

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0122

董志晓, 何润濠, 况鉴洋, 聂聪, 杨建, 苟文龙, 马啸. 成都平原青贮玉米间作拉巴豆对混合饲草产量及品质的影响. 草业科学, 2021, 38(8): 1587-1595.

DONG Z X, HE R H, KUANG J Y, NIE C, YANG J, GOU W L, MA X. Effects of intercropping *Dolichos lablab* with silage maize on the yield and quality of mixed forage in the Chengdu Plain, China. Pratacultural Science, 2021, 38(8): 1587-1595.

成都平原青贮玉米间作拉巴豆对混合饲草产量及品质的影响

董志晓¹, 何润濠¹, 况鉴洋¹, 聂聪¹, 杨建¹, 苟文龙², 马啸¹

(1. 四川农业大学草业科技学院, 四川 成都 611130; 2. 四川省草原科学研究院, 四川 成都 611730)

摘要: 为探究成都平原地区玉米 (*Zea mays*) 与拉巴豆 (*Dolichos lablab*) 间作的最佳比例及其对混合饲草产量及品质的影响, 本研究将‘德美亚一号’玉米分别与不同密度的‘润高’拉巴豆进行间作, 对适宜收获时期玉米的农艺性状以及混合饲草的鲜、干草产量和饲草营养成分等指标进行了测定, 并对混合饲草的鲜草产量增加部分进行了经济效益评估。结果表明随着拉巴豆播量的增加, 玉米的株高、茎粗、茎叶比等指标较玉米单播处理有所降低, 混合饲草产量、粗蛋白含量、粗脂肪含量、体外消化率和干鲜比等指标高于玉米单播处理。其中, 52 500 株·hm⁻² 玉米间作 112 500 株·hm⁻² 拉巴豆处理的混合饲草鲜草产量最高, 为 63 711.86 kg·hm⁻², 与单播玉米处理相比净增收 20 081.69 CNY·hm⁻², 中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量降低。将鲜草产量和营养成分经隶属函数综合分析表明, 112 500 株·hm⁻² 拉巴豆与玉米间作的隶属函数值最高, 为 0.83, 此处理下混合饲草综合评价最佳。综合分析表明, 在成都平原地区, 52 500 株·hm⁻² 的玉米与 112 500 株·hm⁻² 的拉巴豆间作处理是提高饲草产量和品质的最优种植模式。

关键词: 玉米; 拉巴豆; 间作; 饲草产量; 营养品质; 经济效益; 成都平原地区

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2021)08-1587-09

Effects of intercropping *Dolichos lablab* with silage maize on the yield and quality of mixed forage in the Chengdu Plain, China

DONG Zhixiao¹, HE Runhao¹, KUANG Jianyang¹, NIE Cong¹, YANG Jian¹, GOU Wenlong², MA Xiao¹

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

2. Sichuan Academy of Grassland Science, Chengdu 611730, Sichuan, China)

Abstract: This study aimed to explore the best proportion of corn (*Zea mays*) and *Dolichos lablab* in the Chengdu Plain, and its impact on mixed forage production and quality. The corn cultivar ‘Demeiya No. 1’ was intercropped with different sowing rates of *D. lablab* ‘Rungai’, and the agronomic characteristics, fresh and hay yields, and forage nutrients of corn were determined at a suitable harvest time, and the increasing corn fresh yield was used to assess the economic benefit. With the increased seeding rate of *D. lablab*, plant height, stem thickness, stem-leaf ratio, and other indicators of corn were decreased, while mixed forage yield, crude protein, crude fat, in vitro digestibility, and dry-to-fresh ratio increased compared with the monoculture of corn. Among them, the fresh grass yield of mixed forage treated with 52 500 plant·ha⁻¹ corn intercropping 112 500 plant·ha⁻¹ *D. lablab* was the highest, at 63 711.86 kg·ha⁻¹, and the net increase was 20 081.69 CNY·ha⁻¹ compared

收稿日期: 2021-03-03 接受日期: 2021-05-31

基金项目: 四川省肉牛产业体系创新团队 (SCCXTD-20-13)

第一作者: 董志晓 (1993-), 男, 河北邢台人, 在读硕士生, 研究方向为饲草育种和栽培。E-mail: 1565752354@qq.com

通信作者: 马啸 (1977-), 男, 山东济宁人, 教授, 博士, 研究方向为研究方向为分子遗传育种。E-mail: maroar@126.com

共同通信作者: 苟文龙 (1975-), 男, 陕西礼泉人, 副研究员, 博士, 研究方向为牧草栽培和草地生态。E-mail: gsz080115@163.com

with the monoculture of corn, but the content of neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) was reduced. A comprehensive analysis of the fresh grass yield and nutrient components by the membership function revealed that the membership function value of 52 500 plant·ha⁻¹ corn intercropping 112 500 plant·ha⁻¹ *D. lablab* was the highest (0.83), and the comprehensive evaluation of the mixed forage under this treatment was the best. The synthesis showed that the intercropping of 52 500 plant·ha⁻¹ of corn with 112 500 plant·ha⁻¹ of *D. lablab* was the optimal planting mode for improving forage yield and quality in the Chengdu Plain.

