

DOI: 10.20103/j.stxb.202311302613

程鸿浩, 陈诗燕, 周夏芝, 邹运鼎, 毕守东. 害虫与天敌个体数量比值对天敌竞争作用指数的影响——以茶园花蓟马及其主要天敌为例. 生态学报, 2024, 44(11): 4914-4921.

Cheng H H, Chen S Y, Zhou X Z, Zou Y D, Bi S D. Impact of the population ratio between pest and predator on the competitive effect index among predators: taking *Frankliniella intonsa* and their major natural enemies as an example. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(11): 4914-4921.

害虫与天敌个体数量比值对天敌竞争作用指数的影响 ——以茶园花蓟马及其主要天敌为例

程鸿浩¹, 陈诗燕¹, 周夏芝², 邹运鼎², 毕守东^{1,*}

¹ 安徽农业大学 信息与人工智能学院, 合肥 230036

² 安徽农业大学 林学与园林学院, 合肥 230036

摘要: 为合理保护和利用自然天敌, 明确害虫与天敌个体数量比值对天敌竞争作用指数(竞争系数和竞争强度指数)的影响。运用竞争系数分析法、灰色关联度分析法、竞争强度指数分析法和 Pearson 相关系数法对 2020 年、2021 年三种茶园花蓟马与主要天敌个体数比值对主要天敌竞争作用指数的影响。三种茶园两年数据汇总分析得出, 竞争系数和竞争强度指数均值与花蓟马-天敌比值的 Pearson 相关系数分别为-0.7858 和-0.8199; 2020 年三种茶园数据综合分析得出, 竞争系数和竞争强度指数均值与花蓟马-天敌比值的 Pearson 相关系数分别为-0.7391 和-0.7819; 2021 年三种茶园竞争作用指数与比值的跟随关系不明显, 主要是平阳特早茶园 9 种主要天敌以外的其他天敌影响了竞争作用趋势。综合多种分析结果得出, 9 种主要天敌的竞争作用指数与花蓟马-天敌比值呈显著负相关, 其中三突花蟹蛛(-0.9936)负相关性最显著, 鞍型花蟹蛛是高比值组竞争作用指数最高的天敌。研究结果为利用天敌开展花蓟马生物防治提供参考。

关键词: 花蓟马; 天敌; 灰色关联度; 竞争系数; 竞争强度指数

Impact of the population ratio between pest and predator on the competitive effect index among predators: taking *Frankliniella intonsa* and their major natural enemies as an example

CHENG Honghao¹, CHEN Shiyan¹, ZHOU Xiaozhi², ZOU Yunding², BI Shoudong^{1,*}

¹ College of Information and Artificial Intelligence, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

² College of Forestry and Horticulture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

Abstract: In order to rationally protect and utilise natural enemies, we clarified the effects of the ratio of the number of individuals of pests and natural enemies on the indices of the competitive effects of natural enemies (competition coefficient and competition intensity index). In this study, we applied the competition coefficient analysis, grey correlation analysis, competition intensity index analysis and Pearson correlation coefficient method to investigate the effects of the ratio of the number of individuals of *Frankliniella intonsa* to their main natural enemies on the competitive role index of the main natural enemies in three kinds of tea gardens in 2020 and 2021. According to the data collected from the three tea plantations in two years, the Pearson correlation coefficients of competition coefficient and competition intensity index with the ratio of thrips to natural enemies were -0.7858 and -0.8199, respectively. According to the comprehensive analysis of the data of the three tea plantations in 2020, the Pearson correlation coefficients between the mean competition coefficient and competition intensity index and the ratio of thrips to natural enemies were -0.7391 and -0.7819, respectively. The following

基金项目: 国家自然科学基金(30871444); 安徽省自然科学基金(11040606M71); 安徽省教育厅重点项目(KJ2008A139)

收稿日期: 2023-11-30; **采用日期:** 2024-05-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bishoudong@163.com

relationship between the competitive effect index and the ratio in the three tea gardens in 2021 was not obvious, mainly because the natural enemies other than the nine main natural enemies in the ‘Pingyang Tezao’ Tea Garden affected the competitive effect trend. Combining the results of multiple analyses, it was concluded that the competitive action indices of the nine major natural enemies were significantly negatively correlated with the *F. intonsa*-natural enemy ratios, with the most significant negative correlation being that of the *Misumenopstricuspidatu* (-0.9936), and the *Xysticus ephippiafus* was the natural enemy with the highest competitive action indices in the high-ratio group. The results provide a reference for the use of natural enemies in the biological control of *F. intonsa*.

