

网络出版时间:2024-10-10 17:25 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2025.04.002
网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1390.S.20241010.1045.001

生物有机肥和种植模式对饲用油菜与 苏丹草产量及品质的影响

李磊磊¹,李立军¹,杨金虎¹,张艳丽¹,王佩佩¹,张宏杰¹,
朱利华²,赵国庆²,刘小燕²,红灵³

(1 内蒙古农业大学 农学院,内蒙古 呼和浩特 010019;2 鄂尔多斯市农牧业科学研究院,内蒙古 鄂尔多斯 017000;
3 鄂尔多斯市农牧业综合行政执法支队,内蒙古 鄂尔多斯 017000)

【摘要】【目的】探究生物有机肥和间作对饲用油菜、苏丹草产量与品质的影响,为内蒙古沿黄灌区饲草多样化种植和饲用作物高效生产提供理论依据和技术支持。【方法】试验于2022—2023年在内蒙古鄂尔多斯市进行,在不施肥和施用生物有机肥(用量1500 kg/hm²)2种施肥措施下,设置饲用油菜单作、苏丹草单作、饲用油菜苏丹草间作3种植模式,比较不同处理间饲草产量(鲜草、干草及蛋白产量)和品质(粗蛋白含量、中性和酸性洗涤纤维含量、可消化性干物质含量、干物质采食量及饲草相对饲用价值)的差异,计算土地当量比(LER)、拥挤系数及苏丹草相对于饲用油菜的竞争力。【结果】间作处理的苏丹草产量显著提高($P<0.05$),饲用油菜产量小幅降低。间作能够降低饲草的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量,提高饲草的干物质采食量和可消化性干物质含量,进而提高饲草相对饲用价值。生物有机肥能够提升饲用油菜苏丹草间作系统饲草的饲用品质,提高优势物种苏丹草的粗蛋白含量,从而提高间作系统饲草的蛋白产量。间作处理的土地当量比(LER)大于1,说明饲用油菜苏丹草间作具有明显的土地利用优势。种间关系表明,苏丹草是间作系统中的优势物种,生物有机肥能够优化间作系统的种间竞争,从而提升饲草产量。【结论】施用生物有机肥和饲用油菜苏丹草间作可实现饲草产量和品质的协同提高,适宜在内蒙古沿黄灌区推广。

【关键词】 生物有机肥;间作;苏丹草;饲用油菜;内蒙古沿黄灌区

【中图分类号】 S344.2;S54

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2025)04-0012-11

Effect of bio-organic fertilizer and cropping patterns on the yield and quality of forage rape and Sudangrass

LI Leilei¹, LI Lijun¹, YANG Jinhui¹, ZHANG Yanli¹, WANG Peipei¹, ZHANG Hongjie¹,
ZHU Lihua², ZHAO Guoqing², LIU Xiaoyan², HONG Ling³

(1 College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019, China; 2 Ordos Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Ordos, Inner Mongolia 017000, China; 3 Ordos City Agricultural and Animal Husbandry Comprehensive Administrative Law Enforcement Detachment, Ordos, Inner Mongolia 017000, China)

Abstract: 【Objective】 The study aimed to investigate the effects of bio-organic fertilizer and intercropping on the yield and quality of forage rape and Sudangrass and provide theoretical support and technical assistance for diversified forage planting and efficient forage production in the irrigation areas along the Yellow River in Inner Mongolia. 【Method】 The experiment was conducted in Ordos City, Inner Mongolia,

【收稿日期】 2023-12-23

【基金项目】 内蒙古自治区科技计划项目(2022YFXZ0031);鄂尔多斯市科技重大专项(2022EEDSKJZDX011)

【作者简介】 李磊磊(1999—),男,内蒙古乌兰察布人,在读硕士,主要从事耕作制度与农业生态系统研究。

E-mail: Lileilei@emails.imau.edu.cn

【通信作者】 李立军(1972—),男,内蒙古赤峰人,教授,博士,博士生导师,主要从事耕作制度与农业生态系统研究。

E-mail: imaulj@163.com

from 2022 to 2023. Under two fertilization treatments of no fertilizer and application of bio-organic fertilizer (at a rate of 1 500 kg/hm²), three cropping patterns were established: monoculture of forage rape, monoculture of Sudangrass, and intercropping of forage rape and Sudangrass. The differences in forage yield (fresh grass, hay grass, and protein yield) and quality (crude protein content, neutral and acid detergent fiber content, digestible dry matter content, dry matter intake, and relative feed value) among the different treatments were compared. Additionally, the land equivalent ratio (LER), relative crowding coefficient, and aggressivity of Sudangrass compared to forage rape were calculated. **【Result】** The yield of Sudangrass in the intercropping treatment significantly increased ($P < 0.05$), while the yield of forage rape slightly decreased. Intercropping reduced the neutral detergent fiber and acid detergent fiber content of forage, increased dry matter intake and digestible dry matter content, and consequently improved the relative feeding value of forage. Bio-organic fertilizer improved the feed quality and crude protein content of Sudangrass, the dominant species, so as to increase the protein yield of forage in the intercropping system. The LER of the intercropping treatment was greater than 1, indicating significant land use advantages of forage rape-Sudangrass intercropping. The interspecific relationship showed that Sudangrass was the dominant species in the intercropping system, and bio-organic fertilizer could optimize interspecific competition in the intercropping system, thereby increasing forage yield. **【Conclusion】** The application of bio-organic fertilizer achieved synergistic improvements in both the yield and quality of forage in forage rape-Sudangrass intercropping systems, suitable for promotion in the irrigation areas along the Yellow River in Inner Mongolia.

Key words: bio-organic fertilizer; intercropping; Sudangrass; forage rape; irrigation districts along Yellow River in Inner Mongolia

随着我国城乡居民收入水平的不断提升和膳食结构的持续改善,人们对肉、蛋、奶等畜产品的需求量越来越大。近年来,饲用粮食消费占我国粮食总消费量的比例接近 50%^[1],因此必须在“与人争粮”中稳妥解决好饲料粮的安全供应问题^[2]。内蒙古是我国畜牧业大省,但饲草短缺和现有饲草质量低下等问题严重限制了内蒙古畜牧业的发展^[3]。多样化和集约化的种植模式,是农业发展和环境管理的必然趋势^[4]。间作是一种可实现土地资源高效利用的种植模式,其通过提高土地利用效率和合理安排物种组合,可实现农业生态系统的可持续性发展和养分资源的高效利用^[5]。饲用作物间作被认为是维持资源可持续利用和土壤健康发展的种植模式,其通过利用饲用作物间的生态位差异,实现水分、热量、空气、养分等资源的高效利用,从而提高饲草的产量和品质^[6]。研究表明,与单一种植相比,苏丹草与三叶草间作能有效地提升 2 种饲草的产量和粗蛋白含量^[7]。渠佳慧^[8]研究表明,饲用油菜与箭筈豌豆间作能够提高饲草产量及粗蛋白含量。苏丹草作为一种优质的禾本科牧草,是我国干旱半干旱地区畜牧业发展的重要饲料来源,具有较高的干物质生产能力,但其蛋白含量较低^[9]。饲用油菜作为十字花科绿肥,其蛋白含量较高^[10],能够弥补苏丹草蛋白含

