

DOI: 10.12357/cjea.20230176

王永珍, 冯怡琳, 赵文智, 杨荣, 刘继亮. 绿洲农田玉米和牧草种植对地表节肢动物群落结构的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(11): 1721-1732

WANG Y Z, FENG Y L, ZHAO W Z, YANG R, LIU J L. Effects of maize and forage planting on the community structure of ground-dwelling arthropods in oasis farmland[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2023, 31(11): 1721-1732

绿洲农田玉米和牧草种植对地表节肢动物群落结构的影响*

王永珍^{1,2}, 冯怡琳³, 赵文智^{1,2}, 杨荣^{1,2}, 刘继亮^{1,2**}

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院 兰州 730000; 2. 中国科学院大学 北京 100049; 3. 宁夏大学 银川 750021)

摘要: 绿洲农田集约化经营强烈影响土壤动物多样性及其功能, 地表节肢动物是绿洲农田生态系统重要的大型土壤动物类群, 其群落组成及功能性状对农田植物覆盖变化的响应十分敏感。本文以河西走廊中部的张掖绿洲为研究区, 利用陷阱法系统调查了玉米和牧草(箭筈豌豆和紫花苜蓿)种植小区生长季和非生长季地表节肢动物种类组成及数量变化, 确定农田作物和牧草覆盖变化对土壤动物群落结构的影响规律。结果表明: 1) 玉米、箭筈豌豆和紫花苜蓿3种农田地表节肢动物群落组成明显不同并存在季节变异, 生长季紫花苜蓿田地地表节肢动物群落组成与玉米田及豌豆田之间差异较大, 非生长季3种农田地表节肢动物群落组成差异变小; 2) 生长季紫花苜蓿田地地表节肢动物活动密度、物种丰富度、多样性和均匀度指数均显著高于玉米田和箭筈豌豆田, 非生长季紫花苜蓿和箭筈豌豆田地地表节肢动物物种丰富度和多样性指数显著高于玉米田; 3) 生长季紫花苜蓿田捕食性地表节肢动物活动密度显著高于箭筈豌豆田和玉米田, 紫花苜蓿田植食性地表节肢动物在生长季和非生长季也都显著高于箭筈豌豆田和玉米田, 玉米田和箭筈豌豆田的捕食性和植食性地表节肢动物活动密度的比值在生长季和非生长季都高于紫花苜蓿田; 4) 蝗科、蓟马科、叶蝉科和蚜科等植食性地表节肢动物在紫花苜蓿田的活动密度显著高于箭筈豌豆田和玉米田, 平腹蛛科、狼蛛科和步甲科等捕食性地表节肢动物在紫花苜蓿田的活动密度也显著高于箭筈豌豆田和玉米田。总之, 干旱区多年生牧草种植会通过增加植食性地表节肢动物的种类和数量提升绿洲农田地表节肢动物群落中有益种群的数量及多样性, 进而提升农田害虫的生物防治功能。

关键词: 绿洲农田; 玉米; 牧草; 地表节肢动物; 群落结构; 营养结构

中图分类号: Q958

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



Effects of maize and forage planting on the community structure of ground-dwelling arthropods in oasis farmland*

WANG Yongzhen^{1,2}, FENG Yilin³, ZHAO Wenzhi^{1,2}, YANG Rong^{1,2}, LIU Jiliang^{1,2**}

(1. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Intensive management of oasis farmland has pronounced negative effects on the diversity and function of soil-dwelling an-

* 中国科学院战略性先导科技专项 A (XDA23060302, XDA23060304) 和国家自然科学基金项目 (41771290) 资助

** 通信作者: 刘继亮, 主要研究方向为干旱区土壤动物生态地理学研究。E-mail: liujl707@lzb.ac.cn

王永珍, 主要研究方向为干旱区土壤动物多样性及其功能研究。E-mail: 18734244283@163.com

收稿日期: 2023-04-06 接受日期: 2023-08-29

* This study was supported by the Special Fund for Strategic Pilot Technology of Chinese Academy of Sciences A (XDA23060302, XDA23060304) and the National Natural Science Foundation of China (41771290).

** Corresponding author, E-mail: liujl707@lzb.ac.cn

Received Apr. 6, 2023; accepted Aug. 29, 2023

<http://www.ecoagri.ac.cn>

imals. Ground-dwelling arthropods comprise an important group of soil macrofauna that inhabit oasis agroecosystems. Their community composition and functional traits are particularly sensitive to changes in farmland plant coverage. In this study, we systematically investigated the changes in the species composition and quantity of ground-dwelling arthropods during the growing and non-growing seasons of maize field and forages (vetch and alfalfa) fields in the Zhangye Oasis of the Hexi Corridor, China, using a trap method. We also determined the influence of farmland crops and changes in grazing cover on arthropod community structure. We detected significant differences in the community composition of ground-dwelling arthropods in the maize, vetch, and alfalfa fields, as well as seasonal variation. The community composition in alfalfa field was significantly different from that in both maize and vetch fields during the growing season, although comparatively little difference among fields was detected in the non-growing season. During the growing season, the activity density and species richness, diversity, and evenness indices of ground-dwelling arthropods in the alfalfa field were significantly higher than those of arthropods inhabiting the maize and vetch fields. During the non-growing season, the species richness and diversity indices of ground-dwelling arthropods in the alfalfa and vetch fields were significantly higher than those in the maize fields. Furthermore, during the growing season, the activity density of predatory ground-dwelling arthropods in the alfalfa field was significantly higher than that in the vetch and maize fields. Similarly, during both the growing and non-growing seasons, the activity density of phytophagous arthropods in the alfalfa field was significantly higher than in the vetch and maize fields. However, in both seasons, the activity density ratio of predatory phytophagous arthropods in the maize and vetch fields was significantly higher than that in alfalfa field. In addition, we found that in the alfalfa field, the activity densities of herbivorous ground-dwelling arthropods (including those in the families Acridoidea, Thripidae, Cicadellidae, and Aphididae) were significantly higher than those in the vetch and maize fields. Similarly, in the alfalfa field, the activity densities of predatory ground-dwelling arthropods (including those in the families Gnaphosidae, Lycosidae, and Carabidae) were significantly higher than those in the other two fields. Collectively, the findings of this study reveal that the planting of perennial herbage in arid areas can contribute to increased number and diversity of beneficial populations among surface-dwelling arthropods inhabiting oasis farmlands, notably by promoting increases in the diversity and population size of herbivorous arthropod species. This in turn contributes the enhanced biological control of farmland pests.

Keywords: Oasis farmland; Maize; Forage; Ground-dwelling arthropods; Community structure; Trophic structure

河西走廊绿洲农业发展历史悠久,其耕地面积占甘肃省耕地总面积的 22.0%,粮食产量占全省的 30.4%,是甘肃省主要的粮食基地和全国的种业基地。近年来,玉米(*Zea mays*)及蔬菜种业的快速发展导致河西走廊作物多样性降低和一些非农田生境丧失,绿洲农田景观多样性降低,严重影响绿洲的安全与稳定^[1-4]。此外,农药、化肥和地膜的长期使用导致绿洲农田土壤中有毒有害物质大量富集,土壤生物多样性及土壤多功能性下降,严重威胁土壤健康^[5-8]。紫花苜蓿(*Medicago sativa*, 多年生豆科牧草)和箭筈豌豆(*Vicia sativa*, 一年生豆科牧草)是我国西北地区重要的豆科牧草,多年生紫花苜蓿根系发达,营养价值丰富,在改善土壤结构的同时还能提高土壤氮素养分,对撂荒地、农田和矿区的土壤起到一定的改良作用^[9];箭筈豌豆作为一年生豆科植物,具有较强的耐旱、耐贫瘠以及抗逆性,生物固氮能力强,对土壤退化起到一定抑制作用^[10]。绿洲农田种植豆科牧草不仅可以调整作物种植结构,增加农田景观多样性,还可以提升农田土壤生物多样性^[11]。绿洲农田土壤生物多样性及其生态功能的提高,不仅可以提升农田病虫害的生物防治功能,还可以降低农药及地膜等有毒有害物质积累,逐步恢复农田土壤健康^[12-14]。

