

doi: 10.11733/j.issn.1007-0435.2026.05.029

引用格式:董志晓,傅康,刘英杰,等.甜高粱与田菁间作比例对饲草生产力及种间关系的影响[J].草地学报,2026,34(5):1889–1899

DONG Zhi-xiao, FU Kang, LIU Ying-Jie, et al. Effects of Intercropping Ratios of *Sorghum bicolor* and *Sesbania cannabina* on Forage Productivity and Interspecific Relationships[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(5):1889–1899

甜高粱与田菁间作比例对饲草生产力及种间关系的影响

董志晓¹, 傅康¹, 刘英杰¹, 王昭婷¹, 谭小平¹, 范文涛¹, 赵俊茗¹, 马啸^{1*}, 张健^{2*}

(1. 四川农业大学草业科技学院, 四川成都 611130; 2. 四川省林业和草原发展研究中心, 四川成都 610036)

摘要:为明确甜高粱(*Sorghum bicolor*)与田菁(*Sesbania cannabina*)在成都平原地区的适宜间作比例及其对饲草生产力和种间关系的影响。本研究以单作为对照,设置五种播量比例(甜高粱:田菁)3:1,2:1,1:1,1:2和1:3,并系统评估间作对作物生长、饲草产量及品质指标的综合效应。结果表明:间作显著降低了两种作物的株高和茎粗,但间作饲草的营养品质较甜高粱单作明显改善,且粗蛋白、总可消化养分及综合品质指标随着田菁比例增加而提升。虽然甜高粱单作的鲜草与干草产量最高,但间作3:1处理在各组合中产量表现较优。种间关系分析表明,当间作比例大于1:1时,两种作物呈协同互促效应,而比例小于1:1时田菁对甜高粱生长产生抑制。基于TOPSIS与隶属函数的综合评价结果,甜高粱与田菁在成都平原的最佳播种比例为2:1,对应播量为14.67 kg·hm⁻²和30.00 kg·hm⁻²。

关键词:甜高粱;田菁;间作;生产性能;种间关系

中图分类号:S542.9

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)05-1889-11

Effects of Intercropping Ratios of *Sorghum bicolor* and *Sesbania cannabina* on Forage Productivity and Interspecific Relationships

DONG Zhi-xiao¹, FU Kang¹, LIU Ying-Jie¹, WANG Zhao-ting¹, TAN Xiao-ping¹,

FAN Wen-tao¹, ZHAO Jun-ming¹, MA Xiao^{1*}, ZHANG Jian^{2*}

(1. College of Grassland Science and Technology, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan Province 611130, China;

2. Sichuan Forestry and Grassland Development Research Center, Chengdu, Sichuan Province 610036, China)

Abstract: This study aimed to identify the optimal intercropping ratio of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) and sesbania (*Sesbania cannabina*) in the Chengdu Plain region and to clarify its effects on forage productivity and interspecific interactions. Five intercropping ratios (3:1, 2:1, 1:1, 1:2 and 1:3; sweet sorghum : sesbania) were established, with monocultures as controls. Agronomic traits, forage yield and nutritional quality were evaluated to assess the overall performance of the intercropping system. The results showed that intercropping significantly reduced plant height and stem diameter of both species. However, the nutritional quality of the mixed forage was significantly improved compared to sweet sorghum monoculture. Crude protein, total digestible nutrients and comprehensive quality indicators increased with the increase of sesbania proportion. Sweet sorghum monoculture produced the highest fresh and dry matter yields, while the 3:1 intercropping ratio achieved the highest yield among the intercropping treatments. Interspecific interaction analysis indicated a facilitative effect when the sowing ratio exceeded 1:1, whereas sesbania inhibited sweet sorghum growth at lower ratios. Based on TOPSIS and membership function evaluation, the optimal sowing ratio in the Chengdu Plain was determined to be 2:1, corresponding to 14.67 kg·hm⁻² of sweet sorghum and 30.00 kg·hm⁻² of sesbania.

收稿日期:2025-09-12;修回日期:2025-12-02

基金项目:国家重点研发计划项目(2024YFD1301200);四川肉牛创新团队建设项目(SCCXTD-20-13)资助

作者简介:董志晓(1993-),男,汉族,河北邢台人,博士研究生,主要从事饲草种质创新与育种研究, E-mail:1565752354@qq.com; *通信作者
Author for correspondence, E-mail:maroar@126.com; zjturf@163.com

These findings provide a scientific basis for optimizing the sweet sorghum – sesbania intercropping system in the Chengdu Plain.

Key words: *Sorghum bicolor*; *Sesbania cannabina*; Intercropping; Production performance; Interspecific relationship

四川省作为我国西南地区重要的畜牧业产业集聚区,拥有丰富的草地资源,但存在着牧草产量低和草地资源利用不充分等问题,优质饲草供给与需求之间的矛盾依然突出。2023年四川省肉牛存栏量达415.46万头,出栏量为193.15万头;肉羊存栏量为1279.09万只,出栏量达1678.28万只^[1]。然而,省内已开发的草地资源仅能满足部分草食牲畜的饲草需求,超过52.9%的饲草依赖外省调入^[2]。成都平原作为我国西南地区重要的农业生产区,尽管其气候条件优越、土壤肥沃,但可用于饲草种植的土地资源十分有限。因此,如何在有限的土地资源上实现饲草产量与品质的协同提升,已成为成都平原地区饲草产业发展中亟待解决的重要问题。

间作作为一种传统的农业种植模式,通过不同作物在时间和空间上的合理配置,能够有效提高土地利用效率、改善土壤结构、提升饲草作物的产量和品质^[3]。禾-豆间作系统中植物种类组成和种植方式对饲草产量、营养品质和土地利用效率具有显著影响。研究表明,紫花苜蓿(*Medicago sativa*)和无芒雀麦(*Bromus inermis*)的间作组合在饲草产量和稳定性方面显著优于苜蓿与垂穗披碱草(*Elymus nutans*)的搭配^[4]。在种植模式方面,燕麦(*Avena sativa*)与豌豆(*Pisum sativum*)的隔行间作表现出更高的土地当量比,且燕麦在竞争能力上优于豌豆^[5]。燕麦与箭筈豌豆(*Vicia sativa*)的间作系统不仅可使饲草产量提升13.4%~202.8%,还能显著提高粗蛋白含量^[6]。这种生长优势主要源于豆科作物的生物固氮作用,其不仅能够提升禾本科饲草作物的生物量产量,而且豆科作物向禾本科作物转移的固定氮比例与两者的生物量呈现显著的相关性^[7]。

甜高粱(*Sorghum bicolor*)作为禾本科非粮作物,具有生物量高、营养价值好、光合效率高和抗逆性强等优势^[8]。其茎秆富含碳水化合物,但粗蛋白含量相对偏低^[9]。将饲用型高粱与一年生豆科植物间作,是提升饲草粗蛋白含量、优化日粮营养结构的有效途径^[10]。已有研究表明,在甜高粱与大豆(*Glycine max*)、茶花豆(*Phaseolus acutifolius*)、豇豆(*Vigna unguiculata*)和拉巴豆(*Lablab purpureus*)等多种豆科植物的混作体系中,甜高粱与拉巴豆的互补效应最为显著^[11]。田菁(*Sesbania cannabina*)作