量不足的问题,但饲用油菜的含水量较高,单独青贮效果不佳,与苏丹草混合青贮有利于提高青贮料的饲用品质^[11]。将饲用油菜和苏丹草进行间作,能够实现作物间的优势互补,对促进区域饲草产业发展有积极作用。

传统农业生产过度依赖化肥和农药,造成了一系列生态环境问题^[12]。从长远来看,传统农业生产方式已经不能适应现代农业发展的需求,绿色、可持续才是现代农业发展的主流^[13]。在可持续的农业生态系统中,优化肥料类型是减少或消除单一肥投入的有效方式^[14]。生物有机肥作为由植物根际促生细菌 (plant growth promoting rhizobacteria, PGPR) 制成的活菌制剂,在协调土壤生物多样性、养管理及促进作物产量提高等方面具有重要的作用^[15]。在众多 PGPR 中,枯草芽孢杆菌和解淀粉芽孢杆菌在生物和非生物胁迫条件下均可以产生大量有利于植物生长的酶和代谢物,具有分解代谢功能多样和根定植能力强等特点,因而受到诸多学者的关注^[16]。生物有机肥的作用机制主要体现在固氮解磷方面,其通过生物固氮、活化土壤养分等方式将植物不可用的营养物质转化为可吸收形式,为植物生长发育提供更多可以直接利用的养分^[17]。有研究证实,生物有机肥可以改善小麦养分水平^[18],提高苜蓿产量和

饲用品质^[19],提高玉米的生长参数和产量^[20]。目前,关于生物有机肥对间作饲草的影响效果还不明确,且鲜有关于生物有机肥对芸薹类-禾本科类作物间作系统影响的研究报道。为此,本试验以芸薹类作物饲用油菜和禾本科牧草苏丹草为研究对象,探究生物有机肥和间作对饲草产量和品质的影响,以期为内蒙古沿黄灌区饲草多样化种植和饲用作物高效生产提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2022—2023 年在内蒙古鄂尔多斯市达拉特旗王爱召镇杨家营子村进行。试验地位于阴山山地与鄂尔多斯高原之间的黄河冲积平原上,属温带大陆性气候,年均日照时数 3 159 h,无霜期 150 d,年均气温 6.6 °C,年均降水量 349.2 mm(主要集中在 7—9 月),年均蒸发量 2 350 mm,蒸降比约为 7.8。试验开始前该地已撂荒 3 年。2022 年试验前耕层(0~20 cm)土壤养分基本情况为:全盐量 9.10 g/kg,pH 8.41,有机质含量 6.76 g/kg,速效钾含量 91.00 mg/kg,速效磷含量 15.57 mg/kg,全氮含量 0.56 g/kg,全磷含量 0.65 g/kg,全钾含量 25.91 g/kg。试验期内月总降水量及月平均气温见图 1。

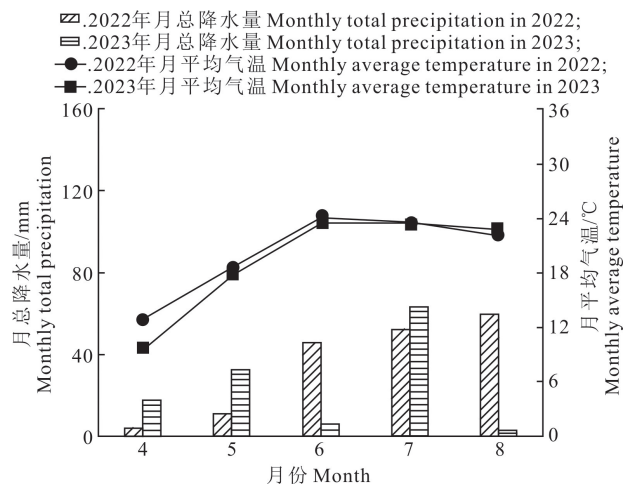


图 1 2022—2023 年试验区域作物生育期(4—8 月)的月总降水量和月平均气温

Fig. 1 Monthly precipitation and monthly average temperature during crop growth period (April—August) in the experimental area in 2022—2023

1.2 试验材料

供试作物:饲用油菜品种饲油 2 号,由华中农业大学选育;苏丹草品种内农一号,由内蒙古农业大学选育。

供试肥料:底肥为复合肥,由住商肥料(青岛)有限公司提供,养分含量: $N \geq 24\%$, $P_2O_5 \geq 10\%$, $K_2O \geq 14\%$;生物有机肥,由山东绿亨生物科技有限公司提供,有效菌种为枯草芽孢杆菌和解淀粉芽孢杆菌,有效活菌数 $\geq 6 \times 10^8$ CFU/g,有机质含量 $\geq 60\%$ 。

1.3 试验设计

本试验采用双因素随机区组设计,因素 1 为种植模式(C),设置饲用油菜与苏丹草间作(IRS,其中间作饲用油菜为 IR,间作苏丹草为 IS)、饲用油菜单作(SR)、苏丹草单作(SS)3 种植模式;因素 2 为施肥措施(F),设置不施肥(F0)和施用生物有机肥(F1)2 种施肥模式。试验共设 6 个处理,每处理重复 3 次,共计 18 个小区,小区面积 31.5 m²(长 7 m,宽 4.5 m),过道 0.5 m。试验于每年 5 月 20—25 日播种,底肥按 75 kg/hm² 于播种整地时结合耕翻一次性施入,各小区均采用人工播种,间作种植 3 带,间作比为 2:4(饲用油菜 2 行,苏丹草 4 行),种植 18 行,行距 25 cm,播深 2~3 cm;饲用油菜播量为 15 kg/hm²,苏丹草播量为 45 kg/hm²,生物有机肥施用量为 1 500 kg/hm²(制造商推荐用量)。于同年的 8 月 15—20 日(苏丹草抽穗期)收获。小区管理与当地大田管理一致。田间种植示意图如图 2 所示。

1.4 测算指标

1.4.1 饲草产量 在饲草收获时,于各小区随机取生长均匀的 1 m² 样方,齐地刈割后,称质量,计算鲜草产量,并从每样方中选取 10 株小样,杀青后于 105 °C 烘箱烘干至恒定质量,折算干草产量,然后将干草样品全株粉碎,于自封袋内保存,用于相关指标测定。

1.4.2 饲草品质 中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)含量采用滤袋洗涤法(ANKOM A200i 型半自动纤维分析仪)测定;粗蛋白含量样品经 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后采用凯氏定氮法测定。

