

## 咖啡园养鹅对土壤理化性质、杂草群落及咖啡生长的影响

付兴飞<sup>1,2</sup>, 喻好好<sup>1,2</sup>, 李贵平<sup>1,2</sup>, 瞿炳青<sup>1,2</sup>, 胡发广<sup>1,2\*</sup>

(1. 云南省咖啡重点实验室, 云南保山 678000;

2. 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)

**[摘要]**为明确咖啡园养鹅对土壤理化性质、杂草群落及咖啡生长的影响,对常规管理和养鹅条件下咖啡园的土壤理化性质进行测定,并对杂草群落、咖啡生长情况及控草投入经济性开展调查。结果表明:养鹅和常规咖啡园杂草种类分别为20种、16种,养鹅显著降低了竹节菜、反枝苋、圆叶牵牛的植株密度和植株总密度,显著提高飞扬草植株密度,显著降低了一年生或越年生被子植物类杂草的密度;养鹅显著提高了杂草群落的Margalef丰富度指数 $d$ 、Shannon-Wiener多样性指数 $H$ 及Simpson优势度指数 $D$ ,显著降低了杂草的鲜重和干重。养鹅对咖啡园土壤含水量无影响,但显著增加了0—5 cm层次的土壤硬度,显著降低了30—35 cm层次的土壤硬度、土壤碱解氮含量和速效钾含量,显著增加了有效磷的含量。养鹅显著提高咖啡植株叶厚和叶绿素相对含量,对其余生长指标无显著影响。咖啡园养鹅控草投入为2 300元/hm<sup>2</sup>,较对照降低74.44%。综上,咖啡园养鹅具有控草效果好、经济投入低和对咖啡植株生长无影响的特点,具有显著的杂草群落多样性保护效益。但养鹅会降低咖啡园表层土硬度、碱解氮及速效钾的含量,建议定期松土,及时补充氮、钾元素含量高的复合肥。

**[关键词]**咖啡;养鹅;杂草群落;土壤养分;经济效益

中图分类号:S571.2;S451 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2026)01-0007-08

### Effects of Raising Geese in Coffee Orchard on Soil Physicochemical Properties, Weed Community, and Coffee Growth

FU Xingfei<sup>1,2</sup>, YU Haohao<sup>1,2</sup>, LI Guiping<sup>1,2</sup>, QU Bingqing<sup>1,2</sup>, HU Faguang<sup>1,2\*</sup>

1. Yunnan Key Laboratory of Coffee, Baoshan 678000, China;

2. Institute of Tropical and Subtropical Cash Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Baoshan 678000, China

**Abstract:** To determine the impact of raising geese on coffee plantations regarding soil physicochemical properties, weed communities, and coffee growth, the determination of soil physicochemical properties was conducted between conventional (CK) and goose-reared coffee plantations. And an investigation was carried out on weed communities, coffee growth, and weed control input. The results showed that there were 20 and 16 weed species in the goose-reared and conventional coffee plantations respectively. Raising geese significantly reduced the plant density and total plant density of *Commelina diffusa*, *Amaranthus retroflexus*, and *Ipomoea purpurea*, while significantly increasing the plant density of *Euphorbia hirta*, which also notably decreased the density of annual or over annual angiosperm weeds. Raising geese significantly improved the Margalef richness index ( $d$ ), Shannon-Wiener diversity index ( $H$ ), and Simpson dominance index ( $D$ ) of the weed community and significantly reduced the fresh and dry weights of the weeds. There was no effect on soil moisture content in coffee plantations with geese, but the significant increase in soil hardness at the 0—5 cm layer and the significant decrease in soil hardness, soil alkali-hydrolyzable nitrogen content and available potassium content at the 30—35 cm layer were found, which significantly increased the content of available phosphorus. Raising geese significantly improved leaf thick-

收稿日期:2025-06-25

基金项目:云南省重点研发计划(202303AC10001203);

云南省科技厅科技计划项目创新引导与科技型企业培育计划(202304BP090027)

作者简介:付兴飞(1992—),男,助理研究员,硕士,主要从事植物保护研究工作。E-mail:1161003575@qq.com

\*通信作者:胡发广(1979—),男,研究员,主要从事植物保护研究工作。E-mail:hfg2632@126.com

ness and chlorophyll value but had no effect on other growth indicators. The weed control input in coffee plantations with geese was 2 300 yuan/hm<sup>2</sup>, which was 74.44% lower than the control. In summary, raising geese in coffee plantations has the advantages of good weed control effect, low economic input, and no impact on the growth of coffee plants. It has significant benefits for the protection of weed community diversity. However, raising geese can reduce the hardness of the surface soil in coffee plantations, alkali-hydrolyzable nitrogen, and available potassium content. It is recommended to regularly loosen the soil and timely supplement compound fertilizers with high nitrogen and potassium content.