为一年生豆科草本植物,株高大、生长迅速,具有较高粗蛋白含量和固氮能力^[12]。在光照较弱的下层作物带中,其生长表现甚至优于上述多种豆科作物,显示出更强的适应性与潜在利用价值^[11]。然而,现有研究多聚焦于甜高粱与田菁间作对饲草产量与营养品质的影响,尚缺乏对不同播种量条件下两者种间关系及其生产性能的系统分析。本研究通过设置不同播种量形成多种间作比例,系统探究其对饲草产量、营养品质及种间关系的影响,旨在筛选出最优间作模式,为成都平原地区高效饲草生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点位于四川省成都市崇州市四川农业大学现代农业研发基地(103°40'E, 30°33'),海拔高度为511 m,属亚热带湿润季风气候。年平均温度为16.5℃,年均降水量为1087.5 mm,年均日照时数为1184.6 h,无霜期为293 d。土壤类型为黄壤土, pH值为6.3。

1.2 试验材料

‘大力士’甜高粱(*Sorghum bicolor* ‘Hunnigreen’)由百绿(天津)国际草业有限公司提供,田菁由郑州开元草业科技有限公司提供。

1.3 试验设计

本试验采用单因素完全随机设计,设置7个处理:甜高粱和田菁间作播种量的比例为3:1(A₁)、2:1(A₂)、1:1(A₃)、1:2(A₄)、1:3(A₅)、甜高粱单播(A₆)和田菁单播(A₇)。各处理小区的实际播种量以相应作物的单播量为基准进行计算。以甜高粱与田菁按3:1比例间作的组合为例,甜高粱的播种量为其单播量(A₆处理:22 kg·hm⁻²)的75%,即16.5 kg·hm⁻²;田菁的播种量则为其单播量(A₇处理:45 kg·hm⁻²)的25%,即11.25 kg·hm⁻²。于2024年5月20日播种(播量设置见表1)。小区面积为24 m²(4 m×6 m),小区间隔1 m。甜高粱采用条播方式,行距设为40 cm;在相邻两行甜高粱之间的

中线位置增播1行田菁,使甜高粱与田菁的行间距均为20 cm。生育期内进行人工除草2次,漫灌溉水2次。

表1 甜高粱和田菁的播量设置

Table 1 The seeding rate configurations for *Sorghum bicolor* and *Sesbania cannabina*

处理 Treatment	小区播种量 Sowing rate of the plot/(kg·hm ⁻²)		比值 Ratio
	甜高粱 <i>Sorghum bicolor</i>	田菁 <i>Sesbania cannabina</i>	
A ₁	16.50	11.25	3:1
A ₂	14.67	30.00	2:1
A ₃	11.00	22.50	1:1
A ₄	7.33	30.00	1:2
A ₅	5.50	33.75	1:3
A ₆	22	—	—
A ₇	—	45	—

1.4 测定指标及方法

1.4.1 农艺性状及饲草产量测定 2024年9月20日(甜高粱处于孕穗期,田菁处于鼓粒期)进行农艺性状测定和饲草产量测定。每个小区随机选取3个2 m长的样段,刈割样段内所有甜高粱和田菁,分别称重后合计鲜草产量,并换算为每公顷产量。测产后,每个小区随机选取10株甜高粱,测量其株高(地面至植株顶端)、茎粗(地面起第3节最粗处,用游标卡尺测定),以及第6叶的叶长、叶宽,并按公式:叶面积=全叶长×最大叶宽×0.75^[13]。同时,每个小区随机选取10株田菁,测定株高和基部茎粗。另从每个小区随机选取10株甜高粱和田菁,带回实验室分离茎、叶并分别称重,经105℃杀青30 min、65℃烘干至恒重后,计算干鲜比、茎叶比及干草产量。

1.4.2 营养品质测定 每个小区随机选取3个1 m样段取样。单播处理小区仅采集对应的作物样品。混播处理小区则按照田间实际植株构成,同时采集样段内的甜高粱与田菁植株。在烘箱内105℃杀青30 min,65℃烘干至恒重,用FOSS CT410粉碎机将混合样品粉碎过2 mm筛子,用近红外光谱仪对样品的干物质(Dry matter, DM)、粗灰分(Crude ash, Ash)、粗脂肪(Ether extract, EE)、粗蛋白(Crude protein, CP)、总可消化养分(Total digestible nutrients, TDN)、酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF)、中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber, NDF)等营养物质的含量进行测定。相对饲喂价值(Relative feed value, RFV)和相对牧草质量(Relative grass quality, RFQ)计算公式^[14]如下:

$$\text{DDM}(\%) = 88.9 - 0.779 \times \text{ADF} \quad (1)$$

$$\text{DMI}(\%) = 120 / \text{NDF} \quad (2)$$

$$\text{RFV}(\%) = \text{DMI} \times \text{DDM} / 1.29 \quad (3)$$

$$\text{RFQ}(\%) = \text{TDN} \times \text{DMI} / 1.23 \quad (4)$$

其中,DDM为可消化干物质(Digestible dry matter, DDM),DMI为可消化干物质采食量(Digestible dry matter intake, DMI)。

1.4.3 甜高粱与田菁土地当量比及竞争关系测定 (1)土地当量比(Land equivalent ratio, LER):将测得的干草产量计算出不同混播模式的土地当量比,计算公式^[15]如下:

$$\text{LER} = \text{LER}_G + \text{LER}_L \quad (5)$$

$$\text{LER}_G = Y_{IG} / Y_{SG} \quad (6)$$

$$\text{LER}_L = Y_{IL} / Y_{SL} \quad (7)$$

式中:LER_G为甜高粱的土地当量比,LER_L为田菁的土地当量比。Y_{IG}为间作时甜高粱的草产量;Y_{SG}为单作时甜高粱的草产量;Y_{IL}为间作时田菁的草产量;Y_{SL}为单作时田菁的草产量。

(2)利用相对拥挤率(Relative crowding coefficient, K)、竞争率(Competitive ratio, CR)和侵占率(Aggressivity, A)来测定甜高粱和田菁的种间竞争关系,计算公式^[15]如下:

$$K_G = Y_{SG} \times Z_G / (Y_{SG} - Y_{IG}) \times Z_G \quad (8)$$

$$K_L = Y_{SL} \times Z_L / (Y_{SL} - Y_{IL}) \times Z_L \quad (9)$$

$$\text{CR}_G = (Y_{IG} / Y_{SG}) / (Y_{IL} / Y_{SL}) \times (Z_L / Z_G) \quad (10)$$

$$\text{CR}_L = (Y_{IL} / Y_{SL}) / (Y_{IG} / Y_{SG}) \times (Z_G / Z_L) \quad (11)$$

$$A_G = Y_{IG} / Y_G \times Z_G - Y_{IL} / Y_{SL} \times Z_L \quad (12)$$

$$A_L = Y_{IL} / Y_{SL} \times Z_L - Y_{IG} / Y_{SG} \times Z_G \quad (13)$$

式中:Z_G和Z_L分别代表甜高粱和田菁间作时各自所占比例。

(3)相对产量(Relative yield, RY)和相对产量总值(Relative yield total, RYT)计算公式^[15]如下:

$$\text{甜高粱相对产量}(\text{RY}_G) = Y_{gl} / (pY_g) \quad (14)$$

$$\text{田菁相对产量}(\text{RY}_L) = Y_{ll} / (qY_l) \quad (15)$$

$$\text{相对产量总值}(\text{RYT}) = p\text{RY}_G + q\text{RY}_L \quad (16)$$

式中:Y_{gl}是在间作条件下甜高粱的单位面积产量,Y_g是单作条件下甜高粱的单位面积产量;Y_{ll}是间作条件下田菁的单位面积产量,Y_l是单作条件下田菁的单位面积产量;p为甜高粱在间作中所占比例;q为田菁在间作中所占比例;RY_G=1表明甜高粱的种内竞争与田菁的种间竞争相似;RY_G>1表明甜高粱的种内竞争大于其种间竞争;RY_G<1表明种间竞争要大于种内竞争。