1.4.3 蛋白产量(CPY) 蛋白产量=干草产量×粗蛋白含量。

1.4.4 品质指标 相对饲用价值(RFV)、可消化性干物质(DDM)含量和干物质采食量(DMI)采用以下公式计算:

$$V_{RF} = (C_{DDM} \times I_{DM}) / 1.29,$$

$$C_{DDM} = 88.9 - 0.779C_{ADF},$$

$$I_{DM} = 120 / C_{NDF}.$$

式中: V_{RF} 代表相对饲用价值, C_{DDM} 代表可消化性干物质含量, I_{DM} 代表干物质采食量, C_{NDF} 代表 NDF 的含量, C_{ADF} 代表 ADF 的含量。

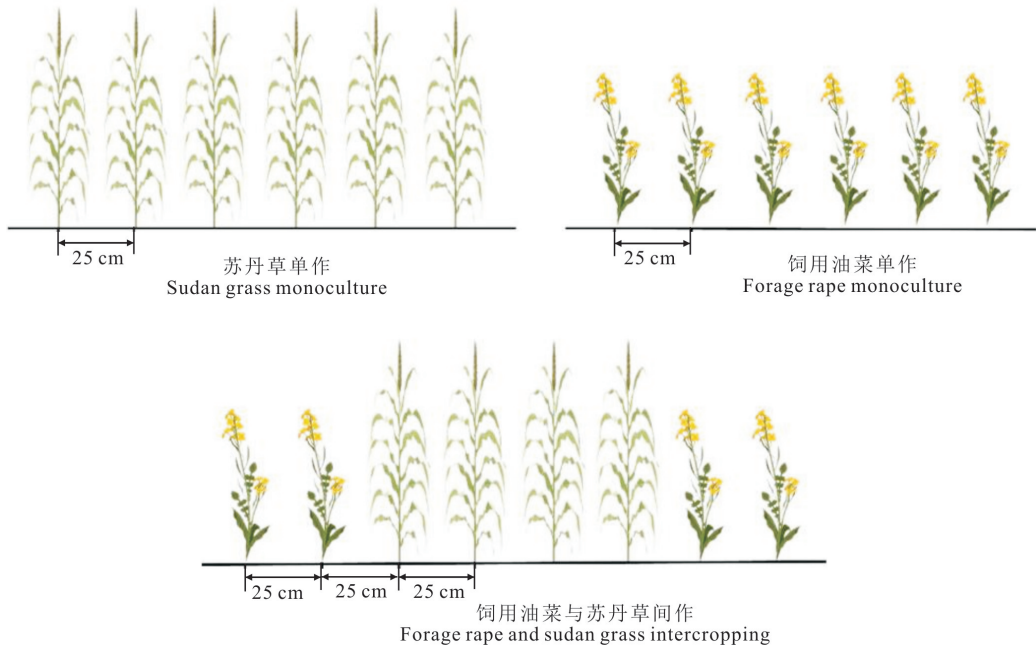


图 2 苏丹草与饲用油菜单作、间作时的田间种植模式示意图

Fig. 2 Schematic diagram of field planting modes of Sudangrass and forage rape with monoculture and intercropping

1.4.5 土地当量比(LER) 土地当量比是指 2 种作物间作条件下的单位面积产量与单作条件下单位面积产量的比值^[21]。

$$Y = Y_R + Y_S,$$

$$Y_R = X_{IR} / X_{MR},$$

$$Y_S = X_{IS} / X_{MS}.$$

式中: Y 代表 LER, Y_R 为饲用油菜 LER(LER_R), Y_S 为苏丹草 LER(LER_S), X_{IR} 为间作饲用油菜单位面积产量; X_{MR} 为单作饲用油菜单位面积产量; X_{IS} 为间作苏丹草单位面积产量; X_{MS} 为单作苏丹草单位面积产量。当 $Y > 1$ 时, 说明具有间作优势, 土地利用率高; 当 $Y < 1$ 时, 说明无间作优势。

1.4.6 种间关系 利用相对拥挤系数(K)衡量间作系统中 2 种作物间是否具有竞争优势^[21]。

$$K = K_R \times K_S,$$

$$K_R = (X_{IR} \times X_{IS}) / ((X_{MR} - X_{IR}) \times Z_{IR}),$$

$$K_S = (X_{IS} \times Z_{IR}) / ((X_{MS} - X_{IS}) \times Z_{IS}).$$

式中: K_R 、 K_S 分别表示饲用油菜和苏丹草的相对拥挤系数, Z_{IS} 、 Z_{IR} 分别表示间作体系中苏丹草和饲用油菜的种植比例。 $K_R > K_S$ 时, 饲用油菜苏丹草间作系统中饲用油菜竞争力较强; $K_R < K_S$ 时, 苏丹草竞争力较强。

利用竞争力(A)表征间作体系中一种作物相对产量增长大于另一种作物产量增长的程度^[21]。

$$A_{SR} = X_{IS} / X_{MS} \times Z_{IS} - X_{IR} / X_{MR} \times Z_{IR}.$$

式中: A_{SR} 代表苏丹草相对饲用油菜的竞争力。

$A_{SR} = 0$, 表明这 2 种作物的竞争力相同; $A_{SR} > 0$, 表明苏丹草占据优势; $A_{SR} < 0$, 表明饲用油菜占据优势。

1.5 数据处理

采用 Microsoft excel 2016 进行数据处理和图表绘制。采用 SPSS 26.0 统计软件进行方差分析, Duncan 法进行多重比较, 各指标结果用“平均值 ± 标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 生物有机肥和种植模式对饲草产量的影响

由表 1 可知, 施肥措施与种植模式对饲草产量的影响均达到了极显著水平($P < 0.01$), 二者的交互作用对饲草鲜、干草产量和蛋白产量的影响均达到了显著或极显著水平。在不同施肥措施和种植模式下, 苏丹草 2 年的鲜草、干草和蛋白产量均高于饲用油菜。其中 IS-F1 处理的鲜草、干草和蛋白产量最高, 2 年平均值分别为 54.42, 14.33 和 0.96 t/hm²。2 年平均结果显示, 在 F0、F1 处理下, 间作显著提高了苏丹草的鲜草和干草产量, 其中鲜草产量较单作分别提高了 17.24% 和 26.03% ($P < 0.05$), 干草产量较单作分别提高了 13.57% 和 25.04% ($P < 0.05$)。在 F0 和 F1 处理下, 间作显著降低了饲用油菜的鲜草产量, 2 年鲜草产量平均值分别降低了 10.91% 和 15.29% ($P < 0.05$); 在 F1 处理下, 间作显著降低了饲用油菜的干草产量, 2 年干草产量平均值降低了 15.40% ($P < 0.05$)。在 F0