一年生和多年生牧草种植与玉米和小麦(*Triticum aestivum*)等作物种植会对土壤表栖和土栖节肢动物群落结构产生不同影响并存在年际变异,评估豆科牧草与作物种植对农业害虫及天敌关系变化的影响可为绿洲农田害虫生物防治提供科学依据和数据支撑^[15-18]。

地表节肢动物是绿洲农田主要的土壤动物类群,它在扰动土壤、枯落物分解和病虫害防治方面扮演重要角色,其多样性可用于评价绿洲农田土壤质量及健康变化^[19]。绿洲农田土壤动物的数量及多样性随着农田耕作时间的增加而增长,作物种类及种植结构变化强烈影响表栖和土栖节肢动物群落中害虫和天敌的关系、土壤动物多样性及其生态功能^[20-22]。豆科牧草种植与作物相比可以改善土壤环境,并通过资源的上行效应提高对农田害虫天敌的保育作用^[21,23]。苜蓿等多年生牧草与作物的间作和套作等能通过天敌的溢出效应增强蜘蛛(Araneida)和步甲(Carabidae)等天敌昆虫的种类和数量,从而增强农田作物的生物防治功能^[24-27]。紫花苜蓿和箭筈豌豆是绿洲农田种植较多的两种豆科牧草,牧草种植对土壤水分利用效率和土壤肥力变化的影响研究较多,而对土壤动物多样性及其功能影响的认识十分有限。鉴于此,本研究利用绿洲农田草田轮作试验平台,解

析玉米和两种豆科牧草种植在生长季和非生长季地表节肢动物群落结构的变化规律, 确定作物和不同种类牧草种植对地表节肢动物营养动态的影响及调控作用, 为干旱区利用牧草间套作改良土壤和提高农田生物防治功能提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

张掖绿洲位于河西走廊中段和黑河中游, 它是河西走廊最大的一块人工绿洲。中国科学院临泽内陆河流域研究站 (100°07'E, 39°21'N, 简称“临泽站”), 位于张掖绿洲西北部边缘, 是开展绿洲、荒漠及过渡带生态水文过程研究的理想区域 (图 1)。研究区气候属于温带大陆性干旱荒漠气候, 冬季降雪和春季降雨稀少, 且存在年际变化, 夏秋季降雨增多, 多

年平均降雨量为 117.0 mm, 年平均气温为 7.6 °C, 年平均蒸发量为 2390 mm, 干燥度高达 20.4。研究区地带性土壤为灰棕漠土和风沙土, 绿洲内部农田长期灌溉形成灌淤土。张掖绿洲农田采用小畦灌溉种植, 主要粮食作物为玉米、小麦和大豆 (*Glycine max*), 经济作物有甜叶菊 (*Stevia rebaudiana*) 和甜菜 (*Beta vulgaris*) 等, 油料作物有向日葵 (*Helianthus annuus*) 和胡麻 (*Sesamum indicum*) 等。近年来, 由于玉米制种业的快速发展, 玉米连作逐渐成为该区主要种植方式, 其连续种植年限最长超过 20 年。紫花苜蓿和箭筈豌豆是张掖绿洲主要的牧草种, 可用作牲畜饲料和改良土壤, 新垦沙地农田通常会种植紫花苜蓿和箭筈豌豆来改善土壤结构和提升肥力。箭筈豌豆的生育期较短, 多为一年生, 收获后土地翻耕闲置; 紫花苜蓿为多年生, 可连续生长 3~5 年。

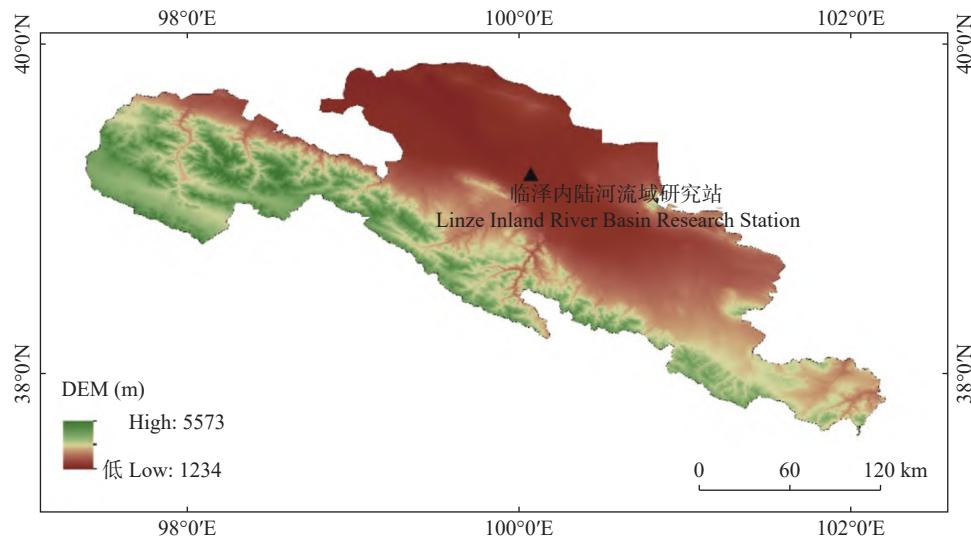


图 1 研究区中国科学院临泽内陆河流域研究站地理位置

Fig. 1 Location of the study areas of Linze Inland River Basin Research Station, Chinese Academy of Sciences

1.2 试验设计与样品采集

研究样地位于临泽站草田轮作长期试验样地, 该样地于 2020 年建立, 采用随机区组设计。每个试验小区面积为 4 m×6 m, 小区之间有田埂隔离, 试验处理包括紫花苜蓿连作、箭筈豌豆连作、玉米和豌豆间作、玉米连作、小麦和箭筈豌豆轮作及小麦、牧草和玉米轮作 6 种模式, 每个处理重复 3 次, 一共 18 个小区。本文选择连续种植玉米、紫花苜蓿和箭筈豌豆的小区, 比较生长季和非生长季玉米、箭筈豌豆和紫花苜蓿种植对地表节肢动物多样性的影响。玉米每年 4 月中旬种植, 9 月下旬收割; 箭筈豌豆每年 4 月下旬种植, 7 月下旬收割, 收割后小区翻耕闲

置; 紫花苜蓿于 2020 年种植, 每年分别于 6 月上旬、7 月下旬和 9 月中旬收割, 共 3 次。玉米种植需要施底肥和追肥, 箭筈豌豆和紫花苜蓿种植不需要施肥, 玉米、箭筈豌豆和紫花苜蓿种植小区生长季灌溉及除草管理措施相近。2021 年春季在玉米、箭筈豌豆和紫花苜蓿连作小区设置地表节肢动物样品调查区, 每个处理小区布设 4 个陷阱收集器。玉米小区 2 个陷阱收集器位于玉米种植区, 2 个陷阱收集器位于玉米种植区之间; 两种牧草小区 2 个陷阱收集器位于牧草根际, 2 个陷阱收集器位于根间。陷阱收集器与处理小区边缘保持 50 cm 以上的距离, 每个陷阱采集点间距至少大于 2 m (图 2)。2021 年选择作物生长