**Key words:** coffee; raises geese; weed community; soil nutrients; economic benefits

农业生态系统具有重要的社会和生态系统服务功能,在维持区域生态安全、食物生产、原料生产、气候调节等方面发挥重要作用<sup>[1-2]</sup>。而杂草作为农业生态系统的核心类群,一方面与作物间存在明显光、温、水、肥及空间等竞争关系,另一方面可成为病虫害的传播媒介,在一定程度上影响着作物的生长和产量稳定<sup>[3]</sup>。生产中常采用除草剂、覆膜、人工除草等技术进行无差别防除,达到抑灭杂草的目的<sup>[4]</sup>。无差别的抑灭杂草会导致农业生态系统生物多样性水平降低,进而对农田生态系统稳定和可持续发展构成严重威胁,最终导致群落结构单一、抗病虫害能力急剧降低、多样性水平降低等诸多问题<sup>[5-6]</sup>。

丰富的生物多样性是维持生态系统稳定平衡及可持续发展的基础<sup>[7]</sup>。杂草作为农业生态系统的核心组成部分,控制不当必然对作物产生负面效益,但杂草在保护农业天敌类群稳定、维持土壤肥力、促进养分循环及消除环境污染等方面的功能也不容忽视<sup>[4]</sup>。因此,从农业生态系统全局衡量杂草的利弊性,探索一种对杂草群落生态系统功能影响小和农业生产危害低的生产模式尤为关键。“农牧一体化”(Agro-pastoral integration, API)作为一种作物栽培与畜禽养殖新型复合农业生产模式,经济和生态效益显著<sup>[6,8]</sup>,基于“农牧一体化”已开发出了“玉米田养鹅”<sup>[6]</sup>和“梨园放牧养鹅”<sup>[6,9,11]</sup>等模式。前人对“农牧一体化”模式的能值<sup>[10]</sup>、生物多样性保护<sup>[6,11]</sup>、经济效益<sup>[8]</sup>、控草效果<sup>[9]</sup>、目标作物生长<sup>[6,11]</sup>及土壤性状<sup>[6]</sup>开展了大量的调查研究。沙志鹏等<sup>[10]</sup>对玉米田养鹅生产模式的能值评估表明,玉米田养鹅具有环境友好、经济效益明显和可持续发展能力强的优势,但生产率和自给方面有待提高。曹舰艇等<sup>[6]</sup>和张宇阳等<sup>[11]</sup>对玉米田养鹅措施下杂草

群落多样性研究表明,玉米田养鹅在生物多样性水平维持方面发挥积极效益。关法春等<sup>[9]</sup>则认为农牧一体化生产在维持较高生物多样性的基础上可以产生更多的可利用资源,进而为农田生产力提升和生产效率倍增奠定基础。在控草效果方面,养鹅措施可以显著降低杂草生物量,抑制杂草生产,该结果已在梨园生产实践中被证实<sup>[9]</sup>。目标作物生长方面,养鹅并不会显著制约玉米的生长和生产<sup>[6,11]</sup>,但对其它作物的影响尚不明确。此外,养鹅还会影响土壤理化性状,显著降低土壤速效钾含量和深度15—35 cm的土壤紧实度<sup>[6]</sup>。

咖啡作为云南省最具特色的优势产业之一,在全国占比均超过98%<sup>[12]</sup>。杂草作为咖啡园的重要类群,也是影响咖啡生长和产量稳定的关键因子,过去多采用人工除草和除草剂控草,除草成本2 985~4 478元/hm<sup>2</sup>,生态效益并不明显,尤其是除草剂控草<sup>[13-14]</sup>。尽管已有研究利用豆科植物田菁和硬皮豆进行咖啡园覆草,并具有显著控草效果和生态效益,但经济效益并不明显,持续性相对较差<sup>[14]</sup>。基于“农牧一体化”技术在经济和生态效益的优势,本研究对养鹅和常规管理下咖啡园杂草群落多样性特征、土壤理化性质及对咖啡植株生长情况开展调查和分析,旨在明确咖啡园养鹅在控草、生物多样性维持、土壤理化性状改善等方面的具体效益,以期为咖啡园养鹅技术的应用提供数据支撑,并进一步丰富“农牧一体化”理论。

## 1 材料和方法

### 1.1 样地设置及概况

研究样地位于云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所潞江镇咖啡科研基地(24° 58'

