

银川平原不同种植模式下苜蓿田地表蜘蛛群落多样性及时间动态模拟

胡文超¹ 贺达汉¹ 关晓庆¹ 刘军和² 赵紫华^{3*}

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2. 黄淮学院生物与食品工程学院, 河南 驻马店 463000;
3. 中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100193)

摘要: 为探究不同种植模式对苜蓿田地表蜘蛛群落多样性及个体数量的影响, 采用陷阱法对银川平原苜蓿-小麦邻作、苜蓿-玉米邻作和苜蓿-果园间作3种不同种植模式下的人工苜蓿田地表蜘蛛群落进行了调查, 研究其多样性、丰富度、均匀度及优势度指数的差异和变化, 并利用 Gaussian 函数对各指数进行时间序列动态拟合, 分析了3种种植模式下人工苜蓿田地表蜘蛛群落总个体数量的时间动态变化。结果显示, 该地区共收集到蜘蛛标本2 761头, 隶属12科19属28种, 其中优势种为星豹蛛 *Pardosa astrigera*、甘肃平腹蛛 *Gnaphosa kansuensis* 和白斑隐蛛 *Nurisia albofasciata*。2种邻作模式下, 苜蓿田地表蜘蛛群落多样性、丰富度、均匀度及优势度指数间作模式下的各指标均有显著差异, 且多样性指数最大值出现时间分别为5月7日和5月18日, 均早于间作模式下的7月3日。Gaussian 函数拟合结果表明, 苜蓿-小麦邻作模式下苜蓿田地表蜘蛛种群高峰期持续时间最长, 为121.92 d, 苜蓿-玉米邻作模式下2次种群高峰间隔时间最短, 为49.2 d。苜蓿-小麦邻作模式下苜蓿田地表蜘蛛群落的个体数量最大值出现在5月上旬, 其它2种模式下均出现在5月中旬。

关键词: 蜘蛛; 苜蓿; 种植模式; 群落多样性; 时间动态模拟

Community diversity and temporal dynamics of spiders in alfalfa fields under three different cropping patterns in Yinchuan Plain

Hu Wencho¹ He Dahan¹ Guan Xiaoqing¹ Liu Junhe² Zhao Zihua^{3*}

(1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia Hui Autonomous Region, China;
2. Department of Biological Engineering, Huanghuai University, Zhumadian 463000,
Henan Province, China; 3. Department of Entomology, College of Plant Protection,
China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to explore the effects of cropping patterns on the species diversity and abundance of ground-dwelling spiders, pitfall traps were used to capture the spiders in alfalfa fields under three different cropping patterns, including alfalfa-wheat neighbor-planting, alfalfa-corn neighbor-planting, and alfalfa-orchard intercropping in Yinchuan Plain. The diversity, richness, evenness, and dominance indexes of spiders in three cropping patterns were also computed to examine the differences among them. The temporal dynamics of the populations were modeled by using a Gaussian function, which could be used to calculate population dynamics of spiders. A total of 2 761 spiders belonging to 12 families, 19 genera and 28 species were collected. The dominant species were *Pardosa astrigera*, *Nurisia albofasciata* and *Gnaphosa kansuensis* in the alfalfa fields. There were significant differences in the diversity, richness, evenness and dominance index of the spider community between neighbor-planting pattern and inter-

基金项目: 国家自然科学基金(31260429)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: zhzhao@cau.edu.cn

收稿日期: 2017-06-19

cropping pattern. The maximum value of diversity and dominance indexes of spider community in alfalfa fields under two neighbor-planting patterns appeared earlier (May 7 and May 18) than under the intercropping pattern (July 3). The Gaussian function of spider community diversity dynamics indicated that ground-dwelling spider community in alfalfa-wheat neighbor-planting fields had the longest growth stage (121.92 d), while the spider community in alfalfa-corn neighbor-planting fields had the shortest interval between two growth stages (49.2 d). The number of individuals in the spider community in alfalfa-wheat neighbor-planting fields reached the peak at early May, but at mid-May for other fields.

Key words: spider; alfalfa; cropping pattern; community diversity; time dynamic simulation

苜蓿 *Medicago* spp. 因其营养价值高、适口性好、适应性强在世界范围内广泛分布,被称为“牧草之王”。西北地区是全国苜蓿的主要产区,宁夏回族自治区近年来草畜产业发展迅猛,已成为当地的特色产业,在该区农业经济发展中具有重要支撑作用。紫花苜蓿 *Medicago sativa* 有着生长茂密、抗逆性和再生能力强、营养价值高等生物学特性(韩德梁和王彦荣,2005),已成为宁夏回族自治区牧草产业中的主要品种。除了可观的经济效应外,苜蓿可以为昆虫提供一个相对稳定、适宜的生存环境,被誉为“昆虫资源库”(刘长仲等,2002)。蜘蛛是陆地生态系统中最丰富的天敌资源类群,在控制害虫发生和维持生态系统平衡方面有着重要作用(马艳滢等,2013)。在森林系统的地表层中,蜘蛛每年摄入的能量为 2.08 kcal/m^2 (Moulder & Reichle, 1972)。稻田系统中蜘蛛优势种是飞虱和叶蝉的主要天敌(王洪全等,1992;王智等,2001),蜘蛛对稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 也有十分显著的控制作用(庞雄飞等,1988)。草间钻头蛛 *Hylyphantes graminicola*、温室希蛛 *Achaearanea tepidariorum* 和卷叶蛛 *Dictyna* spp. 可以控制棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 发生(刘万学等,2003)。由于蜘蛛对各种干扰、采伐、刈割、污染等环境变化较为敏感,被认为是环境变化和生物多样性的指示生物(Churchill & Ludwig, 2004; Blaum et al., 2009)。

利用“相生植物”的概念(张润志和张广学,1998)来控制害虫发生已有多年的历史,主要方式是利用间作或邻作对害虫进行调控(宋备舟等,2010; Beata & El bieta, 2016)。有学者就茶园(师光禄等,2006)、果园(迟全元等,2011)和枣园(冯明祥等,2011)间作牧草对节肢动物群落的影响进行了研究,结果表明间作苜蓿可以提高茶园、果园和枣园天敌群落的种类和数量。李川等(2011)调查了小麦-油菜邻作对麦田内主要害虫及天敌昆虫种群的影响,结果表明邻作油菜田可降低邻近麦田内麦蚜的丰富

度,提高天敌群落丰富度和稳定性;韩岚岚等(2016)研究表明,大豆田邻作马铃薯和玉米可以减少大豆田内主要刺吸式害虫大豆蚜 *Aphis glycines* 和茄无网蚜 *Acyrtosiphon solani* 的数量。近年来很多研究都关注于苜蓿间作或邻作经济作物模式下对害虫和天敌种群的影响,其重点在于利用苜蓿带中的天敌种群来控制经济作物中害虫数量以达到生物防治害虫并减少农药使用的目的,但是有关苜蓿田本身在不同种植模式下天敌种群尤其是蜘蛛群落所受影响的研究相对较少。

