

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0497

李敏, 洛芳珍, 刘佳, 袁明龙. 星豹蛛生物生态学研究现状及展望. 草业科学, 2020, 37(6): 1183-1193.

LI M, LUO F Z, LIU J, YUAN M L. Biological and ecological characteristics of *Pardosa astrigera*: Status and prospect. Pratacultural Science, 2020, 37(6): 1183-1193.

星豹蛛生物生态学研究现状及展望

李 敏, 洛芳珍, 刘 佳, 袁明龙

(兰州大学草地农业生态系统国家重点实验室 / 兰州大学农业农村部草地畜牧业创新重点实验室 / 兰州大学草地农业教育部工程研究中心 / 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 星豹蛛 (*Pardosa astrigera*) 是长江和黄河流域多种生境中的优势蜘蛛之一, 是害虫的重要捕食性天敌。深入了解星豹蛛的生物生态学特性, 是科学利用其开展害虫生物防治的重要基础。本文从国内外星豹蛛研究现状出发, 总结了星豹蛛生物生态学特性的已有研究成果, 重点关注了星豹蛛的生活史、捕食效应、繁殖与发育以及环境因素对星豹蛛生长发育的影响, 并建议今后应加强对星豹蛛的毒性、食性以及生态适应等方面的研究, 揭示种群动态及适应性进化机制, 以期星豹蛛的保护与利用及有害生物的综合治理提供理论依据。

关键词: 星豹蛛; 生物生态学特性; 优势种; 自然天敌; 生物防治

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2020)06-1183-11

Biological and ecological characteristics of *Pardosa astrigera*: Status and prospect

LI Min, LUO Fangzhen, LIU Jia, YUAN Minglong

(State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems / Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Engineering Research Center of Grassland Industry, Ministry of Education / College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: *Pardosa astrigera*, one of the dominant species of farmland spiders in the Yangtze River and Yellow River basins, is an important natural predator of pests. Comprehensively understanding the bio-ecological characteristics of *P. astrigera* is a prerequisite for developing effective biological control agents. We reviewed the research status of *P. astrigera* and summarized the previous research concerning bio-ecological characterizations of *P. astrigera*, with a particular focus on the life history, predatory behavior, reproduction, and development, as well as the effects of environmental factors on the growth and development of *P. astrigera*. In the future, toxicity, predatism, ecological adaptation, population dynamics, and adaptive evolutionary mechanisms should be further explored, which will provide a theoretical basis for the protection and utilization of *P. astrigera* and integrated pest management.

Keywords: *Pardosa astrigera*; biological and ecological characteristics; dominant species; natural enemy; biological control

Corresponding author: YUAN Minglong E-mail: yuanml@lzu.edu.cn

蜘蛛属节肢动物门 (Arthropoda)、蛛形纲 (Arachnida)、蜘蛛目 (Araneae 或 Araneida), 其种类多, 分布广泛, 适应性强^[1-3]。目前, 全世界已报

道蜘蛛 48 427 种, 隶属 120 科 4 161 属^[4]; 早在 2015 年, 我国已记录超过 4 300 种蜘蛛^[5]。蜘蛛是农林牧业生态系统中数量最丰富的捕食性节肢动

收稿日期: 2019-10-08 接受日期: 2020-02-16

基金项目: 长江学者和创新团队发展计划 (IRT_17R50)

第一作者: 李敏 (1997-), 女, 湖北英山人, 在读硕士生, 研究方向为草地蜘蛛生态学。E-mail: limin2015@lzu.edu.cn

通信作者: 袁明龙 (1982-), 男, 甘肃靖远人, 副教授, 博士, 研究方向为草地昆虫学及分子生态学。E-mail: yuanml@lzu.edu.cn

物之一^[6-7], 食物范围广, 取食无脊椎动物和小型脊椎动物^[8]。其不仅捕食各种昆虫的成虫, 而且捕食卵和幼虫^[9-11], 在控制害虫、增加作物产量和维持生态平衡等方面起着重要作用^[12-14]。除昆虫外, 蜘蛛也捕食其他种类的动物, 如生活在水边的盗蛛 (Pisauridae) 能捕食小鱼虾, 狒蛛 (Theraphosidae) 能捕食体型较大的个体, 如鸟、鼠^[15]。星豹蛛 (*Pardosa astrigera*) 在分类学上属于狼蛛科 (Lycosidae) 豹蛛属 (*Pardosa*), 可捕食农林生态系统中多种害虫, 有着种群数量大、耐饥饿能力强、持续时间长、性情凶猛、捕食量大、生殖力强及成蛛寿命长等诸多特点, 广泛存在于长江流域和黄河流域^[16-18], 是紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 田^[19]、棉花 (*Gossypium hirsutum*) 田^[20]、苜蓿-麦 (alfalfa-wheat) 轮作田^[21]、白花草木樨 (*Melilotus alba*) 地^[22]、玉米 (*Zea mays*) 田^[23-24] 等多种生境的优势种或常见种, 具有重要的研究和开发利用价值。

深入研究星豹蛛的生活史、发生规律、生活习性及其捕食效应等基础生物生态学特性, 是有效利用其进行害虫生物防治的前提和基础。自 1983 年以来, 国内外学者对星豹蛛进行了较为广泛的研究。文献检索发现, CNKI 共有星豹蛛研究文献 86 篇, Web of Science 中有 32 篇。这些文献重点探讨了环境因子对星豹蛛的影响 (36 篇)、生殖行为 (34 篇)、发生规律 (21 篇) 和捕食效应 (13 篇) 等方面, 其次为物种鉴定 (9 篇) 和生化研究 (7 篇), 而有关星豹蛛在害虫防治方面的文献偏少 (2 篇) (图 1)。在整理这些文献的基础上, 本文系统总结了星豹蛛的生物生态学特性, 并讨论了今后的研究重点, 以期为星豹蛛的保护与利用及有害昆虫的综合治理提供理论依据。

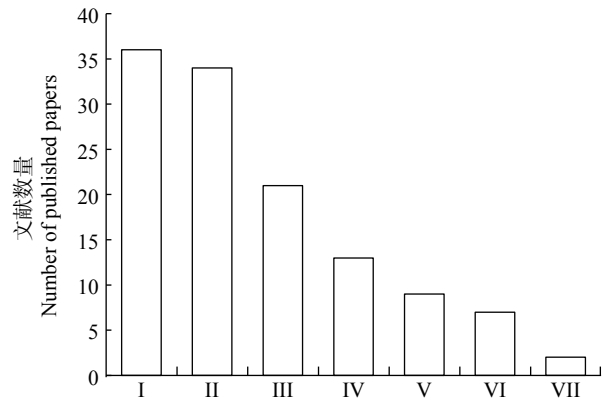


图 1 国内外星豹蛛研究现状

Figure 1 Research status of *Pardosa astrigera* at home and abroad

I、II、III、IV、V、VI 和 VII 分别表示环境因子、生殖行为、发生规律、捕食效应、物种鉴定、生化研究、生物防治。

I, II, III, IV, V, VI and VII indicate environmental factors, reproductive behaviors, occurrence rules, predation effects, species identification, biochemical studies and biological control, respectively.