季的 5 月、6 月和 7 月收集地表节肢动物样品, 用来代表生长季地表节肢动物群落; 10 月上旬玉米和紫

花苜蓿收割后再收集一次地表节肢动物样品, 用来代表作物非生长季地表节肢动物群落。

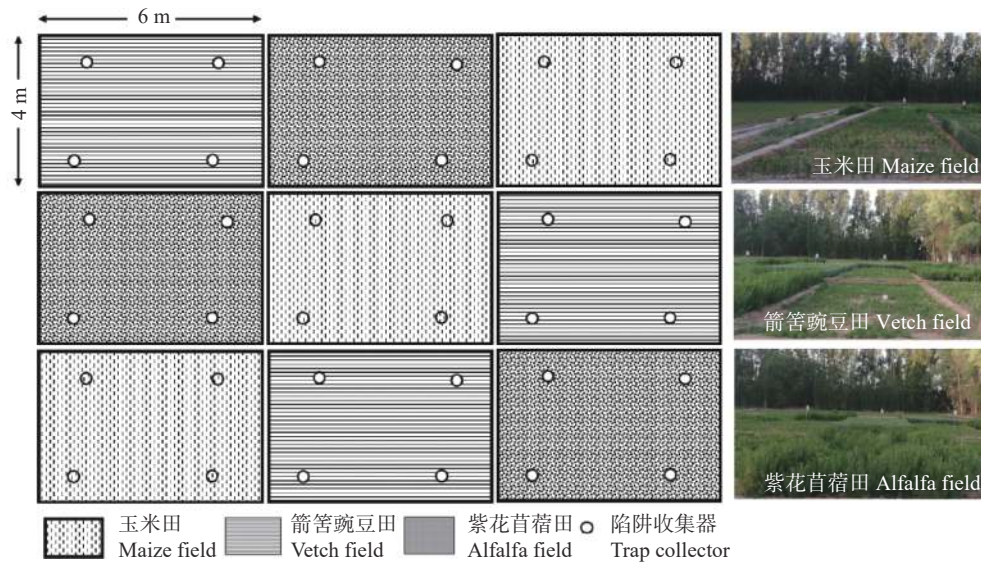


图 2 农田土壤动物采样区试验布设图

Fig. 2 Experimental layout diagram of sampling areas for farmland soil animal

地表节肢动物利用陷阱收集器收集(由一次性塑料杯和 PVC 管制作成的双层结构), 它可以有效阻止地表节肢动物样品溢出及人和动物踩踏对陷阱收集器造成的破坏。陷阱保存液为 75% 酒精, 陷阱采集时间为 7 d。陷阱采集的地表节肢动物样品带回室内利用浮选法去除枯落物和土壤, 收集的地表节肢动物样品保存在装有 75% 酒精溶液的 PET 样品瓶中。地表节肢动物样品利用体式显微镜观察其形态特征, 部分样品制成针插标本, 参照分类资料鉴定至科和属(种), 部分种类鉴定至属(种)用于划分取食类型等功能性状信息, 按照科统计其个体数量并计算多样性指数^[28-31]。

1.3 数据处理

玉米、箭筈豌豆和紫花苜蓿田获得的地表节肢动物样品合并统计, 计算 3 种农田地表节肢动物的相对多度, 并划分为优势类群(相对多度>10%)、常见类群(1%~10%)和稀有类群(<1%)。

采用以下指数分析群落结构特征:

$$H' = -\sum_{i=1}^s (P_i \times \ln P_i) \quad (1)$$

$$E = H' / \ln S \quad (2)$$

式中: H' 为多样性指数; $P_i = N_i / N$, P_i 为每个样地中第 i 个物种个体密度占该样地大型土壤动物总数的比例, N_i 为第 i 个物种的个体数, N 为所在群落所有物种个体数之和; E 为 Pielou 均匀度指数; S 代表群落中的

总物种数。

3 种农田作物生长季 3 次采样数据合并统计, 计算作物生长季和非生长季地表节肢动物活动密度(每个收集器捕获的地表节肢动物的头数)、类群丰富度(每个收集器捕获的地表节肢动物的科数)、多样性指数和 Pielou 均匀度指数, 统计分析使用 Past 4.01 软件包。3 种农田生长季和非生长季捕获的地表节肢动物按照取食类型划分为捕食性、植食性和其他食性(非捕食性和植食性类群), 统计捕食性、植食性和其他食性地表节肢动物活动密度和类群丰富度。计算不同农田捕食性和植食性节肢动物活动密度的比值, 这个比值可以用来衡量作物生长季和非生长季农田的生物防治功能。利用二因素方差分析比较农田作物种类、采样时间及二者交互作用对地表节肢动物群落结构参数、营养功能群及主要类群活动密度的影响, 统计分析使用 SPSS 25.0 软件包。

利用非度量多维尺度(NMDS)排序和多元方差(PERMANOVA)分析玉米、箭筈豌豆和紫花苜蓿田作物生长季和非生长季地表节肢动物群落组成的差异, 再利用相似性百分比(SIMPER)确定生长季和非生长季农田地表节肢动物平均相异性和主要地表节肢动物类群的贡献率, 统计分析使用 Past 4.01 软件包。NMDS 排序结果采用胁迫系数(胁迫值, Stress)衡量, 其中 $\text{Stress} < 0.01$, 完全可信; $0.01 < \text{Stress} < 0.05$, 可信; $0.05 < \text{Stress} < 0.1$, 基本可信; $0.1 < \text{Stress} < 0.2$, 部分

信息不可信; $0.2 < \text{Stress} < 0.3$, 不可信^[32]。

2 结果与分析

2.1 玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田地表节肢动物群落组成及数量变化

玉米、箭筈豌豆和紫花苜蓿田生长季和非生长季共采集 4771 头地表节肢动物, 它们分属 3 纲 42 科。蚁科 (Formicidae) 和狼蛛科 (Lycosidae) 是优势土壤动物类群, 平腹蛛科 (Gnaphosidae)、蟹蛛科 (Thomisidae)、虎甲科 (Cicindelidae)、步甲科 (Carabidae)、蚁形甲科 (Anthicidae)、隐翅虫科 (Staphylinidae)、蠼螋科 (Labiduridae)、蝗科 (Acrididae)、蓟马科 (Thripidae)、叶蝉科 (Cicadellidae)、蚜科 (Aphididae)、隐食甲科 (Cryptophagidae) 和拟球甲科 (Corylophidae) 13 个科是常见土壤动物类群, 稀有类群有 27 科, 它们的个体数占 3.9%。玉米田共捕获 1231 头 31 科地表节肢动物, 蚁科、蠼螋科、狼蛛科和蚁形甲科是其主要节肢动物类群, 逍遥蛛科 (Philodromidae)、龟甲科 (Cassidae)、花金龟科 (Cetoniidae) 和摇蚊科 (Chironomidae) 是其特有的节肢动物类群; 玉米田非生长季捕获的蠼螋科和狼蛛科的比重高于生长季, 而蚁科的比重变化与蠼螋科和狼蛛科相反 (见电子版附表 1)。箭筈豌豆田共捕获 1496 头 31 科地表节肢动物, 蚁科、狼蛛科、拟球甲科、步甲科和蠼螋科是箭筈豌豆田主要节肢动物类群, 球腹蛛科 (Theridiidae) 是箭筈豌豆田特有的节肢动物类群; 箭筈豌豆田非生长季捕获的蠼螋科、步甲科和拟球甲科的比重高于生长季, 而蚁科和狼蛛科的比重变化与蠼螋科等相反 (见电子版附表 1)。紫花苜蓿田共捕获 2044 头 37 科地表节肢动物, 蚁科、狼蛛科、叶蝉科和步甲科是苜蓿田主要节肢动物类群, 地蜈蚣科 (Geophilidae)、叶甲科 (Chrysomelidae)、蜉金龟科 (Aphodiidae) 等 6 科是紫花苜蓿田特有的节肢动物类群; 紫花苜蓿田非生长季捕获的蚁科和步甲科的比重高于生长季, 狼蛛科、蚜科和叶蝉科的比重变化与蚁科等相反 (见电子版附表 1)。

2.2 玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田地表节肢动物群落比较

玉米、箭筈豌豆、紫花苜蓿田生长季和非生长季的 PERMANOVA 分析结果表明, 农田类型 (玉米、箭筈豌豆和紫花苜蓿田) 和采样时间 (生长季和非生长季) 及二者交互作用均对地表节肢动物群落组成有显著影响 ($F=9.51, P<0.001$; $F=14.51, P<0.001$; $F=7.30, P<0.001$) (表 1)。NMDS 排序结果表明, 紫花苜蓿田地表节肢动物群落组成与箭筈豌豆和玉米田不同,