1.5 数据处理与统计分析

利用Excel 2023软件对数据进行记录与处理,采用DPS18.1软件用新复极差法进行多重比较分析和TOPSIS综合评价,用GraphPad Prism 9.5进行绘图。利用模糊集合中的隶属函数对甜高粱与田菁间作的饲草产量及营养成分进行综合评价,求出不同间作比例的平均隶属值,计算公式^[16]如下:

$$U(x)=(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min}) \quad (17)$$

$$U(x)=(X_{\max}-X)/(X_{\max}-X_{\min}) \quad (18)$$

X 为每个特征数值, $X_{\max}$ 为最大特征数值, $X_{\min}$ 为最小特征数值,当测定指标为负向指标时,应采用反隶属函数(公式(18))。

TOPSIS综合评价法首先对甜高粱与田菁间作模式下饲草产量、营养成分等原始数据进行“极差标准化”归一化处理,构建加权规范化决策矩阵,在此基础上计算各混播比例方案与正、负理想解的距离,最终依据相对接近度(Ci 值)评估不同混播比例的综合表现优劣^[17]。

2 结果与分析

2.1 不同间作比例对甜高粱和田菁农艺性状的影响

随着甜高粱间作比例降低,株高呈现先降后升

的变化趋势(表2)。 A_3 处理株高最低,较 A_1 、 A_2 、 A_4 、 A_5 和 A_6 处理分别显著降低10.74%、9.98%、5.39%、8.78%和11.74%($P<0.05$); A_6 处理株高最高(361.45 cm),显著高于 A_3 和 A_4 处理。叶面积在 A_6 处理下表现最大,较 A_2 、 A_3 和 A_4 处理分别显著增加28.45%、18.72%和20.30%($P<0.05$)。茎粗则随间作比例降低而显著增加,其中 A_1 、 A_2 和 A_3 处理显著低于 A_4 、 A_5 和 A_6 处理($P<0.05$),各处理间存在显著差异($P<0.05$),表现为 A_6 处理最高, A_4 处理最低。茎叶比结果表明, A_5 和 A_6 处理显著高于其他处理,而 A_2 处理最低,较 A_1 、 A_3 、 A_4 、 A_5 和 A_6 处理分别显著降低7.48%、3.56%、7.80%、10.78%和11.39%($P<0.05$)。

田菁株高随间作比例增加而显著增加(表3)。 A_1 处理株高最低,较 A_5 和 A_7 处理分别显著降低6.91%和12.95%($P<0.05$); A_7 处理株高最高,显著高于其他各处理($P<0.05$)。茎粗变化趋势与株高相似,随间作比例增加而增大。 A_7 处理茎粗最大,较 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 和 A_5 处理分别显著增加57.18%、59.95%、31.82%、26.83%和17.20%($P<0.05$); A_1 和 A_2 处理茎粗显著小于其他处理。 A_1 和 A_2 处理的干鲜比显著高于其他处理,而 A_5 处理显著低于其他处理($P<0.05$)。茎叶比在各处理间差异显著,其中 A_1 处理最高, A_3 处理最低($P<0.05$)。

表2 不同间作比例对甜高粱农艺性状的影响

Table 2 Effects of varying intercropping ratios on the agronomic traits of *Sorghum bicolor*

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶面积 leaf area/cm ²	茎粗 Stem diameter/ mm	干鲜比 Dry to fresh ratio/%	茎叶比 Stem leaf ratio/%
A_1	357.40±5.16 ^a	103.20±2.68 ^{ab}	8.10±0.37 ^a	695.18±35.44 ^{ab}	18.50±0.61 ^b	0.277±0.001 ^b	2.64±0.02 ^b
A_2	354.40±9.10 ^a	101.85±6.04 ^{ab}	7.05±0.49 ^b	597.28±57.34 ^c	18.97±0.76 ^b	0.269±0.003 ^c	2.44±0.05 ^d
A_3	319.03±11.53 ^c	100.88±2.53 ^{ab}	7.88±0.69 ^a	661.05±66.09 ^{bc}	19.22±0.59 ^b	0.225±0.002 ^f	2.53±0.03 ^c
A_4	337.20±6.55 ^b	100.00±1.68 ^b	8.13±0.46 ^a	675.86±42.05 ^{bc}	20.81±0.91 ^a	0.230±0.001 ^e	2.65±0.04 ^b
A_5	349.73±7.01 ^{ab}	102.18±1.33 ^{ab}	8.31±0.43 ^a	706.04±44.14 ^{ab}	21.11±0.53 ^a	0.239±0.002 ^d	2.73±0.08 ^a
A_6	361.45±11.83 ^a	105.83±2.71 ^a	8.68±0.49 ^a	764.23±61.38 ^a	21.70±0.83 ^a	0.285±0.001 ^a	2.75±0.04 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同

Note: Different lowercase letters within the same column indicate significant differences ($P<0.05$), the same applies below

表3 不同间作比例对田菁农艺性状的影响

Table 3 The impact of varying intercropping ratios on the agronomic traits of *Sesbania cannabina*

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	干鲜比 Dry to fresh ratio/%	茎叶比 Stem/leaf ratio/%
A_1	144.40±2.98 ^c	4.91±0.26 ^d	0.26±0.005 ^a	5.43±0.05 ^a
A_2	146.18±6.31 ^c	4.83±0.67 ^d	0.26±0.006 ^a	4.67±0.13 ^c
A_3	150.85±4.45 ^{bc}	5.86±0.41 ^c	0.25±0.007 ^b	3.41±0.16 ^c
A_4	152.70±7.64 ^{bc}	6.09±0.61 ^{bc}	0.22±0.004 ^c	3.82±0.21 ^d
A_5	154.90±4.85 ^b	6.59±0.32 ^b	0.20±0.006 ^d	4.55±0.13 ^c
A_7	165.65±3.42 ^a	7.72±0.30 ^a	0.25±0.006 ^b	4.95±0.21 ^b

2.2 不同间作比例对饲草产量的影响

不同间作比例显著影响甜高粱和田菁的鲜干草产量(表4)。鲜草总产量随甜高粱间作比例增加而降低,A₆处理最高为66 164.84 kg·hm⁻²,显著高于其他处理($P<0.05$);A₁处理的饲草产量分别较A₃,A₄,A₅和A₇处理显著增加14.66%,21.60%,34.44%和200%($P<0.05$);A₇处理最低,显著低于其他处理($P<0.05$)。在A₁~A₅间作处理中,甜高粱鲜草产量以

A₁处理最高,显著高于其他处理($P<0.05$);田菁鲜草产量则以A₅处理最高,各处理间差异显著($P<0.05$)。干草总产量表现为A₆处理最高,显著高于其他处理;A₇处理最低,显著低于其他处理($P<0.05$)。在A₁~A₅处理中,甜高粱干草产量以A₁处理最高,A₅处理最低($P<0.05$);田菁干草产量以A₅处理最高,较A₁~A₄处理分别显著增加143.41%,92.44%,22.86%和10.42%($P<0.05$)。