1 生物学特性

1.1 世代及生活史

蜘蛛属于不完全变态类型, 个体发育可分为 3 个阶段: 胚胎期、幼蛛期和若蛛至成蛛期^[15]。星豹蛛在中国大多地方 1 年发生 2 代^[25-26], 部分地区 1 年发生 1~3 代^[27]。其通常以高龄幼蛛、亚成蛛或成蛛在背风向阳处的土缝中和杂草下越冬^[28]。由于星豹蛛越冬虫态不尽相同, 且个体发育阶段不一致, 因此出现了世代重叠现象^[28-29] (表 1)。完成 1 代需 72~109 d, 而越冬代持续时间更久, 约需 250 d^[30]。

越冬代成蛛在第 2 年的 3 月开始出土捕食^[28], 5 月初越冬代进入第 1 次产卵高峰期; 9 月初, 星豹蛛第 1 代到达第 2 次产卵高峰期^[34]; 11 月随着

表 1 星豹蛛的世代及越冬虫态

Table 1 Generation and overwintering stage of *P. astrigera*

地点 Place	世代 Generation	越冬虫态 Overwintering stage	参考文献 Reference
湖北省武汉市 Wuhan, Hubei Province	2	成蛛 Adult spider	[26]
河北省平山县 Pingshan, Hebei Province	1或2 1 or 2	幼蛛或成蛛 Spiderling and adult spider	[28]
陕西省 Shaanxi Province	2	幼蛛和成蛛 Spiderling and adult spider	[30]
安徽省芜湖市 Wuhu, Anhui Province	2	成蛛和幼蛛 Spiderling and adult spider	[31]
陕西省 Shaanxi Province	2	成蛛和幼蛛 Spiderling and adult spider	[32]
山东省滨州市 Binzhou, Shangdong Province	3	幼蛛或成蛛 Spiderling and adult spider	[33]

气温降低, 星豹蛛开始越冬^[35]。星豹蛛雌蛛在越冬时, 由于缺乏食物和庇护场所, 且在早春时会遭遇凶猛的掠食性动物, 其通常将大部分能量用于当前的生殖产出, 而不是未来的生殖和生存^[26]。越冬代星豹蛛的体型显著大于第 1 代的体型 ($P < 0.001$), 且发育历期更长, 可以储存更多的能量, 因而越冬代星豹蛛的生殖能力高于第 1 代, 能产生更多后代^[26, 36]。

星豹蛛的存活时间与环境条件密切相关, 在自然条件下生活的个体比室内饲养的寿命长。星豹蛛雌雄寿命也不一样, 雌蛛可存活 250~300 d, 而雄蛛在与雌蛛交配不久后便被杀死, 一般仅可存活 120 d 左右^[28]。

1.2 求偶及交配

在野外条件下, 星豹蛛雌雄个体数量相当。雄蛛比雌蛛早成熟, 一生中可多次与雌蛛交配, 而雌蛛属于单配制, 只交配一次就能终身产卵^[34, 37-38], 因此, 星豹蛛雄性为了得到交配机会, 在种群间会产生很激烈的竞争关系^[34]。

游猎型蜘蛛空间分布广泛、距离远, 大大超出其视力可见范围^[39]。星豹蛛雌蛛在繁殖期为了避免自身能量的减少和被天敌捕食, 通常不会四处游猎, 而是等待雄蛛来寻找自己^[39]。星豹蛛雄蛛若只依靠视力寻找雌蛛, 既浪费大量精力和时间, 也更易遭到天敌的攻击, 对自身的生存和后代的繁衍都不利, 因而雄蛛通常利用拖丝来探寻和定位雌蛛^[39]。星豹蛛雌蛛拖丝上含有特异性性信息素^[34, 39-40], 雄蛛可以通过这种性信息素来辨别雌蛛是否与自己同种、雌蛛的日龄、生殖状态和交配状态^[34, 41], 优先选择成熟但未交配的雌蛛^[42-43], 以免被同种已交配的雌蛛攻击^[37]。

曾阳等^[44]观察到, 星豹蛛雄蛛对同种雌蛛的求偶强度明显大于其他种雌蛛。陈博等^[45]发现, 星豹蛛雄蛛在利用性信息素追踪定位雌蛛过程中, 如果感知到雌蛛拖丝上残留有其他雄蛛拖丝的化学信息物质, 就会降低求偶强度来节省能量, 从而保留继续追踪其他合适配偶的机会。这些现象表明, 在求偶过程中, 星豹蛛雄蛛对雌蛛有选择性。与此同时, 星豹蛛雌蛛对雄蛛也具有选择性, 雌蛛优先选择与体型较大、求偶强度高的雄蛛进行交配, 如已交配过的雄蛛的求偶强度明显高于未交配的雄蛛, 因为这类雄蛛的适合度

往往较高, 与之交配可提高雌蛛自身的生殖能力及后代的适合度^[37-38, 40]。星豹蛛雌蛛还会根据求偶频率来评估和选择合适的配偶^[46-48], 求偶频率可能与雄蛛的身体状况和生存能力有关, 求偶频率高的雄蛛身体条件和生存能力可能更优, 也更易求偶成功^[40, 49]。

星豹蛛性情凶猛, 具有同类相食的习性^[43], 且这种相残行为受雌性交配状态的影响。与处女雌蛛相比, 交配过的雌蛛攻击性明显增强, 攻击和取食同类的机率显著增高 ($P = 0.015$), 这可能是星豹蛛雌性单配制进化的主要动力^[37]。因此, 在求偶时, 雄蛛为了避免被雌蛛捕食, 会呈现出复杂的求偶动作, 被视为交配前“仪式化”行为^[40]。幼蛛在蜕最后一次皮不久后即可交配, 交配多发生在早上, 时间通常在 1 h 以上^[28]。具体交配过程吴俊等^[37]和陈占起^[40]均有报道。星豹蛛雄蛛在交配时, 即使感受到周围有其他雄蛛的性信息素, 其交配持续时间也不会改变, 这一点与其他多配制物种差别很大, 猜测原因是星豹蛛雌蛛一生仅可交配一次, 雄蛛为了保留宝贵的交配机会, 会尽可能地投资当前的交配行为, 这可能是雄蛛在漫长的交配过程中形成的一种适应性机制^[45]。

1.3 繁殖与发育

星豹蛛在交配 8~10 d 后便开始产卵, 可多次产卵。每次产卵粒数受周围环境的影响, 一个卵囊产的卵粒多达数百粒, 少时仅数粒^[40]。卵粒数和直径在越冬代和第 1 代间差异明显, 前者所产的卵粒数明显更多。在产卵前, 雌蛛先用丝织一个褥层, 产卵于其上, 然后围绕卵旋转织新的褥层将卵包住, 从而形成一个圆形的卵囊, 最后用螯肢把褥层的缺口缝合起来^[39]。母蛛的个体大小影响产卵囊的大小, 个体小的产的卵囊相对较小, 反之较大^[39]。

星豹蛛雌蛛有护卵习性, 腹部纺器分泌的丝可将卵囊粘住并置于纺器前方, 由雌蛛携带到处游猎, 直至卵囊孵化^[28]。若人为强制地将卵囊与母体分离, 雌蛛会用步足奋力抱紧卵囊; 卵袋被取下后, 雌蛛即会在丢失卵囊的地方徘徊寻找^[30, 39]。吴启佳^[50]将越冬代和第 1 代星豹蛛的卵囊人为摘除, 发现两代蜘蛛均无法识别自己的卵囊, 一般选择先遇到的, 将其固定于纺器上, 以后再遇见其他卵囊也不理睬。除了护卵行为, 星豹蛛雌蛛