处理下,与单作相比,2种间作处理饲草蛋白产量均有所降低;在F1处理下,与单作相比,IS的蛋白产量2年平均显著提高了15.66% ($P < 0.05$),IR的蛋白产量2年平均显著降低了10.00% ($P < 0.05$)。与F0处理相比,F1处理提高了饲草产量,2年平均结果显示,IS-F1的鲜草、干草和蛋白产量较

IS-F0分别显著提高了36.53%,40.35%和60.00% ($P < 0.05$),SS-F1较SS-F0分别显著提高了27.00%,27.47%和13.70% ($P < 0.05$),IR-F1较IR-F0分别显著提高了26.76%,29.37%和43.18% ($P < 0.05$),SR-F1较SR-F0分别显著提高了33.31%,36.07%和55.56% ($P < 0.05$)。

表1 生物有机肥和种植模式对饲用油菜和苏丹草鲜草、干草和蛋白产量的影响

Table 1 Effects of bio-organic fertilizer and cropping patterns on fresh, hay and protein yields of forage rape and Sudangrass

t/hm²

施肥措施(F) Fertilization measure	种植模式(C) Cropping pattern	鲜草产量 Fresh yield		
		2022	2023	平均值 Mean value
F0	SR	30.35±2.90 d	27.94±1.57 fg	29.15±2.68 e
	SS	33.38±1.81 cd	34.62±3.67 de	34.00±1.86 d
	IR	26.35±1.70 e	25.58±3.79 g	25.97±1.09 f
	IS	39.67±0.81 b	40.05±1.73 c	39.86±1.02 c
F1	SR	39.55±1.63 b	38.17±0.72 cd	38.86±1.14 c
	SS	41.70±1.08 b	44.65±4.13 b	43.18±2.25 b
	IR	34.45±1.62 c	31.39±1.49 ef	32.92±0.76 d
	IS	53.12±2.68 a	55.72±1.04 a	54.42±0.40 a
方差分析 Variance analysis	C	0.000**	0.000**	0.000**
	F	0.000**	0.000**	0.000**
	C×F	0.070	0.034*	0.005**
施肥措施(F) Fertilization measure	种植模式(C) Cropping pattern	干草产量 Hay yield		
		2022	2023	平均值 Mean value
F0	SR	4.69±0.43 fg	4.56±0.16 e	4.63±0.27 g
	SS	9.24±0.76 d	8.74±0.83 c	8.99±0.71 d
	IR	4.03±0.31 g	4.21±0.02 e	4.12±0.15 g
	IS	10.70±0.78 c	9.71±0.82 c	10.21±0.33 c
F1	SR	6.25±0.51 e	6.34±0.17 d	6.30±0.22 e
	SS	11.67±0.41 b	11.25±1.54 b	11.46±0.60 b
	IR	5.46±0.23 ef	5.19±0.27 de	5.33±0.22 f
	IS	14.79±0.19 a	13.87±0.41 a	14.33±0.30 a
方差分析 Variance analysis	C	0.000**	0.000**	0.000**
	F	0.000**	0.000**	0.000**
	C×F	0.001**	0.012*	0.000**
施肥措施(F) Fertilization measure	种植模式(C) Cropping pattern	蛋白产量 Protein yield		
		2022	2023	平均值 Mean value
F0	SR	0.45±0.03 e	0.44±0.03 e	0.45±0.00 e
	SS	0.79±0.14 bc	0.67±0.04 cd	0.73±0.09 c
	IR	0.41±0.02 e	0.46±0.08 e	0.44±0.05 e
	IS	0.59±0.02 d	0.61±0.03 d	0.60±0.02 d
F1	SR	0.69±0.10 cd	0.71±0.02 bc	0.70±0.05 c
	SS	0.84±0.09 ab	0.82±0.08 b	0.83±0.01 b
	IR	0.66±0.04 d	0.59±0.07 d	0.63±0.04 d
	IS	0.93±0.19 a	0.99±0.07 a	0.96±0.03 a
方差分析 Variance analysis	C	0.000**	0.000**	0.000**
	F	0.000**	0.000**	0.000**
	C×F	0.033*	0.004**	0.001**

注:F0.不施肥,F1.施用生物有机肥1500 kg/hm²;SR.饲用油菜单作,SS.苏丹草单作,IR.饲用油菜间作,IS.苏丹草间作。同列数据后标不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$);*代表差异显著($P < 0.05$),**代表差异极显著($P < 0.01$)。下表同。

Note:F0.No fertilization,F1.Apply bio-organic fertilizer 1500 kg/hm²;SR.Forage rape monoculture,SS.Sudangrass monoculture,IR.Intercropping forage rape,IS.Intercropping Sudangrass. Different lowercase letters of the same column data indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$). * represents significant difference ($P < 0.05$), ** represents extremely significant difference ($P < 0.01$). The following table is the same.

2.2 生物有机肥对间作土地当量比和种间关系的影响

土地当量比是衡量间作系统土地生产力的重要指标,2 年试验数据结果(表 2)表明,在 F0、F1 处理下,LER 均大于 1,表明饲用油菜与苏丹草间作系统具有明显的产量优势。在 2 个试验年度中,F1 处理的 LER 均大于 F0 处理,表明生物有机肥有利于提

高饲用油菜苏丹草间作系统的生产力。在不同施肥措施下, $A_{SR} > 0$ 且 $K_S > K_R$,表明在饲用油菜苏丹草间作系统中,苏丹草的竞争能力强于饲用油菜,为优势物种。F1 处理的 K_S 和 A_{SR} 均高于 F0 处理,表明生物有机肥有利于进一步提高优势物种的竞争能力。

表 2 生物有机肥对间作土地当量比(LER)、相对拥挤系数(K)、 A_{SR} 的影响

Table 2 Effects of bio-organic fertilizer on intercropping land equivalent ratio (LER), relative crowding coefficient (K) and A_{SR}

年份 Year	施肥措施 Fertilization measure	LER_R	LER_S	LER	K_R	K_S	K	A_{SR}
2022	F0	0.29	0.78	1.07	0.81	4.67	3.78	0.30
	F1	0.29	0.83	1.12	0.83	4.96	4.11	0.37
2023	F0	0.31	0.74	1.05	0.89	2.91	2.59	0.18
	F1	0.27	0.83	1.10	0.75	5.82	4.37	0.42

注: LER_R . 间作饲用油菜的土地当量比, LER_S . 间作苏丹草的土地当量比,LER. 饲用油菜与苏丹草间作的土地当量比; K_R . 间作饲用油菜的相对拥挤系数, K_S . 间作苏丹草的相对拥挤系数,K. 饲用油菜与苏丹草间作的相对拥挤系数; A_{SR} . 间作苏丹草相对间作饲用油菜的竞争能力。

Note: LER_R . Land equivalent ratio of intercropped forage rape, LER_S . Land equivalent ratio of intercropped Sudangrass,LER. Land equivalent ratio of forage rape Sudangrass intercropping; K_R . Relative crowding coefficient of intercropping forage rape, K_S . Relative crowding coefficient of intercropping Sudangrass,K. Relative crowding coefficient of forage rape Sudangrass intercropping; A_{SR} . Aggressivity of intercropped Sudangrass over intercropped forage rape.