表 4 不同间作比例对饲草产量的影响

Table 4 The influence of different intercropping ratios on forage yield

处理 Treatment	鲜草产量 Fresh grass yield/(kg·hm ⁻²)			干草产量 Hay yield/(kg·hm ⁻²)		
	甜高粱	田菁	总产量	甜高粱	田菁	总产量
	<i>Sorghum bicolor</i>	<i>Sesbania cannabina</i>	Total yield	<i>Sorghum bicolor</i>	<i>Sesbania cannabina</i>	Total yield
A ₁	55 371.42±1 064.78 ^b	5158.83±296.00 ^f	60 530.25±1007.27 ^b	15 344.81±245.53 ^b	1328.07±71.46 ^f	16 672.88±234.33 ^b
A ₂	51 886.35±1 938.57 ^c	6419.88±418.61 ^e	58 306.22±1538.41 ^b	13 948.12±383.87 ^c	1679.86±87.53 ^e	15 627.98±301.08 ^c
A ₃	42 130.43±1 301.12 ^d	10 661.58±397.13 ^d	52 792.01±1059.09 ^c	9484.21±224.44 ^d	2631.23±121.48 ^d	12 115.44±246.80 ^d
A ₄	36 535.97±1 326.20 ^e	13 240.99±343.92 ^c	49 776.96±1353.99 ^d	8392.10±300.69 ^e	2927.51±103.11 ^c	11 319.61±347.35 ^e
A ₅	29 204.70±3 223.58 ^f	15 820.41±620.90 ^b	45 025.11±3586.84 ^e	6987.93±742.40 ^f	3232.69±114.69 ^b	10 220.62±760.14 ^f
A ₆	66 164.84±1 343.25 ^a	—	66 164.84±1343.25 ^a	18 878.39±455.23 ^a	—	18 878.39±455.23 ^a
A ₇	—	20 176.75±592.00 ^a	20 176.75±592.00 ^f	—	4992.71±89.13 ^a	4992.71±89.13 ^g

2.3 不同间作比例对混合饲草营养品质的影响

由表5可知,间作比例对甜高粱与田菁混合饲草的营养品质具有显著影响。干物质含量以A₅处理最高(95.62%),显著高于A₁,A₂,A₄,A₆和A₇处理($P<0.05$);A₇处理最低(93.58%)。粗灰分含量表现为A₆处理显著高于其他处理($P<0.05$),A₇处理显著低于其他处理($P<0.05$)。粗脂肪含量在A₆处理下最高,A₇处理下最低。粗蛋白含量以A₇处理为最高,较A₁~A₆处理增加6.66%~12.19%,并以A₆处理为最低。在A₁~A₅处理中,

粗蛋白含量随田菁播量增加而升高。总可消化养分含量随田菁播量比例增加呈上升趋势,其中A₆处理最低,A₃和A₄处理高于A₇处理。除A₁和A₂处理外,其余各处理的酸性洗涤纤维含量与A₆和A₇处理无显著差异。中性洗涤纤维含量以A₆处理最高,A₇处理最低,显著低于其他处理($P<0.05$)。相对饲喂价值随田菁间作比例增加而提高,A₅处理显著高于A₁,A₂和A₃处理($P<0.05$)(图1-A)。相对牧草质量的变化趋势与相对饲喂价值基本一致(图1-B)。

表 5 不同间作比例对饲草营养成分的影响

Table 5 Effects of various intercropping ratios on the nutrient composition of forage crops

处理 Treatment	干物质 Dry matter/%	粗灰分 Crude ash/%	粗脂肪 Ether extract/%	粗蛋白 Crude protein/%	总可消化养分 Total digestible nutrients/%	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber/%	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber/%
A ₁	94.51±0.22 ^{bc}	6.50±0.33 ^{bc}	2.18±0.17 ^b	8.43±0.21 ^e	55.59±0.76 ^c	42.78±0.55 ^a	63.36±0.08 ^b
A ₂	94.28±0.16 ^c	6.17±0.15 ^{cd}	2.14±0.09 ^b	9.62±0.29 ^d	56.47±1.05 ^{bc}	43.48±0.23 ^a	60.64±0.54 ^c
A ₃	95.50±0.26 ^a	5.85±0.14 ^{de}	2.07±0.07 ^b	11.73±0.55 ^c	57.79±1.00 ^{ab}	41.43±0.22 ^b	57.50±0.55 ^d
A ₄	94.72±0.24 ^b	6.74±0.24 ^b	2.24±0.09 ^b	12.37±0.25 ^{bc}	58.34±1.30 ^{ab}	41.13±0.69 ^b	57.16±0.24 ^{de}
A ₅	95.62±0.17 ^a	6.33±0.22 ^{bc}	2.16±0.08 ^b	12.67±0.52 ^b	58.80±0.90 ^a	41.55±0.51 ^b	56.34±0.21 ^e
A ₆	94.14±0.11 ^c	7.26±0.17 ^a	2.46±0.11 ^a	7.14±0.11 ^f	54.76±0.43 ^c	41.37±0.37 ^b	65.89±0.66 ^a
A ₇	93.58±0.23 ^d	5.65±0.32 ^c	1.68±0.17 ^c	19.33±0.42 ^a	57.43±1.27 ^{ab}	41.74±0.58 ^b	52.02±0.63 ^f

2.4 不同间作比例对甜高粱与田菁种间关系的影响

不同间作比例中甜高粱和田菁的竞争关系表现不同(图2-A),A₁处理下甜高粱(RY_L)和田菁

(RY_G)的相对产量分别为1.08和1.06;A₂处理下甜高粱和田菁的相对产量分别为1.11和1.01;A₃处理下甜高粱和田菁的相对产量分别为1.00和1.05;A₄处理下甜高粱和田菁的相对产量分别为1.33和

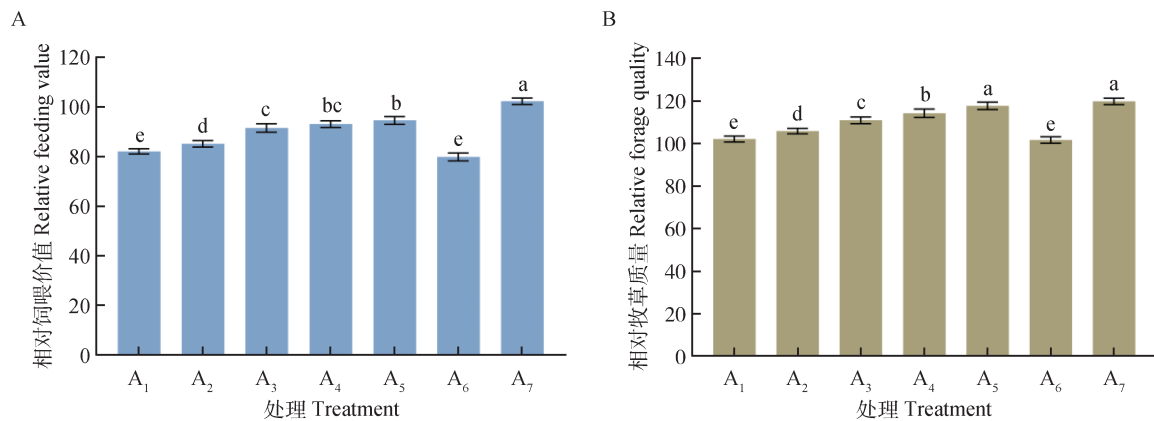


图1 不同间作比例下饲草的相对饲喂价值(A)和相对牧草质量(B)