还具有食卵习性，会吃掉过小或形状不规则的卵囊，然后重新产卵^[31]。

星豹蛛幼蛛在卵囊中完成胚胎发育，孵化时，幼蛛从雌蛛撕开的缝隙爬出来，幼蛛爬出来后沿着雌蛛的附肢爬到雌蛛的背上聚集在一起，由雌蛛随身携带，全部幼蛛完成这个过程需数小时^[39]。同其他卵囊孵化的幼蛛相比，从自己卵囊孵化出的幼蛛攀附在母蛛身上的时间明显更长^[34]。

刚孵化出来的幼蛛为2龄幼蛛，因其已经在卵囊内经历1次蜕皮^[50]，在孵化3~4 d后开始第2次蜕皮，然后离开母蛛营自由生活^[28]。Fox和Czesak^[51]发现，较大的幼蛛孵化自较大的卵，且比孵化自较小卵的幼蛛具有更高的抗性，如抗饥饿、抗干燥及抗低温能力，因此，星豹蛛雌蛛在不良环境条件下，通常会产下较大的卵，从而最大程度提高后代的适合度^[18]。

星豹蛛从出生到死亡一共要蜕皮6~7次，每次蜕皮间隔时间随蜘蛛龄期和生存条件不同而有变化。低龄幼蛛一般要间隔3~5 d才蜕皮，高龄幼蛛在春秋季节蜕皮需间隔20 d以上，在夏季需间隔10 d左右。当食物和光照不足时，蜕皮间隔时间可长达30 d^[52]。

1.4 捕食效应

蜘蛛是陆地生态系统最多样化的肉食动物，用各种不同的捕食策略捕获猎物^[8]。一些蜘蛛是活跃的猎手，比如跳蛛科(Salticidae)的丽绯蛛(*Phlegra festiva*)，通过游猎捕食昆虫；另一些蜘蛛则在植物

上保持静止，如蟹蛛科(Thomisidae)的三突花蛛(*Misumenops tricuspidata*)停留在花上，等待昆虫靠近；结网蜘蛛则通过结网捕获猎物，如漏斗蛛科(Agelenidae)的迷宫漏斗蛛(*Agelena labyrinthica*)，结网后静静地呆在网上，一旦有猎物掉到网上，立刻用蛛丝将其黏住^[53]。作为天敌优势种，星豹蛛虽然有丝腺，但是不结用于捕食的网^[54]，其游走于地面、作物枝叶间及草丛，行动非常迅速，以突然袭击的方式狩猎昆虫^[55-57]，遇到危险通常躲避在土缝或草丛中。星豹蛛属广谱捕食者，具有较宽的捕食范围^[58]，可捕食棉铃虫(*Helicoverpa armigera*)和烟青虫(*Heliothis assulta*)等鳞翅目昆虫以及双翅目、半翅目和直翅目昆虫(表2)。通常只取食活虫，不吃死虫^[52]。成蛛日取食量(24 h)：中型蛾类0.5~1头，如棉铃虫、粘虫(*Mythimna separata*)；小型蛾类1~3头，如玉米螟(*Pyrausta nubilalis*)；桃蚜(*Myzus persicae*)4~8头；卵20~45粒^[28]。

星豹蛛的捕食速率与自身体重、个体大小和步足长度无关，而与性别和饥饿程度密切相关，同雄蛛相比，雌蛛的捕食速度快得多^[61]。捕食者的捕食过程是随机的，其捕食量大小与捕食者的搜索范围、搜索能力以及猎物密度等有很大关系^[62]。在特定空间内，随着星豹蛛种群密度的增加，其竞争的激烈强度也随之增加，捕食量随之减少，可用Watt模型模拟这种捕食功能反应^[57,63]。当猎物数量在一定范围内，星豹蛛捕食量随猎物数量的增加而增大^[57,60]。

表2 星豹蛛的捕食范围
Table 2 The predatory range of *P. astrigera*

目 Order	科 Family	物种 Species	虫态 Developmental stage	参考文献 Reference
鳞翅目 Lepidoptera	夜蛾科 Noctuidae	棉铃虫 <i>Helicoverpa armigera</i>	卵, 幼虫, 成虫 Egg, larva, adult	[28]
鳞翅目 Lepidoptera	夜蛾科 Noctuidae	烟青虫 <i>Heliothis assulta</i>	幼虫 Larva	[28]
鳞翅目 Lepidoptera	夜蛾科 Noctuidae	粘虫 <i>Mythimna separata</i>	卵, 幼虫, 成虫 Egg, larva, adult	[28]
鳞翅目 Lepidoptera	螟蛾科 Pyralidae	条螟 <i>Proceras venosatus</i>	成虫 Adult	[28]
鳞翅目 Lepidoptera	螟蛾科 Pyralidae	玉米螟 <i>Pyrausta nubilalis</i>	卵, 幼虫, 成虫 Egg, larva, adult	[28]
直翅目 Orthoptera	飞蝗科 Acrididae	东亚飞蝗 <i>Locusta migratoria</i>	幼虫 Larva	[33]
双翅目 Diptera	黄潜蝇科 Chloropidae	麦秆蝇 <i>Meromyza saltatrix</i>	幼虫 Larva	[52]
鳞翅目 Lepidoptera	夜蛾科 Noctuidae	甜菜叶蛾 <i>Laphygma exigua</i>	幼虫 Larva	[59]
半翅目 Hemiptera	蚜科 Aphididae	桃蚜 <i>Myzus persicae</i>	幼虫 Larva	[60]

2 生态学特性

2.1 温度对星豹蛛的影响

温度是影响星豹蛛生长、繁殖、分布与扩散的关键生态因子^[64]。雌蛛感受到的温度可以影响幼蛛的体型，因此，季节变化对幼蛛体型变化起着至关重要的作用^[18]。环境温度对星豹蛛雄蛛的交配时间、雌蛛的总卵囊数和生育力等有很大的影响，随着交配温度的升高，雌性更容易产卵囊，但雌蛛寿命与交配温度无关^[25]。雌蛛的产卵前期也受环境温度的影响，在25℃为4~9 d，35℃为2~6 d。此外温度还会影响卵袋的孵化历期，在25℃约为198 d，35℃约为14.2 d，且当环境温度低于25℃或高于35℃对卵袋孵化历期影响更大^[65]。

星豹蛛适宜的生存温度为20~25℃，不适温度下其很少出现在田间^[66]。在高于30℃条件下，星豹蛛虽能生活，但活动迟缓，且若蛛对低温、高温的抵抗能力均较成蛛差，如在自然条件下，当温度很高时，星豹蛛会躲避在杂草等阴凉处，以避免高温对其产生危害；温度低于5℃，星豹蛛一般不活动并弃卵^[52]。孵化率受到温度的影响，如在温度较低的4月，孵化率低，在温度较高的5月~8月，孵化率高，10月随着温度下降孵化率也相应降低^[30]。

与昆虫的耐寒机制类似，星豹蛛具有通过调节自身过冷却点 (supercooling points) 和体液结冰点 (freezing points) 应对低温的生理机制^[65]。在一定范围的低温条件下，星豹蛛体内酶分子活性升高^[67-68]、抗冻保护剂含量和抗冻蛋白增多^[69-70]，从而减小了低温对其产生的伤害。李锐等^[71]研究发现，在高温环境下，星豹蛛通过增大热激蛋白基因 (heat shock protein gene) 表达量来提高其耐热性；同样，在低温环境下，星豹蛛通过增大热激蛋白基因的表达量来提高其耐寒性。