Keywords: corn; *Dolichos lablab*; intercropping; forage yield; nutritional quality; economic benefit; Chengdu Plain

Corresponding author: GOU Wenlong E-mail: gsz080115@163.com

MA Xiao E-mail: maroar@126.com

牧草是畜牧业发展的物质基础,加快牧草产业的发展,能够有效减轻饲料对粮食安全的压力^[1]。随着“粮改饲”和“农业供给侧结构性的改革”政策的实施,种植业由“粮-经-饲”的三元种植结构逐步向“粮-经-饲-草”的四元种植结构转变,使我国草牧业得以迅速发展^[2]。但用于种植饲草的可利用土地有限,因此发展高效、优质的饲草种植模式是促进畜牧业现代化发展的有效保证。禾-豆混播是生产优质牧草的主要方式之一^[3],与单播相比可以充分利用农田空间及环境资源,豆科作物还可以为禾本科作物提供氮素,并且能够提高土壤肥力。前人通过研究青贮玉米 (*Zea mays*) 和 大豆 (*Glycine max*) 间作模式对青贮玉米产量、品质及土壤微生物群落影响的结果表明,混合饲草的产量、粗蛋白、淀粉含量较单播明显增加,并使玉米根系土壤中有益真菌含量增加,促进玉米的生长^[4]。

玉米具有营养丰富、非结构性碳水化合物和干物质含量高、木质素含量低等优点,与其他青贮饲料相比具有较高的能量和消化率,享有“饲料之王”的美誉^[5]。拉巴豆 (*Dolichos lablab*) 为一年生或越年生豆科草本植物,其具有耐阴性好、抗逆性强、适应性广等特点,主要与玉米、高粱 (*Sorghum bicolor*) 等作物进行混播作为青贮饲料或作为青干草进行利用^[6]。并且拉巴豆根系的根瘤菌具有固氮的作用,能够为其他植物提供氮素^[7],即能使两作物相互促进生长,又能够对土壤结构进行改良。玉米含有较多的碳水化合物,但其蛋白含量较低,而豆科牧草虽然蛋白含量高,但产量和含糖量较低,二者结合可以取长补短^[8]。

成都平原地区畜牧产业带是四川省四大优势畜牧业产业带之一,对优质牧草有较大的需求,因此

在有限的土地上生产出更多的优质饲草料为成都平原畜牧业发展的保证^[9]。关于玉米和拉巴豆混播对饲草产量和青贮品质的研究多见于甘肃^[10]、新疆、贵州^[11]和四川凉山^[12]等地。而在成都平原地区玉米间作不同密度的拉巴豆对混合饲草产量及品质影响的研究还尚未见报道。因此,本研究根据玉米和拉巴豆的生物学特性及生长发育规律,采用单因素完全随机区组设计,探究玉米与拉巴豆间作的最佳比例及其对混合饲草产量及品质的影响,以期在成都平原地区栽培高产、优质的玉米混合饲草提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地处四川省成都市崇州地区的四川农业大学现代研发基地草学试验田 (103°07' E, 30°30' N), 海拔高度为 509 m, 气候为亚热带湿润季风气候。全年平均温度为 16.1 °C, 年平均降水量 1 021.3 mm, 土壤 pH 为 6.4。土壤有机质含量 13.56 g·kg⁻¹, 有效磷 (P₂O₅) 含量 9.6 mg·kg⁻¹, 全氮 (N) 含量 2.15 g·kg⁻¹, 有效钾 (K₂O) 含量 79 mg·kg⁻¹。

1.2 试验材料

玉米‘德美亚一号’ (‘Demeiya No. 1’) 由黑龙江垦丰种业有限公司提供, 拉巴豆‘润高’ (‘Rungao’) 由四川沙打旺园林绿化有限公司提供。

1.3 试验设计

本研究采用单因素完全随机区组设计, 设置不同播量 (T₁: 45 000 株·hm⁻²; T₂: 67 500 株·hm⁻²; T₃: 90 000 株·hm⁻²; T₄: 112 500 株·hm⁻²; T₅: 135 000 株·hm⁻²) 的拉巴豆和玉米 (T₀: 52 500 株·hm⁻²) 进行

间作,并以单播玉米(T_0 : 52 500 株· hm^{-2})为对照,共设置 6 个处理,每个处理设置 3 次重复。小区面积为 24 m^2 ($4 \text{ m} \times 6 \text{ m}$),小区间隔 0.5 m,随机排列。播种方式为条播,玉米行距 60 cm,株距 30 cm,每行 20 株,拉巴豆按照 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 的播量均匀地条播在两行玉米中间。试验于 2020 年 6 月 8 日播种,2020 年 9 月 5 日收割。播种前施入有机肥 $6000 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,在玉米拔节期施入尿素 $300 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其他管理措施与其他作物相同。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 农艺性状测定

在玉米籽粒的乳熟末期,每个试验小区随机选取 10 株玉米对其株高、叶片数、叶长(从地表起第 7 节)、叶宽(从地表起第 7 节)、茎粗(从地表起第 3 节)等指标进行测定。

1.4.2 产量测定

在玉米乳熟末期,用感量小于 0.01 kg 的秤将该试验小区的全部鲜草进行称重。在每个试验小区中随机选取 5 株分装,在实验室中进行茎叶分离后称重,并于 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 高温杀青 30 min, $65 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘至恒重。做好数据记录用于鲜干比和茎叶比的计算。

1.4.3 营养成分的测定

将测量干鲜比所取样用 FOSS CT410 旋风式样品粉碎机进行粉碎,样品过 2 mm 筛。采用近红外分析仪,选择相应的分析模型对待测样品进行数据的测定^[13]。测定的营养成分主要包括粗蛋白(crude protein, CP)含量、粗脂肪(ether extract, EE)含量、粗灰分(crude ash, Ash)含量、总可消化养分(total digestible nutrients, TDN)含量、酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)含量、中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)含量、干物质体外消化率(in vitro dry matter digestion, IVDMD)、相对牧草质量(relative forage quality, RFQ)、相对饲喂价值(relative feeding value, RFV)和非纤维性碳水化合物(non-fibrous carbohydrate, NFC)含量等指标,各营养成分单位的表示方法均为质量分数(%)。