32° N, 98° 52' 37" E), 海拔(623±5)m, 该区域属低纬度准热带季风雨林偏干热河谷过渡类型气候, 旱雨季分明, 昼夜温差大, 年均温差小, 降雨量极低, 全年无霜。土壤为黑色沙壤土, 偏微酸性或中性。基地于2022年已初步完成3.33 hm<sup>2</sup>小粒种咖啡定植, 种植规格为1 m×2 m, 并按照6 m×8 m的种植规格间作了蛋黄果、芒果及牛油果作为咖啡荫蔽树, 咖啡品种包括‘瑰夏’‘卡蒂姆7963’‘铁皮卡’等, 基地内建设有标准的水肥一体化设施。

试验所选区域为小粒种咖啡间套作芒果, 面积约为2 hm<sup>2</sup>, 咖啡品种为保山市种植时间最早、品质较好、生产管护要求更高、经济产值更高的‘铁皮卡’。自2023年起, 在咖啡园设养鹅处理和常规处理(CK), 样地面积均为1 hm<sup>2</sup>, 2种类型咖啡园施肥、灌溉及除草次数完全一致, 处理区使用高度为1.5 m的尼龙纱网进行分隔。当地咖啡园除草方式包括机械除草、地布覆盖、人工除草, 而未投产咖啡园由于咖啡植株较小, 主要采用人工除草方式。本试验均为人工除草, 同时也为避免损坏水肥一体化设备, 从4月开始至10月结束, 共开展6次, 试验期间不进行病虫害防控。养鹅处理咖啡园中共释放于市场内购买的同一批次、相同品种的成鹅16只(成鹅体重1.5~2.0 kg, 包括7只公鹅、9只母鹅), 为保障成鹅下蛋稳定性, 于每天上午8:30定点定量投放2 kg玉米粒作为辅食, 其余食物则通过在园内取食杂草获取。

## 1.2 调查方法

### 1.2.1 杂草群落特征调查

2023年7月20日, 在处理区域内分别随机选择9个1 m×1 m的样方, 记录样方内杂草的种类, 对各杂草的平均株高、盖度、密度进行测定。上述指标调查完毕后, 收割样方内杂草地上部分, 称取记录杂草鲜重; 带回实验室, 在105 °C下烘烤30 min以迅速终止酶活性, 然后在80 °C下烘干至恒重, 称取记录杂草干重。根据采集杂草的种类, 参照Purice等<sup>[15]</sup>的杂草功能群划分标准, 将采集的杂草种类划分为单子叶一年生或越年生被子植物(MA)、双子叶多年生被子植物(DP)和双子叶一年生或越年生被子植物(DA)3个类

群<sup>[15]</sup>。并计算各杂草的重要值和多样性指数。

(1)重要值计算: 根据公式1—4计算各样方内各杂草的重要值( $I_v$ )<sup>[16]</sup>。

$$\text{公式1: } H_r = \frac{H_i}{\sum H_i}; \text{公式2: } D_r = \frac{D_i}{\sum D_i};$$

$$\text{公式3: } C_r = \frac{C_i}{\sum C_i}; \text{公式4: } I_v = \frac{H_i + D_i + C_i}{3}$$

式中式中 $H_r$ 为物种的相对株高,  $H_i$ 为第 $i$ 物种的平均株高,  $D_r$ 为相对密度,  $D_i$ 第 $i$ 物种的相对密度,  $C_r$ 为相对盖度,  $C_i$ 为第 $i$ 物种的盖度。

(2)多样性指数计算: 根据公式5—8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 $J$ <sup>[17]</sup>。

$$\text{公式5: } d = \frac{S-1}{\ln(N)}; \text{公式6: } H = -\sum P_i \times \ln(P_i);$$

$$\text{公式7: } D = 1 - \sum P_i^2; \text{公式8: } J = \frac{H}{\ln(S)}$$

式中 $S$ 为样方内的物种数,  $N$ 为样方内的全部植株株数,  $P_i$ 为样方内第 $i$ 个物种的重要值。

### 1.2.2 土壤理化性质测定

2024年3月6日, 在各处理区域内分别随机选取9个点, 采用土壤紧实度仪(山东恒美电子科技有限公司, 型号: HM-JSD1)对取样点0—35 cm土层段的土壤硬度进行测定, 在0—5、5—10、10—15、15—20、20—25、25—30、30—35 cm共7个深度分层测定土壤紧实度。对各取样点5—15 cm土层段的土样进行取样, 每个样点取土样1 kg, 将3个样点土样合并为1个样本, 每种处理3个样本, 分别称取200 g土样测定含水量。其余土样风干后, 采用乙酸铵溶液浸提, 火焰光度法测定土壤速效钾含量; 采用碱解扩散法测定土壤碱解氮含量; 采用碳酸氢钠/氟化铵盐浸提, 钼锑抗比色法测定土壤有效磷含量; 每种处理各测定3个样本。