Key Words: *Frankliniella intonsa*; natural enemies; grey correlation degree; competition coefficient; competition intensity index

花蓟马 *Frankliniella intonsa* 是一种体型微小,隐匿性强的茶树害虫,在我国多地茶园均有分布,主要危害茶花和茶树芽叶主脉两侧,使叶质变差,严重时可导致整叶变黄焦枯^[1]。花蓟马不仅可以通过取食行为对茶叶进行为害,更为严重的是可以传播病毒^[2-3],如不加以控制,会对茶叶产量造成巨大损失。目前,花蓟马的传统防治措施大多存在污染环境、方法单一和应用前景受限等弊端^[4],因此花蓟马的防治方式需要进一步创新。利用自然界天敌对害虫进行生物防治是一种安全、持久且经济的防治方法^[1],茶园花蓟马的常见天敌包括瓢虫、蝽类^[5]和蜘蛛等,张汉鹄等^[1]报道蓟马被草间小黑蛛、瓢虫等捕食,贺仲麟^[6]指出蜘蛛是花蓟马的主要天敌,胡金林^[7]、陈樟福等^[8]报道机敏漏斗蛛捕食蓟马、叶蝉等,朱俊庆^[9]报道茶园多种蜘蛛是蓟马的主要天敌。蜘蛛是花蓟马捕食类天敌中种类多、食性广,食量大的一大类群,是重要的生物防治资源。

竞争作用是物种为了生存,对食物、空间等资源进行竞争的行为^[10]。黄林等^[11]研究轮虫与角枝类间的竞争作用,总结得出温度和食物等均为竞争强度的影响因素;Park^[12]在室内条件试验得出气候、寄生物和种群遗传性等均会影响拟谷盗不同品系间的竞争作用;郑全明^[13]发现天敌斯氏钝绥螨对烟蓟马和二斑叶螨的种间竞争存在制约作用。由此可见,外界环境、寄主资源、种群特性和天敌因素等均会影响昆虫种间竞争作用。竞争系数是生物间竞争作用的量化,在昆虫生态学领域得到广泛应用^[14-16]。

竞争作用在自然界普遍存在,已有的文献多是研究环境及自身生物因素对昆虫种间竞争的影响,以及一种天敌的竞争强度受目标物种群密度的影响^[17-18],多种天敌综合分析天敌-害虫比值与天敌竞争作用间相关性的研究少见报道,在这种情况下,对天敌捕食作用的研究就要涉及到天敌因取食产生竞争作用的复杂情况,Chen 等^[19]研究了天敌捕食小绿叶蝉时的竞争系数与竞争强度指数,为方便简化研究竞争作用,本文以茶园花蓟马及其数量较多的主要天敌(七种游猎蛛及两种瓢虫)为例,并假设这 9 种天敌只捕食花蓟马,研究天敌间的竞争作用指数(竞争系数和竞争强度指数),并在此基础上,分析花蓟马与天敌个体数量比值对竞争作用指数的影响,明确了天敌在害虫-天敌个体数量比值不同时的竞争能力,分析不同比值对每种天敌竞争作用的影响,有利于合理评价和保护利用竞争力强的优势种天敌,为花蓟马的生物防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查地点与时间

调查地点为安徽农业大学农业科技示范基地(31°94′N,117°21′E),选取“平阳特早”“农抗旱”和“黄山大叶种”3 个茶园进行调查,茶园面积均为 0.2 hm²,每半个月调查一次。根据以往茶园害虫发生情况的研究,主要采集花蓟马、卵形短须螨、小贯小绿叶蝉和茶尺蠖等主要害虫及鳞纹肖蛸、斑管巢蛛、三突花蟹蛛等主要天敌的种群数量,本文主要研究 9 种天敌在捕食花蓟马时的竞争作用。花蓟马主要在秋冬季发生,2020 年自 9 月 27 日至 11 月 20 日共调查 6 次,2021 年自 3 月 2 日至 11 月 19 日共调查 14 次。花蓟马种群数量在各茶园的高峰日均在 7 月 8 日到 11 月 20 日之间,茶园均按常规措施管理,不施用化学农药。

1.2 茶树品种介绍

“黄山大叶种”(“黄山早芽”),由安徽省农业研究院茶叶研究所培育,属灌木型大叶类,叶形椭圆,叶色

黄绿^[20]；“平阳特早”，属灌木型中叶类，特早生种，叶形椭圆，叶色深绿^[21]；“农抗旱”，属灌木与小乔木型之间类型，中叶类，特早生种^[22]。

1.3 调查取样方法

茶园共 5 行，为消除边缘群落影响，采用平行跳跃法选取中间 3 行，每行长 50 m，间隔 1 m 取 2 m 长的样方，每行取 10 个样方，共 30 个样方。用沾有洗衣粉溶液的搪瓷盘对样方中所有枝叶进行盘拍（搪瓷盘长 40 cm，宽 30 cm），调查和记载花蓟马及其天敌的种类和个体数。本研究以花蓟马数量高峰日时的种群数量及其 9 种天敌的种群数量作为数据资料。

