

DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2023.0602

付兴飞, 李贵平, 李亚男, 等. 绿肥种植密度对咖啡幼龄园杂草群落及咖啡生长的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2024, 40(10): 1310–1318.

FU Xing-fei, LI Gui-ping, LI Ya-nan, et al. Effects of Planting Density of Green Manure on Weed Communities and *Coffea arabica* Growth in Coffee Young Plantations[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2024, 40(10): 1310–1318.

绿肥种植密度对咖啡幼龄园杂草群落及咖啡生长的影响

付兴飞¹, 李贵平¹, 李亚男¹, 黄家雄¹, 邰杰², 胡发广¹①, 李亚麒¹ (1. 云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所, 云南 保山 678000; 2. 保山市隆阳区农业技术推广站, 云南 保山 678000)

摘要: 绿肥种植是一种比较理想的杂草控制技术, 通过田间试验研究了绿肥硬皮豆不同种植密度对咖啡幼龄园杂草群落和咖啡生长的影响。绿肥种植 5 月后, 对 5 种硬皮豆种植密度[S0、S1、S2、S3、S4 分别为 0、0.5、1.0、1.5、2.0 kg · (667 m²)⁻¹]的杂草群落和咖啡生长情况开展调查。结果表明, 随着硬皮豆种植密度的增加, 优势杂草香附子重要值显著降低, 杂草群落及优势杂草香附子的高度、密度、盖度及生物量均低于对照 S0。随着硬皮豆种植密度增加, 杂草群落 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数先降低后增加, Simpson 优势度指数逐渐降低, Pielou 均匀度指数逐渐增加。硬皮豆种植处理下杂草群落高度、密度、盖度及生物量的响应比均显著低于对照 S0, 硬皮豆种植显著降低了 Simpson 优势度指数的响应比, 显著提高了 Pielou 均匀度指数的响应比。功能群分类中禾本科的重要值表现为 S2 和 S3 处理显著高于对照 S0, 其余功能群的重要值差异不显著。杂草功能群分类的重要值与群落多样性指数间相关性不显著。硬皮豆种植后咖啡植株的株高、冠幅、地径、叶长、叶宽、一级分枝对数、最长一级分枝长、最长一级分枝节间数及叶片厚度均高于对照 S0, 其中叶宽差异达显著水平。整体上, 硬皮豆种植在一定程度上促进了咖啡植株生长, 对杂草群落及优势杂草香附子具有显著的控制效果, 显著降低了杂草群落优势度, 短期内对杂草群落丰富度及多样性无影响。咖啡幼龄园种植硬皮豆建议采用种植密度 1.0 kg · (667 m²)⁻¹, 可获得较高的经济效益和生态效益。

关键词: 绿肥; 种植密度; 杂草群落; 功能群; 咖啡生长; 咖啡幼龄园

中图分类号: Q94 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2024)10-1310-09

Effects of Planting Density of Green Manure on Weed Communities and *Coffea arabica* Growth in Coffee Young Plantations. FU Xing-fei¹, LI Gui-ping¹, LI Ya-nan¹, HUANG Jia-xiong¹, TAI Jie², HU Fa-guang¹①, LI Ya-qi¹ (1. Institute of Tropical and Subtropical Cash Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Baoshan 678000, China; 2. Baoshan City Longyang District Agricultural Technology Extension Center, Baoshan 678000, China)

Abstract: Green manure planting is an ideal technique for weed control. A field experiment was conducted to study the effects of different planting densities of the green manure *Macrotyloma uniflorum* on weed communities and coffee growth in young coffee plantations. Five months after planting green manure, the effects of five planting densities of *M. uniflorum* [S0: 0 kg · (667 m²)⁻¹; S1: 0.5 kg · (667 m²)⁻¹; S2: 1.0 kg · (667 m²)⁻¹; S3: 1.5 kg · (667 m²)⁻¹; S4: 2.0 kg · (667 m²)⁻¹] on weed communities and coffee growth were investigated. The results show that with the increase in *M. uniflorum* planting density, the importance value of the dominant weed *Cyperus rotundus* significantly decreased, and the height, density, coverage, and biomass of weed community and the dominant weed *C. rotundus* were all lower than those of S0. As the planting density of *M. uniflorum* increased, the Margalef richness index and Shannon-Wiener diversity index of the weed community first decreased and then increased, the Simpson dominance index gradually decreased, and the Pielou evenness index gradually increased. Under the *M. uniflorum* planting treatment, the response ratios of height, density, coverage and biomass of weed community were significantly lower than those of S0. *M. uniflorum* planting significantly reduced the response ratio of the Simpson dominance index and significantly increased the response ratio of Pielou evenness index. Among the functional groups, the importance value of Poaceae was significantly higher in S2 and S3 than in S0, while the importance values of other functional groups showed no significant differences. There was no significant

收稿日期: 2023-09-13

基金项目: 云南省重大科技专项计划(202202AE090002); 保山市科技计划项目(2022zc01)

① 通信作者 E-mail: hfg2632@126.com

correlation between the importance value of weed functional groups and community diversity indices. After planting *M. uniflorum*, the plant height, crown width, ground diameter, leaf length, leaf width, number of primary branches, length of the longest primary branch, number of internodes on the longest primary branch, leaf thickness of coffee were all higher than those of S0, with leaf width reaching a significant level. Overall, *M. uniflorum* planting promoted coffee plant growth, had a significant control effect on weed communities and the dominant weed *C. rotundus*, and significantly reduced the dominance of weed communities without affecting the richness and diversity of weed communities in the short term. It is recommended to use a planting density of $1.0 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ for *M. uniflorum* in young coffee plantations to achieve higher economic and ecological benefits.