### 1.2.3 咖啡生长情况调查

2024年3月6日, 每个处理区随机选择无严重病虫害、无明显机械损伤的咖啡植株9株, 使用卷尺测定株高、冠幅、最长一级分枝长度、叶长及叶宽, 计数测量所选植株的最长一级分枝节间数; 使用游标卡尺测定地径; 使用手持便携式植物叶片厚度测定仪测定叶片厚度; 使用SPAD 502Plus

叶绿素仪测定叶绿素相对含量。测定叶片指标时,选择最长一级分枝顶端的第三对已成熟叶片。

### 1.2.4 除草经济投入调查

因咖啡植株尚未投产,本次调查经济效益方面涉及养鹅投入、养鹅产出和人工除草投入3部分。其中,人工除草投入按每人每天100元核算;养鹅投入按每月投放100 kg玉米计算,玉米市场单价3元/kg;养鹅产出按全年产蛋量进行核算,鹅蛋市场价以5元/枚计。除草经济投入=人工除草投入+养鹅投入-养鹅产出。

### 1.3 数据分析

使用Excel 2021对采集的数据进行整理和多样性指标、除草经济投入计算,并采用SPSS 21.0软件中的t-检验法进行差异显著性分析,利用Excel 2021进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 杂草群落特征

#### 2.1.1 咖啡园杂草种类、密度及功能群

养鹅处理咖啡园有20种杂草,葛(*Pueraria montana*)、翼齿六棱菊(*Laggera crispata*)、硬皮豆(*Macrotyloma uniflorum*)、羽芒菊(*Tridax procumbens*)、霍香蓟(*Ageratum conyzoides*)、救荒野豌豆(*Vicia sativa*)及牵牛(*Ipomoea nil*)共7种杂草仅在该模式下出现;对照处理咖啡园有杂草16种,狗尾草(*Setaria viridis*)、马鞭草(*Verbena officinalis*)共2种杂草仅在该模式下出现,2种模式下咖啡园共有杂草14种,其中:对照处理的竹节菜(*Commelina diffusa*)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)、圆叶牵牛(*Ipomoea purpurea*)植株密度显著或极显著高于养鹅处理,分别是养鹅处理的4.88倍、9.70倍、2.87倍( $P < 0.05, n=9$ );而养鹅处理的飞扬草(*Euphorbia hirta*)植株密度是对照的10.09倍,达极显著差异水平;对照处理杂草的总密度是养鹅处理的2.03倍,彼此间达极显著差异(表1)。

表1 不同处理下杂草种类及密度

杂草种类及功能群		植株密度/(株·m <sup>2</sup> )	
		常规处理	养鹅处理
单子叶一年生或越年生被子植物(MA)	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	0.11±0.11	—
	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	0.78±0.78	7.00±4.02
	千金子 <i>Leptochloa chinensis</i>	0.56±0.44	1.67±0.68
	香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	2.44±0.71	3.67±1.49
	竹节菜 <i>Commelina diffusa</i>	49.33±5.89**	10.11±4.46
双子叶多年生被子植物(DP)	葛 <i>Pueraria montana</i>	—	0.11±0.11
	马鞭草 <i>Verbena officinalis</i>	0.22±0.22	—
	赛葵 <i>Malvastrum coromandelianum</i>	2.67±0.33	5.22±2.20
	翼齿六棱菊 <i>Laggera crispata</i>	—	0.11±0.11
	硬皮豆 <i>Macrotyloma uniflorum</i>	—	0.11±0.11
	羽芒菊 <i>Tridax procumbens</i>	—	0.11±0.11
双子叶一年生或越年生被子植物(DA)	齿裂大戟 <i>Euphorbia dentata</i>	0.11±0.11	0.33±0.17
	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	23.67±4.25**	2.44±0.58
	飞扬草 <i>Euphorbia hirta</i>	0.11±0.11	1.11±0.26**
	鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	0.89±0.56	5.78±5.15
	霍香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	—	0.67±0.24
	救荒野豌豆 <i>Vicia sativa</i>	—	0.22±0.15
	龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	1.00±0.53	0.22±0.15
	牵牛 <i>Ipomoea nil</i>	—	0.56±0.24
	田菁 <i>Sesbania cannabina</i>	0.11±0.11	0.56±0.18
	甜麻 <i>Corchorus aestuans</i>	0.33±0.24	1.33±0.53
	圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i>	5.11±1.11*	1.78±0.55
	合计	87.44±7.24**	43.11±7.98