1.4 分析方法

1.4.1 害虫-天敌比值分组依据

选取 3 种茶园每年花蓟马种群数量最多的 3 次数据共 18 次数据作为研究内容，并将该 18 次数据中数量最多的 7 种游猎蛛和 2 种瓢虫作为主要天敌，对花蓟马与天敌个体数量比值按极差法进行三等份分组，比值为 0.00—2.00 之间的属于低比值组（食饵相对不足），2.01—4.00 之间的属于中比值组（食饵相对充足），大于 4.00 的属于高比值组（食饵相对宽裕）。

1.4.2 灰色系统分析

灰色系统分析的基本思想是通过确定参考数据列和若干个比较数据列的几何形状相似程度来判断其联系是否紧密，反映了曲线间的关联程度^[23]。本研究将花蓟马数量与其 9 种天敌种群数量分别作为参考数据列与若干个比较数据列，首先对数据进行无量纲化处理，即采用均值化法将不同量纲的数据都统一归化到 1 这个量级附近，其次利用公式计算关联系数 $\xi_i(k)$ ，最后计算关联度 r_i 。

关联系数公式为：

$$\xi_i(k) = \frac{\min\{\min\{|x_0(k) - x_i(k)|\}\} + \rho * \max\{\max\{|x_0(k) - x_i(k)|\}\}}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \times \max\{\max\{|x_0(k) - x_i(k)|\}\}}$$

关联度公式为：

$$r_i = \frac{\sum_{k=1}^n \xi_i(k)}{n}$$

式中， $x_0(k)$ 为 k 时害虫的种群数量； $x_i(k)$ 为 k 时天敌 i 的种群数量； ρ 为分辨系数，一般取 0 到 1 之间，本研究取 0.8； $\min\{|x_0(k) - x_i(k)|\}$ 和 $\min\{\min\{|x_0(k) - x_i(k)|\}\}$ 分别为一级和二级最小差， $\max\{|x_0(k) - x_i(k)|\}$ 和 $\max\{\max\{|x_0(k) - x_i(k)|\}\}$ 分别为一级和二级最大差。便于计算，本研究使用 DPS 数据处理系统（DPS v20.00）进行处理。

1.4.3 竞争系数

May 将种间竞争系数公式定义为^[24]：

$$\alpha_{ij} = \frac{\sum (P_i \times P_j)}{\sqrt{\sum P_i^2 \times \sum P_j^2}}$$

式中， α_{ij} 表示物种 i 与物种 j 的种间竞争系数， $P_i(P_j)$ 表示物种 $i(j)$ 在该资源状态下占物种 $i(j)$ 种群数量之和的百分比。

1.4.4 竞争强度指数

竞争强度指数 C 公式定义为^[25—26]：

$$C = \frac{R_{yi}}{R_{yj}} \times \alpha_{ij}$$

式中， $\frac{R_{yi}}{R_{yj}}$ 为与害虫关系的相对密切度，其中 R_{yi} 表示被比较的天敌 i 与害虫 y 种群数量上的灰色关联度， R_{yj} 表

示作为对照的天敌 j 与害虫 y 种群数量上的灰色关联度, α_{ij} 表示 i 天敌和 j 天敌之间的竞争系数。

1.4.5 Pearson 相关系数法

对于 2 个分类单位 i 与 j 之间的 Pearson 相关系数可定义为^[27]:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i) (x_{jk} - \bar{x}_j)}{\left[\left(\sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)^2 \right) \left(\sum_{k=1}^n (x_{jk} - \bar{x}_j)^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

式中: x_{ik} 和 x_{jk} 分别为物种 i 和 j 在不同测量条件 k 下的种群数量; $\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ik}$ 为物种 i 的平均物种数; $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{jk}$ 为物种 j 的平均物种数。

2 结果与分析

2.1 茶园花蓟马与 9 种天敌个体数量的比值分组

害虫数量多时的数据更能真实地反映害虫与天敌之间的关系^[28], 选取 2020 年和 2021 年花蓟马种群数量均为峰值时的三次调查数据进行分析, 在 20 余种天敌中选择数量多的鞍型花蟹蛛 *Xysticus ephippiafufus*、三突花蟹蛛 *Misumenopstricuspidatu*、棕管巢蛛 *Clubiona Japonicola*、斑管巢蛛 *Clubiona reichlini*、斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus*、黑色跳蛛 *Blacksalticidae*、条纹蝇虎 *Plexippus setipes* 等 7 种游猎蛛和龟纹瓢虫 *Propylaea Japonica*、异色瓢虫 *Harmoniaaxyridis* 共 9 种天敌作为研究对象, 按极差法对 18 组数据进行高中低比值分组, 将结果列于表 1。

表 1 高峰日花蓟马及其 9 种天敌的种群数量

Table 1 Population number of *F. intonsa* and its nine natural enemies on peak days