Key words: green manure; planting density; weed community; functional groups; *Coffea arabica* growth; young coffee plantations

农业杂草一直是农业生产重点关注的问题, 作物在整个生长周期内都会不同程度受到各种杂草的侵扰, 导致农业管理成本持续增加、农作物产量及品质降低^[1]。以玉米为例, 每年因杂草导致的产量损失占总产量的 22.7% 以上^[2]。但杂草群落在农业害虫天敌种群保护、土壤肥力维持、促进养分循环及减少环境污染等生态系统服务功能中有积极作用^[3]。因此, 在农业杂草管理中寻求农业生产与生态效益的平衡尤为关键, 而过去更多的是采用直接铲除或除草剂等方式控草, 显然并不适合杂草群落生态系统服务功能的维持。

绿肥植物是一种养分充足的优质生物肥源, 持续的茎秆还田有利于土壤养分循环转化, 可提高土壤肥力, 改善土壤理化性质, 提高土壤供水能力和氮素利用率, 进而提高农作物的养分吸收率, 促进作物生长和产量增加^[4-6]。同时, 绿肥种植也是一种比较理想的除草技术。吕陇等^[7]研究发现, 在种植园种植三叶草可以显著降低杂草的密度和生物量, 具有显著的控草效果。此外, 绿肥种植对植物群落也有影响, 王雪等^[8]研究发现间种光叶苕子 (*Vicia villosa*) 可显著降低杂草群落物种多样性水平, 有效避免恶性杂草与果树争肥。近年来, 绿肥种植控草技术在果园、农田等生态系统中应用广泛, 但目前更多关注的是某种绿肥对杂草的控制效果及产生的生态效益, 而很少关注绿肥种植密度对杂草群落生长及生态效益的影响, 一定程度制约了绿肥种植控草技术的精准性应用。

小粒咖啡 (*Coffea arabica*) 作为云南省最具特色的热带经济作物之一, 其种植面积、产量及农业产值均占全国 98% 以上^[9]。杂草一直是制约咖啡正常生长和导致管理成本增加的关键因子, 尤其是定植 3 a 以下的咖啡幼龄园, 因咖啡植株尚未封行, 在与杂草的竞争中并不占优势, 导致每年除草成本高达 $2\ 985 \sim 4\ 478 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[10]。过去咖啡园主要依靠除草剂进行除草, 导致咖啡产区环境污染及土壤板

结严重等问题逐渐凸显。绿肥种植可以有效控制咖啡园杂草的生长, 笔者前期调查发现绿肥田菁 (*Sesbania cannabina*) 和硬皮豆 (*Macrotyloma uniflorum*) 显著降低了咖啡幼龄园杂草的生物量, 但一定程度降低了杂草群落多样性, 对咖啡园杂草群落产生了影响^[10], 而关于绿肥种植密度对咖啡幼龄园杂草群落的影响鲜见报道, 一定程度制约了绿肥种植在咖啡幼龄园控草中的应用。该研究通过在咖啡幼龄园种植绿肥硬皮豆, 共设置 5 个种植密度, 探究绿肥硬皮豆不同种植密度下咖啡幼龄园杂草群落特征、多样性、功能群的变化规律, 分析种植密度对咖啡植株生长的影响以及控草效果, 以期实现咖啡幼龄园杂草控制及生态效益间的平衡。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于云南省保山市隆阳区云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所科研基地 (24° 28' N, 98° 49' E), 平均海拔约为 (640±5) m, 基地西侧毗邻高黎贡山国家级自然保护区, 东侧与怒江接壤, 地势较为平坦, 坡度不超过 5°, 基地面积约为 133.33 hm², 属典型的干热河谷型气候区。如图 1 所示, 研究区域年平均气温为 17.25 °C, 最低月平均气温为 10 °C, 最高月平均气温为 22 °C, 月平均降水量在 74 mm 左右, 旱雨季分明, 降雨多集中于 7—8 月。基地主要种植芒果 (*Mangifera indica*)、蛋黄果 (*Lucuma nervosa*)、荔枝 (*Litchi chinensis*)、龙眼 (*Dioscorea longan*)、澳洲坚果 (*Macadamia ternifolia*)、小粒咖啡、柠檬 (*Citrus limon*)、油棕 (*Elaeis guineensis*) 等经济作物。试验样地土壤属黑色沙壤土, 呈微酸性或中性。

1.2 试验设计

2020 年 12 月, 在科研基地内选取 1 块面积约为 0.2 hm² 的试验地, 定植前清除试验地表层土, 用红色壤土替换。杂草种源多来自于周边生境、替代

土(红色壤土)及试验地心土。选择同批次长势一致的小粒咖啡苗按 1 m×2 m 的规格进行定植,定植完成后按照常规措施管理。2021 年 3 月,采用随机区组设计,共设置 5 个处理:S0,不种植硬皮豆;S1,硬皮豆播种密度为 $0.5 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$;S2,硬皮豆播种密度为 $1.0 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$;S3,硬皮豆播种密度为 $1.5 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$;S4,硬皮豆播种密度为 $2.0 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$,每个处理设置 5 个 1 m×1 m 的样方,各样方间隔 2 m 以上。绿肥植物硬皮豆采用开穴散播,定期灌溉,当硬皮豆藤蔓与咖啡植株即将接触时,刈割绿肥顶端还田。

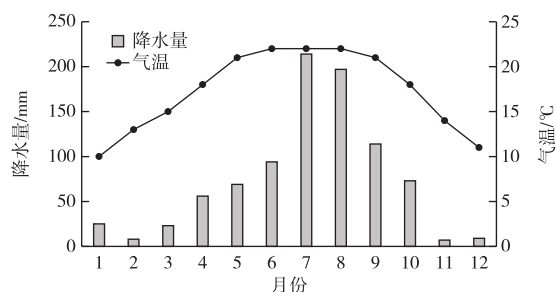


图 1 研究区域月降水量及气温变化

Fig. 1 Monthly precipitation and temperature change in the study area

1.3 研究方法

1.3.1 数据采集

1.3.1.1 杂草的测定

在杂草生长旺季(2021 年 8 月)对各样方开展杂草种类调查,测定各杂草的盖度、株高及密度。其中,杂草密度低于 $10 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,全部测量株高取平均值;密度 $\geq 10 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,随机选取 $10 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ 测量株高取平均值。同时,采用齐地面刈割法测定样方内杂草的鲜重,并在 $65 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱内烘 48 h 后称取干重。

1.3.1.2 咖啡植株生长情况测定

2021 年 8 月,在每个处理区随机选择 5 株咖啡植株,对咖啡植株的株高、地径、一级分枝对数、最长一级分枝长、最长一级分枝节间数、叶长、叶宽及叶片厚度共计 8 个生长指标进行测量。

1.3.2 数据分析

1.3.2.1 重要值计算

根据下式计算各物种的重要值(I_i)^[11]:

$$H_r = \frac{H_i}{\sum H_i}, \quad (1)$$

$$D_r = \frac{D_i}{\sum D_i}, \quad (2)$$

$$C_r = \frac{C_i}{C}, \quad (3)$$

$$I_v = \frac{H_r + D_r + C_r}{3}. \quad (4)$$

式(1)~(4)中, H_r 为物种的相对株高; H_i 为第 i 物种的平均株高,cm; D_r 为相对密度,株 $\cdot \text{m}^{-2}$; D_i 为第 i 物种的密度,%; C_r 为相对盖度,%; C_i 为第 i 物种的盖度; C 为样方总盖度,%。