注:—表示杂草未在该区域出现,\*表示在 $P < 0.05$ 水平差异有统计学意义,\*\*表示在 $P < 0.01$ 水平差异有统计学意义。

对照处理 MA 和 DA 功能群杂草总密度均显著高于养鹅处理;对照处理 DP 功能群杂草总密度低于养鹅处理,但彼此间差异不显著(图1)。

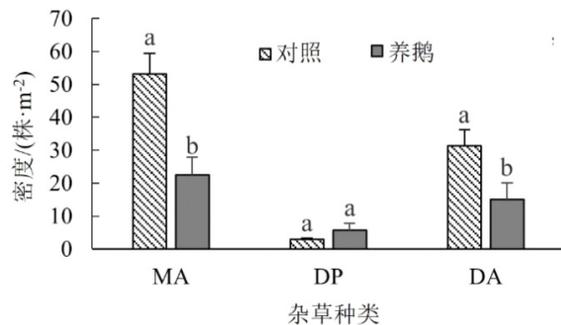


图1 不同处理下功能群杂草密度

注:同一分组不同小写字母表示差异显著,下同。

### 2.1.2 杂草多样性及生物量

养鹅处理 Margalef 丰富度指数  $d$ 、Shannon-Wiener 多样性指数  $H$  及 Simpson 优势度指数  $D$ 、Pielou 均匀度指数  $J$  分别为 2.59、2.04、0.83、0.90, 均高于对照处理,除 Pielou 均匀度指数  $J$  彼此间无显著差异外,其余 3 个多样性指数彼此间均达到显著差异水平。从杂草地上生物量来看,对照处理下杂草的鲜重及干重均显著高于养鹅处理,分别为养鹅处理的 3.54 倍和 1.75 倍(表 2)。

表 2 不同处理下杂草群落生物量和多样性指数

项目	常规处理	养鹅处理
丰富度指数	1.25±0.12b	2.59±0.34a
多样性指数	1.58±0.08b	2.04±0.15a
优势度指数	0.74±0.02b	0.83±0.03a
均匀度指数	0.85±0.01a	0.90±0.02a
鲜重/g	1 914.33±150.83a	540.24±76.70b
干重/g	266.48±27.93a	152.68±26.93b

注:同行不同小写字母表示差异显著,下同。

## 2.2 土壤性质

### 2.2.1 土壤含水率

养鹅处理下土壤含水率高于对照,养鹅处理下土壤含水率为 11.52%,对照处理下土壤含水率为 10.27%,但彼此间差异不显著。

### 2.2.2 土层硬度

2 种处理的土层硬度均随着土层深度的增加而降低。其中 0—5 cm 层次,养鹅处理的土壤硬度显著高于对照;30—35 cm 层次,养鹅处理土壤

硬度显著低于对照;10—25 cm 层次,2 种处理间土壤硬度差异不显著(图 2)。

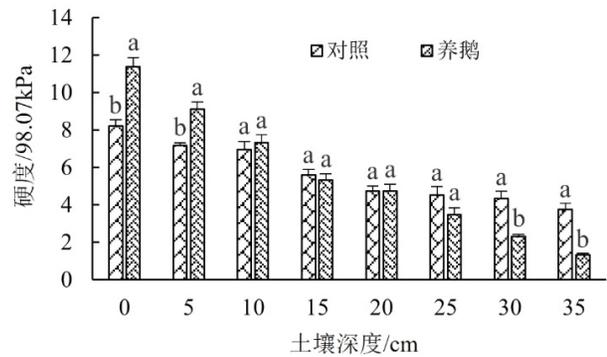


图 2 不同处理下土壤硬度

### 2.2.3 土壤养分状况

相比常规管理的咖啡园,养鹅显著降低了土壤碱解氮和速效钾含量,但显著增加了有效磷的含量(图 3)。

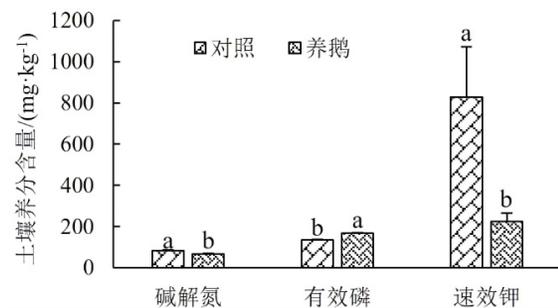


图 3 不同处理下土壤养分指标

## 2.3 咖啡植株生长情况

养鹅处理的咖啡植株叶厚和叶绿素相对含量均显著高于对照处理,较对照处理分别提高了 7.99% 和 42.87%。养鹅处理下冠幅、地径、最长一级分枝长、最长一级分枝节间数均高于对照,株高、叶长、叶宽、一级分枝数均低于对照处理,但彼此间差异不显著(表 3)。