Fig. 1 The relative feeding value (A) and relative forage quality (B) of forage as influenced by different intercropping ratios

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$), the same as below

0.88; A₅处理下甜高粱和田菁的相对产量分别为1.48和0.86。甜高粱和田菁不同比例间作下的相对产量总值均大于1,其中A₁和A₂处理的相对产量总值显著高于A₁、A₂和A₃处理($P < 0.05$)(图2-B)。

甜高粱的LER值随间作比例降低而下降,其中A₁处理最高,A₅处理最低;与此趋势相反,田菁的

LER值则随间作比例增加而上升,其最高与最低值分别出现在A₅和A₁处理(图2-C)。甜高粱的侵占率在A₁和A₂处理中高于其他处理,而在A₃、A₄和A₅处理中均为负值;田菁的侵占率则在A₄和A₅处理最大,在A₁和A₂处理为负值,处理间差异均显著($P < 0.05$)(图2-D)。甜高粱的拥挤率随播量减少呈递减趋势,

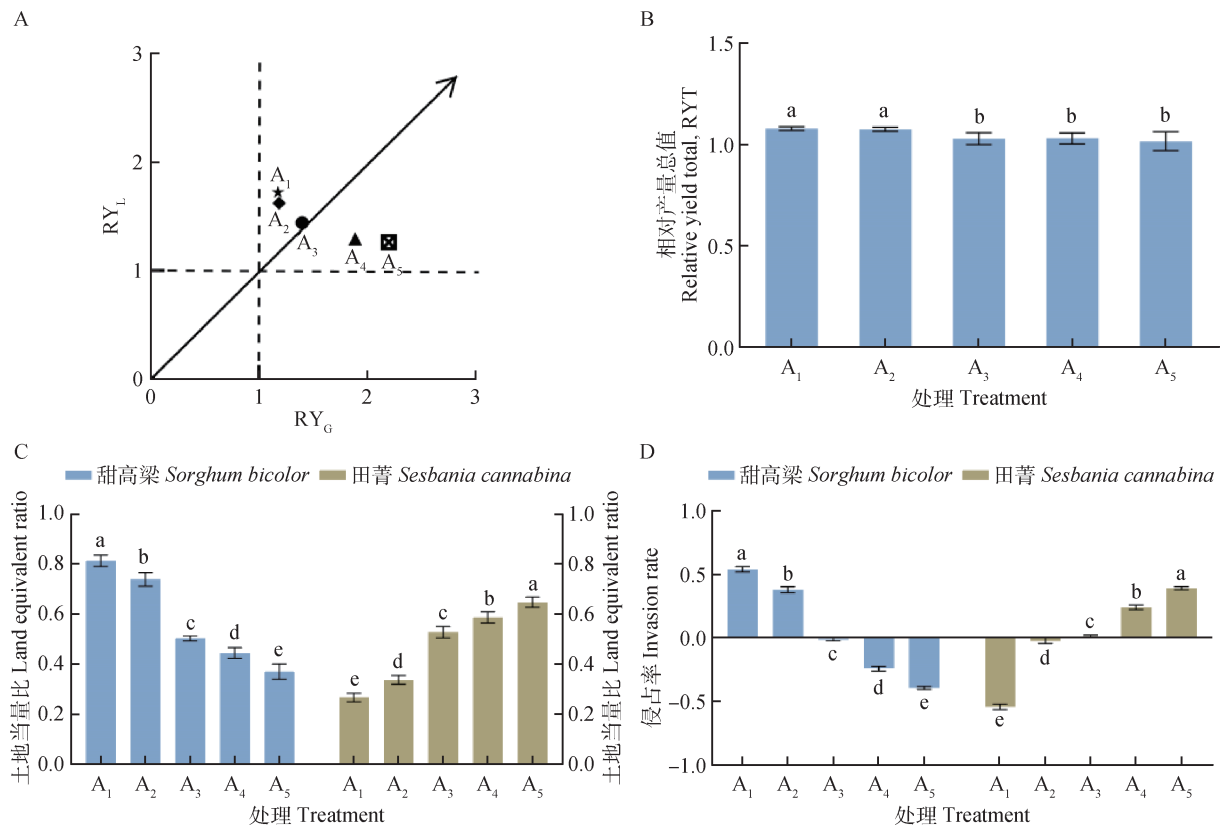


图2 不同间作比例对饲草相对产量(A)、相对产量总值(B)、土地当量比(C)和侵占率(D)的影响

Fig. 2 Effects of different intercropping ratios on forage relative yield (A), total relative yield (B), land equivalent ratio (C), and aggressivity (D)

注:在同一物种内比较时,同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

Note: Within the same species, different lowercase letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$); the same as below

以 A₁ 处理最高, A₅ 处理最低; 田菁的拥挤率则以 A₁ 处理最低, A₅ 处理最高, 各处理差异显著 ($P<0.05$) (图 3-A)。甜高粱竞争率在 A₁ 处理中最高, A₅ 处理最低;

田菁则相反, 在 A₁ 处理最低, A₅ 处理最高。在 A₁ 和 A₂ 处理中, 甜高粱的竞争率高于田菁; 而在 A₃, A₄ 和 A₅ 处理中, 田菁的竞争率高于甜高粱 (图 3-B)。

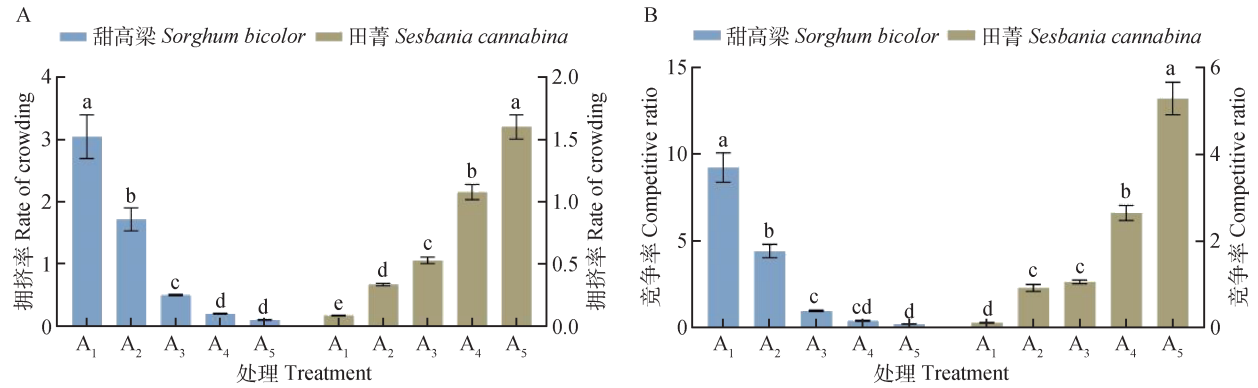


图 3 不同间作比例对饲草拥挤率(A)和竞争率(B)的影响
Fig. 3 Effects of different intercropping ratios on forage crowding rate (A) and competition rate (B)