1.5 数据处理与统计分析

所有试验数据用 Excel 2010 进行整理,在 Data Processing System (DPS) 系统中用随机区组单因素 Duncan 新复极差法对混合饲草的鲜干草产量、玉米

的农艺性状、混合饲草的营养成分、经济效益等指标进行方差显著性分析,用 GraphPad Prism 5 进行绘图。采用模糊数学中隶属函数法对玉米间作不同播量拉巴豆处理的干草产量和营养成分进行综合评价。求出 6 个不同处理的鲜草产量和营养成分在间作不同播量拉巴豆处理下的平均隶属值^[14]:

$$u(x) = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}; \quad (1)$$

$$u(x) = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}}。 \quad (2)$$

式中: 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,即公式(2)。

2 结果与分析

2.1 间作不同播量拉巴豆对混合饲草产量的影响

不同处理下混合饲草鲜草产量介于 $44\ 942.46 \sim 63\ 711.86 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (图 1),其中 T_4 处理的鲜草产量显著高于其他处理($P < 0.05$); T_0 处理的鲜草产量最低,仅为 T_4 处理的 70.54%。混合饲草的干草产量介于 $10\ 753.49 \sim 17\ 047.35 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, T_4 处理的干草产量

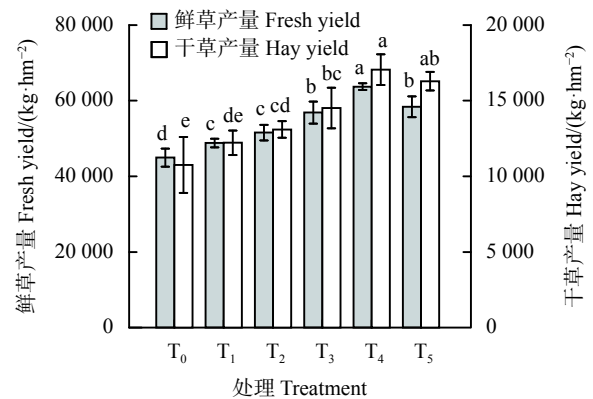


图 1 间作不同播量拉巴豆处理的混合饲草产量

Figure 1 Yield of mixed forage grass treated with *Dolichos lablab* at different sowing rates in intercropping

不同小写字母表示不同间作处理间差异显著($P < 0.05$); T_0 表示单播 $52\ 500 \text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的玉米; $T_1 - T_5$ 表示在播种 $52\ 500 \text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的玉米中分别间作 $45\ 000$ 、 $67\ 500$ 、 $90\ 000$ 、 $112\ 500$ 和 $135\ 000 \text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的拉巴豆; 下同。

Different lowercase letters indicate significant differences between different intercropping treatments at the 0.05 level. T_0 denotes single sowing of $52\ 500 \text{ plants}\cdot\text{hm}^{-2}$ sown maize; $T_1 - T_5$ represents *Dolichos lablab* intercropping of $45\ 000$, $67\ 500$, $90\ 000$, $112\ 500$, and $135\ 000 \text{ plant}\cdot\text{hm}^{-2}$ in the $52\ 500 \text{ plant}\cdot\text{hm}^{-2}$ sown maize, respectively; this is applicable for the following tables and figures.

最高,为 17 047.35 kg·hm⁻²,较 T₀ 处理增产 58.53%,除 T₁ 外,其他处理较单播处理增产显著 ($P < 0.05$)。

2.2 间作不同播量拉巴豆对玉米农艺性状的影响

6 个处理中单播玉米 (T₀) 处理的株高最高,显著高于 T₂、T₃、T₄、T₅ 处理 ($P < 0.05$); 茎粗最大的也为 T₀ 处理,且 T₀ 处理的茎粗显著高于 T₂、T₃、T₄、T₅ 处理 ($P < 0.05$), T₅ 处理的茎粗最小,仅为 T₀ 处理

的 85.82% (表 1)。6 个处理中玉米单株叶片数为 10.11~11.33 片, T₅ 处理的叶片数最少,较 T₀ 处理减少 10.77%,二者之间差异显著 ($P < 0.05$); T₄ 处理的叶长最长,较 T₀ 处理显著增加 7.55% ($P < 0.05$)。各处理混合饲草的干鲜比为 0.24~0.28,其中 T₅ 处理的饲草干鲜比值显著高于 T₀ 处理 ($P < 0.05$); 茎叶比值随拉巴豆播量的增加呈下降趋势, T₀ 处理的茎叶比显著高于 T₅ 处理 ($P < 0.05$)。

表 1 间作不同播量拉巴豆处理下玉米的农艺性状

Table 1 Agronomic traits of corn treated by intercropping with *Dolichos lablab* at different sowing rates