### 2.4 除草经济投入

养鹅处理下,16 只成鹅取食 1 hm<sup>2</sup> 咖啡园的杂草,仅人工除草投入较对照处理少 3 000 元,成本降低了 33.33%,并且通过养鹅产蛋全年获得经济收入 7 300 元。最终,控制 1 hm<sup>2</sup> 咖啡园杂草的总投入仅为 2 300 元,较对照降低了 74.44%(表 4)。

表 3 不同处理下咖啡生长情况

生长指标	养鹅处理	常规处理
株高/cm	127.67±2.32a	129.89±4.08a
冠幅/cm	140.67±4.94a	135.22±3.06a
地径/mm	30.39±0.77a	29.54±1.08a
叶长/cm	12.30±0.29a	12.37±0.38a
叶宽/cm	5.01±0.08a	5.17±0.21a
叶厚/0.01mm	45.00±0.73a	41.67±0.65b
一级分支数	18.56±0.34a	19.67±0.58a
最长一级分枝长/cm	81.56±2.21a	78.22±2.19a
最长一级分枝分节间数	21.44±0.58a	21.00±0.33a
叶绿素相对含量	15.33±1.19a	10.73±0.57b

表 4 不同处理下经济核算 单位: 元

项目	养鹅处理	常规处理
人工除草投入	6 000	9 000
养鹅投入	3 600	0
养鹅产出	7 300	0
纯经济投入	2 300	9 000

### 3 讨论

杂草为制约作物生长、产量及品质稳定的关键因子之一<sup>[18]</sup>,随着生产方式改变,其所处生境也会随之变化,杂草的种类、密度及生物量等也会作出相应的响应,最终杂草群落多样性也会受到影响<sup>[18]</sup>。农田养鹅已被证实会对杂草种类、密度及生物量等产生影响,进而改变杂草群落多样性<sup>[18]</sup>。本次试验调查结果表明,养鹅咖啡园杂草种类为 20 种,较常规咖啡园杂草种类增加了 25%。张宇阳等<sup>[11]</sup>在玉米田中养鹅也发现了类似现象,养鹅后玉米田的杂草种类较常规管理的种类增加 15 种;曹舰艇等<sup>[6]</sup>在玉米田养鹅后杂草种类增加了 10 种。本研究结果与前人结果一致,导致杂草种类增加的原因主要是鹅取食、踩踏及粪便还田等活动直接改变了咖啡园小生境,为双子叶多年生被子植物(DP)葛、翼齿六棱菊、硬皮豆、羽芒菊和双子叶一年生或越年生被子植物(DA)霍香蓟、救荒野豌豆及牵牛的萌发提供了有利条件。首先,鹅的取食和踩踏,导致部分杂草的生存空间被压缩,从而形成新的生态位空间<sup>[11]</sup>,为上述 7 种杂草的生长提供了有利条件;其次,鹅在有限空间内活动,必然导致部分低矮、木质化程度低、生物量小、长势缓慢或鹅喜食类杂草种类

短暂时消失,如长势缓慢、生物量小的马鞭草和木质化程度低、鹅喜食性杂草狗尾草。同时,养鹅咖啡园杂草总密度显著降低,这与鹅的取食和踩踏后杂草生存空间被压缩相关;而各杂草密度变化则与鹅活动和杂草生物学特性有关,最为明显的是养鹅处理下竹节菜、反枝苋、圆叶牵牛的密度显著降低。竹节菜和圆叶牵牛均属低矮匍匐类杂草,受踩踏后必然导致密度降低;其次,竹节菜和反枝苋均为鹅喜食类杂草。而养鹅后飞扬草的密度显著提高,则主要是由于飞扬草在 2 种处理下植株密度均低于 1.2 株/m<sup>2</sup>,并非优势杂草种类,而因其低矮、木质化程度高、非鹅喜食的特性,其他杂草生态位空间被压缩后反而为其生长提供了有利条件。