并存在一定季节差异, 即生长季紫花苜蓿田地表节肢动物群落组成与玉米田及箭筈豌豆田之间差异较大, 玉米田和箭筈豌豆田之间的群落组成差异较小; 非生长季 3 种农田地表节肢动物群落组成差异均较小 (图 3)。作物生长季 3 种农田地表节肢动物群落组成显著不同 ($F=14.35, P<0.001$), SIMPER 分析结果表明, 紫花苜蓿田与玉米和箭筈豌豆田地表节肢动物群落的平均相异性 (60.3% 和 54.4%) 高于玉米和箭筈豌豆田 (40.9%); 蚁科、狼蛛科、叶蝉科和蚜科解释了紫花苜蓿田与箭筈豌豆和玉米田地表节肢动物群落差异的 65.4% 和 67.5%, 蚁科和狼蛛科解释了玉米和箭筈豌豆田地表节肢动物群落差异的 56.9%。作物非生长季 3 种农田地表节肢动物群落组成也存在明显不同 ($F=5.47, P<0.001$), 玉米、箭筈豌豆和紫花苜蓿田间地表节肢动物群落组成均明显不同。SIMPER 分析结果表明, 玉米、箭筈豌豆和紫花苜蓿田间地表节肢动物群落组成的平均相异性为 59.7%、55.9% 和 64.9%; 蚁科、拟球甲科和蠼螋科解释了箭筈豌豆田与玉米田、紫花苜蓿田地表节肢动物群落组成差异的 59.6%、54.5%, 蚁科、蠼螋科和叶蝉科目解释了玉米田和紫花苜蓿田地表节肢动物群落差异的 53.6%。

农田类型对地表节肢动物活动密度、物种丰富度、多样性和均匀度指数均有显著影响, 地表节肢动物物种丰富度和均匀度指数还受采样期的显著影响, 采样期和农田类型交互作用均对地表节肢动物丰富度、多样性和均匀度指数有显著影响 (表 1)。不考虑作物类型, 农田作物生长季地表节肢动物活动密度、物种丰富度和多样性指数均高于非生长季; 地表节肢动物物种丰富度在作物生长季显著高于非生长季, 地表节肢动物均匀度指数变化与物种丰富度相反 (图 4)。农田作物生长季紫花苜蓿田地表节肢动物活动密度、物种丰富度、多样性和均匀度指数均显著高于玉米和箭筈豌豆田; 作物非生长季 3 种农田间地表节肢动物活动密度和均匀度指数差异较小, 箭筈豌豆和紫花苜蓿田地表节肢动物物种丰富度和多样性指数均显著高于玉米田 (图 4)。

2.3 玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田地表节肢动物营养结构比较

农田类型和采样时间及二者交互作用均对捕食性地表节肢动物活动密度有显著影响, 农田类型及其与采样时间的交互作用对植食性地表节肢动物活动密度有显著影响, 农田类型和采样时间及二者交互作用对其他食性地表节肢动物活动密度的影响较

表 1 农田类型、采样时间及二者交互作用对地表节肢动物群落结构、营养结构及主要种群活动密度影响二因素方差分析
Table 1 The results of two-way ANOVAS of impacts of farmland type, sampling period and their interaction on community structure, trophic structure and activity densities of dominant families of ground-dwelling arthropods

	采样时间 Sampling period (SP)		农田类型 Farmland type (FT)		SP×FT	
	F	P	F	P	F	P
群落结构 Community structure						
活动密度 Activity density	0.136	0.713	9.095	<0.001	1.223	0.301
物种丰富度 Species richness	84.426	<0.001	17.855	<0.001	4.377	0.016
多样性指数 Diversity index	0.454	0.503	19.705	<0.001	14.125	<0.001
均匀度指数 Evenness index	81.926	<0.001	4.348	0.017	11.039	<0.001
营养结构 Trophic structure						
捕食性节肢动物 Predatory arthropods	15.845	<0.001	8.152	0.001	11.217	<0.001
植食性节肢动物 Phytophagous arthropods	0.895	0.348	58.724	<0.001	6.928	0.002
其他食性节肢动物 Other arthropods	0.865	0.356	0.861	0.427	1.528	0.225
捕食性/植食性比值 Ratio of predatory and phytophagous	0.048	0.827	10.662	<0.001	3.891	0.025
主要类群活动密度 Activity density of dominant family						
平腹蛛科 Gnaphosidae	21.475	<0.001	7.653	0.001	13.803	<0.001
狼蛛科 Lycosidae	6.498	0.013	20.397	<0.001	7.587	0.001
蟹蛛科 Thomisidae	19.827	<0.001	1.149	0.323	2.178	0.121
虎甲科 Cicindelidae	12.451	0.001	6.322	0.003	6.322	0.003
步甲科 Carabidae	23.482	<0.001	10.967	<0.001	0.728	0.487
隐翅虫科 Staphylinidae	7.316	0.009	12.766	<0.001	0.690	0.505
蚁形甲科 Anthicidae	0.111	0.740	0.614	0.544	0.388	0.680
蠹螋科 Labiduridae	58.356	<0.001	12.077	<0.001	7.383	0.001
蝗科 Acrididae	1.646	0.204	15.022	<0.001	3.524	0.035
蓟马科 Thripidae	22.223	<0.001	9.272	<0.001	7.035	0.002
叶蝉科 Cicadellidae	0.613	0.436	30.289	<0.001	1.542	0.222
蚜科 Aphididae	14.296	<0.001	43.010	<0.001	19.129	<0.001
隐食甲科 Cryptophagidae	1.166	0.284	8.402	0.001	0.270	0.764
拟球甲科 Corylophidae	6.119	0.016	6.046	0.004	6.578	0.002
蚁科 Formicidae	2.470	0.121	0.428	0.654	7.965	0.001

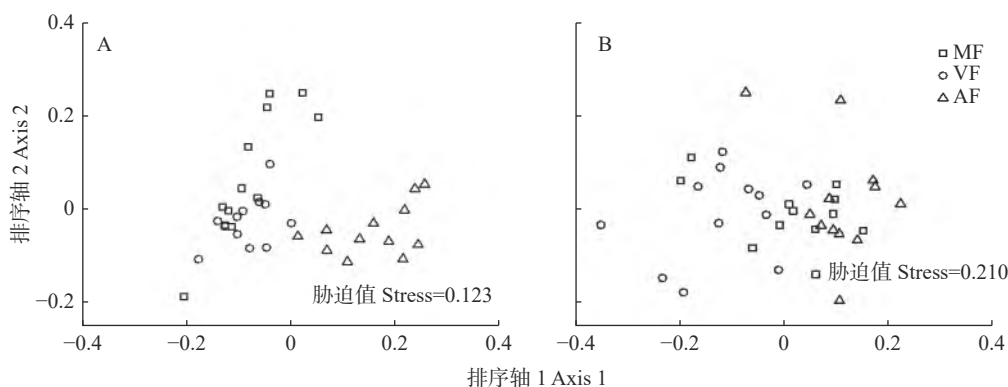


图 3 玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田生长季 (A) 和非生长季 (B) 地表节肢动物群落的 NMDS 排序图

Fig. 3 Non-metric multidimensional scaling plots of ground-dwelling arthropods of maize field, vetch field and alfalfa field during growing season (A) and non-growing season (B)

MF、VF 和 AF 分别表示玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田。MF, VF and AF represent maize field, vetch field and alfalfa field, respectively.

小(表 1)。农田作物非生长季捕食性地表节肢动物活动密度显著高于生长季;植食性和其他食性地表节肢动物活动密度变化与捕食性地表节肢动物相反,但未达显著水平(图 5)。紫花苜蓿田生长季捕食性

地表节肢动物活动密度显著高于箭筈豌豆和玉米田,而非生长季 3 种农田地表节肢动物活动密度相差较小;紫花苜蓿田植食性地表节肢动物活动密度在生长季和非生长季均显著高于玉米和箭筈豌豆田;其