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	叶片数 Leaf number	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	茎粗 Stem diameter/cm	茎叶比 Stem to leaf ratio	干鲜比 Dry to fresh ratio
T ₀	228.37 ± 4.85a	11.33 ± 0.23a	75.37 ± 1.06d	11.01 ± 0.12a	1.41 ± 0.05a	1.86 ± 0.51a	0.24 ± 0.03b
T ₁	227.89 ± 2.47a	11.22 ± 0.17a	76.13 ± 0.87cd	10.69 ± 0.62ab	1.38 ± 0.02ab	1.67 ± 0.33ab	0.25 ± 0.02ab
T ₂	220.85 ± 1.39b	11.00 ± 0.45ab	77.57 ± 0.61c	10.63 ± 0.25ab	1.32 ± 0.03bc	1.62 ± 0.46ab	0.25 ± 0.00ab
T ₃	215.86 ± 0.93bc	10.56 ± 0.17bc	79.23 ± 0.84b	10.42 ± 0.44ab	1.28 ± 0.02cd	1.46 ± 0.08ab	0.26 ± 0.02ab
T ₄	213.90 ± 2.22cd	10.22 ± 0.42c	81.06 ± 0.73a	9.99 ± 0.49b	1.25 ± 0.06cd	1.28 ± 0.25ab	0.27 ± 0.01ab
T ₅	210.15 ± 0.84d	10.11 ± 0.34c	79.99 ± 0.44ab	9.79 ± 0.44b	1.21 ± 0.03d	1.18 ± 0.18b	0.28 ± 0.01a

2.3 间作不同播量拉巴豆对混合饲草的营养成分的影响

不同处理下混合饲草的各营养成分含量不同 (表 2)。T₅ 处理的混合饲草粗蛋白含量最高,显著高于 T₀ 和 T₁ 处理 ($P < 0.05$),而与其他处理之间差异不显著 ($P > 0.05$)。粗脂肪和粗灰分含量均以 T₄ 处理最高,各混播处理的粗脂肪含量显著高于单播处

理 ($P < 0.05$); 粗灰分含量在 T₄ 处理时显著高于 T₀ 处理 ($P < 0.05$),其他处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。TDN 含量以 T₁ 和 T₄ 处理较高,均与 T₀ 处理间差异显著 ($P < 0.05$),其他处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。NDF 和 ADF 含量均以 T₀ 处理最高, T₄ 处理最低,且 T₀ 处理与 T₄ 处理间差异显著 ($P < 0.05$),而其他处理之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 间作不同播量拉巴豆处理下混合饲草的营养成分

Table 2 Nutrient components of mixed forage treated by intercropping with *Dolichos lablab* at different sowing rates

处理 Treatment	粗蛋白 Crude protein/%	粗脂肪 Ether extract/%	粗灰分 Crude ash/%	镁 Mg/%	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)/%
T ₀	4.42 ± 0.97c	0.92 ± 0.13c	8.00 ± 1.11b	0.19 ± 0.01c	50.00 ± 2.24b	38.87 ± 0.71a	65.72 ± 3.14a
T ₁	6.04 ± 0.70b	1.35 ± 0.05b	8.52 ± 0.51ab	0.20 ± 0.00bc	53.00 ± 1.42a	36.07 ± 0.88ab	61.89 ± 0.88ab
T ₂	6.68 ± 0.29ab	1.44 ± 0.07ab	8.73 ± 0.39ab	0.20 ± 0.01ab	51.67 ± 0.86ab	36.19 ± 2.29ab	61.32 ± 2.56ab
T ₃	7.55 ± 0.83ab	1.49 ± 0.04ab	9.07 ± 0.26ab	0.21 ± 0.01ab	52.67 ± 1.18ab	35.75 ± 0.77ab	61.04 ± 1.26b
T ₄	7.90 ± 0.76a	1.56 ± 0.08a	9.33 ± 0.28a	0.22 ± 0.00a	53.00 ± 0.92a	34.51 ± 2.28b	59.34 ± 2.77b
T ₅	8.04 ± 0.71a	1.46 ± 0.01ab	9.08 ± 0.53ab	0.22 ± 0.01a	51.33 ± 0.98ab	36.48 ± 0.56ab	61.93 ± 0.58ab

为更加客观地评价间作不同播量的拉巴豆处理对混合饲草营养品质的影响,将干草产量、CP 含量、相对牧草质量、相对饲喂价值、总可消化养分含量、非纤维性碳水化合物含量等指标进行隶属函数综合评价及排序,结果表明 T₄ 处理时混合饲草的综

合评价最高 (表 3)。

2.4 间作不同播量拉巴豆对混合饲草的体外干物质消化率的影响

IVDMD 能有效衡量牧草营养物质的消化程度,

表 3 间作不同播量拉巴豆处理下混合饲草产量和营养成分的隶属函数及排序

Table 3 Membership functions and sequencing of yield and nutrient components of mixed forage treated by intercropping with *Dolichos lablab* at different sowing rates

处理 Treatment	干草产量 Hay yield	粗蛋白 Crude protein	相对牧草质量 Relative forage quality	相对饲喂价值 Relative feeding value	总可消化养分 Total digestible nutrients	非纤维性碳水化合物 Non-fibrous carbohydrate	粗脂肪 Ether extract	隶属函数均值 Mean of membership function	排序 Rank
T ₀	0.07	0.00	0.00	0.08	0.11	0.52	0.00	0.11	6
T ₁	0.29	0.36	0.57	0.51	0.67	0.66	0.65	0.53	5
T ₂	0.42	0.55	0.74	0.72	0.41	0.53	0.80	0.60	4
T ₃	0.61	0.75	0.82	0.78	0.68	0.70	0.90	0.75	2
T ₄	1.00	0.83	0.87	1.16	0.73	0.25	0.99	0.83	1
T ₅	0.89	0.90	0.77	0.56	0.24	0.13	0.82	0.61	3

也能对牧草的营养价值进行综合评判^[15]。IVDMD 30 在 T₄ 处理时最高, 显著高于 T₀ 处理 ($P < 0.05$), 其他处理均高于 T₀ 处理, 但差异不显著 ($P > 0.05$); IVDMD 48 以 T₄ 处理最高, T₃ 和 T₄ 处理显著高于 T₀ 处理 ($P < 0.05$), 其他处理之间差异不显著 ($P > 0.05$) (图 2)。