茶园 Tea garden	日期 Date	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	害虫-天敌 种群数量比值 Pest-natural enemy population ratio	组别 Groups
G ₁	2020-10-28	577	22	27	10	0	15	8	4	22	7	5.0174	HR
	2020-11-10	213	34	29	7	1	10	5	24	6	0	1.8362	LR
	2020-11-20	865	15	32	7	0	10	3	6	3	1	11.2338	HR
	2021-07-08	116	56	30	10	23	26	29	0	32	32	0.4874	LR
	2021-11-01	749	16	14	6	3	20	5	10	5	1	9.3625	HR
	2021-11-20	87	1	2	3	5	26	2	4	0	1	3.9545	MR
G ₂	2020-10-28	177	5	14	13	1	42	6	2	2	0	2.0824	MR
	2020-11-10	11	9	17	4	4	25	9	8	2	1	0.1392	LR
	2020-11-20	223	2	7	1	1	32	0	7	6	0	3.9821	MR
	2021-07-08	51	14	65	51	88	6	38	0	25	5	0.1747	LR
	2021-10-13	132	8	1	2	0	45	4	5	3	6	1.7838	LR
	2021-11-01	763	4	2	3	9	39	4	19	2	2	9.0833	HR
G ₃	2020-10-28	301	4	2	12	2	25	5	6	8	0	4.7031	HR
	2020-11-10	144	6	3	3	0	23	2	10	2	1	2.8800	MR
	2020-11-20	214	1	8	2	0	32	0	9	0	1	4.0377	HR
	2021-07-08	312	26	46	24	24	22	7	0	61	41	1.2430	LR
	2021-11-01	254	5	2	8	3	2	2	3	0	1	9.7692	HR
	2021-11-20	87	7	2	0	1	4	3	4	0	1	1.9773	LR

Y: 花蓟马 *Frankliniella intonsa*; X1: 鞍型花蟹蛛 *Xysticus ephippiafufus*; X2: 三突花蟹蛛 *Misumenopstricuspidatu*; X3: 棕管巢蛛 *Clubiona Japonicola*; X4: 斑管巢蛛 *Clubiona reichlini*; X5: 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus*; X6: 黑色跳蛛 *Blacksalticidae*; X7: 条纹蝇虎 *Plexippus setipes*; X8: 龟纹瓢虫 *Propylaea Japonica*; X9: 异色瓢虫 *Harmoniaaxyridis*; G₁: 黄山大叶种茶园 Huangshan Dayezhong; G₂: 农抗早茶园 Nongkangzao; G₃: 平阳特早茶园 Pingyang Tezao; LR: 低比值组 Low-ratio group; MR: 中比值组 Median-ratio group; HR: 高比值组 High-ratio group

18 组数据中,花蓟马及其天敌比值属于高比值的占 38%,属于中比值的占 24%,属于低比值也的占 38%,高低比值组较中比值组占比较大,表明花蓟马与天敌的种群数量始终保持差异悬殊,两者种群数量存在显著负相关:天敌数量多时,捕食作用强,从而控制花蓟马种群数量;天敌数量少时,对花蓟马的控制效应削弱,从而花蓟马种群数量增加。

2.2 两年综合分析花蓟马与天敌数量比值对天敌竞争作用的影响

对两年三个茶园的数据进行综合分析,高比值组的比值均值为 7.6010,中比值组的比值均值为 3.2248,低比值组的比值均值为 1.0917。将竞争系数和竞争强度指数的计算结果列于表 2。9 种天敌竞争系数与花蓟马-天敌比值的 Pearson 相关系数分别为-0.4017、-0.9887、-0.0252、-0.9306、0.0945、-0.6003、0.4086、-0.3352 和-0.5840,除斜纹猫蛛和条纹蝇虎外,竞争系数均随比值增加而降低,9 种天敌竞争系数均值与花蓟马-天敌比值的 Pearson 相关系数 R 为-0.7858, $df=7$ 时, $R_{0.05} = 0.666$, $R > R_{0.05}$, 即 9 种天敌的竞争系数与花蓟马-天敌的比值呈负显著负相关。

表 2 综合两年数据得出各天敌的竞争系数与竞争强度指数

Table 2 The competition coefficient and competition intensity index of each natural enemy were obtained by synthesizing two years' data

项目 Item	组别 Groups	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
竞争系数	LR	0.8562	0.8266	0.8009	0.8295	0.7018	0.8321	0.3963	0.7936	0.7621
Competition coefficient	MR	0.7386	0.7803	0.6102	0.6141	0.7981	0.6961	0.5991	0.5876	0.4245
	HR	0.7886	0.5793	0.7570	0.5012	0.7302	0.7255	0.5142	0.6880	0.5040
竞争强度指数	LR	0.9077	0.8447	0.8050	0.7969	0.7174	0.7570	0.388	0.8029	0.7915
Competitive intensity index	MR	0.7782	0.8167	0.5327	0.6359	0.9528	0.6515	0.6402	0.6112	0.3099
	HR	0.8691	0.5768	0.7573	0.4658	0.7205	0.7731	0.5383	0.6150	0.4924