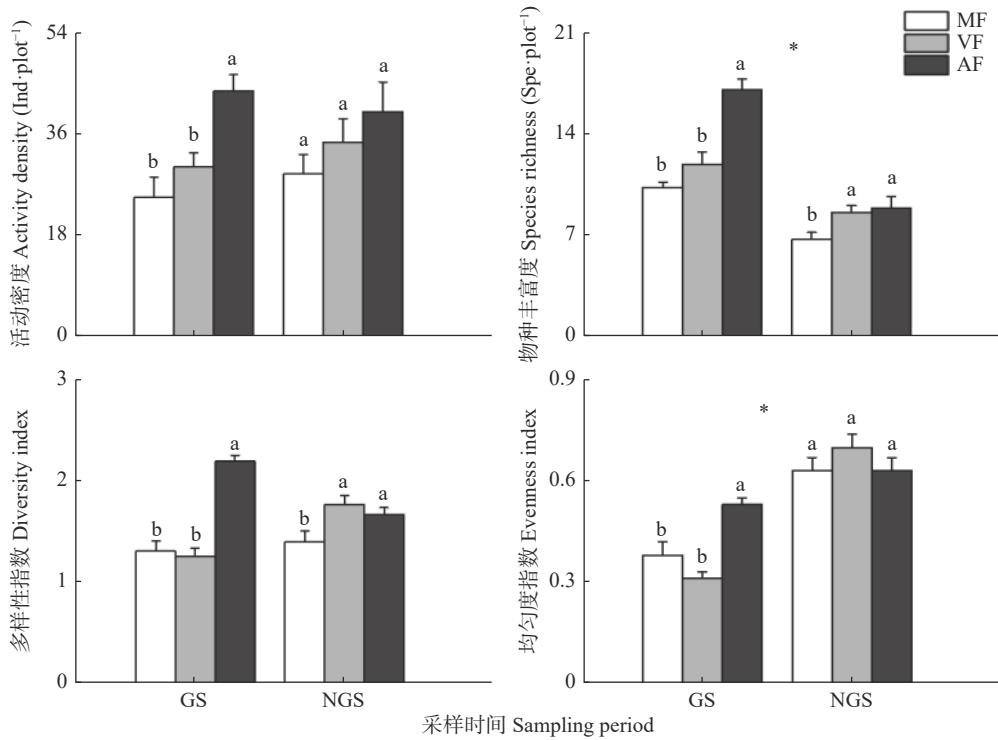


图 4 玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田生长季和非生长季地表节肢动物群落特征比较

Fig. 4 Comparison of ground-dwelling arthropods community characteristics of maize field, vetch field and alfalfa field during growing season and non-growing season

MF、VF 和 AF 分别表示玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田; GS 和 NGS 分别表示生长季和非生长季; *表示农田生长季和非生长季存在显著差异 ($P<0.05$); 不同小写字母表示同一时期不同农田间存在显著性差异 ($P<0.05$). MF, VF and AF represent maize field, vetch field and alfalfa field, respectively. GS and NGS represent growing season and non-growing season, respectively. * indicates significant differences between growing and non-growing seasons ($P<0.05$). Different lowercase letters indicate significant differences among different farmland types in the seam period ($P<0.05$).

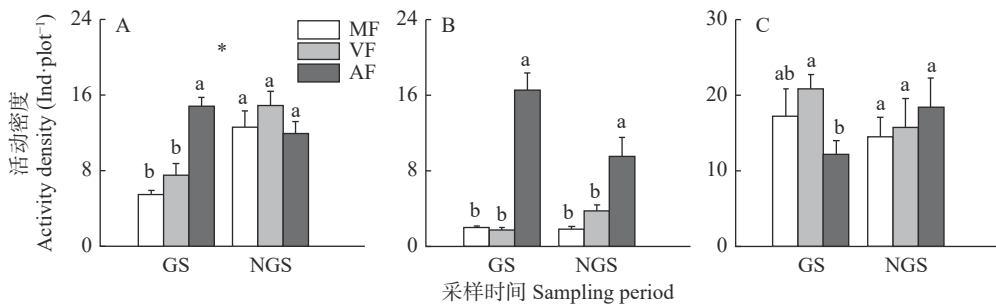


图 5 玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田生长季和非生长季捕食性 (A)、植食性 (B) 和其他食性 (C) 地表节肢动物活动密度
Fig. 5 Activity densities of predatory (A), phytophagous (B) and other arthropods (C) in maize field, vetch field and alfalfa field during growing season and non-growing season

MF、VF 和 AF 分别表示玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田; GS 和 NGS 分别表示生长季和非生长季; *表示农田生长季和非生长季存在显著差异 ($P<0.05$); 不同小写字母表示同一时期不同农田间存在显著差异 ($P<0.05$). MF, VF and AF represent maize field, vetch field and alfalfa field, respectively. GS and NGS represent growing season and non-growing season, respectively. * indicates significant differences between growing and non-growing seasons ($P<0.05$). Different lowercase letters indicate significant differences among different farmland types in the same period ($P<0.05$).

他食性地表节肢动物仅在生长季的箭筈豌豆田显著高于紫花苜蓿田 (图 5)。

捕食性和植食性地表节肢动物的比值可以反映不同类型农田天敌对害虫的抑制作用。农田类型及其与采样时间的交互作用对捕食性与植食性地表节肢动物的比值有显著影响, 而采样时间对捕食性与

植食性地表节肢动物的比值影响较小 (表 1)。农田作物生长季捕食性和植食性地表节肢动物比值低于非生长季; 生长季玉米田和箭筈豌豆田捕食性和植食性地表节肢动物比值显著高于紫花苜蓿田, 玉米田和箭筈豌豆田分别是紫花苜蓿田的 3.1 倍和 4.8 倍; 非生长季玉米和箭筈豌豆田捕食性和植食性地表节

肢动物比值也高于紫花苜蓿田,其中玉米田显著高于紫花苜蓿田,玉米和箭筈豌豆田分别是紫花苜蓿田的 5.3 倍和 3.9 倍(图 6)。

2.4 玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田主要地表节肢动物类群活动密度比较

不同地表节肢动物类群对农田类型变化响应模式不一致并存在季节变化,15 个主要地表节肢动物类群(除蟹蛛科、蚁形甲科和蚁科)对农田类型变化的响应十分敏感,其中平腹蛛科、狼蛛科、蟹蛛科、步甲科、虎甲科、隐翅虫科、蠋螋科、蓟马科、蚜科和拟球甲科对采样季节响应十分敏感;而农田类型和采样时间交互作用对平腹蛛科等 9 个类群的活动密度有显著影响(表 1)。生长季狼蛛科、隐翅虫科、蓟马科和隐食甲科的活动密度在紫花苜蓿田显著高于箭筈豌豆和玉米田,虎甲科活动密度在箭筈豌豆田显著高于玉米田和紫花苜蓿田;非生长季 5 个地表节肢动物类群的活动密度在 3 种农田间相差较小(表 2)。平腹蛛科和拟球甲科活动密度在生长季紫花苜蓿田显著高于箭筈豌豆和玉米田;非生长季箭筈豌豆田平腹蛛科活动密度显著高于玉米田,非生长季箭筈豌豆田拟球甲科活动密度显著高于玉米和紫花苜蓿田(表 2)。步甲科、蝗科和蚜科活动密度在生长季对农田类型变化的响应规律相近,其活动密度在紫花苜蓿田或箭筈豌豆田均高于玉米田,

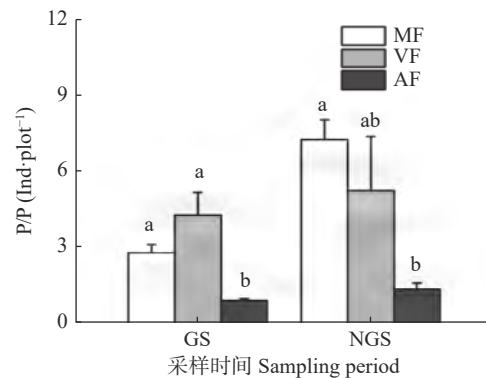


图 6 玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田生长季和非生长季捕食性与植食性地表节肢动物活动密度的比值 (P/P)

Fig. 6 Ratios of activity density of predatory and phytophagous arthropods (P/P) of maize field, vetch field and alfalfa field in growing season and non-growing season

MF、VF 和 AF 分别表示玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田;GS 和 NGS 分别表示生长季和非生长季;不同小写字母表示同一时期不同农田间存在显著差异 ($P < 0.05$)。MF, VF and AF represent maize field, vetch field and alfalfa field, respectively. GS and NGS represent growing season and non-growing season, respectively. Different lowercase letters indicate significant differences among different farmland types in the same period ($P < 0.05$).