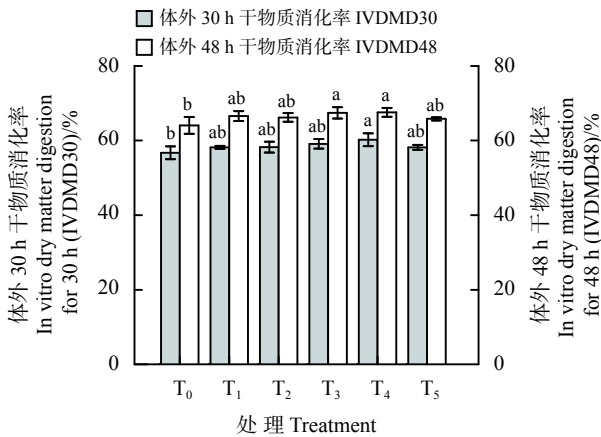


图 2 间作不同播量拉巴豆处理下混合饲草的体外干物质消化率

Figure 2 In vitro dry matter digestibility of mixed forage intercropped with different sowing rates of *Dolichos lablab*

2.5 间作不同播量拉巴豆对混合饲草经济效益的影响

根据中国报告大厅 2020 年下半年对四川省秸秆饲料价格最新行情预测^[16], 对本研究对不同间作模式产生的经济效益进行初步评估。秸秆饲料价位是 0.48 CNY·kg⁻¹, 不同间作处理下, 混合饲草的收入为 21 572.38~30 581.69 CNY·hm⁻² (表 4), 其中 T₄ 处理的经济效益最高, 为 30 581.69 CNY·hm⁻²。T₁、T₂、T₃、T₄、T₅ 处理下混合饲草的经济收入分别较 T₀ 处理增加 8.64%、14.69%、26.49%、41.76% 和

表 4 间作拉巴豆处理下混合饲草鲜草的经济效益
Table 4 Economic benefit of fresh grass of mix forage grass intercropped with *Dolichos lablab* at different sowing rates

处理 Treatment	鲜草产量 Fresh grass yield/ (kg·hm ⁻²)	经济收入 Economic income/ (CNY·hm ⁻²)
T ₀	44 942.46 ± 2 413.43d	21 572.38 ± 1 158.44d
T ₁	48 824.40 ± 1 148.96c	23 435.71 ± 551.50c
T ₂	51 545.76 ± 2 032.47c	24 741.96 ± 975.58c
T ₃	56 848.41 ± 2 885.81b	27 287.24 ± 1 385.19b
T ₄	63 711.86 ± 874.76a	30 581.69 ± 419.89a
T ₅	58 389.18 ± 2 739.32b	28 026.81 ± 1 314.88b

秸秆饲料市场价为 0.48 CNY·kg⁻¹。

Straw feed market commodity prices: 0.48 CNY·kg⁻¹。

28.92%。

3 讨论

3.1 间作不同播量拉巴豆处理对混合饲草鲜、干草产量的影响

间作主要利用不同农作物间生物学特性的差异以及合理的配比方式, 以实现农业资源、空间及时间的集约利用和持续的高产与稳产^[17]。本研究中玉米与不同密度的拉巴豆间作, 混合饲草的鲜、干草产量并非一直上升, 当拉巴豆的种植密度超过 112 500 株·hm⁻² 时, 混合饲草的鲜、干草产量会有所下降, 这与 Armstrongt 和 Albrecht^[18] 在玉米和拉巴豆混播时干物质产量并非一直上升的研究结论一致。其中 T₄ 处理的鲜草产量显著高于其他处理; 虽然 T₄ 与 T₅ 处理之间干草产量差异不显著, 但 T₄ 处理的

干草产量高于 T_5 处理, 并显著高于其他处理。因为不同间作模式下不同的作物有不同的生态位^[19], 二者的根系分布、叶片朝向以及生长速率不同, 优势互补, 从而充分利用环境资源, 在 T_4 处理时玉米和拉巴豆可以在空间上形成最佳互补生态位^[20]。并且在春季禾本科牧草的干物质生产较多, 在夏季豆科牧草的干物质产量较高, 禾-豆混播后牧草干物质产量在季节上更加的均衡, 且混播饲草产量更高^[21]。

3.2 间作不同播量拉巴豆处理对青贮玉米农艺性状的影响

间作对作物农艺性状的影响多向有利的方向改变^[11]。本研究中 $T_1 - T_5$ 处理下玉米的株高、茎粗和叶片数均小于单播 (T_0) 处理, $T_2 - T_5$ 处理的叶长显著高于 T_0 处理。因为拉巴豆具有较高的光饱和点和较低的光补偿点, 当群体密度过大时, 玉米和拉巴豆会对土壤养分以及光照等资源产生一定的竞争。二者为了适应生长环境的光照变化, 通过改变植株形态, 减少光抑制, 产生较多的生态位折叠^[22]。并且拉巴豆的缠绕作用会在一定程度上阻碍玉米茎秆的横向生长^[23]。拉巴豆攀缘在玉米茎秆上时, 叶片交错立体配置, 增加植株总体叶面积, 且拉巴豆通过固氮作用向玉米提供一定量的氮素, 促进玉米叶片合成较多的有机物^[24]。此时期玉米的植株正由营养生长转为生殖生长, 水分含量较前期减少, 将较多的营养成分在植株体内积累^[11]。因此在本研究中间作处理的混合饲草茎叶比值最低, 干鲜比值最高。间作处理在提高混合饲草叶量和适口性的同时, 能够降低茎叶比, 提高干鲜比, 改善混合饲草的品质。