星豹蛛雌蛛具有比雄蛛更强的耐低温能力，主要由于雌蛛在生殖过程中的能量消耗比雄蛛多，尤其是环境温度低时，维持繁殖过程需要的能量更多^[65]。根据热黑化理论 (thermal melanism)，越冬过程中体色较黑的个体有利于适应不良环境，因为体色深的个体在寒冷环境中因能够吸收更多热量而具有优势；反之，体色较浅的个体可以避免

因吸收过多热量而对自身产生危害^[72-73]。越冬代星豹蛛的体色较第1代体色深，这是星豹蛛为适应不同温度而产生的适应性机制^[26]。

李国强等^[35]研究发现，星豹蛛的捕食效率与温度关系密切，在一定的范围内，星豹蛛对棉蚜 (*Aphis gossypii*) 的捕食效率随着温度的增高而提高。星豹蛛对棉蚜的瞬时攻击率在两性间虽无明显差异，但雌蛛的捕食潜能大于雄蛛^[35]。

2.2 食物与水对星豹蛛的影响

星豹蛛成蛛获得的食物和水资源含量不同时，存活时间不一致。在只饮水不进食条件下，星豹蛛成蛛能够存活17~35 d，平均存活时间为27 d；在只进食不饮水条件下，其能够存活18~22 d，平均存活时间为19.5 d；在不饮水不进食条件下，其能够存活13~16 d，平均存活时间为14.6 d；低龄若蛛对水的需求更迫切，3~4 d不饮水便会死亡^[52]。与无水无食条件相比，蜘蛛在有水无食时存活时间更长，表明在不饮水不进食条件下，失水是限制蜘蛛生存的主要原因，而饥饿是次要原因^[74-75]。文乐雷等^[76]研究发现，在无水无食的情况下，星豹蛛雌蛛的存活时间相较于雄蛛更长。董慈祥^[52]提出，星豹蛛的生长发育需要水，但其不喜过于潮湿的环境，灌溉时应遵循少量多次的原则。

2.3 化学农药对星豹蛛的影响

星豹蛛受到农药重污染时，肠功能损伤，直接减少了星豹蛛对害虫的捕食力和取食量^[77]。一些低毒农药虽然对蜘蛛的致死率很低，但能通过干扰蜘蛛正常的生长发育、繁殖、捕食等过程来间接影响这些个体的适合度^[78]。袁泽斌等^[79]指出，不同除草剂对星豹蛛的危害不同，在清除杂草时，应当合理适量地选择相应的除草剂，以免影响到天敌的行为和捕食功能，降低天敌的繁殖率，甚至杀死天敌。李娜等^[80]提出，在星豹蛛个体数量较大时期，应推荐使用杀虫效率高但对星豹蛛杀伤力小的生物杀虫剂，避免使用高毒化学农药。而害虫发生量少时，应尽量少用或者不用杀虫剂，否则将不利于星豹蛛等天敌的生存和繁殖导致其数量减少，从而对害虫失去有效的天敌控虫作用^[81]。

然而，化学农药对星豹蛛的影响并非全是消极的。李锐等^[81-82]研究发现，用低剂量农药处理星

豹蛛后, 星豹蛛的捕食时间缩短, 瞬时攻击率提高, 星豹蛛的捕食量也相应增加, 提高了对害虫的控制作用。此外, 在一定时间内用一定浓度的农药对星豹蛛进行处理, 星豹蛛体内的代谢保护酶和中肠蛋白消化酶的活性被激活, 星豹蛛的新陈代谢速率加快, 从而刺激捕食^[82]。因此, 在一定处理时间内, 低浓度的农药可促进蜘蛛对害虫的捕食作用^[79, 82]。

2.4 重金属对星豹蛛的影响

当星豹蛛摄入外源毒素时, 体内要进行氧化、还原、水解等一系列化学反应后, 才能降解毒素并以代谢废物的形式排出体外, 这些化学反应需要由多个酶系催化协同作用, 抗氧化防御系统即是其中之一^[83]。若星豹蛛抗氧化防御系统被破坏, 会产生更多的氧自由基, 从而导致氧化应激反应受到损伤。当星豹蛛受到铅、铬胁迫时, 其体内的过氧化氢酶 (catalase)、超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase)、谷胱甘肽-S-转移酶 (glutathione S-transferase) 的活性随作用时间的推移会发生相应的变化, 三者相互作用, 在一定程度上能刺激体内部分抗氧化酶的活性, 从而增强自身的解毒效率, 减小或避免外源毒素对机体造成损害^[83]。但在蜘蛛解毒力度增大的同时, 它们的生长和繁殖能力会急剧下降。

Chen 等^[13]研究表明, 当星豹蛛接触大量铅和锌时, 发育时间变长, 体重增加速度减慢, 雌星豹蛛产下的卵总数也大大减少了, 而且铅比锌对蜘蛛的毒性作用更大。体内含有高金属含量的星豹蛛产生的卵数量明显较少, 但个体较大^[84]。Chen 等^[13]将含有亚致死剂量的氯化铅和氯化锌的溶液作为 3 龄蜘蛛的饮用水, 发现蜘蛛从 3 龄发育到 6 龄的总持续时间显著长于对照组 ($P < 0.05$), 并且雌性接触铅 ($P = 0.012$) 和锌 ($P = 0.017$) 后产卵数均显著减少。接触含有高浓度 ($100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 的氯化铅和氯化锌溶液的成熟蜘蛛体重显著降低 ($P < 0.05$)。这些结果表明星豹蛛对金属中毒的排毒策略会导致延迟发育, 减少生长和繁殖的成本^[13]。

3 总结与展望

作为多种生境下重要的捕食性天敌之一, 目前学者们已对其基础生物生态学特性进行了较系统

研究, 但对其不同生境下种群发生动态、种群演化机制、产丝 (产丝特征、产丝强度、产丝大小、丝蛋白性质、基因)、毒性、捕食范围等方面的研究还很欠缺。因此, 今后应重点开展以下研究。

3.1 加强星豹蛛生物学特性研究

蜘蛛在虫害生物防治方面具有很大潜力, 以往的研究多集中在调查棉田、玉米田、茶 (*Camellia sinensis*) 园、稻 (*Oryza sativa*) 田、苹果 (*Malus domestica*) 园等生境中蜘蛛的物种多样性上, 但对粮草轮作、粮草混播等不同种植规模下星豹蛛的生物学特性研究甚少^[85]。星豹蛛雄蛛的交配机制为多配制, 而雌蛛属于单配制, 这种交配特征是祖征表现, 还是由多配制进化而来的, 以及潜在的生态学及进化意义, 亦值得做进一步的探索。

有关星豹蛛的取食范围已有报道^[55, 58-59], 但仅通过野外观察或室内人工喂养得出结果, 喂养昆虫种类有限, 且研究方法单一, 取食的范围 (如植物、其他昆虫等) 尚不明确, 并不能准确反映其在自然条件下的捕食情况。蜘蛛一般通过向昆虫注入毒液, 从而杀死它并对其进行捕食, 而星豹蛛是否有毒腺以及毒性大小尚不知晓。因此, 有必要对星豹蛛毒性相关内容以及食性范围加以研究, 从而更深层次地分析星豹蛛的捕食策略, 也为探究星豹蛛与其他生物之间的营养关系提供理论依据。