2.3 生物有机肥和种植模式对饲草品质的影响

2.3.1 对饲草 CP、NDF、ADF 含量的影响 由表 3 可知,种植模式对饲草 CP 含量有极显著的影响($P < 0.01$),生物有机肥有显著影响($P < 0.05$), $F \times C$ 无显著影响。种植模式和生物有机肥对饲草 NDF 和 ADF 含量的影响均达到显著或极显著水平,其交互效应对 NDF 含量的影响达显著或极显著水平。2 年饲草 CP 含量均以 IR-F1 处理最高,分别为 12.04% 和 11.46%。与单作相比,间作提高了饲用油菜的 CP 含量,降低了苏丹草的 CP 含量。2 年平均结果显示,在 F0 处理下,IR 的 CP 含量较 SR 提高了 9.53%,而 IS 较 SS 显著降低了 26.66% ($P < 0.05$);在 F1 处理下,IR 的 CP 含量较 SR 提

高了 5.19%,而 IS 较 SS 降低了 7.41%。与 F0 处理相比,F1 处理提高了间作饲草的 CP 含量,其中 IR-F1 的 CP 含量在 2022 和 2023 年较 IR-F0 分别提高了 17.58% 和 5.14%,IS-F1 较 IS-F0 分别提高了 11.86% 和 13.99%。IR-F1 处理 2 年的 NDF、ADF 均低于其他处理,其 2022 和 2023 年 NDF 含量分别为 37.41% 和 37.92%,ADF 含量分别为 32.55% 和 34.86%。在 2 个试验年度中,与单作相比,间作均降低了苏丹草和饲用油菜的 NDF、ADF 含量。2 年的平均结果显示,F1 处理下 IS 的 NDF、ADF 含量较 SS 分别降低了 3.92% 和 7.38%,IR 的 NDF、ADF 含量较 SR 分别降低了 11.59% 和 11.78%。

表 3 生物有机肥和种植模式对饲用油菜和苏丹草 CP、NDF 和 ADF 含量的影响

Table 3 Effects of bio-organic fertilizer and cropping patterns on the contents of CP, NDF and ADF in forage rape and Sudangrass

施肥措施(F) Fertilization measure	种植模式(C) Cropping pattern	粗蛋白含量 CP content		
		2022	2023	平均值 Mean value
F0	SR	9.64 ± 1.32 cd	9.66 ± 0.21 b	9.65 ± 0.56 c
	SS	8.50 ± 0.80 de	7.77 ± 0.86 c	8.14 ± 0.48 d
	IR	10.24 ± 1.02 bc	10.90 ± 0.68 a	10.57 ± 0.76 bc
	IS	5.65 ± 0.61 g	6.29 ± 0.26 d	5.97 ± 0.26 f
F1	SR	11.30 ± 1.39 ab	11.39 ± 0.31 a	11.17 ± 0.53 ab
	SS	7.27 ± 0.55 ef	7.31 ± 0.34 cd	7.29 ± 0.44 de
	IR	12.04 ± 0.40 a	11.46 ± 1.29 a	11.75 ± 0.84 a
	IS	6.32 ± 0.29 fg	7.17 ± 0.07 cd	6.75 ± 0.36 ef

表 3(续) Table 3(continued)

%

施肥措施(F) Fertilization measure	种植模式(C) Cropping pattern	粗蛋白含量 CP content		
		2022	2023	平均值 Mean value
方差分析 Variance analysis	C	0.000**	0.000**	0.000**
	F	0.065	0.025*	0.011*
	C×F	0.021*	0.076	0.693
施肥措施(F) Fertilization measure	种植模式(C) Cropping pattern	中性洗涤纤维含量 NDF content		
		2022	2023	平均值 Mean value
F0	SR	53.17±4.03 b	54.89±5.28 b	54.04±4.63 b
	SS	66.98±5.47 a	71.86±2.00 a	69.42±1.98 a
	IR	49.06±1.91 bc	53.23±3.21 b	51.14±1.72 b
	IS	64.74±5.12 a	67.20±3.21 a	65.97±4.06 a
F1	SR	42.97±5.36 cd	42.25±2.08 c	42.61±1.67 c
	SS	66.51±3.08 a	68.53±3.05 a	67.52±0.78 a
	IR	37.41±2.57 d	37.92±4.36 c	37.67±2.91 c
	IS	63.87±5.70 a	65.87±5.01 a	64.87±4.09 a
方差分析 Variance analysis	C	0.000**	0.000**	0.000**
	F	0.005**	0.000**	0.000**
	C×F	0.075	0.011*	0.004**
施肥措施(F) Fertilization measure	种植模式(C) Cropping pattern	酸性洗涤纤维含量 ADF content		
		2022	2023	平均值 Mean value
F0	SR	38.93±0.43 a	43.49±3.06 ab	41.21±1.38 ab
	SS	39.41±1.17 a	46.15±5.04 a	42.78±3.10 a
	IR	36.41±2.19 a	39.51±3.05 bc	37.96±0.54 bc
	IS	37.50±1.12 a	42.16±1.14 ab	39.83±0.57 abc
F1	SR	36.24±3.20 ab	40.17±3.05 bc	38.21±2.85 bc
	SS	37.14±3.58 a	44.16±3.06 ab	40.65±1.27 abc
	IR	32.55±1.38 b	34.86±1.99 c	33.71±0.68 d
	IS	35.80±1.61 ab	39.50±1.15 bc	37.65±1.35 c
方差分析 Variance analysis	C	0.030*	0.002**	0.000**
	F	0.006**	0.018*	0.001**
	C×F	0.827	0.879	0.694

2.3.2 对饲草 DDM 含量、DMI、RFV 的影响 由表 4 可知,种植模式和生物有机肥对饲草 DDM 含量的影响均达到显著或极显著水平,其交互作用影响不显著;种植模式和生物有机肥及二者的交互作用对 DMI 和 RFV 的影响均达到极显著水平($P < 0.01$)。2022 和 2023 年饲草的 DDM 含量、DMI 和 RFV 均以 IR-F1 处理最高。与单作相比,间作 2022 和 2023 年饲草的 DDM 含量、DMI 和 RFV 均提高,2 年平均结果显示,在 F0 处理下,IR 的 DDM 含量、

DMI 和 RFV 较 SR 分别提高了 4.45%,5.38% 和 10.33%,IS 较 SS 分别提高了 4.12%,5.17% 和 9.40%;在 F1 处理下,IR 的 DDM 含量、DMI 和 RFV 较 SR 分别提高了 5.92%,13.43% 和 19.69%,IS 较 SS 分别提高了 4.09%,4.49% 和 8.57%。2 年平均结果显示,与 F0 处理相比,F1 处理 IR 的 DDM 含量、DMI 和 RFV 显著提高($P < 0.05$),而 IS 的 DDM 含量、DMI 和 RFV 均呈小幅度提高。