3.3 间作不同播量拉巴豆处理对混合饲草营养成分的影响

禾-豆混播使得混合饲草的营养成分较单播丰富、全面, 且还可以提高饲草产量^[12]。本研究中各间作处理的混合饲草粗蛋白、粗脂肪和 TDN 含量均高于单播 (T_0) 处理, ADF 和 NDF 含量均低于单播 (T_0) 处理, 以 T_4 处理含量最低。禾-豆混播使植株在生长过程中相互促进, 拉巴豆根瘤菌的固氮作用能够为玉米的生长发育提供一定的氮素, 而玉米为拉巴豆起到支撑作用, 使其茎叶不腐败, 提高混合饲草品质^[25]。并且拉巴豆相较于玉米含有较多的粗

蛋白、粗脂肪、钙和磷等物质, 而玉米含有较多的碳水化合物, 两者混播后能在一定程度上改善混合饲草的营养品质, 拉巴豆中的 NDF 相对于玉米中的 NDF 更易于被反刍动物消化^[26]。并且通过隶属函数对各处理的干草产量和营养成分综合分析认为, 混播饲草的营养品质高于单播。

3.4 间作不同播量拉巴豆处理对混合饲草体外干物质消化率的影响

牧草的饲用价值不仅要以其所含的营养成分为依据, 还要以其消化程度为指标, 进行综合评价^[27]。体外干物质消化率取决于混合牧草的营养组成, 在一定范围内 NDF 含量越低, 动物的采食率越高; ADF 含量越低, 饲料的消化率越高^[28]。粗蛋白含量增加也有助于提高饲草体外干物质消化率^[29]。而本研究中混播处理的体外干物质消化率均高于单播处理, 其中以 T_4 处理最高, 显著高于单播处理。因为在各混播处理中 ADF 和 NDF 含量低于单播处理, 并且其蛋白质含量高于单播处理, 有助于提高体外干物质消化率。而且豆科牧草在瘤胃中降解缓慢, 释放出氮、硫等其他物质^[30], 含高蛋白的豆科作物还为瘤胃内微生物生长提供了生长所必需的可消化纤维、氨基酸和支链脂肪酸等营养物质, 提高饲草干物质消化率^[31]。

3.5 间作不同播量拉巴豆对混合饲草经济效益的影响

在“农业供给侧结构性的改革”的背景下, 将粮食、经济作物的二元结构调整为粮食、经济、饲料作物的三元结构^[32], 使成都平原牧草种植行业得以发展。在成都平原不同品种青贮玉米的鲜草产量介于 $40\ 050 \sim 49\ 500\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[2], 收入为 $19\ 224 \sim 12\ 760\ \text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在本研究中单播‘德美亚一号’玉米的鲜草产量为 $44\ 942.46\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 间作拉巴豆后 T_4 处理的产量最高 ($63\ 711.86\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 收益为 $30\ 581.69\ \text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$, 较单播处理收益显著增加 41.76%。而 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_5 处理的经济收入分别较单播处理增加 8.64%、14.69%、26.49% 和 29.92%。在 T_4 处理时去除土地 ($9\ 000\ \text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$)、种子 (玉米 $300\ \text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$ + 拉巴豆 $1\ 200\ \text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$) 成本, 净收入 $20\ 081.69\ \text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$, 较单播玉米收入增加 $9\ 009.31\ \text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。玉米与一定播量下的拉巴豆间作, 可使经济收入有

不同程度的提高, 本研究中以 T₄ 处理经济效益最优。

4 结论

在本研究中, 玉米间作不同播量的拉巴豆, 对玉米农艺性状以及混合饲草产量、品质、经济效益具有不同程度的影响。随着拉巴豆播量的增加, 虽然玉米的株高和茎粗等指标有所下降, 但混合饲草

产量却有所增加, 营养品质也得到了改善。间作后混合牧草的粗蛋白、粗脂肪含量增加, NDF 和 ADF 含量下降, 其中 52 500 株·hm⁻² 的玉米和 112 500 株·hm⁻² 的拉巴豆间作模式下混合饲草产量最高、品质最优、经济效益最高。因此, 在成都平原地区可采用 52 500 株·hm⁻² 的玉米和 112 500 株·hm⁻² 的拉巴豆间作模式进行种植。

参考文献 References:

- [1] 王国刚, 王明利, 王济民, 杨春, 汪武静. 中国南方牧草产业发展基础、前景与建议. *草业科学*, 2015, 32(12): 2114-2121.
WANG G G, WANG M L, WANG J M, YANG C, WANG W J. Foundation, prospects and suggestions for the development of the forage industry in southern China. *Pratacultural Science*, 2015, 32(12): 2114-2121.
- [2] 张瑞珍, 曾洪光, 苟文龙, 李平, 董晨飞, 程明军, 杨春桃. 成都平原不同青贮玉米生产性能及营养分析研究. *草学*, 2020, 254(3): 49-55.
ZHANG R Z, ZENG H G, GOU W L, LI P, DONG C F, CHENG M J, YANG C T. Study on production performance and nutrition of different silage maize in Chengdu Plain. *Journal of Grassland and Forage Science*, 2020, 254(3): 49-55.
- [3] 苟文龙, 李平, 肖冰雪, 张瑞珍, 董晨飞, 李达旭, 师尚礼, 白史且. 禾豆牧草混播增产增效研究进展. *草学*, 2020, 254(3): 16-23.
GOU W L, LI P, XIAO B X, ZHANG R Z, DONG C F, LI D X, SHI S L, BAI S Q. Research status on grass-legume mixture. *Journal of Grassland and Forage Science*, 2020, 254(3): 16-23.
- [4] 瓮巧云, 黄新军, 许翰林, 刘瑶, 袁晓峰, 马海莲, 袁进成, 刘颖慧. 玉米/大豆间作模式对青贮玉米产量、品质及土壤营养、根际微生物的影响. *核农学报*, 2021, 35(2): 462-470.
WENG Q Y, HUANG X J, XU H L, LIU Y, YUAN X F, MA H L, YUAN J C, LIU Y H. Effects of corn/soybean intercropping model on yield, quality, soil nutrition and rhizosphere microorganisms of silage corn. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(2): 462-470.
- [5] 李洪影. 氮磷钾肥对青贮玉米不同形式碳水化合物积累的影响. 哈尔滨: 东北农业大学硕士学位论文, 2010.
LI H Y. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on accumulation of different carbohydrate in silage corn. Master Thesis. Harbin: Northeast Agricultural University, 2010.
- [6] 韦锦益, 滕少花, 赖志强, 易显凤, 梁永良, 姚娜, 蔡小艳. 优质高产牧草拉巴豆引种利用研究. *黑龙江畜牧兽医*, 2016, 59(6): 134-137.
WEI J Y, TENG S H, LAI Z Q, YI X F, LIANG Y L, YAO N, CAI X Y. Study on the introduction and utilization of high-yielding quality *Lablab purpureus* (L.) Sweet forage. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2016, 59(6): 134-137.
- [7] LI L, LI S M, SUN J H, ZHOU L L, BAO X G, ZHANG H G, ZHANG F S. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(27): 11192-11196.
- [8] 喻佳媛. 拉巴豆与几种禾草混合青贮效果的研究. 长沙: 湖南农业大学硕士学位论文, 2015.
YU J Y. Studies on mixed silage of *Dolichos lablab* with different gramihae. Master Thesis. Changsha: Hunan Agricultural University, 2015.
- [9] 白翔. 四川打造四大畜牧业产业带. *农业知识*, 2006, 57(6): 17.
BAI X. Sichuan to build four animal husbandry industry belt. *Agricultural Knowledge*, 2006, 57(6): 17.
- [10] 张建强. 玉米与豆科不同混播模式对青贮品质的影响. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2018.
ZHANG J Q. The effect of different mixed planting modes of maize and legume on silage quality. Master Thesis. Lanzhou: Gansu

- Agricultural University, 2018.
- [11] 田应学, 马培杰, 李亚娇, 吴桂海, 牟琼, 熊文康, 张忠贵, 韩永芬. 青贮玉米与拉巴豆套种对青贮玉米品质及产量的影响. 草业学报, 2019, 36(5): 1457-1465.
TIAN Y X, MA P J, LI Y J, WU G H, MOU Q, XIONG W K, ZHANG Z G, HAN Y F. Effects of silage maize and *Dolichos lablab* intercropping on quality and yield of silage maize. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 36(5): 1457-1465.
- [12] 柳茜, 傅平, 苏茂, 刘晓波, 何春, 孙启忠. 青贮玉米与拉巴豆混播生产性能研究. 草业与畜牧, 2015, 36(5): 22-24.
LIU Q, FU P, SU M, LIU X B, HE C, SUN Q Z. Study on the production performance of mixed sowing of silage corn and *Lablab purpureus*. *Prataculture and Animal Husbandry*, 2015, 36(5): 22-24.
- [13] 郭涛, 黄右琴, 郭龙, 李发弟, 潘发明, 张兆杰, 李飞. 利用近红外光谱技术快速预测苜蓿干草营养成分含量. 草业科学, 2020, 37(11): 2374-2381.
GUO T, HUANG Y Q, GUO L, LI F D, PAN F M, ZHANG Z J, LI F. Rapid prediction of nutrient content of alfalfa hay by using near infrared spectroscopy. *Pratacultural Science*, 2020, 37(11): 2374-2381.
- [14] 王平, 王沛, 孙万斌, 陈玖红, 张伟, 周青平. 8份披碱草属牧草苗期抗旱性综合评价. 草地学报, 2020, 28(2): 397-404.
WANG P, WANG P, SUN W B, CHEN J H, ZHANG W, ZHOU Q P. Comprehensive evaluation of drought resistance of eight *Elymus* germplasms at seedling stage. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(2): 397-404.
- [15] 王敏玲, 孙海霞, 钟荣珍, 周道伟. 利用体外消化率评价青贮品质的问题探讨. 草地学报, 2011, 19(4): 678-681.
WANG M L, SUN H X, ZHONG R Z, ZHOU D W. Discussion on silage quality evaluation using in vitro dry matter digestibility. *Acta Agrestia Sinica*, 2011, 19(4): 678-681.
- [16] 中国报告大厅. 2020年7月11日四川省秸秆饲料价格最新行情预测. (2020-7-11)[2021-2-15]. <http://www.chinabgao.com/jiage/468861.html>.
China Report Hall. The latest forecast of Sichuan straw feed price on July 11, 2020. (2020-7-11) [2021-2-15]. <http://www.chinabgao.com/jiage/468861.html>.
- [17] 赵雅姣. 紫花苜蓿/禾本科牧草间作优势及其氮高效机理和土壤微生态效应研究. 兰州: 甘肃农业大学博士学位论文, 2020.
ZHAO Y J. Study on advantage of alfalfa/gramineae forage intercropping and mechanism of nitrogen efficiency and effect of soil microecological. PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2020.
- [18] ARMSTRONG K L, ALBRECHT K A. Effect of plant density on forage yield and quality of intercropped corn and lablab bean. *Crop Science*, 2008, 48(2): 814-822.
- [19] 董楠. 不同作物组合间作优势和时空稳定性的生态机制. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2017.
DONG N. Ecological mechanism of advantages and spatial stability between different crop combinations. PhD Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [20] 张向前, 黄国勤, 卞新民, 赵其国. 红壤旱地玉米对间作大豆和花生边行效应影响的研究. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 1010-1017.
ZHANG X Q, HUANG G Q, BIAN X M, ZHAO Q G. Marginal effect of soybean and peanut intercropped with maize in upland red soils. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(8): 1010-1017.
- [21] MOOSO G D, WEDIN W F. Yield dynamics of canopy components in alfalfa-grass mixtures. *Agronomy Journal*, 1990, 82(4): 696-701.
- [22] 王海艳, 喻理飞. 不同光环境下3种藤本植物幼苗的光合特性. 浙江农林大学学报, 2010, 27(6): 53-59.
WANG H Y, YU L F. Photosynthetic characteristics of three species of liana seedlings in different light environments. *Journal of Zhejiang Agriculture and Forestry University*, 2010, 27(6): 53-59.
- [23] 杨帆, 刘卓, 韩旭彪, 李剑, 时兴伟, 兰剑. 宁夏雨养区拉巴豆与甜高粱混播对草地产量和牧草品质的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(5): 2-8.
YANG F, LIU Z, HAN X B, LI J, SHI X W, LAN J. Effects of mixed planting of *Lablab purpureus* (L.) sweet and *Sorghum dochna* (Forssk.) Snowden on grassland yield and duality of forage grass in Ningxia rain fed region. *Journal of Northwest Agriculture and*