养鹅后杂草功能群密度也随之发生改变,主要表现为单子叶一年生或越年生被子植物(MA)和双子叶一年生或越年生被子植物(DA)的植株密度显著降低,原因是单子叶一年生或越年生被子植物(MA)的 5 种杂草均为鹅喜食性杂草;双子叶一年生或越年生被子植物(DA)种优势杂草反枝苋和圆叶牵牛的植株密度被显著降低,而其余 9 种杂草的植株密度均不超过 1.5 株/m<sup>2</sup>,属咖啡园常见杂草;双子叶多年生被子植物(DP)的 6 种杂草多为木质化程度高、生物量大、鹅不喜食性杂草,且常规咖啡园仅有 2 种,养鹅咖啡园有 5 种。养鹅咖啡园杂草群落的 Margalef 丰富度指数 *d*、Shannon-Wiener 多样性指数 *H*、Simpson 优势度指数 *D* 均显著高于常规管理咖啡园,主要由于杂草物种数较多导致,养鹅后杂草的群落多样性和丰富度均有所提高,则主要是鹅的取食和踩踏行为改变了原有杂草群落间的物种竞争关系,形成新的生态位空间,从而提高了物种数量、丰富度及多样性<sup>[19]</sup>,表明养鹅增加了咖啡园杂草群落稳定性,更有利咖啡园杂草群落生物多样性保护。

此外,养鹅可以显著降低杂草地上部分的生物量,具有显著的控草效果<sup>[9]</sup>。本试验中咖啡园养鹅显著降低了杂草的鲜重和干重,而常规管理咖啡园杂草生物量为养鹅处理的 3.54 倍和 1.75 倍,表明在咖啡园养鹅具有显著的控草效果,可在实践生产中进行推广应用。

林下养鹅取食杂草,可改变田间通风、透光性,进而改善土壤的水、热状况,鹅粪便还田则可以改善土壤微生物环境,对土壤的理化性状和养分平衡产生重要影响<sup>[20]</sup>。本研究结果表明,咖啡园养鹅可以一定程度提高5—15 cm土层段的含水率,这主要是由于鹅的长期踩踏致地表层板结,可以一定程度降低土壤水分蒸发量,0—15 cm土层段的硬度也均高于常规咖啡园的,且0—5 cm土层段达显著差异水平。而随着土层深度增加,更高的含水率会导致养鹅咖啡园20—35 cm土层段的土壤硬度降低,使土壤变得更疏松。此外,鹅粪属于生理酸性肥,可使土壤酸化<sup>[21]</sup>,更有利于形成酸性土壤或维持土壤酸性。而咖啡喜弱酸性土壤,属浅根系作物,根系主要分布于30 cm土层段<sup>[22]</sup>,相对较高的土壤含水率、疏松土层及持续性的粪便还田更利于咖啡植株的生长。咖啡生长情况调查结果表明,咖啡植株的冠幅、地径、叶厚、最长一级分枝长度、最长一级分枝节间数、叶绿素相对含量均高于常规管理咖啡园。多项研究证实农田养鹅以粪便还田的方式可以提高土壤养分含量<sup>[6,21]</sup>。但本研究调查结果表明,咖啡园养鹅1 a后土壤的碱解氮和速效钾含量显著降低,而有效磷含量显著提高,调查结果与曹舰艇等<sup>[6]</sup>和杨红等<sup>[21]</sup>的并不一致。究其原因可能是咖啡园养鹅时间相对较短,曹舰艇等<sup>[6]</sup>和杨红等<sup>[21]</sup>农田养鹅时间均超过了3 a。因此,短期内鹅粪还田还不足以提供咖啡生长所需的正常养分,在生产实践中仍需适当的补充复合肥才能维持咖啡植株的正常生长。

咖啡植株生长状况直接决定了咖啡的产出<sup>[23]</sup>。本研究调查结果表明,咖啡园养鹅可以显著提高咖啡叶片厚度和叶绿素相对含量,冠幅、地径、最长一级分枝长度、最长一级分枝节间数4项指标也高于常规管理咖啡园。叶绿素作为植物光合色素之一,叶片厚度与抗旱性高度关联<sup>[24]</sup>。养鹅后咖啡叶片叶绿素相对含量增加,表明咖啡园养鹅可以一定程度增加咖啡植株抗旱性<sup>[25]</sup>。因此,短期内在咖啡园养鹅可以一定程度促进咖啡植株生长,并不会对咖啡植株产生负面效应。

咖啡园杂草控制一直是影响咖啡产值增长的关键因素之一<sup>[13]</sup>,生产中每年控草成本为2 985~4 478元/hm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。本次试验期内因只使用人工除草,常规咖啡园年除草成本高达9 000元/hm<sup>2</sup>,而养鹅咖啡园通过鹅取食杂草控草和养鹅产蛋售卖,年除草成本仅为2 300元/hm<sup>2</sup>,较对照降低74.44%,极大地降低了除草成本投入,节本增效显著。