表 4 生物有机肥和种植模式对饲草 DDM 含量、DMI 和 RFV 的影响

Table 4 Effect of bio-organic fertilizer and cropping patterns on DDM content,DMI and RFV of forage rape and Sudangrass

%

施肥措施(F) Fertilization measure	种植模式(C) Cropping pattern	可消化性干物质含量 DDM content		
		2022	2023	平均值 Mean value
F0	SR	58.58±0.33 b	55.02±2.38 bc	56.80±1.07 cd
	SS	58.20±0.91 b	52.95±3.92 c	55.58±2.41 d
	IR	60.53±1.71 b	58.12±2.37 ab	59.33±0.42 bc
	IS	59.69±1.89 b	56.05±0.89 bc	57.87±0.45 bcd
F1	SR	60.67±2.49 ab	57.61±2.37 ab	59.14±2.22 bc
	SS	59.96±2.79 b	54.50±2.38 bc	57.23±0.99 bcd
	IR	63.54±1.08 a	61.74±1.55 a	62.64±0.53 a
	IS	61.01±1.25 ab	58.12±0.90 ab	59.57±1.05 b

表 4(续) Table 4(continued)

%

施肥措施(F) Fertilization measure	种植模式(C) Cropping pattern	可消化性干物质含量 DDM content		
		2022	2023	平均值 Mean value
方差分析 Variance analysis	C	0.030*	0.002**	0.000**
	F	0.016*	0.018*	0.001**
	C×F	0.827	0.879	0.693
施肥措施(F) Fertilization measure	种植模式(C) Cropping pattern	干物质采食量(DMI) Dry matter intake		
		2022	2023	平均值 Mean value
F0	SR	2.26±0.16 c	2.20±0.20 c	2.23±0.18 c
	SS	1.80±0.15 d	1.67±0.05 d	1.74±0.06 d
	IR	2.45±0.09 c	2.26±0.13 c	2.35±0.07 c
	IS	1.86±0.14 d	1.79±0.08 d	1.83±0.11 d
F1	SR	2.82±0.33 b	2.84±0.14 b	2.83±0.09 b
	SS	1.81±0.08 d	1.75±0.08 d	1.78±0.02 d
	IR	3.22±0.21 a	3.19±0.39 a	3.21±0.26 a
	IS	1.89±0.16 d	1.83±0.14 d	1.86±0.12 d
方差分析 Variance analysis	C	0.000**	0.000**	0.000**
	F	0.000**	0.000**	0.000**
	C×F	0.004**	0.001**	0.000**
施肥措施(F) Fertilization measure	种植模式(C) Cropping pattern	相对饲用价值(RFV) Relative feeding value		
		2022	2023	平均值 Mean value
F0	SR	102.82±7.19 cd	93.70±8.00 cd	98.26±7.48 c
	SS	81.27±8.11 e	68.49±3.18 e	74.88±5.59 d
	IR	114.85±3.77 c	101.96±9.67 c	108.41±3.78 c
	IS	86.11±6.64 de	77.73±4.52 e	81.92±5.22 d
F1	SR	133.00±20.18 b	126.97±6.34 b	129.99±8.18 b
	SS	84.06±7.01 de	74.17±6.39 e	79.11±0.67 d
	IR	158.55±12.36 a	152.61±15.14 a	155.58±12.36 a
	IS	89.32±8.03 de	82.46±7.36 de	85.89±6.38 d
方差分析 Variance analysis	C	0.000**	0.000**	0.000**
	F	0.008**	0.000**	0.000**
	C×F	0.007**	0.000**	0.000**

3 讨 论

3.1 生物有机肥与间作对 2 种饲草产量的影响

间作系统利用作物种间的相互作用和相关过程能够更加有效地利用光、水和养分等生长资源,从而实现间作产量的提升^[22]。研究表明,C₃和C₄作物间作对光和养分捕获的竞争较少,在时间上的生态位互补性更强,这是由于C₃作物的播期早于C₄作物,2种作物的密集生长季节重叠有限。但在本研究中,为实现饲草的统种统收,选择播期相近的饲用作物在同一时间播种,这导致苏丹草和饲用油菜的共生期较长,加剧了种间竞争,导致苏丹草产量提高,而饲用油菜产量降低,这一结果同样出现在高粱花生间作系统^[23]和玉米饲用油菜间作系统^[24]中。本研究中,苏丹草是典型的C₄作物,而饲用油菜是C₃作物,在相同条件下,C₄作物的光合速率远高于C₃作物,并且C₄作物具有CO₂浓缩机制,能够促进羧化反应,降低光呼吸消耗^[25],从而提升间作系统中苏丹草的产量。间作饲用油菜的产量较单作有

所下降,原因是在2种饲草的共生期,苏丹草为优势种,由于种间竞争导致饲用油菜产量下降。有研究认为,间作系统的生产过程本质上是由生态位互补和种间竞争驱动的,与群落中的物种高度相关^[26],本研究中苏丹草为高秆作物,具有优越的生态位,是优势种。在2个生长季,施用生物有机肥处理显著提高了间作苏丹草的产量,其原因一方面是,生物有机肥活化了土壤难溶性养分,间接促进植物激素的产生,从而提高光合效率和饲草产量^[27];另一方面与生物有机肥提高了苏丹草在间作系统中的竞争能力有关^[28]。在2个试验年度中,饲用油菜苏丹草间作的LER均大于1,这表明该间作体系具有生产稳定性,苏丹草的增产幅度大于饲用油菜的减产幅度。

3.2 生物有机肥与间作对 2 种饲草品质的影响

间作系统利用不同物种之间时空生态位的差异实现了对环境资源利用的互补性,不仅比单作提高了产量,而且能改善作物的营养品质^[29]。饲草品质很大程度上取决于粗蛋白和纤维素的含量,一般认为纤维素含量低、粗蛋白含量高的饲草为优质饲草,