本研究针对苜蓿-小麦邻作、苜蓿-玉米邻作和苜蓿-果园间作这3种银川平原常见的苜蓿种植模式对蜘蛛群落多样性和个体数量的影响进行调查,初步探讨不同种植模式下苜蓿田内蜘蛛生长期的规律,以期对合理配置苜蓿种植模式促进有害生物防治效果提供基础的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

研究区域概况: 试验于2015年5—7月进行,研究区域设在银川市贺兰山农牧场七队,平均年降水量200 mm左右,年日照时数3 000 h左右,日照充足,无霜期约160 d, 10°C 以上有效积温约 $3\ 300^\circ\text{C}$,每日温差较大,平均 13°C 左右。

苜蓿种植模式: 包括苜蓿-小麦邻作模式、苜蓿-玉米邻作模式和苜蓿-果园间作模式,3种植植模式试验地均种植紫花苜蓿,果园内种植的果树品种为红富士。每种种植模式下随机选择5块苜蓿田作为试验田,2种邻作模式下每块苜蓿田平均大小为 2.3 hm^2 ,间作模式下每块苜蓿田平均大小为 1.58 hm^2 。

1.2 方法

1.2.1 蜘蛛野外调查方法

蜘蛛的野外调查主要采用陷阱法诱集。用高10 cm、口径8 cm的一次性塑料水杯作为陷阱诱集容器,每块试验田内采用五点棋盘法取样,设取样斑

块5块,每块斑块设诱杯5个,诱杯间距3 m,每块试验田共设诱杯25个。引诱剂为乙二醇、水和几滴洗洁精的混合物,乙二醇和水的体积比为1:3,每个诱杯内放引诱剂60~80 mL。取样间隔时间为5 d,每次取样时收集诱杯中所有蜘蛛样本,并同时更换引诱剂。将每次收集到的所有蜘蛛样本带回实验室分批次编号并用95%酒精保存,之后对样本进行鉴定,记录调查的种类并统计数量。

1.2.2 样本采集强度评估及蜘蛛群落丰富度格局分析

由于本试验中所采集的蜘蛛样本中稀有种类较多、所占群落种类比例较大,并且采用陷阱法取样具有一定的局限性,因此采用对稀有种敏感且无偏的稀疏化(rarefaction)法评估样本采集强度并描述蜘蛛群落的丰富度格局(Solow & Roberts, 2006)。稀疏化法可以基于样本数量及样本丰富度对样本采样强度进行评估,并且可以比较容量大小不同的样本间的物种丰富度。

1.2.3 蜘蛛群落多样性指标及分析

物种多样性(H')采用Shannon-Wiener多样性指数分析, $H' = -\sum (P_i \ln P_i)$,式中 $P_i = n_i/N$, n_i 为第 i 个种的个体数, N 为群落中所有种的个体总数;丰富度(C)采用Margalef指数分析, $C = (S-1)/\ln N$,式中 S 为群落中的物种数;均匀度(J)采用Pielou指数分析, $J = H'/\ln S$;优势度(D)采用Simpson指数分析, $D = 1/\sum (n_i/N)^2$ 。

本研究中蜘蛛群落多样性指标的分布差异采用小提琴图进行比较分析,小提琴图是一种结合了箱型图和核密度图的统计图形,可以直观反映数据组中数据的分布情况和变异程度。在小提琴图中,白点代表中位数,黑色盒型的范围是下四分位点到上四分位点,细黑线表示须,外部灰色部分表示核密度估计,灰色部分在横坐标方向越宽的部分表示在该纵坐标数值处集中的数据越多。

1.2.4 蜘蛛群落多样性指标的时间动态拟合

时间序列和群落多样性指数的拟合采用Gaussian函数 $f(x) = \sum A_i e^{-(x-B_i)/C_i)^2}$ 进行模型拟合,式中 A 代表峰高、 B 代表峰位、 C 代表峰宽,可以直观反映群落多样性指数的变化规律。本研究中所得到的数据为多个时间序列上多样性指标的离散点 (x_i, y_i) ,其中拟合目的是找到某条光滑的曲线 $y=f(x)$ 以反映这些离散数据的变化趋势。拟合过程中不要求曲线 $y=f(x)$ 经过每1个数据点 (x_i, y_i) ,但要尽量减少数据点的拟合误差 $\delta=f(x)-y$ (陈桂琴,2005)。为达

到上述拟合目的,本试验的拟合方法选取计算过程较为简单、拟合效果较好的最小二乘法(高盼和郭广礼,2011)。通过Gaussian函数对银川平原人工苜蓿田蜘蛛群落多样性指标进行时间序列动态模拟,得到模型参数峰高 A 、峰位 B 和峰宽 C ,分别以峰高 A 代替蜘蛛多样性峰值、以峰位 B 代表峰值发生时间、以峰宽 C 代表蜘蛛种群持续时间,对调查区域内蜘蛛种群发生规律进行比较分析。

1.3 数据分析

采用SPSS 23.0软件对试验数据进行单因素方差分析,应用最小显著差数(LSD)法进行差异显著性检验,采用R Studio 1.0.136绘制稀疏性曲线和小提琴图,并进行多样性指数的计算。

2 结果与分析

2.1 银川平原苜蓿田地蜘蛛群落组成及优势种分析

本研究在银川平原苜蓿田共采集到地表蜘蛛成体标本2 761头,隶属12科19属28种(表1)。星豹蛛*Pardosa astrigera*、甘肃平腹蛛*Gnaphosa kansuensis*和白斑隐蛛*Nurisia albofasciata*的个体数分别占群落总个体数的35.68%、22.82%和15.68%,为该区域苜蓿田内蜘蛛群落中的优势种。多斑熊蛛*Arctosa stigmosa*、草间钻头蛛、条纹花蟹蛛*Xysticus striatipes*、郝氏花蟹蛛*X. shedini*、迷宫漏斗蛛*Agelena labyrinthica*和盲蛛*Opiliones spp.*为常见种,合计个体数占群落总个体数的19.27%。其余19种的个体数 ≤ 25 头,为稀有种,合计个体数占群落总个体数的6.55%,其中10种蜘蛛(占总物种数的35.71%)的个体数 ≤ 7 头,6种蜘蛛(占总物种数的21.43%)仅在1个调查地中被发现。

狼蛛科Lycosidae共6属8种,种类最为丰富;其次为平腹蛛科Gnaphosidae,共2属4种;园蛛科Araneidae共2属3种,蟹蛛科Thomisidae共1属3种;球蛛科Theridiidae和跳蛛科Salticidae均为2属2种;其余科仅为1属1种。狼蛛科个体数为1 216头、平腹蛛科为664头、暗蛛科Titanocida为433头,分别占群落总个体数的44.04%、24.05%和15.68%,属于该区域苜蓿田蜘蛛群落中的优势科。园蛛科、盲蛛目Opiliones、漏斗蛛科Agelenidae、皿蛛科Linyphiidae和蟹蛛科的个体数分别占群落总个体数的1.01%~8.00%,为常见科。其余科个体数占群落总个体数的比例均不到1.00%,为该区域苜蓿田蜘蛛群落中的稀有科。