2.5 不同间作比例对饲草生产性能与种间关系的相关性分析

鲜草产量与干草产量呈极显著正相关($r=0.98, P<0.01$), 与中性洗涤纤维含量($r=0.93$)、甜高粱竞争率($r=0.88$)和土地当量比($r=0.92$)呈显著正相关($P<0.05$), 而与相对饲喂价值($r=-0.98$)和相对牧草质量($r=-0.99$)呈极显著负相关($P<0.01$)。干草产量与中性洗涤纤维含量($r=0.98$)和土地当量比($r=0.98$)均呈极显著正相关($P<0.01$), 与粗蛋白含量($r=-0.99$)、相对饲喂价值($r=-1.0$)和相对牧草质量($r=-0.99$)呈极显著负相关($P<0.01$)。粗蛋白含量与相对饲喂价值($r=0.99$)和相对牧草质量($r=0.98$)呈极显著正相关($P<0.01$), 而与干草产量($r=-0.96$)、甜高粱竞争率($r=-0.97$)和土地当量比($r=-0.98$)呈

极显著负相关($P<0.01$)。土地当量比与鲜草产量($r=0.92$)、中性洗涤纤维含量($r=0.95$)和甜高粱竞争率($r=0.92$)呈显著正相关($P<0.05$)。

2.6 甜高粱和田菁不同间作比例的 TOPSIS 和隶属函数综合评价

为综合评价甜高粱和田菁的最佳间作比例, 采用鲜草产量、干草产量、粗灰分、粗蛋白、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维、相对饲喂价值和相对牧草质量 8 个指标进行 TOPSIS 和隶属函数综合评价。通过 TOPSIS 综合分析排在前 3 名的分别为 A₂、A₆ 和 A₁ 处理 (表 6)。为进一步验证综合评价结果的可靠性, 利用隶属函数法对甜高粱和田菁的最佳间作比例进行综合评价, 结果表明排在前 3 名的分别为 A₂、A₁ 和 A₆ 处理 (表 7)。

表 6 甜高粱和田菁不同间作比例的 TOPSIS 综合分析
Table 6 TOPSIS analysis of various intercropping ratios in Sorghum bicolor-Sesbania cannabina systems

处理 Treatment	正理想解距离 Distance to the positive ideal solution	负理想解距离 Distance to the negative ideal solution	统计量 C_i Statistic C_i	排名 Ranking
A ₁	0.374	0.441	0.541	3
A ₂	0.339	0.418	0.552	1
A ₃	0.326	0.357	0.523	4
A ₄	0.338	0.334	0.497	5
A ₅	0.359	0.310	0.463	6
A ₆	0.416	0.511	0.551	2
A ₇	0.511	0.416	0.449	7

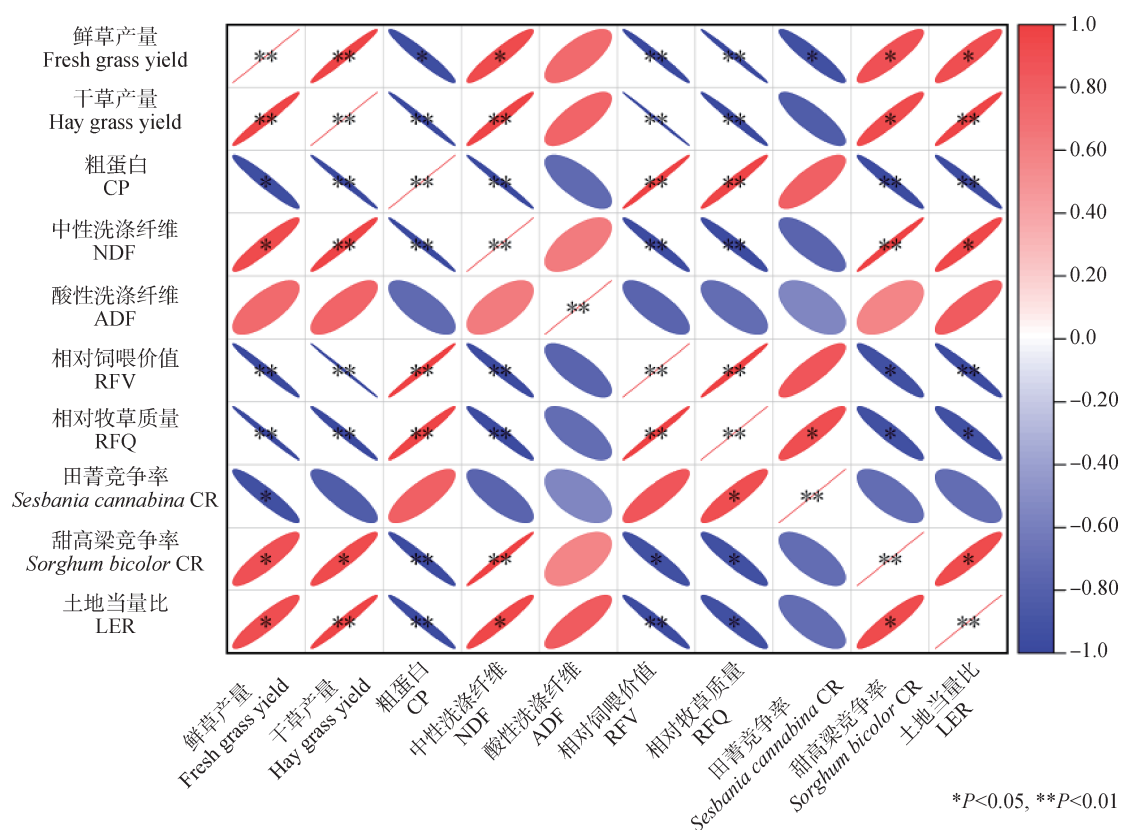


图 4 不同间作比例对饲草生产性能与种间关系的相关关系

Fig. 4 The correlation between different intercropping ratios and the production performance of forage and the interspecific relationships

注:图中红色表示正相关,蓝色表示负相关,颜色深浅表示相关系数大小。*表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著,**表示在 $P < 0.01$ 水平上差异极显著

Note: Red indicates positive correlations, and blue indicates negative correlations, with color intensity representing the magnitude of the correlation coefficients. *and ** indicate significant differences at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

表 7 甜高粱和田菁不同间作比例的隶属函数综合分析

Table 7 Comprehensive evaluation using membership function analysis of different intercropping ratios between *Sorghum bicolor* and *Sesbania cannabina*

处理 Treatment	鲜草产量 Fresh grass yield	干草产量 Hay yield	粗灰分 Ash	粗蛋白 CP	酸性洗涤 纤维 ADF	中性洗涤 纤维 NDF	相对饲喂 价值 RFV	相对牧草 质量 RFQ	隶属函数平均值 Average of affiliation function	排名 Ranking
A ₁	0.878	0.842	0.546	0.084	0.745	0.818	0.095	0.066	0.509	3
A ₂	0.830	0.767	0.354	0.181	1.000	0.622	0.238	0.266	0.532	1
A ₃	0.709	0.513	0.164	0.354	0.190	0.395	0.523	0.535	0.423	7
A ₄	0.644	0.456	0.687	0.429	0.087	0.371	0.593	0.711	0.497	4
A ₅	0.539	0.375	0.447	0.432	0.246	0.312	0.657	0.889	0.487	5
A ₆	1.000	1.000	1.000	0.000	0.178	1.000	0.000	0.048	0.528	2
A ₇	0.000	0.000	0.054	1.000	0.331	0.000	1.000	1.000	0.423	6