饲用价值高^[30]。在本研究中,间作提高了饲用油菜的粗蛋白含量,但降低了苏丹草的粗蛋白含量,这与前人对苜蓿与大麦间作系统的研究结果^[31]类似。施用生物有机肥在一定程度上提高了间作苏丹草的粗蛋白含量,这表明生物有机肥能够减轻因间作产量提高而导致的品质“稀释效应”^[32]。因此在间作模式下,可以通过施用生物有机肥来提高饲草的粗蛋白含量,实现饲草产量与品质的协调提高。ADF 和 NDF 含量是衡量饲料质量的重要指标之一,其含量越低饲草品质越高^[33]。本研究表明,与单作相比,间作降低了饲用油菜和苏丹草的 NDF 和 ADF 含量,这可能是由于间作种植通过增加养分的有效性和提高环境利用效率而改善了植物的生长特性,减少了木质纤维化合物的含量,从而降低了饲草的 ADF 和 NDF 含量^[34]。饲草的可消化性干物质含量因其能够提高牲畜对养分的转化效率,常作为衡量饲草可否提高牲畜体质量和产奶量的重要指标^[31]。本研究生物有机肥处理提高了饲草的可消化性干物质含量,这进一步说明生物有机肥对饲草品质具有一定的改善效果。RFV 作为评价饲料品质的指标之一,与饲草纤维含量密切相关。在本研究中,生物有机肥处理降低了间作饲草的 ADF 和 NDF 含量,增加了 DDM 含量和 DMI 值,从而提高了饲草的相对饲用价值。

4 结 论

饲用油菜与苏丹草间作具有明显的土地利用优势(LER>1)。种间关系显示,苏丹草是饲用油菜苏丹草间作体系中的优势物种。间作提高了苏丹草的产量,但饲用油菜产量降低;生物有机肥通过优化种间竞争,提高了间作系统的产量。间作能够降低饲草 ADF、NDF 含量,提高其 DDM 含量和 DMI,改善饲草品质,从而提高相对饲用价值。施用生物有机肥对饲草因产量过高而导致品质下降具有一定的补偿效应。因此,饲用油菜与苏丹草间作结合生物有机肥是一种高效的饲草生产模式。

[参考文献]

- [1] 张岩,黄毅,刘颖,等.新形势下发展草地农业保障食物安全的战略思考[J].中国工程科学,2023,25(4):73-80.
ZHANG Y, HUANG Y, LIU Y, et al. Strategic thinking on developing grassland agriculture to ensure China's food security under the new situation [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(4):73-80.
- [2] 石自忠,胡向东.加快建设畜牧强国的理论逻辑与战略路径[J].中国农业科技导报,2023,25(9):1-12.
SHI Z Z, HU X D. Theoretical logic and strategic path of accelerating the construction of livestock powerhouse [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2023, 25(9):1-12.
- [3] QU J H, LI L J, BAI J H, et al. Influence of different proportion intercropping on oat and common vetch yields and nutritional composition at different growth stages [J]. Agronomy, 2022, 12(8):1908.
- [4] KUMAR S, SINGH A K, SINGH R, et al. Degraded land restoration ecological way through horti-pasture systems and soil moisture conservation to sustain productive economic viability [J]. Land Degradation & Development, 2019, 30(12):1516-1529.
- [5] 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.
- [6] ZHANG H X, SHI W, ALI S, et al. Legume/maize intercropping and N application for improved yield, quality, water and N utilization for forage production [J]. Agronomy, 2022, 12(8):1777.
- [7] NIEMAN C C, ALBRECHT K A, SCHAEFER D M. Corn and Sudangrass intercropped with Kura clover for Midwestern pastures [J]. Agronomy Journal, 2020, 112(4):2905-2915.
- [8] 渠佳慧.油菜/箭筈豌豆间作体系的土壤磷素转化特性及根际微生态效应研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2022.
QU J H. Studies on soil phosphorus transformation characteristics and rhizosphere microecological effects of rape/common vetch intercropping system [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2022.
- [9] 李文西,鲁剑巍,陈防,等.苏丹草-黑麦草轮作制中氮、磷、钾肥施用效果研究[J].中国农业科学,2010,43(7):1414-1422.
LI W X, LU J W, CHEN F, et al. Effect of N, P, K application on yield, nutrient and water utilization under sudangrass and ryegrass rotation regime [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(7):1414-1422.
- [10] 常青.不同施氮量对饲用玉米油菜间作群体氮素吸收利用及产量品质的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2022.
CHANG Q. Effects of Different nitrogen rates on nitrogen absorption and utilization, yield and quality in forage maize and rape intercropping [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2022.
- [11] 黄田田.饲用油菜高丹草间作结合施肥对饲草产质量及土壤有机碳组分的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
HUANG T T. Intercropping and fertilization of forage rape with Sorghum in feed rapeseed effect of quality and soil organic carbon composition [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2020.
- [12] WANG Z K, ZHAO X N, WU P T, et al. Radiation interception and utilization by wheat/maize strip intercropping systems [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2015, 204:58-