表1 银川平原不同种植模式下苜蓿田地表蜘蛛群落结构与组成
Table 1 The structure and composition of ground-dwelling spider community in alfalfa fields under different planting patterns in Yinchuan Plain

科 Family	种类 Species	个体数 Individual			总数 Total	百分比 Proportion (%)
		苜蓿-小麦邻作 Alfalfa adjacent to wheat	苜蓿-玉米邻作 Alfalfa adjacent to corn	苜蓿-果园间作 Alfalfa-orchard intercropping		
暗蛛科 Titanoecida	白斑隐蛛 <i>Nurisia albofasciata</i>	144	132	157	433	15.68
狼蛛科 Lycosidae	狼蛛 sp.(待鉴定) <i>Lycosa</i> sp. (to be identified)	4	1	0	5	0.18
	黑腹狼蛛 <i>Lycosa coelestis</i>	5	7	1	13	0.47
	沟渠豹蛛 <i>Pardosa laura</i>	3	0	0	3	0.11
	星豹蛛 <i>Pardosa astrigera</i>	329	469	187	985	35.68
	多斑雄蛛 <i>Arctosa stigmosa</i>	44	86	53	183	6.63
	奇异獾蛛 <i>Trochosa ruricola</i>	1	1	0	2	0.07
	八氏狼蛛 <i>Pirata yaginumai</i>	18	0	0	18	0.65
	利氏舞蛛 <i>Alopecosa licenti</i>	3	0	4	7	0.25
漏斗蛛科 Agelenidae	迷宫漏斗蛛 <i>Agelena labyrinthica</i>	18	4	22	44	1.59
皿蛛科 Linyphiidae	草间钻头蛛 <i>Hylyphantes graminicola</i>	27	34	5	66	2.39
平腹蛛科 Gnaphosidae	中华平腹蛛 <i>Gnaphosa sinensis</i>	4	0	0	4	0.15
	锯齿掠蛛 <i>Drassodes serratidens</i>	3	11	11	25	0.91
	甘肃平腹蛛 <i>Gnaphosa kansuensis</i>	184	325	121	630	22.82
	利氏平腹蛛 <i>Gnaphosa licenti</i>	2	3	0	5	0.18
球蛛科 Theridiidae	珍珠齿螯蛛 <i>Enoplognatha margarita</i>	2	10	0	12	0.43
	温室希蛛 <i>Achaearanea tepidariorum</i>	1	0	0	1	0.04
跳蛛科 Salticidae	丽亚蛛 <i>Asianellus fetivus</i>	1	10	0	11	0.40
	跳蛛 sp.(待鉴定) Salticidae sp.(to be identified)	0	1	0	1	0.04
肖蛸科 Tetragnathidae	羽般肖蛸 <i>Tetragnatha pinicola</i>	1	9	0	10	0.36
肖遥蛛科 Philodromidae	小狼逍遥蛛 <i>Thanatus miniaceus</i>	6	10	0	16	0.58
蟹蛛科 Thomisidae	条纹花蟹蛛 <i>Xysticus striatipes</i>	47	48	3	98	3.55
	郝氏花蟹蛛 <i>Xysticus hedinii</i>	33	38	32	103	3.73
	三斑花蟹蛛 <i>Xysticus pseudoblitea</i>	2	5	13	20	0.72
园蛛科 Araneidae	黄褐新园蛛 <i>Neoscona doenitzi</i>	9	0	9	18	0.65
	霍氏新园蛛 <i>Neoscona holmi</i>	4	2	1	7	0.25
	大腹园蛛 <i>Araneus ventricosus</i>	0	0	3	3	0.11
盲蛛目 Opiliones	盲蛛(待鉴定) <i>Opiliones</i> spp.(to be identified)	7	21	10	38	1.38

2.2 样本采集强度评估和蜘蛛群落丰富度格局分析

3种种植模式下苜蓿田的稀疏性曲线均呈上升趋势(图1)。如果蜘蛛个体数相同的情况下,苜蓿-小麦邻作模式下苜蓿田中地表蜘蛛群落的物种数最多,其次是苜蓿-玉米邻作模式,苜蓿-果园间作模

式下物种数最低。从曲线的趋势来看,在观测值范围内随着个体数的增加,物种数虽然仍然持续增加,但增加的速度已经趋于缓慢,这说明本次试验抽样调查的标本量足以反映试验地区地表蜘蛛群落的多样性。

2.3 苜蓿田蜘蛛群落个体数的时间动态分析

不同种植模式下地表蜘蛛群落个体数的时间动态显示,苜蓿-小麦邻作模式下苜蓿田地表蜘蛛群落个体数在5月18日达到最大值,之后于6月16日和7月5日2次达到峰值。苜蓿-玉米邻作模式下蜘蛛群落的个体数在5月27日达到最大值,之后到7月5日一直呈下降趋势,7月5日—7月17日有所上升(图2)。苜蓿果园间作模式下蜘蛛群落的个体数在5月18日达到最大值,之后于6月8日和7月17日2次达到峰值。

苜蓿-玉米邻作模式下蜘蛛群落的个体数在5月27日达到最大值,之后到7月5日一直呈下降趋势,7月5日—7月17日有所上升(图2)。苜蓿果园间作模式下蜘蛛群落的个体数在5月18日达到最大值,之后于6月8日和7月17日2次达到峰值。

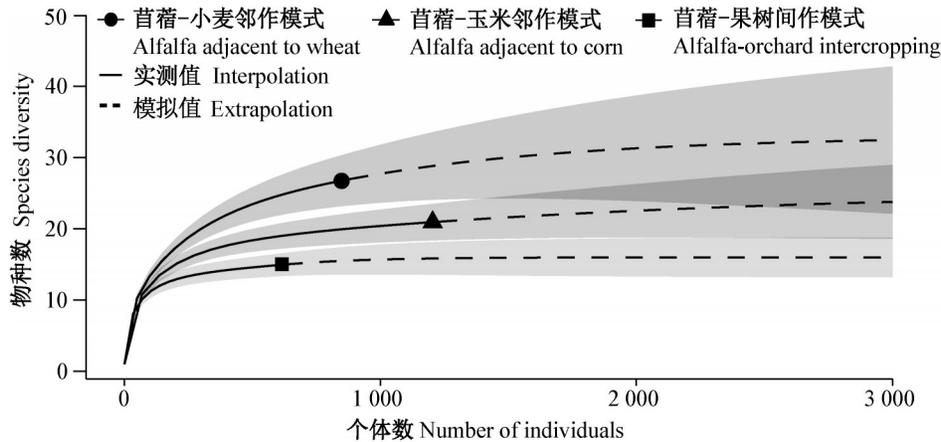


图1 三种种植模式下地表蜘蛛群落基于物种个体数的稀疏性曲线

Fig. 1 Rarefaction curves based on species-individuals of ground dwelling spider communities in alfalfa fields under three different cropping patterns

灰色区域为置信区间95%的区域。The grey area indicates the confidence interval of 95%.