此外, 星豹蛛的饲养受种内竞争、饲养密度、饲养温湿度、饲养光强及光周期等条件的影响, 因此, 掌握星豹蛛最佳饲养条件是一个亟待解决的问题。在星豹蛛等天敌数量不足时, 通过人工饲养星豹蛛并在田间释放, 以达到有效控虫目的。田间释放星豹蛛后, 主要考虑害虫发生强度、田间蛛量、释放蛛量、控虫效果和后期管理几个方面。

3.2 加强星豹蛛生态学特性研究

星豹蛛在土壤污染区和农药喷施地区等不利生态环境下均能发生, 说明其有着很强的适应能力。李萨丽等^[83]探究了重金属铬、铅对星豹蛛体内几种酶的影响, 研究表明, 星豹蛛体内的保护酶通过相互作用增加抗氧化酶的活性从而增加解毒功能。但星豹蛛在受到重金属污染后是否有更

高效的解毒方式, 有待深层次的挖掘。目前仅研究星豹蛛对单一重金属的响应, 与田间星豹蛛受到污染的情况可能存在差异, 故今后应对多种重金属在星豹蛛体内的富集情况开展研究, 探究解毒酶在体内的变化, 揭示重金属污染对星豹蛛的

生态毒理学效应。星豹蛛在受到农药污染后, 体内所发生的解毒机制也缺乏探究。深入研究星豹蛛对农药污染、重金属污染和气候变化的响应及适应性进化机制, 有利于其在有害生物综合治理体系中的应用。

参考文献 References:

- [1] BENAMÚ M A, SÁNCHEZ N E, GONZÁLEZ A. Postembryonic development and population parameters of *Alpaida veniliae* (Araneae, Araneidae), reared in the laboratory. *Journal of Natural History*, 2011, 45(25/26): 1607-1617.
- [2] FOELIX R F, PARADIS E, FUENTES J L, DATWYLER S L, WEIBLEN G D, SIMMONDS N W, BESSEY E A, HIRSCHHORN E. Biology of spiders. *Insect Systematics and Evolution*, 2011, 14(1): 16.
- [3] WHEELER W C, CODDINGTON J A, CROWLE L M, DIMITROV D, GOLOBOFF P A, GRISWOLD C E, HORMIGA G, PRENDINI L, RAMIREZ M J, SIERWALD P, ALMEIDA S L, ALVAREZ P F, ARNEDO M A, SILVA L R B, BENJAMIN S P, BOND J E, GRISMADO C J, HASAN E, HEDIN M, IZQUIERDO M A, LABARQUE F M, LEDFORD J, LOPARDO L, MADDISON W P, MILLER J A, PIACENTINI L N, PLATNICK N I, POLOTOW D, SILVA D D, SCHARFF N, SZUTS T, UBICK D, VINK C J, WOOD H M, ZHANG J X. The spider tree of life: Phylogeny of araneae based on target-gene analyses from an extensive taxon sampling. *Cladistics*, 2017, 33(6): 574-616.
- [4] World Spider Catalog. Version 20.5. Natural History Museum Bern. (2020-05-10)[2020-05-10]. <http://wsc.nmbe.ch>.
- [5] 李枢强, 林玉成. 中国蜘蛛目物种编目研究进展. *生物多样性*, 2015, 23(2): 267-270.
LI S Q, LIN Y C. Advances in spider bioinventory in China. *Biodiversity Science*, 2015, 23(2): 267-270.
- [6] HAUG M F, GESEMANN M, LAZOVI V, NEUHAUSS S C F. *Eumetazoan cryptochrome* phylogeny and evolution. *Genome Biology and Evolution*, 2015, 7(2): 601-619.
- [7] TOJU H, BABA Y G. DNA metabarcoding of spiders, insects, and springtails for exploring potential linkage between above- and below-ground food webs. *Zoological Letters*, 2018, 4(1): 4.
- [8] VIERA C, GONZAGA M O. Trophic Niches and Trophic Adaptations of Prey-specialized Spiders from the Neotropics: A Guide. // Behaviour and Ecology of Spiders. Berlin: Springer, 2017.
- [9] YOUNG O P, EDWARDS G B. Spiders in United States field crops and their potential effect on crop pests. *Journal of Arachnology*, 1990, 18(1): 1-27.
- [10] GREEN J. Sampling method and time determines composition of spider collections. *Journal of Arachnology*, 1999, 27(1): 176-182.
- [11] NYFFELER M, BREENE R G, DEAN D A, STERLING W L. Spiders as predators of arthropod eggs. *Journal of Applied Entomology*, 2010, 109(1/5): 490-501.
- [12] KIM Y J, LEE J H, HARN C H, KIM C G. Transgenic cabbage expressing Cry1Ac1 does not affect the survival and growth of the wolf spider, *Pardosa astrigera* L. Koch (Araneae: Lycosidae). *PLoS One*, 2016, 11(4): e0153395.
- [13] CHEN X Q, ZHANG Z T, LIU R, ZHANG X L, CHEN J, PENG Y. Effects of the metals lead and zinc on the growth, development, and reproduction of *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2011, 86(2): 203-207.
- [14] 云月利, 杨启伟, 王玉凤, 彭宇, 焦晓国. 草间钻头蛛体内沃尔巴克氏体的去除及其感染对宿主生殖和适合度的影响. *植物保护学报*, 2013, 40(2): 145-148.
YUN Y L, YANG Q W, WANG Y F, PENG Y, JIAO X G. The removal and influence of Wolbachia on the reproductive and fitness in *Hylyphantes graminicola*. *Journal of Plant Protection*, 2013, 40(2): 145-148.
- [15] 朱明生, 张保石. 河南蜘蛛志. 北京: 科学出版社, 2011.
ZHU M S, ZHANG B S. Spider Fauna of Henan. Beijing: Science Press, 2011.
- [16] 李生才, 高峰, 王宁波, 巩田魁. 苹果园蜘蛛群落组成及其生态位研究初报. *中国生态农业学报*, 2006, 14(1): 181-184.
LI S C, GAO F, WANG N B, GONG T K. Composition and niche of spider community in apple orchard. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(1): 181-184.
- [17] JUNG M P, LEE J H. Bioaccumulation of heavy metals in the wolf spider, *Pardosa astrigera* L. Koch (Araneae: Lycosidae).

- Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 184(3): 1773-1779.
- [18] IIDA H, KOHNO K, TAKEDA M. Seasonal fluctuations in offspring body size in the wolf spider, *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae). *Applied Entomology and Zoology*, 2016, 51(1): 1-7.
- [19] 吴仪. 苜蓿田及天然草地蜘蛛群落结构及多样性分析研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学硕士学位论文, 2013.
WU Y. Study on the community structure and diversity of spiders in alfalfa fields and natural grassland. Master Thesis. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2013.
- [20] 韩旭. 初冬季节的河北省棉田蜘蛛. *蛛形学报*, 2004, 13(1): 52-54.
HAN X. Spiders in cotton fields of Hebei Province in early winter. *Acta Arachnologica Sinica*, 2004, 13(1): 52-54.
- [21] 刘文惠, 胡懿君, 胡文超, 洪波, 关晓庆, 马世瑜. 苜蓿邻作麦田地表步甲和蜘蛛种群动态及其对苜蓿刈割的响应. *应用生态学报*, 2014, 25(9): 2677-2682.
LIU W H, HU Y J, HU W C, HONG B, GUAN X Q, MA S Y. Population dynamics of ground carabid beetles and spiders in a wheat field along the wheat alfalfa interface and their response to alfalfa mowing. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(9): 2677-2682.
- [22] 张保石, 朱明生, 宋大祥. 白花草木樨地蜘蛛群落结构及多样性. *河北大学学报(自然科学版)*, 2004, 24(6): 644-648.
ZHANG B S, ZHU M S, SONG D X. Structure of the spider community and diversity in the leucanthous melilot fields. *Journal of Hebei University (Natural Science Edition)*, 2004, 24(6): 644-648.
- [23] 丛建国. 山东青州玉米田蜘蛛群落结构及动态. *生物学杂志*, 1993(1): 15-18.
CONG J G. Structure and dynamics of spider community in Qingzhou maize field, Shandong Province. *Journal of Biology*, 1993(1): 15-18.
- [24] 张欣颖, 李凯, 曹玉成, 闫国增. 北京农区玉米蜘蛛群落结构特征及影响因素研究. *黑龙江农业科学*, 2015(5): 63-67.
ZHANG X Y, LI K, CAO Y C, YAN G Z. Study on the community structure and influencing factors of spider in maize field in Beijing. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2015(5): 63-67.
- [25] CHEN Z Q, JIAO X G, WU J, CHEN J, LIU F X. Effects of copulation temperature on female reproductive output and longevity in the wolf spider *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae). *Journal of Thermal Biology*, 2010, 35(3): 125-128.
- [26] YANG J, WU Q, XIAO R, ZHAO J, CHEN J, JIAO X. Seasonal variations in body melanism and size of the wolf spider *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae). *Ecology and Evolution*, 2018, 8(8): 4352-4359.
- [27] 左琳. 星豹蛛和迷宫漏斗蛛对 CO₂ 浓度升高的响应. 武汉: 湖北大学硕士学位论文, 2015.
ZUO L. Response of *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae) and *Agelena labyrinthica* (Araneae: Agelenidae) to elevated CO₂ concentration. Master Thesis. Wuhan: Hubei University, 2015.
- [28] 赵学铭, 齐杰昌, 阎瑞萍. 星豹蛛生物学特性及保护利用初探. *昆虫天敌*, 1989, 11(3): 110-115.
ZHAO X M, QI J C, YAN R P. Preliminary study on the biological characteristics and protection and utilization of *Pardosa astrigera*. *Natural Enemies of Insects*, 1989, 11(3): 110-115.
- [29] 赵敬钊, 马安宁. 沟渠豹蛛和星豹蛛各龄形态特征比较. *动物学杂志*, 1988, 23(5): 1-3.
ZHAO J Z, MA A N. Comparison of morphological characteristics of *Pardosa laura* and *Pardosa astrigera*. *Chinese Journal of Zoology*, 1988, 23(5): 1-3.
- [30] 淡燕萍, 魏小娥. 星豹蛛生物学特性的初步研究. *动物学研究*, 1989(1): 79-83.
DAN Y P, WEI X E. A preliminary study of biological characteristics in *Pardosa astrigera*. *Zoological Research*, 1989(1): 79-83.
- [31] 陈发扬. 星豹蛛生活史的初步观察. *动物学杂志*, 1989, 24(2): 6-8.
CHEN F Y. Preliminary observation on the life history of *Pardosa astrigera*. *Chinese Journal of Zoology*, 1989, 24(2): 6-8.
- [32] 仵光俊, 张淑莲, 陈志杰. 星豹蛛的生物学特性. *陕西农业科学*, 1988(3): 21-22.
WU G J, ZHANG S L, CHEN Z J. The biological characteristics of *Pardosa astrigera*. *Shanxi Agricultural Sciences*, 1988(3): 21-22.
- [33] 田方文. 蝗虫天敌星豹蛛生物学特性及捕食功能研究. *植保技术与推广*, 2001, 21(7): 3-4.
TIAN F W. Study on biological characteristics and predation function of *Pardosa astrigera*, the predator of locijst. *Chinese Plant Protection Guide Journal*, 2001, 21(7): 3-4.
- [34] JIAO X G, CHEN Z Q, WU J, DU H Y, LIU F X, CHEN J A, LI D Q. Male remating and female fitness in the wolf spider *Pardosa astrigera*: The role of male mating history. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2011, 65(2): 325-332.
- [35] 李国强, 陈明, 罗进仓, 周昭旭. 星豹蛛对棉蚜的捕食功能研究. *甘肃农业大学学报*, 2006, 29(4): 68-70.
LI G Q, CHEN M, LUO J C, ZHOU Z X. Study on the predation function of *Pardosa astrigera* on cotton aphid. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2006, 29(4): 68-70.