- 66.
- [13] DUCHENE O, VIAN J F, CELETTE F. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2017, 240: 148-161.
- [14] 张瑞平, 苟小梅, 张毅, 等. 生物有机肥与化肥配施对植烟土壤养分和真菌群落特征的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2020, 48(8): 85-92.
- ZHANG R P, GOU X M, ZHANG Y, et al. Effects of bio-organic fertilizer combined with chemical fertilizer on nutrients and fungal community characteristics in tobacco-growing soil [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2020, 48(8): 85-92.
- [15] DE Palma M, SCOTTI R, D'AGOSTINO N, et al. Phytofriendly soil bacteria and fungi provide beneficial outcomes in the host plant by differently modulating its responses through (In)direct mechanisms [J]. *Plants*, 2022, 11(20): 2672.
- [16] 孙亚钦, 张书红, 张影, 等. 玉米根际解磷解钾细菌的筛选、鉴定及其生态适应性研究 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2023, 51(12): 111-119, 142.
- SUN Y Q, ZHANG S H, ZHANG Y, et al. Isolation, identification and ecological adaptability of phosphate- and potassium-solubilizing bacteria in maize rhizosphere [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2023, 51(12): 111-119, 142.
- [17] 沈德龙, 曹凤明, 李力. 我国生物有机肥的发展现状及展望 [J]. *中国土壤与肥料*, 2007(6): 1-5.
- SHEN D L, CAO F M, LI L. Development status and prospect of microbial organic fertilizer in China [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2007(6): 1-5.
- [18] 伍晓轩, 杨洪坤, 朱杰, 等. 不同有机肥料种类配施化学氮肥对丘陵旱地小麦产量和籽粒蛋白质品质的影响 [J]. *四川农业大学学报*, 2019, 37(3): 283-287, 295.
- WU X X, YANG H K, ZHU J, et al. Effects of combined application of chemical N and different organic fertilizer on yield and grain protein quality of hilly dryland winter wheat [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2019, 37(3): 283-287, 295.
- [19] LIU Z, LI Z C, WEI S C, et al. Effects of different bio-fertilizer treatments on the growth and quality of alfalfa [J]. *Legume Research-an International Journal*, 2022, 45(12): 1547-1552.
- [20] 叶静, 陈影, 屈爽, 等. 不同微生物菌肥对滨海盐渍土壤质量及玉米产量的影响 [J/OL]. *环境科学*, 2023 [2023-12-21]. <https://link.cnki.net/urlid/11.1895.X.20231031.1649.035>.
- YE J, CHEN Y, QU S, et al. Effects of different microbial fertilizers on soil quality and maize yield in coastal saline soil [J/OL]. *Environmental Science*, 2023 [2023-12-21]. <https://link.cnki.net/urlid/11.1895.X.20231031.1649.035>.
- [21] 王英, 李立军, 韩雪, 等. 宽幅条播对燕麦间作箭筈豌豆产量及种间关系的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2024, 44(6): 795-802.
- WANG Y, LI L J, HAN X, et al. Effect of wide strip sowing on seed yield and interspecific relationships under Oats and Common vetch intercropping [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(6): 795-802.
- [22] SHI X L, ZHOU Y F, ZHAO X H, et al. Soil metagenome and metabolome of peanut intercropped with sorghum reveal a prominent role of carbohydrate metabolism in salt-stress response [J/OL]. *Environmental and Experimental Botany*, 2023, 209 [2023-12-21]. DOI: 10.1016/J.ENVEXPBOT.2023.105274.
- [23] 刘思彤, 张东娟, 许锦, 等. 间作对高粱光合特征及物质生产的影响 [J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2023, 43(6): 52-61.
- LIU S T, ZHANG D J, XU J, et al. Effects of intercropping on the photosynthetic characteristics and biomass production of sorghum [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2023, 43(6): 52-61.
- [24] 常青, 李立军, 渠佳慧, 等. 土默川平原麦后复种饲用玉米 || 油菜模式的增产优势及氮素利用效率 [J]. *作物杂志*, 2023(3): 167-174.
- CHANG Q, LI L J, QU J H, et al. Yield advantage and nitrogen use efficiency of forage maize-rape intercropping following wheat in tamed plain [J]. *Crops*, 2023(3): 167-174.
- [25] 范虹, 殷文, 柴强. 间作优势的光合生理机制及其冠层微环境特征 [J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2022, 30(11): 1750-1761.
- FAN H, YIN W, CHAI Q. Research progress on photo-physiological mechanisms and characteristics of canopy microenvironment in the formation of intercropping advantages [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, 30(11): 1750-1761.
- [26] 付学鹏, 吴凤芝, 吴瑕, 等. 间套作改善作物矿质营养的机理研究进展 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(2): 525-535.
- FF X P, WU F Z, WU X, et al. Advances in the mechanism of improving crop mineral nutrients in intercropping and relay intercropping systems [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2016, 22(2): 525-535.
- [27] WANG W, ZHAO J H, LI M Y, et al. Yield loss of inferior crop species and its physiological mechanism in a semiarid cereal-legume intercropping system [J]. *European Journal of Agronomy*, 2024, 152: 127032.
- [28] GONÇALVES O D, MAYARA, CARPANEZ, et al. Biomass production of the tropical forage grass *Pennisetum purpureum* (BRS capiaçu) following biofertilizer application [J]. *Waste and Biomass Valorization*, 2022, 13(4): 2137-2147.
- [29] 叶盛嘉, 郑晨萌, 张影, 等. 氮肥减量配施有机肥对豫中地区冬小麦-夏玉米轮作生产力及土壤性质的影响 [J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2022, 30(6): 900-912.
- YE S J, ZHENG C M, ZHANG Y, et al. Effects of reduced chemical nitrogen input combined with organic fertilizer application on the productivity of winter wheat and summer maize rotation and soil properties in central Henan Province [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, 30(6): 900-912.
- [30] 韩冬雨, 李立军, 赵鑫瑶, 等. 施氮对燕麦间作箭筈豌豆饲草产

量和品质及水氮利用效率的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2023, 51(10): 40-51.

HA D Y, LI L J, ZHAO X Y, et al. Effects of nitrogen application on yield quality, water and nitrogen use efficiency of intercropping Oat and Common vetch [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2023, 51(10): 40-51.

[31] SADEGHPOUR A, JAHANZADEH E, ESMAEILI A, et al. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series [J]. Field Crops Research, 2013, 148: 43-48.

[32] 王茂鉴, 石薇, 常生华, 等. 灌溉模式对河西灌区禾-豆间作系统饲草产量、品质和水分利用的影响 [J]. 草业学报, 2023, 32(3): 13-29.

WANG M J, SHI W, CHANG S H, et al. Effects of irrigation modes on forage yield, quality and water use of corn-legume intercropping systems in the Hexi irrigation area [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2023, 32(3): 13-29.

[33] LIU H, STRUIK P C, ZHANG Y J, et al. Forage quality in cereal/legume intercropping: A meta-analysis [J/OL]. Field Crops Research, 2023, 304. [2023-12-05]. DOI: 10. 1016/J. FCR. 2023. 109174.

[34] SADAFZADEH E, JAVANMARD A, MACHIANI M A M, et al. Application of bio-fertilizers improves forage quantity and quality of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) intercropped with soybean (*Glycine max* L.) [J]. Plants, 2023, 12(16): 2985.

(责任编辑: 马秋明)

(上接第 11 页)

[27] MAO Y, CHEN H, LIN Y, et al. microRNA-330 inhibits cell motility by downregulating Sp1 in prostate cancer cells [J]. Oncology Reports, 2023, 30: 327-333.

[28] ZHAO L, JIAO J, YAN G, et al. Circ_0018168 inhibits the proliferation and osteogenic differentiation of fibroblasts in ankylosing spondylitis via regulating miR-330-3p/DKK1 axis [J]. Regenerative Therapy, 2022, 21: 175-184.

[29] SHI T, YAN X, QIAO L, et al. MiR-330-5p negatively regulates ovine preadipocyte differentiation by targeting branched-chain aminotransferase 2 [J]. Animal Science Journal, 2018, 89(6): 858-867.

[30] KIM D H, SAETROM P, SNOVE O J, et al. MicroRNA-directed transcriptional gene silencing in mammalian cells [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008, 105(42): 16230-16235.

[31] LAURESSERGUES D, ORMANCEY M, GUILLOTIN B, et al. Characterization of plant microRNA-encoded peptides

(miPEPs) reveals molecular mechanisms from the translation to activity and specificity [J]. Cell Reports, 2022, 38(6): 110339.

[32] ELLIS J M, FRAHM J L, LI L O, et al. Acyl-coenzyme A synthetases in metabolic control [J]. Curr Opin Lipidol, 2010, 21(3): 212-217.

[33] LV Y, CAO Y, GAO Y, et al. Effect of ACSL3 expression levels on preadipocyte differentiation in Chinese Red Steppe Cattle [J]. DNA Cell Biology, 2019, 38(9): 945-954.

[34] LUO Q, DAS A, OLDONI F, et al. Role of ACSL5 in fatty acid metabolism [J]. Heliyon, 2023, 9(2): e13316.

[35] STIERWALT H D, EHRLICHER S E, ROBINSON M M, et al. Diet and exercise training influence skeletal muscle long-chain acyl-CoA synthetases [J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2020, 52(3): 569-576.

(责任编辑: 马秋明)