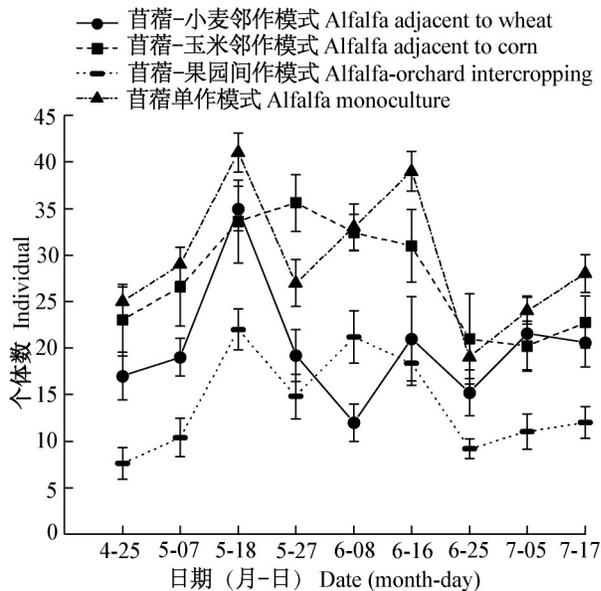


图2 不同种植模式下苜蓿田地表蜘蛛群落个体数的时间动态

Fig. 2 Time dynamics of the individuals for ground-dwelling spider communities in alfalfa fields under three different cropping patterns

图中数据为平均数±标准差。Data are mean±SD.

2.4 不同种植模式下苜蓿田地表蜘蛛群落的多样性

苜蓿-果园间作模式下苜蓿田地表蜘蛛群落的

物种多样性和均匀度最高($F_{2,26}=35.37, P<0.01$),分别为1.54和0.91;优势度和丰富度最低($F_{2,26}=23.13, P<0.05; F_{2,26}=19.04, P<0.01$),分别为0.24和1.37;苜蓿-玉米邻作模式下物种优势度最高,为0.32,苜蓿-小麦邻作模式下苜蓿田地表蜘蛛群落的丰富度最高,为1.72(图3)。多样性、均匀度和丰富度的数据在3种植模式下均整体负偏,说明极大值为偶然出现。优势度指数在2种邻作模式下整体正偏,间作模式下负偏,说明2种邻作模式下苜蓿田地表蜘蛛群落种间个体数差异明显,群落结构不稳定,间作果树模式下种间个体数差异不明显、群落结构稳定。苜蓿-小麦邻作模式下苜蓿田中蜘蛛种类最多,苜蓿-果园间作模式下苜蓿田内蜘蛛种类最少。

2.5 苜蓿田蜘蛛群落多样性指标的时间动态拟合

通过对表2中数据进行拟合得到多样性指数时间动态拟合曲线,为了能更好地反映生长季苜蓿田地表蜘蛛群落的变化,在拟合过程中将时间序列延长到200 d,得到Gaussian函数式,其估计平方和(square sum of estimate, SSE)为0.0003~0.0026, R^2 为0.8825~0.9878,拟合结果合理。由拟合结果可知,不同种植模式下苜蓿田地表蜘蛛群落的各指数拟合后得出的曲线变化趋势相同,多样性指数、均匀度指

数和丰富度指数的拟合曲线均为双峰曲线; 优势度指数拟合曲线为单峰曲线(图4)。苜蓿-玉米邻作模式下苜蓿田蜘蛛群落多样性指数的峰值间隔时间最短, 为49.2 d, 苜蓿-果园间作模式下则最长, 为81.62 d; 苜蓿-小麦邻作模式下拟合曲线峰宽最大, 即高峰期持续时间最长, 为121.92 d, 苜蓿-果园间作模式下则最短, 为101.03 d。苜蓿-果园间作模式下苜蓿田蜘蛛群落丰富度指数峰值间隔时间最短, 67.99 d, 苜蓿-小麦邻作模式下则最长, 为81.43 d; 苜蓿-小麦邻作模式下高峰期持续时间最长, 为123.37 d, 苜蓿-玉米邻作模式下则最短, 为81.13 d。苜蓿-玉米邻作模式下苜蓿田地表蜘蛛群落均匀度指数峰值间隔时间最短, 为67.21 d, 苜蓿-果园间作模式下则最长, 为151.37 d; 苜蓿-果园间作模式下

高峰期持续时间最长, 为244.35 d, 苜蓿-玉米邻作模式下则最短, 为117.71 d。苜蓿-小麦邻作模式下优势度指数的高峰期持续时间最长, 为116.6 d, 苜蓿-玉米邻作模式下则最短, 为98.00 d。表明苜蓿-小麦邻作模式下苜蓿田内蜘蛛种群高峰期持续时间最长, 苜蓿-果园间作模式下种群高峰期持续时间最短, 苜蓿-玉米邻作模式下苜蓿田内蜘蛛2次种群高峰期间隔时间最短。

苜蓿-小麦邻作模式下蜘蛛群落多样性指数的最大值出现时间最早, 为5月7日, 苜蓿-果园间作模式下最晚, 为7月3日。2种邻作模式下优势度指数的最大值出现在6月16日, 间作模式下优势度指数的最大值出现在7月17日。3种模式下均匀度指数和丰富度指数的最大值均出现在5月7日(表2)。