1.3.2.2 多样性指数计算

根据如下公式计算 Margalef 丰富度指数(d)、Shannon-Wiener 多样性指数(H)、Simpson 优势度指数(D)、Pielou 均匀度指数(J)^[12]:

$$d = \frac{S - 1}{\ln N}, \quad (5)$$

$$H = - \sum P_i \times \ln P_i, \quad (6)$$

$$D = 1 - \sum P_i^2, \quad (7)$$

$$J = \frac{H}{\ln S}. \quad (8)$$

式(5)~(8)中, S 为样方内的物种数; N 为样方内的植株总株数; P_i 为样方内第 i 个物种的重要值。

1.3.2.3 响应比计算

根据下式计算响应比(R_R)^[13]:

$$R_R = \ln \left(\frac{F_x}{N_x} \right). \quad (9)$$

式(9)中, F_x 为绿肥种植试验地中杂草群落特征值; N_x 为对照 S0 中杂草群落特征值。

1.3.2.4 分析方法

采用 SPSS 25.0 软件对数据进行统计分析,采用 Excel 2020 及 Origin 2021 软件制图。其中,通过 SPSS 25.0 软件计算绿肥不同种植密度下各杂草重要值、群落特征值、多样性指数、响应比、各功能群重要值以及咖啡植株各生长指标的平均值、标准差,并进行差异性比较;采用 Origin 2021 软件分析杂草功能群重要值与多样性指数间的关系,绘制相关关系图。

2 结果与分析

2.1 杂草群落特征及多样性

2.1.1 物种组成及重要值变化

从表 1 可知,不同硬皮豆种植密度下咖啡幼龄园杂草群落物种组成不同,S0、S1、S2、S3、S4 处理的杂草种类分别为 11 科 16 种、7 科 11 种、6 科 9 种、6 科 10 种及 10 科 15 种。各杂草的重要值变化规律也不同,香附子(*Cyperus rotundus*)为咖啡幼龄园的优势杂草,重要值随着硬皮豆种植密度的增加显著

降低后逐渐趋于平缓, S1、S2、S3、S4 处理的香附子重要值较对照 S0 分别降低 35.03%、63.10%、56.59% 及 60.05%。对照 S0 下, 锦葵 (*Malva cathayensis*)、甜麻 (*Corchorus aestuans*)、白花蛇舌草 (*Scleromitriondiffusum*)、香附子、圆叶牵牛 (*Ipomoea purpurea*) 的重要值较高, 香附子的重要值显著高于 S2、S3、S4 处理 ($P < 0.05$), 圆叶牵牛的重要值显著高于其余 4 个处理 ($P < 0.05$); S1 处理下, 狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、反枝苋 (*Amaranthus retroflexus*)、竹叶草 (*Oplismenus compositus*) 的重要值最高, 反枝苋的重要值与 S2、S3、S4 处理差异达显著水平 ($P < 0.05$); S2 处理下, 棒头草 (*Polypogon fugax*)、马唐 (*Digitaria sanguinalis*)、牛筋草 (*Eleusine indica*)、地桃花 (*Urena lobata*) 的重要值最高, 棒头草的重要值显著高于 S1、S3、S4 处理 ($P < 0.05$), 马唐的重要值显著高于 S0 和 S4 处理 ($P <$

0.05), 且马唐的重要值随硬皮豆种植密度的增加而先增加后降低; S3 处理下, 霍香 (*Ageratum conyzoides*)、小蓬草 (*Erigeron canadensis*)、龙葵 (*Solanum nigrum*)、犁头尖 (*Typhonium blumei*)、饭包草 (*Commelina benghalensis*) 的重要值较高, 但彼此间差异不显著 ($P > 0.05$); S4 处理下, 千金子 (*Leptochloa chinensis*)、苦苣菜 (*Ixeris polycephala*)、野苘蒿 (*Crassocephalum crepidioides*)、翼齿六棱菊 (*Laggera crispata*)、羽芒菊 (*Tridax procumbens*)、芥 (*Capsella bursapastoris*)、喜旱莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*)、地锦 (*Parthenocissus tricuspidata*)、文定果 (*Muntingia calabura*) 和酢浆草 (*Oxalis corniculata*) 的重要值较高, 千金子的重要值显著高于 S0、S1、S2 处理 ($P < 0.05$), 翼齿六棱菊的重要值显著高于 S1 和 S3 处理 ($P < 0.05$), 文定果的重要值显著高于 S2 和 S3 处理 ($P < 0.05$)。