竞争强度指数与比值的 Pearson 相关系数分别为-0.0980、-0.9732、0.0316、-0.9838、-0.1839、0.3132、0.4237、-0.7403 和-0.4494,除棕管巢蛛、黑色跳蛛和条纹蝇虎外,竞争强度指数也随比值增加而降低,9 种天敌竞争强度指数均值与花蓟马-天敌比值的 Pearson 相关系数 R 为-0.8199, $df=7$ 时, $R_{0.05} = 0.666$, $R > R_{0.05}$ 即 9 种天敌的竞争强度指数也与花蓟马-天敌的比值呈显著负相关,与竞争系数的分析结果一致。

2.3 2020 年花蓟马与天敌数量比值对天敌间竞争作用的影响

分别计算 2020 年各天敌在不同比值组的竞争系数,竞争系数随花蓟马-天敌比值的变化趋势如图 1 所示,竞争系数越大,表示该天敌在 9 种天敌中的竞争能力越强。三突花蟹蛛、斑管巢蛛和斜纹猫蛛的竞争系数均在高比值组达到最小值,其余六种天敌的竞争系数均在中比值组达到最小值,9 种天敌的竞争系数均在低比值组达到最大值。

2020 年高比值组的比值均值为 6.2480,中比值组的比值均值为 2.9815,低比值组的比值均值为 0.9877。通过相关性分析,X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7、X8 和 X9 的竞争系数与分组比值的 Pearson 相关系数分别为-0.5626、-0.9985、0.3277、-0.9190、-0.8707、-0.6467、-0.7751、-0.5308 和-0.4374,除棕管巢蛛外,各天敌的竞争系数均与花蓟马-天敌比值呈负相关。再将 9 种天

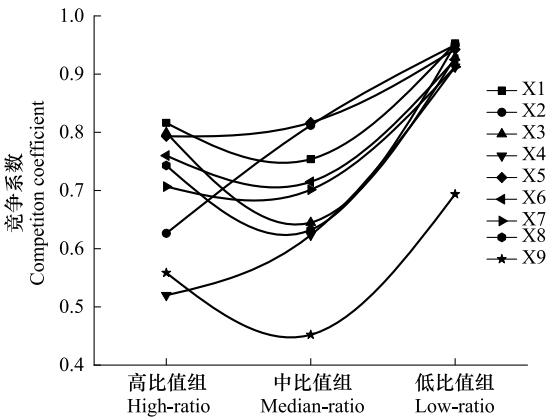


图 1 2020 年天敌竞争系数随花蓟马-天敌比值变化趋势

Fig.1 Trend of natural enemy competition coefficient with the ratio of *F. intonsa* to natural enemies in 2020

X1: 鞍型花蟹蛛 *Xysticus ephippiafus*; X2: 三突花蟹蛛 *Misumenopstricuspidatu*; X3: 棕管巢蛛 *Clubiona Japonicola*; X4: 斑管巢蛛 *Clubiona reichlini*; X5: 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus*; X6: 黑色跳蛛 *Blacksalticidae*; X7: 条纹蝇虎 *Plexippus setipes*; X8: 龟纹瓢虫 *Propylaea Japonica*; X9: 异色瓢虫 *Harmonia axyridis*

敌的竞争系数均值与分组比值进行相关性分析,得出两者间 Pearson 相关系数 R 为 -0.7391 , $df=7$ 时, $R_{0.05} = 0.666$, $R > R_{0.05}$, 即 2020 年天敌的竞争系数与花蓟马-天敌比值整体呈显著负相关。

计算 2020 年各天敌与花蓟马的灰色关联度,由公式计算得到各天敌的竞争强度指数,竞争强度指数随花蓟马-天敌比值的变化趋势结果如图 2 所示。

2020 年 9 种天敌竞争强度指数随花蓟马-天敌比值的变化趋势与竞争系数变化趋势相似,斑管巢蛛、斜纹猫蛛的竞争强度指数均在高比值组最低。将竞争强度指数与各分组比值进行相关性分析,得出 9 种天敌竞争强度指数与比值的 Pearson 相关系数 R 分别为 -0.5660 、 -0.9269 、 -0.3256 、 -0.9172 、 -0.8737 、 -0.6401 、 -0.7819 、 -0.5359 和 -0.4486 ,均为负相关。竞争强度指数均值的 Pearson 相关系数 R 为 -0.7819 , $df=7$ 时, $R_{0.05} = 0.666$, $R > R_{0.05}$, 即 2020 年天敌的竞争强度指数与花蓟马-天敌比值整体也呈显著负相关,与竞争系数分析结果一致。