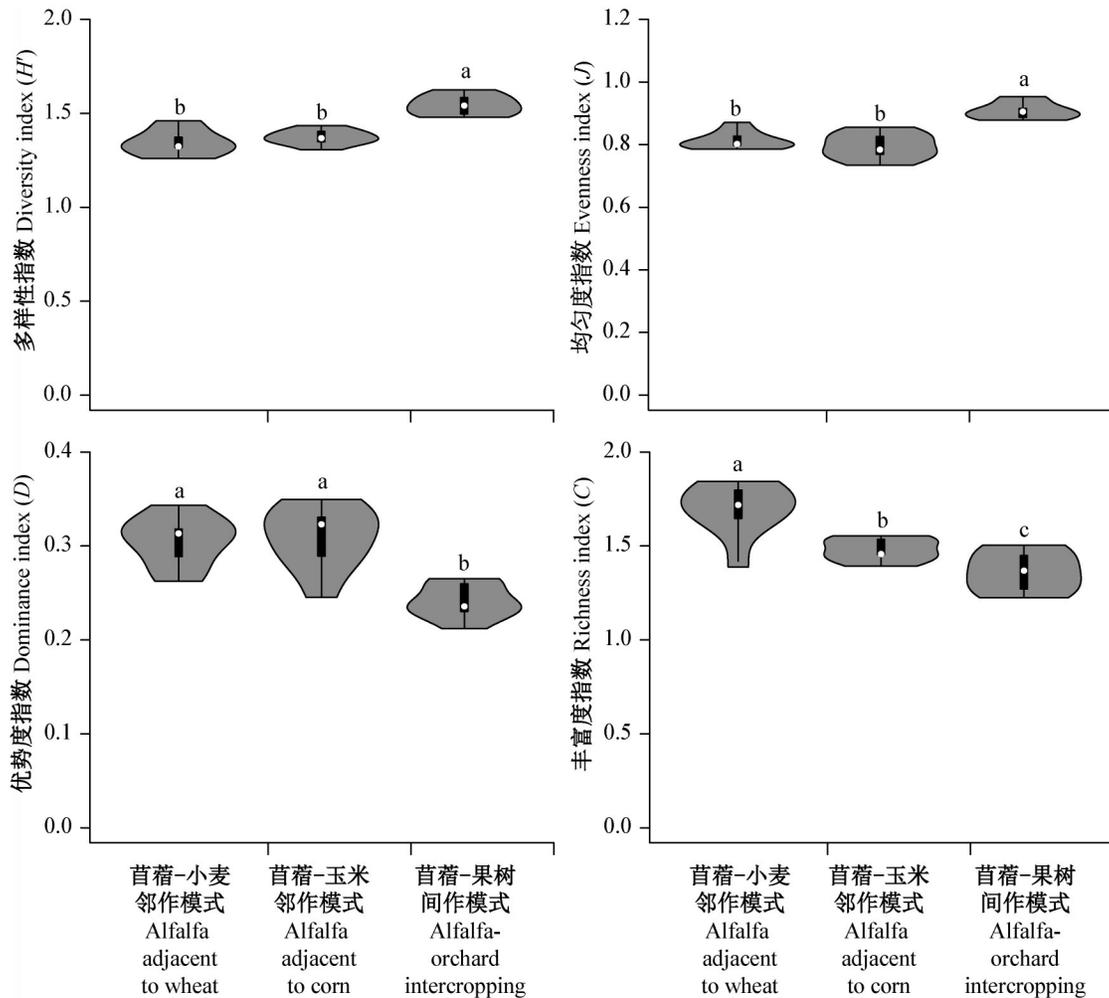


图3 三种种植模式下苜蓿田地表蜘蛛群落多样性、均匀度、丰富度和优势度的小提琴图

Fig. 3 The violin plot of diversity, evenness, richness and dominance of ground-dwelling spider communities in alfalfa fields under three different cropping patterns

图中数据为平均数±标准差。不同字母表示经LSD法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level by LSD test.

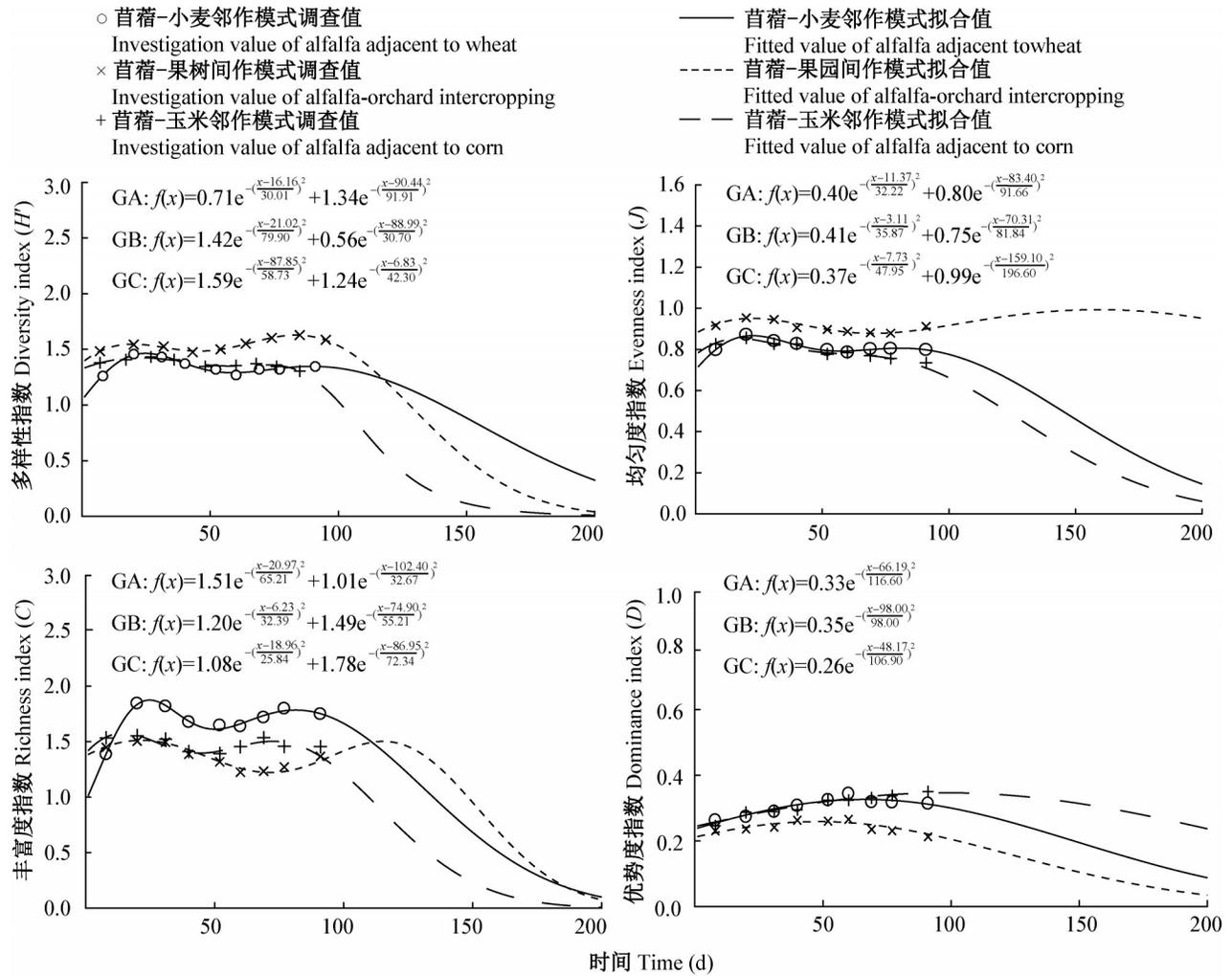


图4 三种种植模式下苜蓿田地表蜘蛛群落多样性指数的时间动态模拟

Fig. 4 Time dynamics modeling of diversity index for ground-dwelling spider communities in alfalfa fields under three different cropping patterns

GA: 苜蓿-小麦邻作模式; GB: 苜蓿-果园间作模式; GC: 苜蓿-玉米邻作模式。GA: Alfalfa adjacent to wheat; GB: alfalfa-orchard intercropping; GC: alfalfa adjacent to corn.