3 讨论

3.1 甜高粱与田菁不同间作比例差异对农艺性状及饲草产量的影响

禾-豆间作通过生态位互补效应,实现对光、温、水、肥等资源的高效利用,从而协同提升饲草产量

与品质^[18]。本研究中,甜高粱株高在单播时最高,随间作比例降低呈先降后升趋势,与霍倩倩等^[12]探究高丹草-田菁不同行比带状种植模式对株高影响中有相同的结论。随田菁比例增加,甜高粱茎叶比上升但仍低于单播,干鲜比下降,可能与光竞争加剧促使光合产物向茎部分配,以及田菁固氮促进营

养生长、提高植株含水量有关。田菁的株高和茎粗随播量增加显著提高,茎叶比呈先降后升趋势;低比例时间作光竞争较强,资源向茎部分配;中高比例时间作竞争减缓,叶片比例增加;高比例或单播时茎秆支持需求增强,茎叶比回升。干鲜比下降与群体密度增大、单株受光减少导致含水量升高有关。

相关研究表明,多种禾-豆间作模式可显著提高饲草产量^[12, 19-20]。然而,本研究结果显示,甜高粱单播处理的鲜草和干草产量最高,且随着甜高粱播种比例降低,群体产量呈递减趋势。这可能是由于甜高粱在群体中占据主要生物量贡献,其播种比例下降直接削弱了群体产量基础;而田菁单位面积生物学产量潜力相对较低,难以弥补甜高粱减少所造成的产量损失。因此,在本试验条件下,甜高粱与田菁之间的种间竞争效应可能超过其生态位互补效应,导致群体资源利用效率未能显著提升,最终表现为间作体系整体产量低于甜高粱单播。本研究虽基于单年田间试验数据,但由于试验开展期间(2024年6—9月)平均降水量(137.7 mm)与2023年同期(131.1 mm)相近,未发生极端气候事件,因此研究结果可在一定程度上反映常规气候条件下的典型规律,具有一定代表性和参考价值。

3.2 甜高粱与田菁不同间作比例差异对饲草营养品质的影响

禾-豆牧草间作可在一定程度上改善饲草营养品质,而间作比例是影响其效果的关键因素之一^[21]。已有研究表明,高丹草与田菁以适宜比例间作可显著提高粗蛋白(CP)含量并改善混合饲草品质^[12];甜高粱与拉巴豆间作亦表现出CP含量提高、纤维组分含量降低的特征^[22]。本研究结论与上述研究一致,与甜高粱单播相比,甜高粱-田菁间作显著提高混合饲草CP和总可消化养分含量,这可能与田菁较高的蛋白质积累能力有关。随着田菁间作比例的增加,饲草CP含量升高,RFV和RFQ同步提高。相关性分析表明,CP含量与NDF、ADF含量呈显著负相关,而与RFV和RFQ呈显著正相关,说明田菁的引入通过降低结构性纤维比例,从而改善饲草消化性和综合营养品质。进一步结合产量指标可见,鲜草和干草产量虽与土地当量比呈显著正相关,但同时与CP,RFV和RFQ呈显著负相关,表明在甜高粱-田菁间作体系中,高生物量积

累往往伴随着饲草品质下降,体现出产量与品质之间的权衡关系。合理调控禾-豆间作比例,有助于在维持产量优势的同时缓解该权衡,实现饲草产量与品质的相对协调。

3.3 甜高粱与田菁不同间作比例差异对种间关系的影响

在禾-豆间作体系中竞争与互利关系往往并存。二者的关系主要受作物品种组合、空间配置模式以及生育期匹配度等因素的影响^[23]。播种时的间作比例是决定禾本科与豆科牧草种间竞争动态及群体效应的关键因素^[24]。过高的单一种植比例会破坏群落内竞争关系的稳定性,导致种间互补效应难以充分发挥,从而降低间作系统的整体优势^[25]。本研究发现,当甜高粱与田菁播量比值大于1:1时,甜高粱和田菁的生长均受益,表明二者形成一个稳定共存的竞争格局,而随着田菁播种比例的增加,田菁对甜高粱的抑制作用越明显(图2-A)。甜高粱与田菁的种间竞争与不同播种比例下混播组分对资源的利用能力有关,而RYT是探究两者在间作体系中的重要指标,当RYT值大于1时表明二者存在积极的种间相互作用,反之种间竞争激烈^[26]。本研究中各间作处理的RYT值均大于1,表明甜高粱与田菁表现出一定的生态位分离,形成了一定的协调共生关系。侵占率和竞争率能够在一定程度上说明甜高粱和田菁在间作系统中的竞争关系^[27]。本研究中在A₁和A₂处理下甜高粱的侵占率和竞争率高于田菁,随着甜高粱播量的降低田菁的侵占率和竞争率处于增加的趋势。可见,适宜的间作比例是产生稳定竞争格局的基础。

4 结论

甜高粱与田菁间作能够在一定程度上改善饲草的生产性能与营养品质。尽管间作饲草产量略低于甜高粱单作,但其粗蛋白等营养指标显著提高,且所有间作处理的相对产量综合值均大于1,表明两者在资源利用上具有明显的互补性,提升了系统整体效率。综合多指标评价,甜高粱与田菁在成都平原的最优间作比例为2:1,此时二者的播量分别为14.67 kg·hm⁻²和30.00 kg·hm⁻²。