2.4 2021 年花蓟马与天敌数量比值对天敌竞争作用的影响

2021 年对高比值组和低比值组的 9 种天敌进行竞争作用分析,竞争系数、竞争强度指数在不同比值组的分布如图 3 所示。

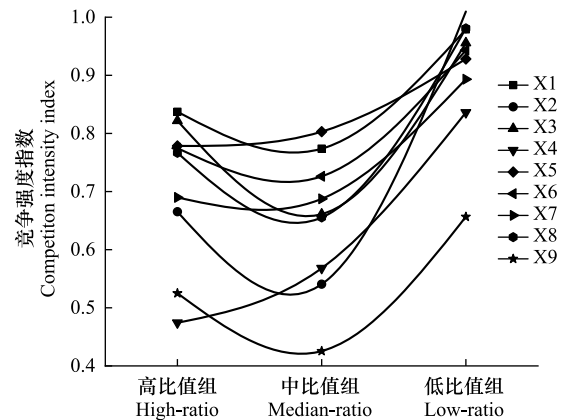


图 2 2020 年天敌竞争强度指数随花蓟马-天敌比值变化趋势

Fig.2 Trend of natural enemy Competitive intensity index with the ratio of *F. intonsa* to natural enemies in 2020

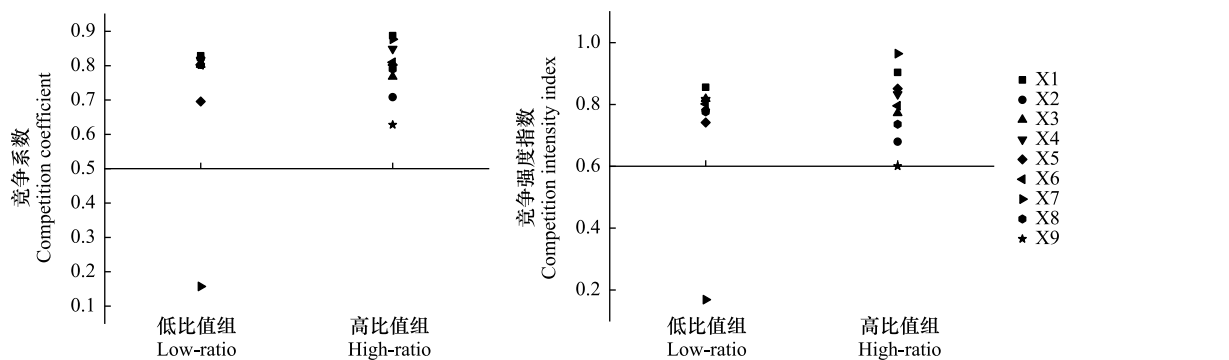


图 3 2021 年 9 种天敌在各比值组的竞争强度指数和竞争系数值

Fig.3 Competition intensity index and competition coefficient values of nine natural enemies in each ratio group in 2021

三突花蟹蛛、棕管巢蛛、龟纹瓢虫和异色瓢虫的竞争系数和竞争强度指数均在低比值组达到最大值,即这四种天敌的竞争作用指数随花蓟马-天敌比值增加而减弱。鞍型花蟹蛛、斑管巢蛛、斜纹猫蛛和条纹蝇虎的竞争系数和竞争强度指数在高比值组达到最大值,即这四种天敌的竞争作用指数随花蓟马-天敌比值的增加而加强。黑色跳蛛的竞争系数随比值增加而增加,竞争强度指数随比值增加而减少,说明考虑天敌与目标害虫密切程度会使黑色跳蛛竞争作用的量化产生差异。低比值组的 X7(条纹蝇虎)种群数量较少是导致其竞争作用明显低于其他天敌的主要原因。综合 9 种天敌竞争系数和竞争强度指数均值分析,2021 年天敌的竞争作用与花蓟马-天敌比值呈正相关。2021 年 9 种天敌竞争作用指数与比值的跟随关系不明显,与平阳特早茶园中除 9 种主要天敌外其他花蓟马天敌的种群数量较多有关。

3 讨论

关于天敌取食时的竞争作用,Chen 等^[19]研究了多种天敌取食小绿叶蝉的竞争系数与竞争强度指数,本文在此基础上深入研究害虫与天敌个体数量比值对天敌竞争作用指数的影响,明确了不同比值情况下天敌的捕食竞争情况。害虫(食饵)与天敌的数量比值可反映出天敌的食饵充足与否。食饵不足时,天敌为获取有限的食物资源,势必增加天敌间(包括种内和种间)的竞争压力,产生扩大觅食范围或改变觅食策略的行为变化,只有竞争力强的天敌才能获得较多的食饵,从防治角度考虑,应合理保护与利用这些竞争力强的天敌,以便提高天敌对害虫的控制能力;食饵充足时,生态系统趋于平衡,天敌数量相应增加,对高质量食饵的需求及挑剔等选择性取食也会增强部分天敌的竞争作用;食饵宽裕时,由 Holling II 模型可知当食饵数量增加到一定数量时,捕食者数量会趋于平缓或饱和,此时的食物资源丰富,天敌更多专注于觅食和繁殖,种间及种内竞争的强度也随之削弱。