表 1 不同样地杂草群落的物种组成及重要值

Table 1 Species and importance values of weed community in different sites

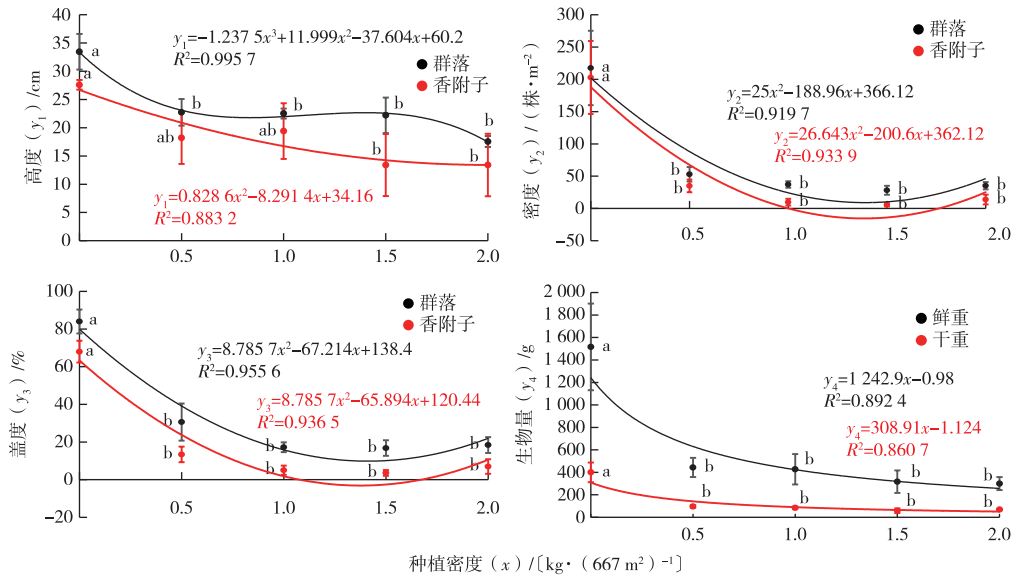
| 科 | 种 | 重要值 | | | | |
|----------------------|--|-------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | S0 | S1 | S2 | S3 | S4 |
| 禾本科 (Poaceae) | 棒头草 (<i>Polypogon fugax</i>) | 1.39±1.39 ^a | 0.00±0.00 ^b | 5.78±3.56 ^a | 0.00±0.00 ^b | 0.00±0.00 ^b |
| | 狗牙根 (<i>Cynodon dactylon</i>) | 0.00±0.00 ^a | 1.69±1.69 ^a | 0.00±0.00 ^a | 1.81±1.81 ^a | 0.00±0.00 ^a |
| | 竹叶草 (<i>Oplismenus compositus</i>) | 0.00±0.00 ^a | 1.76±1.76 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a |
| | 马唐 (<i>Digitaria sanguinalis</i>) | 1.01±1.01 ^b | 16.88±12.23 ^{ab} | 41.95±14.41 ^a | 31.93±13.75 ^{ab} | 6.83±6.83 ^b |
| | 牛筋草 (<i>Eleusine indica</i>) | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 3.13±3.13 ^a | 0.00±0.00 ^a | 2.89±2.89 ^a |
| | 千金子 (<i>Leptochloa chinensis</i>) | 3.17±0.96 ^b | 2.29±1.43 ^b | 1.55±1.55 ^b | 13.48±4.04 ^{ab} | 17.45±8.54 ^a |
| 菊科 (Asteraceae) | 霍香薷 (<i>Ageratum conyzoides</i>) | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 4.10±4.10 ^a | 0.00±0.00 ^a |
| | 苦苣菜 (<i>Ixeris polycephala</i>) | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 2.42±2.42 ^a |
| | 小蓬草 (<i>Erigeron canadensis</i>) | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 3.15±3.15 ^a | 0.00±0.00 ^a |
| | 野苘蒿 (<i>Crassocephalum crepidioides</i>) | 2.91±1.35 ^a | 3.42±2.18 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 5.74±0.96 ^a |
| | 翼齿六棱菊 (<i>Laggera crispata</i>) | 1.04±1.04 ^{ab} | 0.00±0.00 ^b | 3.02±3.02 ^{ab} | 0.00±0.00 ^b | 6.61±3.26 ^a |
| | 羽芒菊 (<i>Tridax procumbens</i>) | 0.00±0.00 ^a | 1.25±1.25 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 2.16±2.16 ^a |
| | 紫茎泽兰 (<i>Ageratina adenophora</i>) | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 3.00±3.00 ^a | 0.00±0.00 ^a |
| 锦葵科 (Malvaceae) | 地桃花 (<i>Urena lobata</i>) | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 3.52±3.52 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a |
| | 锦葵 (<i>Malva cathayensis</i>) | 0.37±0.37 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a |
| | 甜麻 (<i>Corchorus aestuans</i>) | 1.48±1.48 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a |
| 十字花科 (Brassicaceae) | 芥 (<i>Capsella bursapastoris</i>) | 1.07±0.66 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 2.07±2.07 ^a |
| | 碎米荠 (<i>Cardamine occulta</i>) | 0.92±0.92 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a |
| 苋科 (Amaranthaceae) | 反枝苋 (<i>Amaranthus retroflexus</i>) | 8.78±3.60 ^{ab} | 20.47±9.12 ^a | 0.00±0.00 ^b | 0.00±0.00 ^b | 0.00±0.00 ^b |
| | 喜旱莲子草 (<i>Alternanthera philoxeroides</i>) | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 1.50±1.50 ^a |
| 葡萄科 (Vitaceae) | 地锦 (<i>Parthenocissus tricuspidata</i>) | 0.51±0.51 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 1.77±1.77 ^a |
| 茜草科 (Rubiaceae) | 白花蛇舌草 (<i>Scleromitriondiffusum</i>) | 0.72±0.72 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a |
| 茄科 (Solanaceae) | 龙葵 (<i>Solanum nigrum</i>) | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 4.79±4.79 ^a | 4.81±4.81 ^a | 1.97±1.97 ^a |
| 莎草科 (Cyperaceae) | 香附子 (<i>Cyperus rotundus</i>) | 62.33±2.48 ^a | 40.49±11.20 ^{ab} | 23.62±7.04 ^b | 27.06±11.14 ^b | 24.90±12.62 ^b |
| 天南星科 (Araceae) | 犁头尖 (<i>Typhonium blumei</i>) | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 2.63±2.63 ^a | 0.00±0.00 ^a |
| 文定果科 (Muntingiaceae) | 文定果 (<i>Muntingia calabura</i>) | 0.90±0.90 ^{ab} | 2.57±1.58 ^{ab} | 0.00±0.00 ^b | 0.00±0.00 ^b | 13.02±9.32 ^a |
| 旋花科 (Convolvulaceae) | 圆叶牵牛 (<i>Ipomoea purpurea</i>) | 7.28±3.01 ^a | 0.00±0.00 ^b | 0.00±0.00 ^b | 0.00±0.00 ^b | 0.00±0.00 ^b |
| 鸭跖草科 (Commelinaceae) | 饭包草 (<i>Commelina benghalensis</i>) | 5.75±1.68 ^a | 5.16±3.25 ^a | 7.15±7.15 ^a | 9.82±6.01 ^a | 6.35±6.35 ^a |
| 酢浆草科 (Oxalidaceae) | 酢浆草 (<i>Oxalis corniculata</i>) | 0.00±0.00 ^a | 2.19±2.19 ^a | 0.00±0.00 ^a | 0.00±0.00 ^a | 4.32±2.93 ^a |

S0 为不种植硬皮豆; S1、S2、S3、S4 硬皮豆播种密度分别为 0.5、1.0、1.5、2.0 kg · (667 m²)⁻¹。同一行数据后英文小写字母不同表示各样地间某杂草种类重要值差异显著 ($P < 0.05$)。

2.1.2 杂草群落特征比较

从图2可以看出,硬皮豆种植后咖啡幼龄园杂草群落及优势杂草香附子的特征指数均显著低于对照S0。对照S0下,除优势杂草香附子高度与S1、S2处理间差异不显著外,其余杂草群落的高度以及杂草群落和香附子的密度、盖度、生物量均显著高

于S1、S2、S3、S4处理($P<0.05$)。拟合方程表明,杂草群落和优势杂草香附子的高度、密度、盖度与硬皮豆种植密度呈显著二项式回归关系($R^2>0.88, P<0.05$),杂草群落的生物量鲜重和干重与硬皮豆种植密度呈幂式回归关系($R^2>0.93, P<0.05$)。