3 讨论

本研究中,3种植植模式试验地的自然条件虽然极为相近,但是蜘蛛群落的组成和个体数却存在差异。有些种类的蜘蛛仅在1处或2处调查地内有分布,这表明不同种植模式对苜蓿田内地表蜘蛛群落结构、个体数有较大影响,可能与蜘蛛对不同生境的选择性有关(Fahrig et al., 2011; 黎健龙等, 2014; 赵爽等, 2017)。3种植植模式下苜蓿田地表蜘蛛群落的优势种相同且优势种的个体数占有绝对优势;狼蛛科的种类数和个体数均最多,其中星豹蛛是3种植植模式下的优势种,且个体数量最高,这与张保石(2004)和吴仪(2013)的研究结果一致。苜蓿田可以

提供荫蔽性良好的栖息地,有利于豹蛛属的生存和活动(张永强, 1989),这可能是星豹蛛有较大个体数优势的原因。白斑隐蛛的个体数量优势可能与其抗逆性强、适应性广等特点有关(刘凤想等, 2005)。

由于在本研究野外调查中使用陷阱法取样,而陷阱法主要针对地面活动的游猎型蜘蛛(刘杰和陈建, 2015),因此蜘蛛群落多样性分析有可能受到取样数量的影响。同时由于稀有种数量较多,如果采样点位于稀有种聚集区可能会造成稀有种在群落多样性分析中所占的权重过高。因此结合稀疏性曲线对蜘蛛群落多样性进行分析并对采样强度进行评估具有一定的必要性及合理性(张大治等, 2013)。本研究中稀疏性曲线的结果同多样性分析结果一致。

表2 不同种植模式下苜蓿田地蜘蛛群落多样性指数的时间动态

Table 2 Time dynamics of diversity indexes for ground-dwelling spider communities in alfalfa fields under three different cropping patterns

群落指数 Community index	种植模式 Planting pattern	日期(月-日) Date (month-day)								
		4-25	5-07	5-18	5-27	6-08	6-16	6-25	7-03	7-17
多样性指数 Diversity index	苜蓿-小麦邻作模式 Alfalfa adjacent to wheat	1.26	1.46	1.43	1.37	1.33	1.27	1.32	1.32	1.35
	苜蓿-玉米邻作模式 Alfalfa adjacent to corn	1.38	1.40	1.43	1.41	1.35	1.35	1.37	1.35	1.31
	苜蓿-果园间作模式 Alfalfa-orchard intercropping	1.48	1.54	1.53	1.48	1.50	1.55	1.60	1.63	1.58
均匀度指数 Evenness index	苜蓿-小麦邻作模式 Alfalfa adjacent to wheat	0.80	0.87	0.84	0.83	0.80	0.79	0.80	0.80	0.80
	苜蓿-玉米邻作模式 Alfalfa adjacent to corn	0.83	0.86	0.83	0.83	0.78	0.78	0.77	0.76	0.73
	苜蓿-果园间作模式 Alfalfa-orchard intercropping	0.92	0.95	0.95	0.91	0.90	0.89	0.88	0.88	0.91
优势度指数 Dominance index	苜蓿-小麦邻作模式 Alfalfa adjacent to wheat	0.26	0.27	0.29	0.31	0.32	0.34	0.32	0.32	0.31
	苜蓿-玉米邻作模式 Alfalfa adjacent to corn	0.25	0.29	0.29	0.29	0.32	0.32	0.33	0.34	0.35
	苜蓿-果园间作模式 Alfalfa-orchard intercropping	0.23	0.24	0.24	0.26	0.26	0.27	0.24	0.23	0.21
丰富度指数 Richness index	苜蓿-小麦邻作模式 Alfalfa adjacent to wheat	1.39	1.84	1.82	1.68	1.65	1.64	1.72	1.80	1.75
	苜蓿-玉米邻作模式 Alfalfa adjacent to corn	1.54	1.55	1.52	1.41	1.39	1.46	1.54	1.46	1.46
	苜蓿-果园间作模式 Alfalfa-orchard intercropping	1.45	1.51	1.50	1.39	1.32	1.23	1.23	1.27	1.37

小提琴图可以看作是核密度图和箱型图的叠加,可以直观反映出数据的分布情况。本研究中3种苜蓿种植模式下,小提琴图反映出间作模式同2种邻作模式下苜蓿田地蜘蛛群落的4种指数均值存在显著差异,数据分布也不尽相同,这说明不同种植模式下苜蓿田地蜘蛛群落的稳定性有着一定的差异。不同种植模式下各种指数数据分布的差异可能同群落中常见种和稀有种的组成差异有关,而常见种和稀有种的变化对群落多样性有一定的影响(王世雄等,2016)。这说明种植模式对苜蓿田地蜘蛛群落结构的改变主要集中在常见种和稀有种上。

群落动态是群落及其组分在时间序列上发生、发展的变化过程,研究群落动态可以为充分利用自然资源进行有害生物综合治理和提高生态系统生产力提供依据(陈明等,2007)。本研究采用 Gaussian 函数模型对苜蓿田地蜘蛛群落的多样性、均匀度、丰富度和优势度等指数进行时间动态拟合,并且拟

合过程中采用最小二乘法可以体现2方面优势:一是 Gaussian 函数模型优点是可以利用模型中的3个参数峰高、峰位和峰宽反映出苜蓿田地蜘蛛生长期的持续时间、发生时间、生长最盛期的时间等物候信息;二是最小二乘法在拟合过程中不要求拟合曲线严格经过每个观测到的值,而是要求每个观测值的拟合误差达到最小,因此利用最小二乘法可以解决本研究中调查数据为离散点的拟合问题。刘长仲和周淑荣(2004)的研究表明,包括蜘蛛在内的多种天敌在苜蓿刈割时可以迁移到其它作物上,待苜蓿长出后又很快转移到苜蓿上。由于小麦田生长期较苜蓿早,苜蓿生长前期小麦田蜘蛛的迁入及小麦田起到的“庇护所”功能可能是苜蓿-小麦邻作模式下蜘蛛种群高峰期持续时间较长的原因。苜蓿-果树间作模式下蜘蛛种群高峰期短可能同果园内人为管理较多有关。2种邻作模式下苜蓿田的蜘蛛种群高峰期出现在5月上旬和中旬,因此在进行田间管理