- [36] JIAO X G, GUO L, CHEN Z Q, WU J, CHEN J, LIU F X, LI D Q. Experimental evidence for female-driven monandry in the wolf spider, *Pardosa astrigera*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2011, 65(11): 2117-2123.
- [37] 吴俊, 焦晓国, 陈建, 彭宇, 刘凤想. 星豹蛛求偶和交配行为. *动物学杂志*, 2008, 43(2): 9-12.
WU J, JIAO X G, CHEN J, PENG Y, LIU F X. Courtship and mating behaviors of the wolf spider *Pardosa astrigera*. *Chinese Journal of Zoology*, 2008, 43(2): 9-12.
- [38] 王彦聪. 三突花蛛不同交配史对其交配行为和适合度的影响. 武汉: 湖北大学硕士学位论文, 2014.
WANG Y C. Effects of different mating history of *Misumenops tricuspidatus* on its mating behavior and fitness. Master Thesis. Wuhan: Hubei University, 2014.
- [39] 陈军, 宋大祥. 狼蛛科蜘蛛的繁殖行为. *蛛形学报*, 1999, 8(1): 55-62.
CHEN J, SONG D X. Reproductive behavior of spiders: Lycosidae. *Acta Arachnologica Sinica*, 1999, 8(1): 55-62.
- [40] 陈占起. 两种豹蛛属蜘蛛求偶交配行为和化学通讯比较研究. 武汉: 湖北大学硕士学位论文, 2010.
CHEN Z Q. A comparative study on the mating behavior and chemical communication of two kinds of *Pardosa* spiders. Master Thesis. Wuhan: Hubei University, 2010.
- [41] XIAO R, CHEN B, WANG Y C, LU M, CHEN J, LI D Q, YUN Y L, JIAO X G. Silk-mediated male courtship effort in the monandrous wolf spider *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae). *Chemoecology*, 2015, 25(6): 285-292.
- [42] ROBERTS J A, UETZ G W. Information content of female chemical signals in the wolf spider, *Schizocosa ocreata*: Male discrimination of reproductive state and receptivity. *Animal Behaviour*, 2005, 70(1): 217-223.
- [43] 吴俊, 焦晓国, 陈建, 彭宇, 刘凤想, 王振华. 雌星豹蛛性信息素的行为学证据. *动物学报*, 2007, 53(6): 994-999.
WU J, JIAO X G, CHEN J, PENG Y, LIU F X, WANG Z H. Behavioral evidence for a sex pheromone in female wolf spiders *Pardosa astrigera*. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53(6): 994-999.
- [44] 曾阳, 梁宏合, 江庆生, 陈建, 刘凤想, 焦晓国. 雌蛛拖丝在星豹蛛和拟环纹豹蛛物种识别中的作用. *湖北大学学报(自然科学版)*, 2015, 37(3): 227-230.
ZENG Y, LIANG H H, JIANG Q S, CHEN J, LIU F X, JIAO X G. Female dragline-mediated species recognition between the wolf spiders *Pardosa astrigera* and *Pardosa pseudoannulata*. *Journal of Hubei University (Natural Science Edition)*, 2015, 37(3): 227-230.
- [45] 陈博, 文乐雷, 赵菊鹏, 梁宏合, 陈建, 焦晓国. 同种雄性竞争对手的存在对星豹蛛雄蛛求偶和交配行为的影响. *生态学报*, 2017, 37(11): 3932-3938.
CHEN B, WEN L L, ZHAO J P, LIANG H H, CHEN J, JIAO X G. Effects of conspecific rivals on male courtship and mating in the monandrous wolf spider *Pardosa astrigera*. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(11): 3932-3938.
- [46] HOEFLER C D, PERSONS M H, RYPSTRA A L. Evolutionarily costly courtship displays in a wolf spider: A test of viability indicator theory. *Behavioral Ecology*, 2008, 19(5): 974-979.
- [47] SHAMBLE P S, WILGERS D J, SWOBODA K A, HEBETS E A. Courtship effort is a better predictor of mating success than ornamentation for male wolf spiders. *Behavioral Ecology*, 2009, 20(6): 1242-1251.
- [48] KIM Y K, WEBER M B, ANDERSON W W, GOWATY P A. Preference status does not indicate intrinsic quality differences in *Drosophila pseudoobscura*. *Integrative Zoology*, 2010, 5(3): 198-207.
- [49] GIBSON J S, UETZ G W. Seismic communication and mate choice in wolf spiders: Components of male seismic signals and mating success. *Animal Behaviour*, 2008, 75(4): 1253-1262.
- [50] 吴启佳. 星豹蛛配偶选择及携幼行为对其适合度的影响. 武汉: 湖北大学硕士学位论文, 2017.
WU Q J. Effects of mate choice and carrying spiderlings on female fitness in the wolf spider *Pardosa astrigera*. Master Thesis. Wuhan: Hubei University, 2017.
- [51] FOX C W, CZESAK M E. Evolutionary ecology of progeny size in arthropods. *Annual Review of Entomology*, 2000, 45(1): 341-369.
- [52] 董慈祥. 星豹蛛调查研究初报. *河北师范大学学报(自然科学版)*, 1994(1): 64-67.
DONG C X. Studies on *Pardosa astrigera*. *Journal of Hebei Normal University(Natural Science Edition)*, 1994(1): 64-67.
- [53] VASCONCELLOS N J, MESSAS Y F, SOUZA H D S, VILLANUEVA B G A, ROMERO G Q. Spider-Plant Interactions: An Ecological Approach. *Behaviour and Ecology of Spiders*, 2017(11): 165-214.
- [54] MOON M J. Fine structure of the ampullate silk glands in the wolf spider, *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae). *Korean Journal of Biological Sciences*, 1998, 2(4): 513-520.
- [55] 陆鹏飞, 李生才, 乔海莉. 星豹蛛 (*Pardosa astrigera* L. Koch) 对菜蚜的捕食作用及模拟模型的研究. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2005, 25(1): 20-23.
LU P F, LI S C, QIAO H L. Studies on the predation and simulation model of *Pardosa astrigera* L. Koch to vegetable aphides.

- Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2005, 25(1): 20-23.
- [56] 上官小霞, 沈文君, 李生才. 星豹蛛捕食棉蚜功能性反应研究. *山西农业科学*, 2001, 29(1): 70-73.
SHANGGUAN X X, SHEN W J, LI S C. Functional reaction of *Pardosa astrigera* preying on cotton aphid. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2001, 29(1): 70-73.
- [57] 张淑莲, 陈志杰, 仵光俊. 星豹蛛对棉花害虫的捕食效应研究. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 1997, 25(1): 89-94.
ZHANG S L, CHEN Z J, WU G J. Predation effect of the spider: *Pardosa astrigera* on cotton pests. *Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition)*, 1997, 25(1): 89-94.
- [58] 王福莲, 侯茂林, 王香萍, 李传仁. 三突花蛛和星豹蛛对涝渍菜田短额负蝗的捕食作用. *湖北农业科学*, 2007, 46(4): 573-575.
WANG F L, HOU M L, WANG X P, LI C R. Predation of *Misumenops tricuspidatus* and *Pardosa astrigera* to *Atractomorpha sinensis* from water logging vegetable fields. *Hubei Agricultural Sciences*, 2007, 46(4): 573-575.
- [59] 雷朝亮, 宗良炳, 钟昌珍, 杨振荣. 星豹蛛猎物甜菜夜蛾电泳检测的初步研究. *植物保护学报*, 1992, 10(3): 213-216.
LEI C L, ZONG L B, ZHONG C Z, YANG Z R. The application of electrophoretic analysis for detecting the predation of *Pardosa astrigera*. *Journal of Plant Protection*, 1992, 10(3): 213-216.
- [60] 陆鹏飞. 星豹蛛对甘蓝田两种害虫的控制作用及低剂量农药对其控害效果的影响. 晋中: 山西农业大学硕士学位论文, 2004.
LU P F. Control action of *Pardosa astrigera* L. Koch to two pests in cabbage field and influence on its controlling pest effect with low dose pesticide. Master Thesis. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2004.
- [61] 张宾, 马敏, 葛衍珍, 李生才. 星豹蛛捕食速度的初步研究. *河北农业科学*, 2010, 14(12): 46-49.
ZHANG B, MA M, GE Y Z, LI S C. Study on speed of predation of *Pardosa astrigera* L. Koch. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2010, 14(12): 46-49.
- [62] 雷朝亮, 宗良炳, 钟昌珍, 高军. 星豹蛛捕食功能反应及数学模拟的研究. *昆虫天敌*, 1991, 13(2): 71-74.
LEI C L, ZONG L B, ZHONG C Z, GAO J. Study on the functional response and mathematical simulation of *Pardosa astrigera* to its prey. *Natural Enemies of Insects*, 1991, 13(2): 71-74.
- [63] HUANG X, QUAN X Y, WANG X, YUN Y L, PENG Y. Is the spider a good biological control agent for *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)? *Zoologia*, 2018, 35: e23481.
- [64] 张洪刚, 鲁新, 何康来, 王振营. 亚洲玉米螟抗寒及低温生存对策. *植物保护学报*, 2010, 37(5): 398-402.
ZHANG H G, LU X, HE K L, WANG Z Y. Cold-resistant and low-temperature survival strategies for Asian corn borer. *Journal of Plant Protection*, 2010, 37(5): 398-402.
- [65] 刘佳. 星豹蛛对温度诱导的耐性机理研究. 晋中: 山西农业大学博士学位论文, 2014.
LIU J. Mechanisms of tolerance induced by temperature in *Pardosa astrigera* L. Koch. PhD Thesis. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2014.
- [66] 马敏, 张宾, 李生才. 温度对星豹蛛保护酶系影响的研究. *化学与生物工程*, 2011, 28(1): 59-61.
MA M, ZHANG B, LI S C. Effect of temperature on protection enzymes of *Pardosa astrigera*. *Chemistry & Bioengineering*, 2011, 28(1): 59-61.
- [67] 冯宏祖, 刘映红, 何林, 陆蕊娥, 杨大兴. 阿维菌素和温度胁迫对朱砂叶螨自由基及保护酶活性的影响. *植物保护学报*, 2008, 35(6): 530-536.
FENG H Z, LIU Y H, HE L, LU R E, YANG D X. Effects of abamectin and temperature stresses on free radicals and protective enzyme activities in *Tetranychus cinnabarinus*. *Journal of Plant Protection*, 2008, 35(6): 530-536.
- [68] 宋月芹, 孙会忠, 仵均祥, 刘延虹. 不同温度对甜菜夜蛾保护酶活性的影响. *西北农业学报*, 2009, 18(3): 285-288.
SONG Y Q, SUN H Z, WU J X, LIU Y H. Effects of temperature on survival rate and protection enzymes of *Spodoptera exigua*. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2009, 18(3): 285-288.
- [69] 张徐. 低温对椰心叶甲成虫体内几种抗寒物质含量的影响. *热带作物学报*, 2013, 34(5): 942-946.
ZHANG X. Effect of low temperature on the content of cold-tolerant substances in the adult of *Brontispa longissima* (Gestro). *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2013, 34(5): 942-946.
- [70] ANDORFER C A, DUMAN J G. Isolation and characterization of cDNA clones encoding antifreeze proteins of the pyrochroid beetle *Dendroides canadensis*. *Journal of Insect Physiology*, 2000, 46(3): 365-372.
- [71] 李锐, 刘佳, 李萨丽, 李娜, 李生才, 洪坚平. 温度诱导对星豹蛛热激蛋白 *hsp70* 和 *hsp90* 基因表达的影响. *植物保护学报*, 2015, 42(3): 321-326.
LI R, LIU J, LI S L, LI N, LI S C, HONG J P. Effects of temperature induction on the expression level of *hsp70* and *hsp90* gene in *Pardosa astrigera* L. Koch. *Journal of Plant Protection*, 2015, 42(3): 321-326.

