灰褐色或灰色棕色杂色, 具肾形纹和环形纹, 轮廓线黄褐色; 雄蛾前翅灰棕色, 翅顶角向内具一大白斑, 环状纹后侧具一浅色带自翅外缘至中室, 肾形纹内侧具一白色楔形纹。

(张润志, 中国科学院动物研究所)