时要尽量避开这段时间。

邻作玉米的苜蓿田内地表蜘蛛群落优势度高,优势种个体数所占群落总个体数较高,来自种间的竞争压力较小,这有可能导致了邻作玉米的苜蓿田内地表蜘蛛群落个体数相比其它2种植模式具有优势。有研究表明果园间作苜蓿相比果树单作模式可以提高果园内的蜘蛛数量(迟全元等,2011),但是对于本研究中果园内间作的苜蓿来讲,由于果园中人为管理措施较多、干扰较大、周围紧邻公路和村庄外来迁入种较少等原因,反而导致间作的苜蓿田内地表蜘蛛群落个体数和丰富度低于其它2种植模式下苜蓿田内的蜘蛛群落。结合拟合结果以及种植模式适当的安排刈割、喷洒农药等措施的时间,避开5月中旬和6月中旬的蜘蛛发生高峰期有利于蜘蛛群落保持较高的多样性,提高群落的稳定性。害虫生态调控可以从多尺度空间(田间、景观甚至区域)对害虫进行控制(赵紫华,2016),本研究关注田间尺度下不同种植方式苜蓿田中地表蜘蛛群落的差异性,为利用苜蓿田进行有害生物调控提供一定的理论依据,以期利用害虫生态调控达到可持续发展的目的(赵紫华等,2015)。

参 考 文 献 (References)

- Beata J, Elzbieta WZ. 2016. Effect of intercropping carrot (*Daucus carota* L.) with two aromatic plants, coriander (*Coriandrum sativum* L.) and summer savory (*Satureja hortensis* L.), on the population density of select carrot pests. *Folia Horticulturae*, 28(1): 13–18
- Blaum N, Seymour C, Rossmanith E, Schwager M, Jeltsch F. 2009. Changes in arthropod diversity along a land use driven gradient of shrub cover in savanna rangelands: identification of suitable indicators. *Biodiversity and Conservation*, 18(5): 1187–1199
- Chen GQ. 2005. The MATLAB realization by finitude-member displacement-method. *Computer Knowledge and Technology*, (7): 78–79 (in Chinese) [陈桂琴. 2005. MATLAB用于处理曲线拟合. 电脑知识与技术, (7): 78–79]
- Chen M, Li GQ, Luo JC. 2007. The structure and dynamics of natural enemy community and controlling effect against *Aphis gossypii* in cotton-alfalfa intercrop fields. *Journal of Plant Protection*, 34(6): 631–636 (in Chinese) [陈明, 李国强, 罗进仓. 2007. 棉苜蓿间作棉田天敌群落结构与动态及其对棉蚜的控制效应. 植物保护学报, 34(6): 631–636]
- Chi QY, Wang XM, Wu XY, Zhang YN, Han ZQ, Wang Y. 2011. Impact of orchard intercropped with different groundcovers on natural enemies and pests. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 20(7): 155–161 (in Chinese) [迟全元, 王晓梅, 吴晓云, 张翌楠, 韩振芹, 王颖. 2011. 果树行间套种地被植物对天敌及害虫的影响. 西北农业学报, 20(7): 155–161]
- Churchill TB, Ludwig JA. 2004. Changes in spider assemblages along grassland and savanna grazing gradients in northern Australia. *The Rangeland Journal*, 26(1): 3–16
- Fahrig L, Baudry J, Brotons L, Burel FG, Crist TO, Fuller RJ, Sirami C, Siriwardena GM, Martin JL. 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 14(2): 101–112
- Feng MX, Wang JQ, Zhang T, Jiang RD, Cheng X. 2011. Effect of planting alfalfa in tea plantation on arthropod community structure. *Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science)*, 28(4): 284–288 (in Chinese) [冯明祥, 王继青, 张涛, 姜瑞德, 程星. 2011. 茶园种植紫花苜蓿对节肢动物群落结构的影响. 青岛农业大学学报(自然科学版), 28(4): 284–288]
- Gao P, Guo GL. 2011. Fitting highway planar curve based on least squares method. *Journal of Geomatics*, 36(2): 19–21 (in Chinese) [高盼, 郭广礼. 2011. 基于最小二乘法道路平面曲线拟合. 测绘信息与工程, 36(2): 19–21]
- Han DL, Wang YR. 2005. Adaptability of *Medicago sativa* under water stress. *Acta Prataculturae Sinica*, 14(6): 7–13 (in Chinese) [韩德梁, 王彦荣. 2005. 紫花苜蓿对于旱胁迫适应性的研究进展. 草业学报, 14(6): 7–13]
- Han LL, Wang K, Li DP, Zhang WL, Cheng Y, Zhao KJ. 2016. Effects of the potato-soybean, and maize-soybean, intercropping modes on the population dynamics of the main piercing-sucking pests, and other pests, in soybean fields. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(4): 723–730 (in Chinese) [韩岚岚, 王坤, 李东坡, 张雯林, 程媛, 赵奎军. 2016. 马铃薯-大豆、玉米-大豆邻作对大豆田主要刺吸式害虫以及其他害虫的种群动态影响. 应用昆虫学报, 53(4): 723–730]
- Li C, Wu WQ, Zhu L, Zhang QW, Liu XX. 2011. Effects of wheat planted adjacent to rape on the major pests and their natural enemies in wheat field. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(12): 3371–3376 (in Chinese) [李川, 武文卿, 朱亮, 张青文, 刘小侠. 2011. 小麦-油菜邻作对麦田主要害虫和天敌的影响. 应用生态学报, 22(12): 3371–3376]
- Li JL, Tang JC, Li XD, Tang H, Li HS. 2014. Effects of the surrounding habitat on the spider community and leafhopper population in tea plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 34(9): 2216–2227 (in Chinese) [黎健龙, 唐劲驰, 黎秀娣, 唐颖, 黎华寿. 2014. 周边不同生境条件对茶园蜘蛛群落及叶蝉种群时空结构的影响. 生态学报, 34(9): 2216–2227]
- Liu CZ, Wang WX, Wu XG, Shang JW. 2002. Temporal pattern of arthropod community on cultivated alfalfa grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13(8): 990–992 (in Chinese) [刘长仲, 王万雄, 吴小刚, 尚进文. 2002. 苜蓿人工草地节肢动物群落的时间格局. 应用生态学报, 13(8): 990–992]
- Liu CZ, Zhou SR. 2004. Cutting effects on the insect community structure and dynamics of alfalfa pasture. *Acta Ecologica Sinica*, 24(3): 542–546 (in Chinese) [刘长仲, 周淑荣. 2004. 刈割对苜蓿人工草地昆虫群落结构及动态的影响. 生态学报, 24(3): 542–546]
- Liu FX, Xiao QZ, Chang J, Zhao JZ. 2005. Study on the adversity tol-