参考文献

[1] 伍文丹,王建文,李洪泉,等. 四川省南方草地资源开发利用

- 情况分析[J]. 四川畜牧兽医, 2024, 51(9): 3-5
- WU W D, WANG J W, LI H Q, et al. Analysis on the development and utilization of grassland resources in southern Sichuan Province[J]. Sichuan Animal & Veterinary Sciences, 2024, 51(9): 3-5
- [2] 唐川江, 刘伟, 杨春桃, 等. 四川省2023年饲草生产形势与产业发展报告[J]. 四川畜牧兽医, 2024, 51(5): 1-3
- TANG C J, LIU W, YANG C T, et al. Report on forage production situation and industrial development in Sichuan Province in 2023[J]. Sichuan Animal & Veterinary Sciences, 2024, 51(5): 1-3
- [3] 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
- [4] 张永亮, 张丽娟, 于铁峰, 等. 禾豆组合与间作方式对牧草产量及产量稳定性的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(5): 1410-1418
- ZHANG Y L, ZHANG L J, YU T F, et al. Effects of grass-legume combinations and intercropping patterns on the forage yield and yield stability[J]. Acta Agrestia Sinica, 2019, 27(5): 1410-1418
- [5] 鲍根生, 张鹏, 马祥, 等. 高寒区氮添加对禾豆间作系统牧草和种子产量的影响[J]. 草地学报, 2023, 31(7): 2210-2219
- BAO G S, ZHANG P, MA X, et al. Effect of nitrogen addition on forage and seed yields of intercropping system of *Avena sativa* and *Pisum sativum* in Alpine regions[J]. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(7): 2210-2219
- [6] WANG B, DENG J Q, WANG T F, et al. Effect of seeding options on interspecific competition in oat (*Avena sativa* L.) - common vetch (*Vicia sativa* L.) forage crops[J]. Agronomy, 2022, 12(12): 3119
- [7] ZHAO Y, TIAN Y Q, LI X B, et al. Nitrogen fixation and transfer between legumes and cereals under various cropping regimes[J]. Rhizosphere, 2022, 22: 100546
- [8] GETAHUN A, ALEMU A, NIDA H, et al. Multi-locus genome-wide association mapping for major agronomic and yield-related traits in sorghum (*Sorghum bicolor* L. moench) landraces[J]. BMC Genomics, 2025, 26(1): 304
- [9] 周振祥, 赵博, 王唯先, 等. 不同前处理对测定甜高粱茎秆汁液3种糖含量的影响[J]. 草业科学, 2022, 39(5): 940-948
- ZHOU Z X, ZHAO B, WANG W X, et al. Determination of three soluble sugars in stem juice of sweet sorghum by anthrone colorimetry[J]. Pratacultural Science, 2022, 39(5): 940-948
- [10] CONTRERAS-GOVEA F E, LAURIAULT L M, MARSA-LIS M, et al. Performance of forage sorghum-legume mixtures in southern high Plains, USA [J]. Forage & Grazinglands, 2009, 7(1): 1-8
- [11] LAURIAULT L M, DARAPUNENI M K, MARTINEZ G K. Sorghum-legume mixtures to improve forage yield and nutritive value in semiarid regions[J]. Grasses, 2024, 3(3): 163-173
- [12] 霍倩倩, 宋洋洋, 冯斌, 等. 高丹草与田菁不同行比带状种植模式下饲草产量与品质研究[J]. 中国草地学报, 2025, 47(7): 83-95
- HUO Q Q, SONG Y Y, FENG B, et al. Study on forage yield and quality under strip planting patterns with different row ratios of sorghum-sudangrass and *Sesbania* [J]. Chinese Journal of Grassland, 2025, 47(7): 83-95
- [13] 赵文赛, 孙永林, 刘西平. 干旱-复水-再干旱处理对玉米光合能力和生长的影响[J]. 植物生态学报, 2016, 40(6): 594-603
- ZHAO W S, SUN Y L, LIU X P. Effects of drought-rewatering-drought on photosynthesis and growth of maize [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2016, 40(6): 594-603
- [14] 熊乙, 许庆方, 玉柱, 等. 不同产地燕麦干草养分及饲用价值[J]. 草业科学, 2018, 35(10): 2457-2462
- XIONG Y, XU Q F, YU Z, et al. Evaluation of nutritional and feeding value of oat hay from different regions[J]. Pratacultural Science, 2018, 35(10): 2457-2462
- [15] 陈雪, 黎松松, 王宁欣, 等. 不同间作方式对小黑麦+箭筈豌豆草地种间竞争格局和生产性能的影响[J]. 草原与草坪, 2023, 43(5): 5-14
- CHEN X, LI S S, WANG N X, et al. Effects of different intercropping patterns on interspecific competition pattern and production performance of *Triticale* and common vetch grassland [J]. Grassland and Turf, 2023, 43(5): 5-14
- [16] 吴琼, 姚泽英, 位晓婷, 等. 水肥协作对华北平原豆禾混播牧草生产性能和品质的影响[J]. 草地学报, 2024, 32(11): 3547-3553
- WU Q, YAO Z Y, WEI X T, et al. Effects of water and fertilizer cooperation on production performance and quality of legume-grass mixed pasture in North China Plain [J]. Acta Agrestia Sinica, 2024, 32(11): 3547-3553
- [17] HWANG C L, YOON K. Multiple attribute decision making [M]. Berlin, Heidelberg: Springer, 1981: 1-10
- [18] 牟乐. 西北内陆旱区春小麦/紫花苜蓿带状间作系统生产性能、养分利用及其调控机制[D]. 兰州: 兰州大学, 2024: 4-6
- MOU L. Production performance, nutrient utilization and regulation mechanism of spring wheat/alfalfa strip intercropping system in northwest inland arid area [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2024: 4-6
- [19] 张朝辉, 张邦彦, 谢小伟, 等. 盐碱地甜高粱间作大豆对作物生产性能和光合特性的影响[J]. 草地学报, 2024, 32(1): 219-228
- ZHANG Z H, ZHANG B Y, XIE X W, et al. Effects of sweet sorghum intercropping soybean on crop production performance and photosynthetic characteristics in saline-alkali land [J]. Acta Agrestia Sinica, 2024, 32(1): 219-228
- [20] 倪旺, 王斌, 王腾飞, 等. 不同播量拉巴豆与甜高粱混播对混合饲草青贮品质的影响[J]. 草业科学, 2022, 39(8): 1628-1635
- NI W, WANG B, WANG T F, et al. Effect of mixed sowing of

- Dolichos lablab* and *Sorghum dochna* on mixed forage silage quality[J]. *Pratacultural Science*, 2022, 39(8): 1628-1635
- [21] BACCHI M, MONTI M, CALVI A, et al. Forage potential of cereal/legume intercrops: agronomic performances, yield, quality forage and LER in two harvesting times in a Mediterranean environment[J]. *Agronomy*, 2021, 11(1): 121
- [22] 董志晓, 何润濠, 况鉴洋, 等. 成都平原甜高粱间作拉巴豆对混合饲草产量及品质的影响[J]. *草地学报*, 2021, 29(7): 1578-1583
- DONG Z X, HE R H, KUANG J Y, et al. Effects of sweet sorghum intercropping with *Lablab purpureus* on yield and quality of mixed forage in Chengdu Plain, China [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(7): 1578-1583
- [23] 祁军, 郑伟, 张鲜花, 等. 不同豆禾混播模式的草地生产性能[J]. *草业科学*, 2016, 33(1): 116-128
- QI J, ZHENG W, ZHANG X H, et al. Determination and comparison of the production performance of pastures among different spatial structure of legume-grass mixtures[J]. *Pratacultural Science*, 2016, 33(1): 116-128
- [24] 王平, 周道玮, 姜世成. 半干旱地区禾-豆混播草地生物固氮作用研究[J]. *草业学报*, 2010, 19(6): 276-280
- WANG P, ZHOU D W, JIANG S C. Research on biological nitrogen fixation of grass-legume mixtures in a semi-arid area of China [J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 2010, 19(6): 276-280
- [25] 柳茜, 傅平, 敖学成, 等. 冬闲田多花黑麦草+光叶紫花苕混播草地生产性能与种间竞争的研究[J]. *草地学报*, 2016, 24(1): 42-46
- LIU Q, FU P, AO X C, et al. Study on production performance and interspecific competition of Italian ryegrass and villose vetch mixed grassland in winter fallow farmlands [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, 24(1): 42-46
- [26] 刘启宇, 云岚, 陈逸凡, 等. 苜蓿——禾草混播草地牧草产量及种间竞争关系的动态研究[J]. *草业学报*, 2022, 31(3): 181-191
- LIU Q Y, YUN L, CHEN Y F, et al. The dynamic analysis of forage yield and interspecific competition in alfalfa-grass mixed pasture[J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 2022, 31(3): 181-191
- [27] 辛亚芬, 张磊, 陈晨, 等. 燕麦与箭筈豌豆混播草地牧草产量及种间关系研究[J]. *四川农业大学学报*, 2022, 40(6): 935-941
- XIN Y F, ZHANG L, CHEN C, et al. Study on pasture yield and interspecific relationship of mixed pasture of *avean sativa* and *Vicia sativa* [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2022, 40(6): 935-941

(责任编辑 刘婷婷)