而蠋螋科的活动密度变化与步甲科等相反。采样时间对蟹蛛科活动密度的影响较大,而对蚁形甲科和蚁科活动密度的影响较小;农田类型和采样时间交互作用对蚁科的活动密度有显著影响(表 1)。不考虑农田类型,非生长季蟹蛛科的活动密度显著高于

表 2 生长季和非生长季玉米田、箭筈豌豆田和紫花苜蓿田主要地表节肢动物类群活动密度比较

Table 2 Comparison of the activity densities of key ground-dwelling arthropods in maize field, vetch field and alfalfa field during growing season and non-growing season

科 Family	生长季 Growing season			非生长季 Non-growing season		
	玉米 Maize field	箭筈豌豆 Vetch field	紫花苜蓿 Alfalfa field	玉米 Maize field	箭筈豌豆 Vetch field	紫花苜蓿 Alfalfa field
平腹蛛科 Gnaphosidae	0.78±0.09b	0.69±0.16b	2.08±0.18a	0.17±0.11b	0.92±0.31a	0.33±0.19ab
狼蛛科 Lycosidae	1.06±0.22c	2.75±0.75b	7.36±0.64a	2.08±0.57a	1.67±0.68a	3.42±0.81a
蟹蛛科 Thomisidae	0.08±0.04a	0.08±0.06a	0.25±0.09a	1.58±0.43a	1.00±0.33a	0.67±0.31a
虎甲科 Cicindelidae	0.00±0.00b	1.28±0.44a	0.33±0.12b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
步甲科 Carabidae	0.14±0.05c	1.00±0.15b	1.94±0.32a	1.42±0.38b	3.33±0.77ab	4.25±0.79a
隐翅虫科 Staphylinidae	0.33±0.07b	0.14±0.05b	0.97±0.18a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.50±0.29a
蚁形甲科 Anthicidae	1.25±0.36a	0.81±0.31a	1.06±0.27a	1.25±0.71a	1.00±0.54a	0.50±0.29a
蠋螋科 Labiduridae	1.61±0.47a	0.39±0.11b	0.31±0.08b	5.58±1.03a	6.17±0.72a	1.58±0.51b
蝗科 Acrididae	0.08±0.04b	0.11±0.05b	1.89±0.46a	0.00±0.00b	1.42±0.47a	1.67±0.41a
蓟马科 Thripidae	0.28±0.11b	0.31±0.13b	1.50±0.38a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.08±0.08a
叶蝉科 Cicadellidae	1.00±0.16b	0.50±0.15b	6.75±1.13a	0.67±0.22b	1.25±0.35b	4.92±1.33a
蚜科 Aphididae	0.19±0.10b	0.31±0.08b	5.17±0.70a	0.67±0.28ab	0.17±0.11b	1.42±0.47a
隐食甲科 Cryptophagidae	0.14±0.05b	0.36±0.12b	0.97±0.23a	0.08±0.08a	0.25±0.13a	0.67±0.31a
拟球甲科 Corylophidae	0.03±0.03b	0.11±0.05b	0.61±0.24a	0.08±0.08b	9.50±3.68a	0.33±0.33b
蚁科 Formicidae	16.94±3.75ab	20.31±1.74a	10.42±1.61b	14.17±2.65a	6.08±1.54b	17.25±3.57a

同行不同小写字母表示同一时期不同农田类型间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。Different lowercase letters in the same row indicate significant differences among different farmland types in the same period ($P < 0.05$).

生长季; 生长季蚁科在箭筈豌豆田的活动密度高于紫花苜蓿和玉米田, 非生长季蚁科的活动密度在箭筈豌豆田显著低于玉米和紫花苜蓿田(表 2)。

3 讨论

农田生态系统中非农田生境对害虫天敌有重要的保育作用, 它可以为捕食性地表节肢动物提供食物、栖居和繁殖生境等, 非农田生境害虫及天敌的溢出会影响农田内部害虫和天敌之间的平衡关系^[17,33-35]。近年来, 一些研究也发现作物的种类和种植方式等会影响农田内部植物多样性, 从而影响农田地表节肢动物多样性及其功能, 进而影响作物产量及品质^[15,36-37]。前期研究发现绿洲农田小麦与玉米间作与单作相比会提高蜘蛛和步甲等捕食性地表节肢动物数量及多样性, 这在春季表现尤为明显^[21]。牧草与作物的间作和轮作等是干旱、半干旱区重要的种植方式, 通过提高农业景观复杂性提高地表节肢动物物种丰富度, 在维持生物多样性的同时促进农田可持续发展^[38]。多年生紫花苜蓿和一年生箭筈豌豆和毛苕子 (*Vicia villosa*) 等豆科牧草种植可以提高土壤肥力并改善土壤物理条件, 这也会影响表栖和土栖节肢动物的组成及多样性。张艳荣等^[39]在宁夏的研究发现苜蓿田与毗邻作物田相比具有较高的蜘蛛和步甲等捕食性天敌的数量及多样性, 它的辐射范围在 20 m 左右, 这与本文的研究结果相近。本文在河西走廊张掖绿洲的研究也发现紫花苜蓿和箭筈豌豆与玉米种植相比均会提高地表节肢动物活动密度和科的丰富度, 说明牧草对地表节肢动物多样性有保育作用。作物生长季牧草种植区地表节肢动物活动密度会显著高于玉米种植区, 而非生长季作物覆盖消失, 作物和非作物农田地表节肢动物捕获数量的差异缩小, 说明植物覆盖影响了地表节肢动物的组成及多样性^[40]。本研究还发现牧草田非生长季地表节肢动物的物种丰富度和多样性指数也高于玉米田, 这表明作物覆盖对地表节肢动物群落结构的影响存在一定遗留效应^[41]。地表节肢动物取食类型影响它们对牧草和玉米种植的反应模式, 捕食性地表节肢动物对作物和非作物覆盖的反应较植食性和其他食性地表节肢动物更敏感。墨西哥中西部一项研究表明, 传统耕作的玉米农田对植食性地表节肢动物及植物生长的影响较小, 但会影响捕食性地表节肢动物, 绿肥、有机肥和人工除草等农业管理模式下的玉米农田蚁科等捕食性地表节肢动物的数量较高^[42], Thorbek 等^[43]研究也得出了相似结论, 并强调捕食性

地表节肢动物对翻耕、不翻耕、表层松土、机械除草和人工割草等农业管理响应更敏感。本研究发现作物生长季牧草种植小区捕食性地表节肢动物的数量及多样性均高于玉米农田, 这与蜘蛛和步甲等捕食性地表节肢动物对牧草和作物种植的反应模式不同有关。步甲在苜蓿田边缘带与相邻作物田边缘带之间存在着明显的季节迁移, 其迁移动态的程度受不同邻作作物类型、苜蓿刈割及灌水等农田管理的显著影响^[39]。本研究还发现牧草田与玉米田相比, 耕作管理扰动小, 植食性地表节肢动物的种类和数量均较高, 这也通过资源的上行效应提升了捕食性地表节肢动物的数量及多样性, 捕食性地表节肢动物种类及数量增加还提升了它对植食性地表节肢动物的抑制作用^[21,23]。秋季牧草和玉米收割后, 牧草田和玉米田地表节肢动物活动密度差异缩小, 这与作物和牧草收获后植被覆盖效应消失, 部分地表节肢动物向非农田生境迁移有关^[35]。此外, 本研究还发现非生长季牧草田地地表节肢动物物种丰富度和多样性指数仍高于玉米田, 这表明牧草种植对绿洲农田步甲科等天敌类群有重要的保育作用和历史遗留效应^[41]。

农业景观中天然和人工草地是步甲和蜘蛛等捕食性地表节肢动物的重要栖居和繁殖生境, 草地比重增加会提高捕食性地表节肢动物的丰富度, 草地及一些边缘生境的增加有利于提高农业生态系统的生物多样性^[44]。紫花苜蓿和箭筈豌豆是河西走廊绿洲广泛种植的两种豆科牧草, 其中紫花苜蓿为多年生牧草, 主要单独种植在新垦沙地农田及其边缘, 覆盖量的增加有利于农业生产。箭筈豌豆为一年生牧草, 是我国利用最广泛的绿肥、饲草作物之一, 它可以与作物间作、轮作, 是一种优良的草料作物。箭筈豌豆田和紫花苜蓿田在两种生长期的地表节肢动物群落组成明显不同, 作物生长季内紫花苜蓿田地地表节肢动物活动密度、物种丰富度、多样性和均匀度指数均显著高于箭筈豌豆田, 这表明紫花苜蓿生长为植食性和捕食性地表节肢动物提供了充足的食物资源和稳定的栖居环境, 从而导致作物生长季紫花苜蓿田拥有更高的地表节肢动物数量及多样性。水分是干旱区植被生长发育的主要限制因子, 土壤水分含量的高低决定了植物耗水量和植物生物量的高低变化, 水分缺失会造成植被盖度普遍较低^[45], 影响地表节肢动物的生存与栖息环境, 促使它们改变行为。本文也发现与箭筈豌豆相比, 紫花苜蓿的覆盖时间长且水分条件好, 为地表节肢动物提供了一个更适宜的生存环境, 土壤动物活动频率更高。