同一曲线上英文小写字母不同表示各样地间某指标差异显著($P<0.05$)。

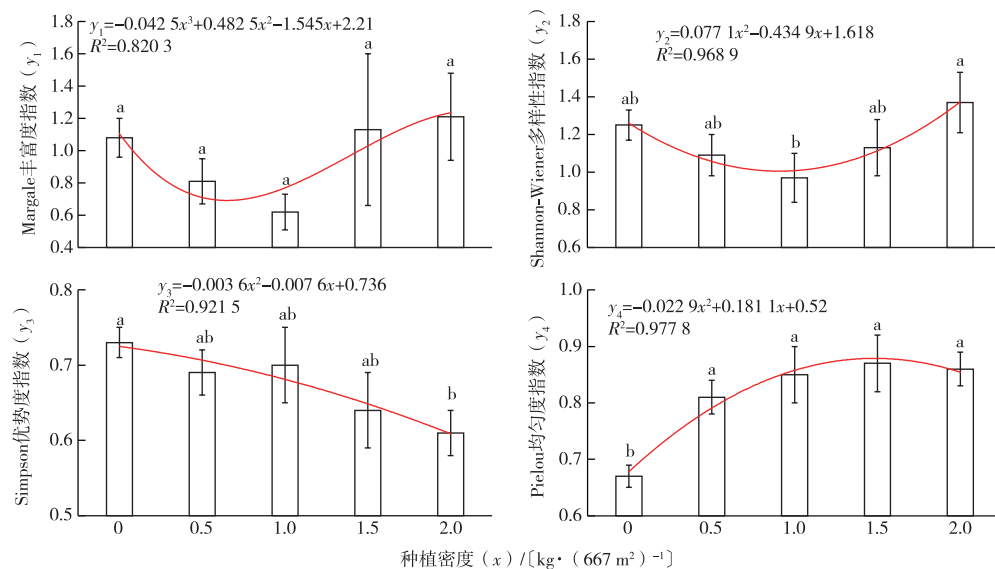
图2 不同样地杂草群落特征比较

Fig. 2 Comparison of weed community characteristics in different sites

2.1.3 杂草群落多样性比较

从图3可以看出,杂草群落 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数随着硬皮豆种植密

度的增加先降低后增加,均在 S4 处理下达最高水平。不同处理间 Shannon-Wiener 多样性指数达到显著差异水平($P<0.05$)。



同一幅图中英文小写字母不同表示各样地间某指标差异显著($P<0.05$)。

图3 不同样地杂草群落多样性比较

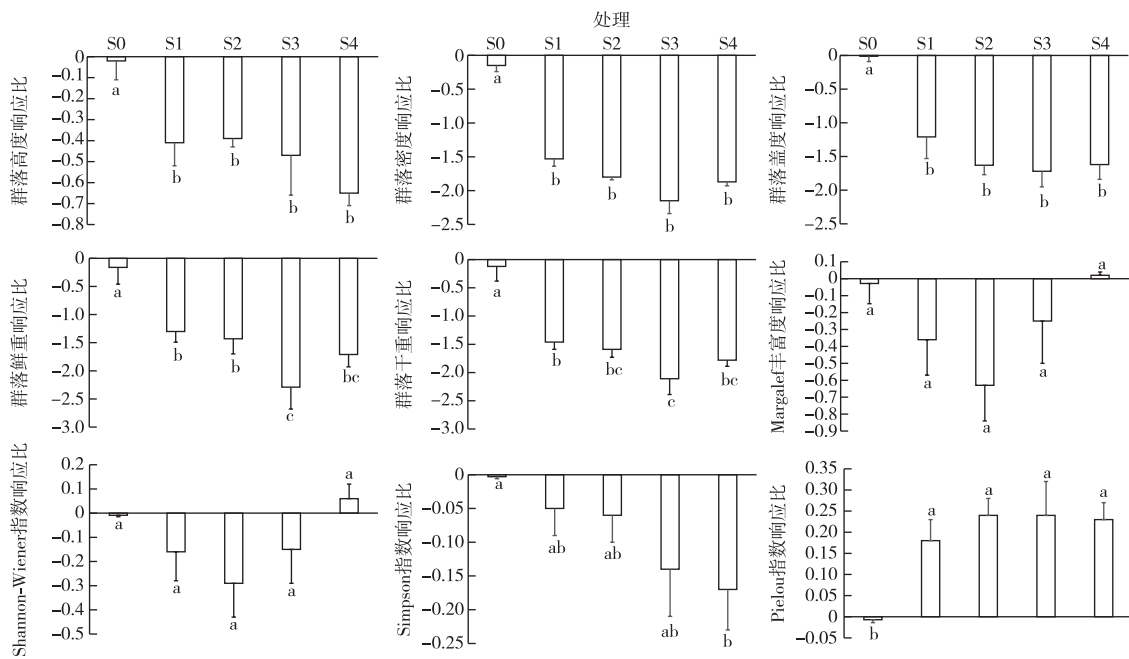
Fig. 3 Diversity comparison of weed community in different sites

杂草群落 Simpson 优势度指数随着硬皮豆种植密度的增加而降低, S4 处理显著低于对照 S0; 杂草群落 Pielou 均匀度指数随着硬皮豆种植密度的增加而增加, S1、S2、S3、S4 处理均显著高于对照 S0。对杂草群落物种多样性指数的拟合方程表明, 杂草群落的 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数与硬皮豆种植密度呈显著多项式回归关系 ($R^2 > 0.82, P < 0.05$)。

2.2 杂草群落特征及多样性指数响应比的变化

从图 4 可以看出, 不同硬皮豆种植密度下咖啡

幼龄园杂草群落高度响应比、密度响应比、盖度响应比、鲜重响应比及干重响应比存在差异, 整体上杂草群落特征指数随着绿肥种植密度的增加而显著降低 ($P < 0.05$)。Margalef 丰富度指数响应比和 Shannon-Wiener 多样性指数响应比则随着硬皮豆种植密度的增加而先降低后增加, 但差异不显著 ($P > 0.05$); Simpson 优势度指数响应比随着硬皮豆种植密度的增加而降低, 其中 S4 处理显著低于对照 S0 ($P < 0.05$); Pielou 均匀度指数响应比则随着硬皮豆种植密度的增加而增加, S1、S2、S3、S4 处理均显著高于对照 S0 ($P < 0.05$)。



S0—不种植硬皮豆; S1—硬皮豆播种密度为 $0.5 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$; S2—硬皮豆播种密度为 $1.0 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$; S3—硬皮豆播种密度为 $1.5 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$; S4—硬皮豆播种密度为 $2.0 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ 。
同一幅图中英文小写字母不同表示各处理间某指标差异显著 ($P < 0.05$)。

图 4 不同样地杂草群落特征及多样性指数的响应比

Fig. 4 Comparison of response ratio of weed community characteristics and diversity in different sites