关于物种间竞争作用,应将注意力放在物种对其他资源的相对可利用性上^[10]。本研究中提出的竞争强度指数与 May 的竞争系数的含义有很大的不同,前者包含了天敌与害虫间数量关系的密切程度。May 的竞争系数是考虑两种天敌竞争一种目标害虫的竞争力,与两种天敌的数量、时空分布的占比有关,但没有考虑天敌与目标害虫的数量或时空上关系密切与否,而本文在研究竞争系数时,加入了两种竞争关系的天敌与目标害虫在数量上密切程度的影响因素。某天敌在与其他天敌竞争同一种害虫食饵时,考虑该天敌与目标害虫数量关系密切程度(灰色关联度)以及其他参与竞争天敌与目标害虫数量关系密切程度,若该天敌与目标害虫数量上关系密切,其竞争力理应比其它参与竞争的天敌竞争力强。

为了合理利用和保护自然界中的天敌,对目标害虫的天敌控害能力必须要进行充分的考虑,天敌参与害虫防治时存在各种竞争作用差异,从而对害虫的控害效果也存在显著不同。张安盛等研究了东亚小花蝽成虫^[29]和中华草蛉幼虫^[30]对西花蓟马的捕食反应,发现两者的捕食作用率均随自身种群数量密度的增加而降低,即食饵不足时竞争作用增强,导致其摄食速率降低;吕文彦等^[31]系统调查了麦田主要害虫及天敌的种群动态,得出龟纹瓢虫在天敌间的竞争作用较为激烈,从而对害虫的跟随与控制作用也较强;范江龙等^[32]报道土壤中的拮抗菌由于较强的竞争能力,对病原菌形成物理屏障或生态位排斥,使病原菌最终不能感染寄主。Yu 等^[33]研究发现龟纹瓢虫及异色瓢虫在不同温度条件下的竞争作用不同,且在食饵密度不同时的捕食速率也不同,因此在施放天敌进行防治时应研究食饵密度,以达到最佳控害效能。天敌竞争能力强弱直接影响其对害虫的控害能力,研究害虫和天敌个体数量比值大小对天敌竞争能力的影响,一是可以明确食饵多寡对竞争作用的影响,二是可以评出竞争力强的优势种天敌,种间竞争力强的天敌在害虫防治中可以有效地控制害虫增长,这是害虫生物防治考虑的重要内容。

4 结论

综合两年三种茶园的结果综合分析,得出花蓟马主要天敌的竞争作用指数与花蓟马-天敌比值呈显著负相关,比值越低,竞争作用越强,天敌由于有限的资源加强了竞争强度。害虫-天敌比值较高即害虫数量较多时,接近田间为害的实际情况,此时竞争能力强的天敌应受到合理保护与利用,如本研究中的鞍型花蟹蛛。研究不同食饵密度下的天敌竞争作用,有利于保护竞争能力强的天敌,在实际生物防治中,可根据花蓟马不同密度选择相应情况下竞争作用强的天敌,从而达到更好的防治效能,科学高效的开展花蓟马的生物防治工作。为研究方便,本研究把 7 种游猎蛛及 2 种瓢虫均作为只取食花蓟马的单食性天敌进行研究,实际上这 9 种天敌都是广食性天敌,应进一步研究花蓟马与其他食饵共存时的天敌竞争作用,这是一个新的研究课题,有待于深入研究。

参考文献(References):

- [1] 张汉鹄,谭济才. 中国茶树害虫及其无公害治理. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2004: 284-286.