## 4 结论

咖啡园养鹅显著增加了双子叶多年生被子植物(DP)和双子叶一年生或越年生被子植物(DA)类群的种类;显著降低了咖啡园杂草类群及竹节菜、反枝苋、圆叶牵牛、功能群MA和DA杂草的植株密度,显著提高飞扬草的植株密度;显著提高了Margalef丰富度指数*d*、Shannon-Wiener多样性指数*H*及Simpson优势度指数*D*,对杂草群落生物多样性保护具有积极效益;显著降低了杂草生物量,控草效果明显。同时,养鹅可以改变咖啡园土壤理化性状,提高5—15 cm土层的含水率;使土层0—5 cm层次的土壤硬度显著增加,30—35 cm层次的土壤硬度显著降低;咖啡园养鹅显著降低了土壤碱解氮和速效钾含量,显著增加了有效磷的含量,但短期内鹅粪便还田不足以提供咖啡植株生长所需的氮、钾元素,仍需定期补充氮、钾元素含量高的复合肥。咖啡园养鹅还显著提高了咖啡植株叶厚和叶绿素相对含量,并对咖啡植株生长具有积极作用,且除草成本较常规咖啡园降低了74.44%,经济效益显著。

## 参考文献:

- [1] WOOD SA, KARP DS, DECLERCK F, et al. Foundation traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2015, 30(9): 531-539.
- [2] 韩露, 郭登伟, 牛俊召, 等. 农田生态系统服务功能评价方法对比研究: 以江苏省为例 [J]. *中国农业气象*, 2023, 44(12): 1091-1102.
- [3] MHLANGA B, CHEESMAN S, MAASDORP B, et al. Weed community responses to rotations with cover crops in maize-based conservation agriculture systems of Zimbabwe [J]. *Crop Protection*, 2015, 69: 1-8.

- [4] 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.
- [5] 黄顶成,尤民生,侯有明,等. 化学除草剂对农田生物群落的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1451-1458.
- [6] 曹舰艇,关法春,仝淑萍,等. 玉米田养鹅对土壤理化性状、杂草多样性及育苗生长的影响[J]. 2018, 23(2): 20-28.
- [7] TILMAN D, DOWNING JA. Biodiversity and stability in grasslands[J]. Nature, 1994, 367(27): 363-365.
- [8] 关法春,边步云,黄立华,等. 农牧一体化农田系统可利用生产资源分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2019, 45(2): 221-228.
- [9] 马林倩,秦越华,马立功,等. 梨园放牧养鹅控制杂草效果研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(24): 50-52.
- [10] 沙志鹏,关法春,王军峰,等. 玉米田养鹅生产模式的能值评估[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2013, 39(6): 655-662.
- [11] 张宇阳,沙志鹏,关法志,等. 玉米田养鹅措施对杂草群落生态特征的影响[J]. 生物多样性, 2014, 22(4): 492-501.
- [12] 云南省咖啡产业专家组. 2021年度云南省咖啡产业发展报告[R/OL]. 2022-07-09. <https://nync.yn.gov.cn/uploadfile/s38/2022/0811/202208111110742328.pdf>.
- [13] 付兴飞,胡发广,李贵平,等. 保山小粒咖啡园杂草种类及危害现状[J]. 杂草学报, 2023, 41(3): 32-39.
- [14] 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.
- [15] PURICE EC, TURESCA DH. Weed density under glyphosate-resistant crop sequences[J]. Crop Protection, 2005, 24(6): 533-542.
- [16] 张宇,候路路,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.
- [17] 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, 2023, 44(3): 26-39.
- [18] 边步云,关法春,张永锋,等. 农牧一体化下杂草生物多样性及玉米生产效益研究[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(9): 139-147.
- [19] ROHDE K. Vacant niches and the possible operation of natural laws in ecosystems[J]. Biologia Biology Forum, 2008, 101: 13-28.
- [20] 赵立琴,谷利伟,焦峰. 玉米田养鹅对土壤不同形态钾和有机质含量及pH的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2021, 33(3): 8-12.
- [21] 杨红,柳文杰,刘合满,等. 西藏玉米田养鹅模式下的土壤碳排放特征[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(1): 203-212, 246.
- [22] 李贵平,胡发广,黄家雄. 小粒种咖啡生产新技术[M]. 昆明:云南科技出版社, 2020.
- [23] 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.
- [24] 陶凌剑,涂淑萍,金莉颖,等. 光照强度对圆齿野鸭椿叶片光合特征和叶绿素荧光参数的影响[J]. 经济林研究, 2022, 40(2): 225-231.
- [25] LI X, JIA WJ, ZHENG J, et al. Application of morphological and physiological markers for study of drought tolerance in Lilium varieties[J]. Horticulturae, 2022, 8(9): 786.