2.3 杂草群落功能群重要值的变化

从表 2 可以看出, 不同硬皮豆种植密度对咖啡幼龄园杂草群落中禾本科重要值产生显著影响 ($P < 0.05$), S2、S3、S4 处理禾本科的重要值显著高于对

照 S0, 且 S2 处理禾本科重要值最高; 不同处理间功能群比较而言, 菊科和禾本科的重要值差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 不同样地杂草群落功能群重要值比较

Table 2 Comparison of important values of weed community functional groups in different sites

| 功能群 | 重要值 | | | | |
|-----------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | S0 | S1 | S2 | S3 | S4 |
| 禾本科 (Poaceae) | 0.93±0.35 ^c | 3.77±1.87 ^{bc} | 8.73±2.16 ^a | 7.87±1.77 ^{ab} | 4.53±1.09 ^{ab} |
| 菊科 (Asteraceae) | 1.98±0.87 ^a | 2.33±1.64 ^a | 3.02±3.02 ^a | 1.47±0.61 ^a | 4.23±1.05 ^a |
| 其他科 | 7.54±0.22 ^a | 8.86±1.23 ^a | 6.51±2.25 ^a | 6.33±1.26 ^a | 5.04±0.83 ^a |

S0 为不种植硬皮豆; S1、S2、S3、S4 硬皮豆播种密度分别为 $0.5、1.0、1.5、2.0 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ 。同一行数据后英文小写字母不同表示各样地间某功能群重要值差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 杂草功能群与群落多样性指数的相关性分析

从图 5 可以看出,杂草功能群禾本科、菊科及其他科的重要值与杂草群落 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数无显著相关性($P>0.05$)。

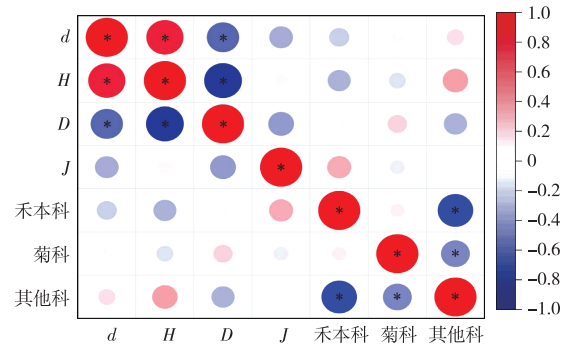
2.5 咖啡生长差异比较

从表 3 可知,不同硬皮豆种植密度下咖啡植株的株高、冠幅、地径、叶长、一级分枝对数、最长一级分枝长、最长一级分枝节间数及叶片厚度差异不显著($P>0.05$),S3 和 S4 处理下叶宽显著高于 S0($P<0.05$),整体上硬皮豆种植均一定程度促进了咖啡植株生长。

3 讨论与结论

生态学指标重要值可以反映群落种群的地位及作用,种群地位与重要值呈正相关关系^[12]。此次调查发现,绿肥硬皮豆种植 5 个月后咖啡园幼龄园优势杂草香附子重要值显著降低,其整体变化趋势为重要值随着硬皮豆种植密度的增加而先降低后

趋于平缓, $1.0 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ 及以上硬皮豆种植密度处理下的重要值均显著低于不种植硬皮豆处理,表明绿肥硬皮豆可以显著降低优势杂草香附子的种群地位。



d—Margalef 丰富度指数; H—Shannon-Wiener 多样性指数;
D—Simpson 优势度指数; J—Pielou 均匀度指数。
图中圆形大小表示 Pearson 相关系数大小, * 表示 $P<0.05$ 。

图 5 杂草功能群和群落物种多样性指数间的相关性分析
Fig. 5 Correlation analysis of weed functional groups and community species diversity

表 3 不同绿肥种植密度下咖啡生长情况差异比较

Table 3 Comparison of coffee growth under different planting densities of green manure

| 处理 | 株高/ cm | 冠幅/ cm | 地径/ cm | 叶长/ cm | 叶宽/ cm | 一级分枝 对数 | 一级分枝长/ cm | 最长一级分 枝节间数 | 叶片厚度/ 10^{-2} mm |
|----|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| S0 | 138.40±2.34 ^a | 123.60±3.50 ^a | 32.40±0.93 ^a | 12.44±0.45 ^a | 4.44±0.12 ^b | 20.00±0.32 ^a | 66.60±2.25 ^a | 19.80±0.49 ^a | 32.20±0.80 ^a |
| S1 | 140.60±3.23 ^a | 124.60±3.67 ^a | 32.40±0.60 ^a | 12.80±0.19 ^a | 4.58±0.08 ^{ab} | 20.40±0.75 ^a | 67.00±2.35 ^a | 20.40±0.24 ^a | 32.40±0.40 ^a |
| S2 | 142.20±2.85 ^a | 128.60±2.62 ^a | 32.70±0.58 ^a | 12.48±0.25 ^a | 4.74±0.09 ^{ab} | 20.80±0.37 ^a | 68.00±2.88 ^a | 20.20±0.37 ^a | 32.90±0.78 ^a |
| S3 | 139.40±3.26 ^a | 132.20±4.58 ^a | 33.50±0.75 ^a | 13.12±0.42 ^a | 4.88±0.07 ^a | 20.20±0.73 ^a | 68.00±2.72 ^a | 19.80±0.37 ^a | 32.60±0.93 ^a |
| S4 | 142.20±1.11 ^a | 129.60±1.17 ^a | 33.80±0.86 ^a | 12.70±0.14 ^a | 4.94±0.16 ^a | 20.20±0.37 ^a | 67.60±1.03 ^a | 20.00±0.32 ^a | 32.80±0.37 ^a |

S0 为不种植硬皮豆;S1、S2、S3、S4 硬皮豆播种密度分别为 $0.5、1.0、1.5、2.0 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ 。同一列数据后英文小写字母不同表示各处理间某指标差异显著($P<0.05$)。

香附子作为所有处理下的优势杂草,重要值介于 23.62~62.33 之间,在硬皮豆种植密度 $1.0 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ 下重要值最低,表明该种植密度即可达到较为理想的控制效果。究其原因可能是生长速度快、生物量大的硬皮豆可在短期内形成水肥、空间等竞争优势,致使株高不超 40 cm 的香附子在竞争中处于劣势,进而导致优势杂草香附子的株高、密度、盖度及生物量显著降低。此外,在 S0 和 S1 处理中,杂草反枝苋的重要值超过 8,但在其余处理下均未出现,这可能是由于反枝苋植株含水量高,硬皮豆覆盖后导致其植株快速腐烂。高度、盖度、密度及生物量作为植物群落特征指标,硬皮豆种植处理下不同指标的数值均有所下降,其中对照 S0 下杂草群落的高度、密度、盖度及生物量均显著高于种植硬皮豆处理。多项研究表明,绿肥种植可以显著