- Forestry University (Natural Science Edition), 2021, 49(5): 2-8.
- [24] 雍太文, 陈平, 刘小明, 周丽, 宋春, 王小春, 杨峰, 刘卫国, 杨文钰. 减量施氮对玉米-大豆套作系统土壤氮素氨化、硝化及固氮作用的影响. *作物学报*, 2018, 44(10): 1485-1495.
- YONG T W, CHEN P, LIU X M, ZHOU L, SONG C, WANG X C, YANG F, LIU W G, YANG W Y. Effects of reduced nitrogen on soil ammonification, nitrification, and nitrogen fixation in maize-soybean relay intercropping systems. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(10): 1485-1495.
- [25] 班镁光, 李显刚, 周泽英, 蒙兴明, 杨应文. 黔南地区 4 种禾/豆牧草混播组合比较研究. *草原与草坪*, 2015, 35(2): 59-64.
- BAN M G, LI X G, ZHOU Z Y, MENG X M, YANG Y W. Study on the mixed sowing with two grasses and two legumes forage mixed sowing in Qiannan. *Grassland and Turf*, 2015, 35(2): 59-64.
- [26] MUSTAFA A F, CHRISTENSEN D A, MCKINNON J J. Effects of pea, barley, and alfalfa silage on ruminal nutrient degradability and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2000, 83(12): 2859-2865.
- [27] 曲艳. 草地牧草的饲用价值评价. *饲料博览*, 2017, 30(5): 63.
- QU Y. Evaluation of forage value of grassland. *Feed Review*, 2017, 30(5): 63.
- [28] 张光雨, 王江伟, 张豪睿, 付刚, 沈振西. 西藏日喀则地区 8 个引进燕麦品种的生产性能和营养品质比较. *草业科学*, 2019, 36(4): 1117-1125.
- ZHANG G Y, WANG J W, ZHANG H R, FU G, SHEN Z X. Comparative study on production performance and nutritional quality of eight imported oat varieties in the Shigatse region of Tibet, China. *Pratacultural Science*, 2019, 36(4): 1117-1125.
- [29] 苟文龙, 李平, 张建波, 王婷, 马啸, 周俗, 白史且, 师尚礼. 多花黑麦草+箭筈豌豆混播草地地上生物量和营养品质动态研究. *草地学报*, 2019, 27(2): 473-481.
- GOU W L, LI P, ZHANG J B, WANG T, MA X, ZHOU S, BAI S Q, SHI S L. Studies on the dynamics of above-ground biomass and nutritive value of annual ryegrass and common vetch mixtures. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(2): 473-481.
- [30] 刘大林, 赵国琦, 孙龙生, 丁健, 刘正杰, 张海霞. 豆科与禾本科牧草在山羊瘤胃内降解率的动态变化规律. *中国草食动物*, 2001, 21(3): 12-15.
- LIU D L, ZHAO G Q, SUN L S, DING J, LIU Z J, ZHANG H X. The kinetic rules of rumen degradability of leguminous plants and grass in goats. *China Herbivores*, 2001, 21(3): 12-15.
- [31] 张吉鹏, 包赛娜, 李龙瑞. 稻草与不同饲料混合在体外消化率上的组合效应研究. *草业科学*, 2010, 27(11): 137-144.
- ZHANG J K, BAO S N, LI L R. In vitro dry matter digestibility of mixtures of rice straw and several feeds. *Pratacultural Science*, 2010, 27(11): 137-144.
- [32] 余昌培, 秦家秀. 盘州粮改饲项目发展现状及建议. *中国畜牧业*, 2020, 545(2): 64-65.
- YU C P, QIN J X. Development status and suggestions of Panzhou grain reform project. *China Animal Industry*, 2020, 545(2): 64-65.

(责任编辑 张瑾)