箭筈豌豆较玉米的生育期短,箭筈豌豆收获后,缺少植被覆盖和灌溉的绿洲农田地表节肢动物逐步向毗邻农田和非农田生境迁移,从而导致箭筈豌豆田地表节肢动物数量及多样性较低^[25,27,39]。此外,作物生长季箭筈豌豆田捕食性和植食性地表节肢动物的数量显著低于紫花苜蓿田,非生长季捕食性和植食性地表节肢动物活动密度均有一定程度提升,作物覆盖时间对绿洲农田地表节肢动物的影响较大^[46-47]。Rivers 等^[46]在玉米-大豆和小麦轮作农田生态系统研究发现,玉米和小麦收获后种植毛野豌豆 (*Vicia villosa*) 和黑麦 (*Secale cereale*) 等,可以显著提高蜘蛛目、盲蛛目 (Opiliones)、隐翅虫科和步甲科等捕食性地表节肢动物活动密度,而害虫活动密度与捕食性地表节肢动物活动密度呈负相关。小麦收获后种植毛野豌豆和小黑麦处理的蜘蛛目、盲蛛目、隐翅虫科和步甲科等地表捕食性地表节肢动物活动密度显著高于玉米收获后种植黑麦的处理,作物生长季人工控制作物覆盖时间影响捕食性地表节肢动物的活动密度和群落组成^[47]。此外,研究还发现非生长季箭筈豌豆田狼蛛科和蚁科的活动密度低于紫花苜蓿田和玉米田,这可能与土壤水分和食物资源的匮乏有关。总之,绿洲农田农业生态系统中连续种植的紫花苜蓿田对地表节肢动物群落中有益类群的保育作用明显高于箭筈豌豆田。

4 结论

张掖绿洲玉米、箭筈豌豆和紫花苜蓿田地表节肢动物群落组成明显不同,这种差异也会随作物的生长季节不同而异。作物生长季紫花苜蓿田地表节肢动物活动密度、种群丰富度、多样性和均匀度指数均显著高于箭筈豌豆和玉米田,而非生长季地表节肢动物种群丰富度和多样性指数在箭筈豌豆和紫花苜蓿田均显著高于玉米田。捕食性和植食性地表节肢动物对农田类型响应敏感并存在一定的季节变化。生长季紫花苜蓿田捕食性和植食性地表节肢动物活动密度显著高于箭筈豌豆和玉米田,二者的比值变化与活动密度相反;非生长季植食性地表节肢动物活动密度在紫花苜蓿田显著高于箭筈豌豆和玉米田,捕食性和植食性地表节肢动物的比值在玉米田显著高于紫花苜蓿田。不同动物类群对农田类型的变化响应模式不同,这与地表节肢动物的取食类型等功能性状变化有关,蝗科、蓟马科、叶蝉科和蚜科等植食性地表节肢动物在紫花苜蓿田的活动密度显著高于箭筈豌豆和玉米田,这在作物生长季表

现尤为明显;平腹蛛科、狼蛛科和步甲科等捕食性地表节肢动物在紫花苜蓿田的活动密度也显著高于箭筈豌豆和玉米田。此外,本研究还发现蚁科等穴居的地表节肢动物对农田作物类型的响应存在明显季节变异。总之,玉米田捕食性地表节肢动物的数量及多样性较低,紫花苜蓿等多年生牧草田较高的植食性地表节肢动物多样性支持了较高捕食性地表节肢动物的数量及多样性,而箭筈豌豆等一年生牧草对捕食性地表节肢动物多样性影响较小。

参考文献 References

- [1] 严昌荣, 刘恩科, 舒帆, 等. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J]. 农业资源与环境学报, 2014(2): 95-102
YAN C R, LIU E K, SHU F, et al. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2014(2): 95-102
- [2] 李隆. 间套作强化农田生态系统服务功能的研究进展与应用展望[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(4): 403-415
LI L. Intercropping enhances agroecosystem services and functioning: Current knowledge and perspectives[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(4): 403-415
- [3] 赵文智, 杨荣, 刘冰, 等. 中国绿洲化及其研究进展[J]. 中国沙漠, 2016, 36(1): 1-5
ZHAO W Z, YANG R, LIU B, et al. Oasisification of northwestern China: a review[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(1): 1-5
- [4] 姚佳璇, 俄胜哲, 袁金华, 等. 施肥对灌漠土作物产量、土壤肥力与重金属含量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(6): 813-825
YAO J X, E S Z, YUAN J H, et al. Effects of different organic matters on crop yields, soil quality and heavy metal content in irrigated desert soil[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(6): 813-825
- [5] KNAPP M, ŘEZÁČ M. Even the smallest non-crop habitat islands could be beneficial: distribution of carabid beetles and spiders in agricultural landscape[J]. PLoS One, 2015, 10(4): e0123052
- [6] GEISEN S, WALL D H, VAN DER PUTTEN W H. Challenges and opportunities for soil biodiversity in the anthropocene[J]. Current Biology, 2019, 29(19): 1036-1044
- [7] MARSDEN C, MARTIN-CHAVE A, CORTET J, et al. How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review[J]. Plant and Soil, 2020, 453(1): 29-44
- [8] BEAUMELLE L, THOUVENOT L, HINES J, et al. Soil fauna diversity and chemical stressors: a review of knowledge gaps and roadmap for future research[J]. Ecography, 2021, 44(6): 845-859
- [9] 朱猛蒙, 李东宁, 张蓉, 等. 不同种植年限苜蓿草地昆虫种群及群落的发生规律[J]. 宁夏农林科技, 2014, 55(01): 48-53
ZHU M M, LI D N, ZHANG R, et al. Dynamics of insect population and community on grassland of alfalfa in different evolution stages[J]. Journal of Ningxia Agriculture and