降低植物群落特征指标,控草效果显著^[8, 10],笔者研究结果与之相符。种群对环境资源的利用及适应度直接决定了该种群的生长状况^[13],绿肥种植会对有限的环境资源产生影响,导致资源的再分配,而生长速度快、生物量大的绿肥植物会在有限的环境资源内迅速占据有利的生态位^[14-15],从而导致咖啡幼龄园杂草群落及优势杂草香附子的群落特征指标降低。物种多样性是反映植物群落中物种组成、结构及动态差异程度的重要指标,物种丰富度指数、群落的多样性指数及均匀度指数数值越大,优势集中性越小,群落结构越复杂,对环境变化或来自群落内部种群波动的缓冲作用越强,群落越稳定^[16]。近年来人们逐渐开始关注绿肥种植对植物群落的影响,有学者认为绿肥种植对植物多样性没有显著影响,也有学者认为绿肥种植会导致植物群

落物种多样性水平降低^[8, 10]。付兴飞等^[10]研究发现,绿肥田菁对咖啡园杂草群落多样性水平影响较小或几乎没有影响。王雪等^[8]则发现,在柑橘园种植绿肥光叶苕子会显著降低杂草的物种多样性水平。笔者研究结果表明,随着硬皮豆种植密度的增加,杂草群落 Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数值均出现先降低后增加的变化趋势,但各处理间差异不显著;Simpson 优势度指数值则随着硬皮豆种植密度的增加而降低;硬皮豆种植处理下 Pielou 均匀度指数值均显著高于对照 S0。上述结果表明,绿肥硬皮豆种植密度的增加对咖啡幼龄园杂草群落的物种丰富度及多样性没有影响,但会降低群落中优势种群的优势度,使群落更均匀,也表明硬皮豆种植后咖啡幼龄园杂草群落更稳定。这主要是由于绿肥植物抢占了禾本科、菊科等植物的生长环境资源,但短期内并不会导致物种多样性水平下降。

植被群落受人为干扰后需要数十年才能恢复稳定^[17],咖啡园长期存在施肥、除草、中耕等农事操作,人为干扰强度较大。研究表明,人为干扰强度大的生态系统中菊科和禾本科等一、二年生杂草更占优势^[13]。笔者研究调查发现,在咖啡幼龄园中禾本科和菊科杂草占据有利地位,与前人研究结果一致。但种植生物量大及生长快的硬皮豆对咖啡幼龄园优势杂草及非优势杂草产生了消极影响,使杂草群落在获取光照、空间、养分等有限资源中失去竞争优势,从而导致杂草群落特征指数响应比发生显著变化。硬皮豆取代了原有杂草香附子的优势地位,使得杂草群落分布较为均匀,但由于植被群落稳定需要很长一段时间,该研究中的杂草群落仍处于演化期的初期,这也是导致不同绿肥种植密度下群落的 Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数较 Shannon-Winer 多样性指数和 Margalef 丰富度指数响应比更高的原因。人为干扰强度对生物多样性有着不同程度的影响,而多样性又是决定生态系统功能的重要因素^[11-12]。功能群可以较好地反映生物与环境间的关系^[10],杂草群落功能群分类中禾本科对绿肥硬皮豆不同种植密度的响应尤为明显,硬皮豆种植密度在 $1.0 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ 及以上的咖啡园禾本科重要值显著提高,占据更高的生态位,而菊科和其他科的响应规律并不明显。相较于人为干扰对植物物种重要值、群落物种多样性产生的单向影响,植被功能群与群落物种多样性之间的关系更值得关注^[17]。前人研究结果表明,在人为干扰情况下,禾本科的重要值与 4 种群落多样性指数间

存在显著负相关关系^[11]。笔者研究结果发现,禾本科重要值与 4 种群落多样性指数间无显著相关关系,与前人调查结果不一致。导致以上结果的原因可能是人为干扰是一个长期过程,短期种植硬皮豆导致咖啡园杂草群落仍在不断演化,并没有达到稳定水平。

咖啡植株生长状况直接决定了咖啡的产出。笔者研究调查表明,绿肥硬皮豆种植 5 个月后一定程度上促进了咖啡植株的生长,显著提高了叶宽,其原因可能主要是硬皮豆覆盖提高了土壤保水性,维持了地表湿度。已有研究证实,绿肥覆盖可以显著提高土壤蓄水保水能力,保湿效果显著^[18]。而绿肥提升土壤肥力是一个长期过程^[19],此次调查时间为绿肥种植 5 个月后,土壤肥力提升效果不明显,这也是导致不同处理间咖啡生长情况变化不大的关键原因。

绿肥硬皮豆种植可以显著降低咖啡幼龄园杂草群落重要值及杂草群落的高度、密度、盖度及生物量,硬皮豆采用 $1.0 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ 及以上的种植密度可显著抑制优势杂草香附子的生长,控草效果显著。短期内硬皮豆对咖啡园杂草群落多样性几乎没有影响,但可以显著降低植物群落优势度,使种群更均匀,群落结构稳定。同时,硬皮豆种植可以一定程度上促进咖啡植株的生长。人为干扰是一个长期过程,植被群落稳定需要很长一段时间,但该研究仅关注绿肥硬皮豆种植密度对咖啡幼龄园中杂草群落的短期影响,后续需进一步加强绿肥硬皮豆种植密度对咖啡幼龄园中杂草群落的长期影响研究。

参考文献:

- [1] 易芬远,杨淑兰,王超,等.65%硝磺草酮·氟吡吡氧乙酸异辛酯·莠去津可湿性粉剂防除玉米田杂草药效试验[J].农药,2022,61(11):855-858. [YI Fen-yuan, YANG Shu-lan, WANG Chao, et al. Control Effect of Mesotrione · Fluroxypyr-Meptyl · Atrazine 65% WP Against Weeds in Cornfield [J]. Agrochemicals, 2022, 61(11): 855-858.]
- [2] 博文静,郭立月,李静,等.不同耕作与施肥方式对有机玉米田杂草群落和作物产量的影响[J].植物学报,2012,47(6):637-644. [BO Wen-jing, GUO Li-yue, LI Jing, et al. Impact of Different Tillages and Fertilization Patterns on Weed Community and Corn Yield in an Organic Farmland [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2012, 47(6): 637-644.]
- [3] 陈欣,王兆骞,唐建军.农业生态系统杂草多样性保持的生态学功能[J].生态学杂志,2000,19(4):50-52. [CHEN Xin, WANG Zhao-qian, TANG Jian-jun. The Ecological Functions of Weed Biodiversity in Agroecosystem [J]. Chinese Journal of