- [72] DAVIS A K, FARREY B D, ALTIZER S. Variation in thermally induced melanism in monarch butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae) from three North American populations. *Journal of Thermal Biology*, 2005, 30(5): 410-421.
- [73] KUYUCU A C, SAHIN M K, CAGLAR S S. The relation between melanism and thermal biology in a colour polymorphic bush cricket, *Isophya rizeensis*. *Journal of Thermal Biology*, 2017, 71(1): 83-90.
- [74] 彭宇, 胡萃, 赵敬钊, 文正在. 真水狼蛛的抗逆力研究. *蛛形学报*, 1999(2): 72-75.
PENG Y, HU C, ZHAO J Z, WEN Z Z. Studies on stress resistances of *Pirata piraticus* (Clerck) (Araneae: Lycosidae). *Acta Arachnologica Sinica*, 1999(2): 72-75.
- [75] 刘凤想, 肖群支, 常瑾, 赵敬钊. 蜘蛛抗逆能力的研究. *蛛形学报*, 2005, 14(1): 42-46.
LIU F X, XIAO Q Z, CHANG J, ZHAO J Z. Study on the adversity tolerance of spiders (Araneae). *Acta Arachnologica Sinica*, 2005, 14(1): 42-46.
- [76] 文乐雷, 杨帆, 陈悦悦, 郭莹莹, 汪霜玉, 焦晓国. 星豹蛛和拟环纹豹蛛抗逆性比较研究. *湖北大学学报(自然科学版)*, 2015, 37(3): 231-234.
WEN L L, YANG F, CHEN Y Y, GUO Y Y, WANG S Y, JIAO X G. Comparison of stress tolerance between the two wolf spiders *Pardosa astrigera* and *Pardosa pseudoannulata*. *Journal of Hubei University (Natural Science)*, 2015, 37(3): 231-234.
- [77] 肖永红, 贺庆梅, 查乐, 刘小英, 黄志军. 四种杀虫剂对拟环纹豹蛛 (*Pardosa pseudoannulata*) 肠黏膜通透性的影响. *生态学报*, 2009, 29(1): 192-198.
XIAO Y H, HE Q M, ZHA L, LIU X Y, HUANG Z J. Effects of four insecticides on intestinal mucosa permeability of the wolf spider *Pardosa pseudoannulata*. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 192-198.
- [78] 邓玲玲, 许木启, 戴家银, 曹宏, 李枢强. 农药对农田蜘蛛生态效应的研究进展. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(4): 509-513.
DENG L L, XU M Q, DAI J Y, CAO H, LI S Q. Research progress on ecological effects of insecticides on spiders in croplands. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2005, 11(4): 509-513.
- [79] 袁泽斌, 郭钢钢, 白晓雪, 常俊楠, 李慧芳, 李锐. 除草剂对星豹蛛活动行为的影响. *植物保护学报*, 2017, 44(2): 324-330.
YUAN Z B, GUO G G, BAI X X, CHANG J N, LI H F, LI R. Effects of herbicides on the behavior of spider *Pardosa astrigera* Koch. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2017, 44(2): 324-330.
- [80] 李娜, 李锐, 马敏, 李生才. 3种杀虫剂对星豹蛛的室内毒力测定. *山西农业科学*, 2014, 42(9): 999-1002.
LI N, LI R, MA M, LI S C. Indoor toxicity determination of three insecticides on *Pardosa astrigera*. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2014, 42(9): 999-1002.
- [81] 李锐, 李萨丽, 李娜, 李生才, 洪坚平. 低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食桃蚜功能模型的影响. *植物保护学报*, 2014, 41(6): 711-716.
LI R, LI S L, LI N, LI S C, HONG J P. The effects of low doses of insecticides on predation of green peach aphid *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) by a wolf spider *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae). *Acta Phytophylacica Sinica*, 2014, 41(6): 711-716.
- [82] 李锐, 李娜, 刘佳, 李生才, 洪坚平. 低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理. *生态学报*, 2014, 34(10): 2629-2637.
LI R, LI N, LIU J, LI S C, HONG J P. The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(10): 2629-2637.
- [83] 李萨丽, 李娜, 张晓阳, 李锐, 李生才, 洪坚平. 重金属铅铬对星豹蛛体内几种重要酶活性的影响. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2015, 35(6): 637-643.
LI S L, LI N, ZHANG X Y, LI R, LI S C, HONG J P. Effects of plumbum and chromium stressed on activities of some enzymes in wolf spider, *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae). *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2015, 35(6): 637-643.
- [84] HENDRICKX F, MAELFAIT J P, LENS L. Relationship between fluctuating asymmetry and fitness within and between stressed and unstressed populations of the wolf spider *Pirata piraticus*. *Journal of Evolutionary Biology*, 2010, 16(6): 1270-1279.
- [85] 张奔, 周敏强, 王娟, 蒲毅, 张丽, 袁明龙. 我国苜蓿害虫种类及研究现状. *草业科学*, 2016, 33(4): 785-812.
ZHANG B, ZHOU M Q, WANG J, PU Y, ZHANG L, YUAN M L. Species checklist and research status of alfalfa insect pests reported in China. *Pratacultural Science*, 2016, 33(4): 785-812.

(责任编辑 武艳培)