- erance of spiders (Araneae). *Acta Arachnologica Sinica*, 14(1): 42–26 (in Chinese) [刘凤想, 肖群支, 常瑾, 赵敬钊. 2005. 蜘蛛抗逆能力的研究. *蛛形学报*, 14(1): 42–46]
- Liu J, Chen J. 2015. Effects of transgenic Bt cotton on ground-dwelling spider assemblages by pitfall traps. *Journal of Plant Protection*, 42(1): 59–65 (in Chinese) [刘杰, 陈建. 2015. 陷阱法调查转Bt棉对棉田地蜘蛛群落的影响. *植物保护学报*, 42(1): 59–65]
- Liu WX, Hou ML, Wan FH, Wang FL. 2003. Temporal and spatial niche dynamics of spider and their control effects on cotton boll worms in transgenic Bt cotton fields. *Entomological Knowledge*, 40(2): 160–163 (in Chinese) [刘万学, 侯茂林, 万方浩, 王福莲. 2003. 转Bt基因棉田蜘蛛的时空动态及控害作用. *昆虫知识*, 40(2): 160–163]
- Ma YY, Li Q, Feng P, Yang ZZ. 2013. Diversity of ground-dwelling spider community in different restoring times of post-fire forest, Cangshan Mountain, Yunnan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 33(3): 964–974 (in Chinese) [马艳艳, 李巧, 冯萍, 杨自忠. 2013. 云南苍山火烧迹地不同恢复期地蜘蛛群落多样性. *生态学报*, 33(3): 964–974]
- Moulder BC, Reichle DE. 1972. Significance of spider predation in the energy dynamics of forest-floor arthropod communities. *Ecological Monographs*, 42(4): 473–498
- Pang XF, Liang GW, You MS. 1988. Control effects of the spiders on rice leaf roller life system. *Journal of South China Agricultural University*, 9(3): 15–23 (in Chinese) [庞雄飞, 梁广文, 尤民生. 1988. 稻田蜘蛛对稻纵卷叶螟生命系统的控制作用. *华南农业大学学报*, 9(3): 15–23]
- Solow AR, Roberts DL. 2006. Museum collections, species distributions, and rarefaction. *Diversity & Distributions*, 12(4): 423–424
- Song BZ, Wang MC, Kong Y, Yao YC, Wu HY, Li ZR. 2010. Interaction of the dominant pests and natural enemies in the experimental plots of the intercropping aromatic plants in pear orchard. *Scientia Agricultura Sinica*, 43(17): 3590–3601 (in Chinese) [宋备舟, 王美超, 孔云, 姚允聪, 吴红英, 李振茹. 2010. 梨园芳香植物间作区主要害虫及其天敌的相互关系. *中国农业科学*, 43(17): 3590–3601]
- Shi GL, Liu SQ, Zhao LL, Miao ZW, Cao H, Li DK. 2006. Effect of intercropped herbage in jujube plantation on the community dynamics of natural predators and pests. *Acta Ecologica Sinica*, 26(5): 1422–1430 (in Chinese) [师光禄, 刘素琪, 赵莉茜, 苗振旺, 曹挥, 李登科. 2006. 间种牧草对枣园捕食性天敌与害虫群落动态的影响. *生态学报*, 26(5): 1422–1430]
- Wang HQ, Yan HM, Yang HM. 1992. Study on interaction relationship between spider and planthopper, and its utilization. *Acta Arachnologica Sinica*, 1(2): 23–33 (in Chinese) [王洪全, 颜亨梅, 杨海明. 1992. 稻田蜘蛛与飞虱制约关系及其利用. *蛛形学报*, 1(2): 23–33]
- Wang SX, Zhao L, Li N, Guo H, Wang XA, Duan RY. 2016. The relative contributions of rare and common species to the patterns of species richness in plant communities. *Biodiversity Science*, 24(6): 658–664 (in Chinese) [王世雄, 赵亮, 李娜, 郭华, 王孝安, 段仁燕. 2016. 稀有种和常见种对植物群落物种丰富度格局的相对贡献. *生物多样性*, 24(6): 658–664]
- Wang Z, Yan HM, Lü ZY, Wang HQ. 2001. Control of paddy spiders on population of rice and planthopper and rice leafhopper. *Life Science Research*, 5(1): 76–79 (in Chinese) [王智, 颜亨梅, 吕志跃, 王洪全. 2001. 稻田蜘蛛优势种对飞虱与叶蝉控制力的分析. *生命科学研究*, 5(1): 76–79]
- Wu Y. 2013. Study on the community structure and diversity of spiders in alfalfa fields and natural grassland. Master Thesis. Wulumuqi: Xinjiang Agricultural University (in Chinese) [吴仪. 2013. 苜蓿田及天然草地蜘蛛群落结构及多样性分析研究. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆农业大学]
- Zhang BS. 2004. Study on the distribution, community structure and diversity of the spiders in the prairie of arid area in north Hebei. Master Thesis. Baoding: Hebei University (in Chinese) [张保石. 2004. 河北北部干旱区牧草蜘蛛种类分布、群落结构及多样性研究. 硕士学位论文. 保定: 河北大学]
- Zhang DZ, Ma Y, Li YC, Yu YZ, He DH. 2013. Effects of *Caragana* scrubland fragmentation on fine-scale diversity of ground-dwelling beetles in a desert landscape. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 934–941 (in Chinese) [张大治, 马艳, 李岳诚, 于有志, 贺达汉. 2013. 小尺度下柠条林破碎化生境对地表甲虫多样性的影响. *应用昆虫学报*, 50(4): 934–941]
- Zhang RZ, Zhang GX. 1998. The importance of mutual plants in biological control of pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 14(4): 176–180 (in Chinese) [张润志, 张广学. 1998. 相生植物在生物防治中的作用. *中国生物防治*, 14(4): 176–180]
- Zhang YQ. 1989. Studies on the structure of the spider community and diversity in cultivated land. *Acta Ecologica Sinica*, 9(2): 157–162 (in Chinese) [张永强. 1989. 农田蜘蛛群落结构及其多样性研究. *生态学报*, 9(2): 157–162]
- Zhao S, Song B, Ding SY, Hou XY, Liu XB, Tang Q, Wang R. 2017. Effects of landscape structure and habitat characteristics on spider diversity in the agro-landscape along the lower reaches of the Yellow River. *Acta Ecologica Sinica*, 37(6): 1816–1825 (in Chinese) [赵爽, 宋博, 丁圣彦, 侯笑云, 刘晓博, 汤茜, 王润. 2017. 黄河下游农业景观结构和生境特征对林表生蜘蛛多样性的影响. *生态学报*, 37(6): 1816–1825]
- Zhao ZH, Gao F, He DH, Ge F. 2015. Ecologically based pest management at multiple spatial scales. *Scientia Sinica Vitae*, 45(8): 755–767 (in Chinese) [赵紫华, 高峰, 贺达汉, 戈峰. 2015. 多尺度空间下害虫生态调控理论与应用. *中国科学: 生命科学*, 45(8): 755–767]
- Zhao ZH. 2016. From “integrated pest management” to “ecologically based pest management”. *Chinese Science Bulletin*, 61(18): 2027–2034 (in Chinese) [赵紫华. 2016. 从害虫“综合治理”到“生态调控”. *科学通报*, 61(18): 2027–2034]

(责任编辑: 李美娟)