- Ecology, 2000, 19(4): 50–52.]
- [4] FERNANDEZ M R, ZENTNER R P, SCHELLENBERG M P, *et al.* Soil Fertility and Quality Response to Reduced Tillage and Diversified Cropping under Organic Management[J]. *Agronomy Journal*, 2019, 111(2): 781–792.
- [5] 殷芳, 何小七, 樊志龙, 等. 复种绿肥补偿减量施氮导致的小麦光合效能和产量损失[J]. *植物营养与肥料学报*, 2022, 28(11): 1990–2000. [YIN Fang, HE Xiao-qi, FAN Zhi-long, *et al.* Compensation of Photosynthesis Indexes and Yield Loss of Wheat Caused by Nitrogen Reduction with Multiple Cropping Green Manures[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2022, 28(11): 1990–2000.]
- [6] 陈洪俊, 黄国勤, 杨滨娟, 等. 冬种绿肥对早稻产量及稻田杂草群落的影响[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(10): 1976–1984. [CHEN Hong-jun, HUANG Guo-qin, YANG Bin-juan, *et al.* Effects of Different Winter Planting-green Manure on the Grain Yield of Rice and Weed Community of Paddy Field[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(10): 1976–1984.]
- [7] 吕陇, 张登奎, 王琦, 等. 三叶草活覆盖对杂草、捕食性节肢动物和作物产量的影响[J]. *生态学杂志*, 2023, 42(12): 2944–2952. [LÜ Long, ZHANG Deng-kui, WANG Qi, *et al.* Effects of Clover Living Mulches on Weed, Predatory Arthropod, and Crop Yield in Maize and Soybean Production[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2023, 42(12): 2944–2952.]
- [8] 王雪, 张威, 伍玉鹏, 等. 绿肥种植配施减量氮肥对柑橘园杂草群落组成及多样性的影响[J]. *植物科学学报*, 2020, 38(2): 212–220. [WANG Xue, ZHANG Wei, WU Yu-peng, *et al.* Effects of Natural Grasses and Intercropping Green Manure on the Composition and Diversity of the Weed Community in a Citrus Orchard[J]. *Plant Science Journal*, 2020, 38(2): 212–220.]
- [9] 黄家雄, 吕玉兰, 李贵平, 等. 2020 年我国咖啡生产、贸易及消费形势分析[J]. *中国热带农业*, 2021(5): 40–53. [HUANG Jia-xiong, LÜ Yu-lan, LI Gui-ping, *et al.* Analysis of China's Coffee Production, Trade and Consumption in 2020[J]. *China Tropical Agriculture*, 2021(5): 40–53.]
- [10] 付兴飞, 胡发广, 李贵平, 等. 绿肥对咖啡园杂草多样性及功能群的影响[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(4): 1166–1174. [FU Xing-fei, HU Fa-guang, LI Gui-ping, *et al.* Effects of Green Manure on Weed Diversity and Functional Groups in Coffee Orchards[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(4): 1166–1174.]
- [11] 张宇, 侯路路, 闫瑞瑞, 等. 放牧强度对草甸草原植物群落特征及营养品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(13): 2550–2561. [ZHANG Yu, HOU Lu-lu, YAN Rui-rui, *et al.* Effects of Grazing Intensity on Plant Community Characteristics and Nutrient Quality of Herbage in a Meadow Steppe[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2550–2561.]
- [12] 张楚, 王森, 代景忠, 等. 有机肥对草甸草原植物群落及物种多样性的影响[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 44(3): 26–39. [ZHANG Chu, WANG Miao, DAI Jing-zhong, *et al.* Effect of Organic Fertilizer on Plant Communities and Species Diversity in Meadow Steppe[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 44(3): 26–39.]
- [13] 王储, 闫玉春, 蔡育蓉, 等. 呼伦贝尔草甸草原退耕后不同恢复期植物多样性变化[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(6): 197–206. [WANG Chu, YAN Yu-chun, CAI Yu-rong, *et al.* Change of Plant Diversity in the Different Recovery Stage after Agricultural Abandonment in Hulunbuir Meadow Steppe[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(6): 197–206.]
- [14] STRATONOVITCH P, STORKEY J, SEMENOV M A. A Process-Based Approach to Modelling Impacts of Climate Change on the Damage Niche of an Agricultural Weed [J]. *Global Change Biology*, 2012, 18(6): 2071–2080.
- [15] GOODALL J, WITKOWSKI E T F, MCCONNACHIE A J, *et al.* Altered Growth, Population Structure and Realised Niche of the Weed *Campuloclinium macrocephalum* (Asteraceae) after Exposure to the Naturalised Rust *Puccinia eupatorii* (Pucciniaceae) [J]. *Biological Invasions*, 2012, 14(9): 1947–1962.
- [16] 范苗, 伍玉鹏, 胡荣桂, 等. 武汉市城区苔藓植物多样性和分布及与环境因子的关系[J]. *植物科学学报*, 2017, 35(6): 825–834. [FAN Miao, WU Yu-peng, HU Rong-gui, *et al.* Diversity and Distribution of Bryophytes and Their Relationship with Environmental Factors in Wuhan[J]. *Plant Science Journal*, 2017, 35(6): 825–834.]
- [17] TILMAN D, DOWNING J A. Biodiversity and Stability in Grasslands[J]. *Nature*, 1994, 367: 363–365.
- [18] 王贞元, 冶瑞, 赵劲飞, 等. 种植绿肥对土壤性状改良的研究进展[J]. *北方果树*, 2023(1): 1–5. [WANG Zhen-yuan, YE Rui, ZHAO Jin-fei, *et al.* Research Progress on Improvement of Soil Properties by Planting Green Manure[J]. *Northern Fruits*, 2023(1): 1–5.]
- [19] 祁琛, 吴林甲, 闫秋艳, 等. 夏闲期复播绿肥对旱地麦田土壤团聚体碳氮含量的影响[J]. *水土保持学报*, 2023, 37(4): 304–312. [QI Chen, WU Lin-jia, YAN Qiu-yan, *et al.* Effects of Green Manure Application on Soil Organic Carbon and Nitrogen Content among Aggregates Fractions in Dryland Wheat Fields[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2023, 37(4): 304–312.]

作者简介: 付兴飞(1992—), 男, 云南昆明人, 助理研究员, 硕士, 主要从事农业生态、植物保护等方面的研究。E-mail: 1161003575@qq.com

(责任编辑: 许 素)