- [2] Whitfield A E, Ullman D E, German T L. Tospovirus-thrips interactions. Annual Review of Phytopathology, 2005, 43: 459-489.
- [3] Gilbertson RL, Batuman O, Webster C G, Adkins S. Role of the insect supervector *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in the emergence and global spread of plant viruses. Annual Review of Virology, 2015, 2(1): 67-93.
- [4] 杨磊, 邵雨, 李芬, 陈德鑫, 李方友, 吴少英. 缨翅目害虫蓟马生物防治的研究进展. 中国生物防治学报, 2021, 37(3): 393-405.
- [5] 程炯, 余燕, 王建盼, 毕守东, 周夏芝, 邹运鼎, 王振兴, 李尚. 茶园天敌对花蓟马和茶短须螨的跟随效应研究. 植物保护, 2018, 44(6): 99-106.
- [6] 贺仲麟. 烟草昆虫学. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002: 117.
- [7] 胡金林. 中国农林蜘蛛. 天津: 天津科学技术出版社, 1984.
- [8] 陈樟福, 宋大祥. 机敏漏斗蛛的生活习性. 动物学杂志, 1980, 15(3): 14-15.
- [9] 朱俊庆. 茶树害虫. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 156.
- [10] Southwood. Ecological research methods—applicable to the study of insect populations. Beijing: Science Press, 1984.
- [11] 黄林, 席贻龙. 轮虫和枝角类的种间竞争及其影响因子研究进展. 生态学报, 2020, 40(19): 6720-6728.
- [12] Park T. Experimental studies on interspecies competition: Temperature, humidity and competition in two species of *Tribolium*. Physiol zool, 1954, 27: 177-238.
- [13] 郑全明. 斯氏钝绥螨对烟蓟马与二斑叶螨共存时种间互作的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- [14] 马祖飞, 李典谟. 竞争指数及其在小红珠绢蝶保护生物学研究中的应用. 生态学报, 2002, 22(10): 1695-1698.
- [15] 罗梅浩, 郭线茹, 郑晓军, 陈智, 马继盛. 烟青虫和棉铃虫在烟草上的生态位及其种间竞争. 中国烟草学报, 2002, 8(4): 35-38.
- [16] Ren Q L, Haseeb M, Fan J Y, Wu P X, Tian T Q, Zhang R Z. Functional response and intraspecific competition in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Insects, 2020, 11(11): 806.
- [17] Papanikolaou N E, Dervisoglou S, Fantinou A, Kypraios T, Giakoumaki V, Perdakis D. Predator size affects the intensity of mutual interference in a predatory mirid. Ecology and Evolution, 2021, 11(3): 1342-1351.
- [18] 赵英杰, 符成悦, 李维薇, 张立敏, 杜广祖, 陈斌, 李正跃. 异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食作用. 植物保护, 2020, 46(1): 51-54, 86.
- [19] Chen S Y, Cheng H H, Cai J J, Zou Y D, Cheng X, Bi S D. Interspecific competitive effects and annual differences in predation of *Empoasca onukii* (Hemiptera: Cicadellidae) by wandering spiders. Environmental Entomology, 2023, 52(6): 1048-1056.
- [20] 江济和. 茶树新品种“黄山早芽”选育报告. 茶叶, 1994, 20(4): 10-13.
- [21] 林平, 赵东. 平阳特早茶研究. 茶叶, 1998, 24(4): 200-204.
- [22] 杨维时, 程徽儿, 胡绍德. 茶树新品种“农抗早”选育的理论与实践. 茶业通报, 2000, 22(4): 20-22.
- [23] 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990: 33-84.
- [24] May R M. Some notes on estimating the competition matrix, A. Ecology, 1975, 56(3): 737-741.
- [25] 吴筱萌, 徐悦, 陈诗燕, 程鸿浩, 周夏芝, 邹运鼎, 毕守东. 游猎蛛在茶尺蠖高峰日的种间竞争作用. 环境昆虫学报, 2023, 45(5): 1385-1398.
- [26] 陈诗燕, 程鸿浩, 吴筱萌, 徐悦, 邹运鼎, 毕守东. 捕食小贯小绿叶蝉的茶园游猎蛛的种间竞争作用研究. 植物保护, 2023, 49(4): 195-203, 210.
- [27] 徐克学. 生物数学. 北京: 科学出版社, 1999: 89.
- [28] 邹运鼎. 害虫管理中的天敌评价理论与应用. 北京: 中国林业出版社, 1997: 45-49.
- [29] 张安盛, 于毅, 李丽莉, 张思聪, 门兴元. 东亚小花蝽成虫对西花蓟马若虫的捕食功能反应与搜寻效应. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1233-1237.
- [30] 张安盛, 李丽莉, 于毅, 门兴元. 中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的捕食功能反应与搜寻效应. 植物保护学报, 2007, 34(3): 247-251.
- [31] 吕文彦, 秦雪峰, 杜开书. 麦田害虫与天敌群落动态变化研究. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 111-116.
- [32] 范江龙, 李欣蕊, 席雪冬. 小麦赤霉病生物防治研究进展. 生物加工过程, 2021, 19(4): 420-431.
- [33] Yu X L, Zhang Y J, Zuo J F, Luo X, Zhang L, Danzeng Z M, Wang B, Xia P L, Zhang S Z, Liu T X, Feng Y. Rising temperatures affect the interspecific interference competition between *Harmonia axyridis* and *Propylea japonica*, and their predation rate on *Myzus persicae*. Journal of Pest Science, 2023, 96(2): 695-709.