- Forestry, 2014, 55(01): 48–53
- [10] 杨金虎, 李立军, 张艳丽, 等. 科尔沁沙地燕麦间作箭筈豌豆与施肥对饲草养分累积、产量及水分利用的影响[J/OL]. 西北农业学报, [2023-10-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.s.20230626.2009.004.html>
- YANG J H, LI L J, ZHANG Y L, et al. Effects of Oat intercropping with common vetch and fertilization on forage nutrient accumulation, yield and water utilization in Horqin Sandy Land[J/OL]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, [2023-10-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.s.20230626.2009.004.html>
- [11] HATT S, BOERA EVE F, ARTRU S, et al. Spatial diversification of agroecosystems to enhance biological control and other regulating services: an agroecological perspective[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 621: 600–611
- [12] YANG G W, WAGG C, VERESOGLOU S D, et al. How soil biota drive ecosystem stability[J]. *Trends in Plant Science*, 2018, 23(12): 1057–1067
- [13] 张卫信, 申智锋, 邵元虎, 等. 土壤生物与可持续农业研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(10): 3183–3206
- ZHANG W X, SHEN Z F, SHAO Y H, et al. Soil biota and sustainable agriculture: a review[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(10): 3183–3206
- [14] 孙新, 李琪, 姚海凤, 等. 土壤动物与土壤健康[J]. 土壤学报, 2021, 58(5): 1073–1083
- SUN X, LI Q, YAO H F, et al. Soil fauna and soil health[J]. Acta Pedologica Sinica, 2021, 58(5): 1073–1083
- [15] LETOURNEAU D K, ARMBRECHT I, RIVERA B S, et al. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review[J]. *Ecological Applications*, 2011, 21(1): 9–21
- [16] BROOKER R W, BENNETT A E, CONG W F, et al. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology[J]. *New Phytologist*, 2015, 206(1): 107–117
- [17] 戴飘飘, 张旭珠, 肖晨子, 等. 农业景观害虫控制生境管理及植物配置方法[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(1): 9–19
- DAI P P, ZHANG X Z, XIAO C Z, et al. Habitat management and plant configuration for biological pest control in agricultural landscapes[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(1): 9–19
- [18] 刘冰, 陆宴辉. 农田节肢动物食物网结构与天敌控害功能[J]. 植物保护学报, 2022, 49(1): 97–109
- LIU B, LU Y H. Arthropod food web structure and the biocontrol services of natural enemies in agro-ecosystems[J]. *Journal of Plant Protection*, 2022, 49(1): 97–109
- [19] 刘继亮, 李锋瑞. 干旱区绿洲扩张方式对土壤生物优势类群及功能的影响[J]. 生物多样性, 2018, 26(10): 1116–1126
- LIU J L, LI F R. Effects of oasis expansion regimes on ecosystem function and dominant functional groups of soil biota in arid regions[J]. *Biodiversity Science*, 2018, 26(10): 1116–1126
- [20] 王雪峰, 苏永中, 杨荣. 黑河中游绿洲不同开垦年限农田土壤线虫群落特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2125–2131
- WANG X F, SU Y Z, YANG R. Characteristics of soil nematode community along an age sequence of sandy desert soil cultivation in a marginal oasis of middle reaches of Heihe River[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(8): 2125–2131
- [21] LIU J L, REN W, ZHAO W Z, et al. Cropping systems alter the biodiversity of ground- and soil-dwelling herbivorous and predatory arthropods in a desert agroecosystem: implications for pest biocontrol[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 266: 109–121
- [22] LI F R, LIU J L, REN W, et al. Land-use change alters patterns of soil biodiversity in arid lands of northwestern China[J]. *Plant and Soil*, 2018, 428(1): 371–388
- [23] WENDA-PIESIK A, PIESIK D. Diversity of species and the occurrence and development of a specialized pest population — A review article[J]. *Agriculture*, 2020, 11(1): 16
- [24] 陈明, 周昭旭, 罗进仓. 间作苜蓿棉田节肢动物群落生态位及时间格局[J]. 草业学报, 2008, 175(4): 132–140
- CHEN M, ZHOU Z X, LUO J C. Niche and temporal pattern of arthropod community in cotton-alfalfa intercrop fields[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2008, 175(4): 132–140
- [25] 刘文惠, 胡懿君, 胡文超, 等. 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[J]. 应用生态学报, 2014, 25(09): 2677–2682
- LIU W H, HU Y J, HU W C, et al. Population dynamics of ground carabid beetles and spiders in a wheat field along the wheat-alfalfa interface and their response to alfalfa mowing[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(09): 2677–2682
- [26] 赵紫华, 高峰, 贺达汉, 等. 多尺度空间下害虫生态调控理论与应用[J]. 中国科学(生命科学), 2015, 45(8): 755–767
- ZHAO Z H, GAO F, HE D H, et al. Ecologically based pest management at multiple spatial scales[J]. *Scientia Sinica (Vita)*, 2015, 45(8): 755–767
- [27] 胡文超, 刘军和, 贺达汉. 苜蓿田地蜘蛛边缘效应及苜蓿刈割后的溢出效应[J]. 植物保护学报, 2018, 45(4): 773–781
- HU W C, LIU J H, HE D H. Edge effect of ground-dwelling spiders and spillover effect after alfalfa mowing in alfalfa fields of Yinchuan area[J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45(4): 773–781
- [28] 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类[M]. 南京: 南京师范大学出版社, 1999
- ZHENG L Y, GUI H. *Insect Classification*[M]. Nanjing: Nanjing Normal University Press, 1999
- [29] SONG D X, ZHU M S, CHEN J. The Spiders of China[M]. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Publishing House, 1999
- [30] 任国栋, 于有志. 中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫[M]. 保定: 河北大学出版社, 1999
- REN G D, YU Y Z. *Darkling Beetles from Deserts and Semideserts of China (Coleoptera: Tenebrionidae)*[M]. Baoding: Hebei University Press, 1999
- [31] 梁宏斌, 虞佩玉. 中国捕食粘虫的步甲种类检索[J]. 昆虫天敌, 2000, 22(4): 160–167
- LIANG H B, YU P Y. Species of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) predating oriental armyworm (Lepidoptera: Notuidae) in China[J]. *Natural Enemies of Insects*, 2000, 22(4): 160–167

- [32] CLARKE K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure[J]. *Australian Journal of Ecology*, 1993, 18(1): 117–143
- [33] RAND T A, TYLIANAKIS J M, TSCHARNTKE T. Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats[J]. *Ecology Letters*, 2006, 9(5): 603–614
- [34] 黄吉, 可胜杰, 柴正群, 等. 非作物植被对玉米地节肢动物群落的影响[J]. *环境昆虫学报*, 2015, 37(4): 857–864
HUANG J, KE S J, CHAI Z Q, et al. The effects of non-crop vegetation on arthropod community in maize fields[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37(4): 857–864
- [35] 张旭珠, 韩印, 宇振荣, 等. 半自然农田边界与相邻农田步甲和蜘蛛的时空分布[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(06): 1879–1888
ZHANG X Z, HAN Y, YU Z R, et al. Spatio-temporal distribution of carabids and spiders between semi-natural field margin and the adjacent crop fields in agricultural landscape[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(06): 1879–1888
- [36] LICHTENBERG E M, KENNEDY C M, KREMEN C, et al. A global synthesis of the effects of diversified farming systems on arthropod diversity within fields and across agricultural landscapes[J]. *Global Change Biology*, 2017, 23(11): 4946–4957
- [37] TAMBURINI G, BOMMARCO R, WANGER T C, et al. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield[J]. *Science Advances*, 2020, 6(45): eaba1715
- [38] PORTILLO D G, ARROYO B, MORALES M B. The adequacy of alfalfa crops as an agri-environmental scheme: a review of agronomic benefits and effects on biodiversity[J]. *Journal for Nature Conservation*, 2022, 69: 126253
- [39] 张艳荣, 胡文超, 吕苗苗, 等. 苜蓿田及不同邻作地地表步甲群落多样性及其扩散动态[J]. *草业学报*, 2017, 26(2): 153–160
ZHANG Y R, HU W C, LYU M M, et al. Diversity and diffusion dynamics of the ground-dwelling carabid beetle community in alfalfa fields and boundary edges of their adjacent crops[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 26(2): 153–160
- [40] GABRIBELA I C, DELSERONE L M, JULIA N D C, et al. Does cover crop management affect arthropods in the subsequent corn and soybean crops in the United States? A systematic review[J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2021, 114(2): 151–162
- [41] JING J Y, CONG W F, BEZEMER T M. Legacies at work: plant-soil-microbiome interactions underpinning agricultural sustainability[J]. *Trends in Plant Science*, 2022, 27(8): 781–792
- [42] DEL-VAL E, RAMÍREZ E, ASTIER M. Comparison of arthropod communities between high and low input maize farms in Mexico[J]. *CABI Agriculture and Bioscience*, 2021, 2(1): 40
- [43] THORBEEK P, BILDE T. Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2004, 41(3): 526–538
- [44] DUAN M C, HU W H, LIU Y H, et al. The influence of landscape alterations on changes in ground beetle (Carabidae) and spider (Araneae) functional groups between 1995 and 2013 in an urban fringe of China[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 689: 516–525
- [45] 陈斌, 鲁延芳, 占玉芳, 等. 荒漠绿洲过渡带土壤水分空间分布特征及对植被的影响[J]. *西北林学院学报*, 2023, 38(2): 25–32
CHEN B, LU Y F, ZHAN Y F, et al. Spatial distribution characteristics of soil moisture and its influence on vegetation in desert-oasis ecotone[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2023, 38(2): 25–32
- [46] RIVERS A, VOORTMAN C, BARBERCHECK M. Cover crops support arthropod predator activity with variable effects on crop damage during transition to organic management[J]. *Biological Control*, 2020, 151: 104377
- [47] RIVERS A N, MULLEN C A, BARBERCHECK M E. Cover crop species and management influence predatory arthropods and predation in an organically managed, reduced-tillage cropping system[J]. *Environmental Entomology*, 2018, 47(2): 340–355