

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.03.028

引用格式:李霄坤,张利平,单新河,等.青贮玉米与拉巴豆不同混播方式对饲草产量和品质的影响[J].草地学报,2026,34(3):1053—1059

LI Xiao-kun, ZHANG Li-ping, SHAN Xin-he, et al. Effects of Different Mixed Sowing Methods of Silage Maize and Lablab Bean on Forage Yield and Quality[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(3):1053—1059

青贮玉米与拉巴豆不同混播方式对饲草产量和品质的影响

李霄坤¹, 张利平², 单新河¹, 杨军卫², 任伟¹, 杨朝伟¹, 王显国^{1*}

(1. 中国农业大学草业科学与技术学院, 北京 100193; 2. 榆阳区草原工作站, 陕西 榆林 719000)

摘要:为探究拉巴豆(*Dolichos lablab* L.)与青贮玉米(*Zea mays* L.)不同混播方式对草地生产性能和饲草品质的影响,本试验采用随机区组设计,设置同行混播(T₀:玉米单播;T₁:玉米+1粒拉巴豆穴播;T₂:玉米+2粒拉巴豆穴播;T₃:玉米+3粒拉巴豆穴播)和间行混播(X₀:玉米单播;X₁:玉米+15 kg·hm⁻²拉巴豆;X₂:玉米+22.5 kg·hm⁻²拉巴豆;X₃:玉米+30 kg·hm⁻²拉巴豆)处理。结果表明:同行混播(T₁, T₂, T₃)下青贮玉米的茎粗分别较玉米单播显著提高了13.9%, 15.0%和26.4%;同行混播T₁的饲草总干产量与玉米单播无显著差异,而混播(T₂和T₃)均显著降低了饲草的总干产量;X₁和X₂间行混播的总干产量与玉米单播相比无显著差异, X₃处理的总干产量显著低于玉米单播。间行混播中, X₁和X₂处理的粗蛋白含量分别较X₀显著增加了27.5%和57.0%。综上所述,推荐青贮玉米间行混播22.5 kg·hm⁻²(X₂)拉巴豆作为陕西北部地区适宜的混播方式。

关键词:拉巴豆;青贮玉米;混播;产量;营养品质

中图分类号:S513

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)03-1053-07

Effects of Different Mixed Sowing Methods of Silage Maize and Lablab Bean on Forage Yield and Quality

LI Xiao-kun¹, ZHANG Li-ping², SHAN Xin-he¹, YANG Jun-wei², REN Wei¹,
YANG Chao-wei¹, WANG Xian-guo^{1*}

(1. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Yuyang Grassland Workstation, Yulin, Shaanxi Province 719000, China)

Abstract: To investigate the effects of different intercropping methods of lablab bean (*Dolichos lablab* L.) and silage maize (*Zea mays* L.) on grass production performance and forage quality, a randomized block design was adopted in this experiment, and two mixed sowing methods were set up, peer mixed sowing (T₀: Mono-cropping of maize; T₁: silage maize+1 seed of lablab bean hole sowing; T₂: silage maize+2 seeds of lablab bean hole sowing; T₃: silage maize+3 seeds of lablab bean hole sowing) and inter row mixed sowing (X₀: Mono-cropping of maize; X₁: silage maize+15 kg·hm⁻² lablab bean; X₂: silage maize+22.5 kg·hm⁻² lablab bean, X₃: silage maize+30 kg·hm⁻² lablab bean). The results showed that the stem diameter of silage maize under peer mixed sowing (T₁, T₂, and T₃) was significantly increased by 13.9%, 15.0%, and 26.4%, respectively, compared to that of maize monoculture. For total dry matter, there was no significant difference in peer mixed sowing T₁ compared to maize monoculture, while both mixing treatments (T₂ and T₃) were significantly lower compared to maize monoculture. There was no significant difference in inter row mixed sowing of X₁ and X₂ compared to maize monoculture, while X₃ treatment was significantly lower than maize monoculture. In inter row

收稿日期:2025-05-14;修回日期:2025-07-14

基金项目:国家牧草产业技术体系(CR-34)资助

作者简介:李霄坤(2000-),女,汉族,甘肃金昌人,硕士研究生,主要从事饲草生产与利用研究, E-mail: Li_Xiaokun0827@163.com; *通信作者 Author for correspondence, E-mail: grasschina@126.com

mixed sowing, the crude protein content of X_1 and X_2 was significantly increased by 27.5% and 57.0%, respectively, compared to that of X_0 . In summary, it is recommended that silage maize inter-row mixing of 22.5 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (X_2) lablab beans can be used as a suitable mixing method in the northern part of Shaanxi Province.

Key words: Lablab bean; Silage maize; Mixed sowing; Yield; Forage quality

近年来,随着国家“粮改饲”农业政策的大力推广以及畜牧业的规模化发展,我国青贮玉米(*Zea mays* L.)的种植面积逐年扩大,产量及品质也在不断提高,但与欧美等畜牧业发达的国家相比还有较大的差距^[1]。青贮玉米是草食家畜重要的饲料来源,具有产量高、营养价值丰富、适口性好、家畜易消化吸收等优点^[2-3],但其蛋白质含量低^[4-5],不能满足家畜的日常需求,选择青贮玉米与豆科牧草混播是提高饲草产量及品质的有效方法之一^[6-8]。与其他与青贮玉米混播的豆科牧草相比,拉巴豆(*Dolichos lablab* L.)不仅具有粗蛋白和粗纤维含量丰富等优点,还能通过根瘤菌固氮作用为混播体系提供氮素^[9-10]。陕西省北部是西北玉米主产区,随着退耕还草和粮草轮作措施的大力实施,该地区青贮玉米种植面积不断增加,但青贮玉米的推广应用时间短、田间建植技术不完善,导致饲草产量、品质参差不齐,青贮玉米的优势未能充分发挥^[11]。因此,开展青贮玉米与不同播量拉巴豆混播研究,筛选结构合理、高产、优质的混播密度组合,使二者优势互补具有重要的理论及实践意义。

研究表明,青贮玉米与拉巴豆混播的试验结果受到作物品种、混播比例、混播方式及地域环境等因素的显著影响。安昊云等^[12]以青贮玉米、拉巴豆和秣食豆(*Glycine max*)为材料开展研究,发现玉米/拉巴豆混播处理的饲草产量显著高于玉米单作处理($P<0.05$),表明混播模式具有明显的产量优势。此外,播种密度对混播系统的饲草产量和品质也具有重要影响。柳茜等^[13]在四川地区进行的青贮玉米与拉巴豆混播试验表明,当玉米播种量为 33.0 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、拉巴豆播种量为 37.0 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,混播处理的干草产量较单作提高 11.85%,且营养品质达到最优;赵海明等^[14]研究也显示,在青贮玉米种植密度为 8.25 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 时间作拉巴豆,可获得最高的饲草产量和最佳营养品质。

目前,国内关于不同播量拉巴豆与青贮玉米混播的试验主要集中在四川^[13]、甘肃^[15]、新疆^[16]等地,而关于陕西地区的研究报道较少。本试验在陕西榆林进行,设计青贮玉米与不同密度拉巴豆混播,旨在探究青贮玉米与不同拉巴豆混播比例对混合

饲草产量和品质的影响,并筛选兼顾高产、优质的混播比例,以期陕西西北部饲用作物的高产优质栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2022—2023 年在陕西省榆林市榆阳区大地种业有限公司试验基地(东经 109°51′,北纬 38°49′)开展。该地区海拔为 1000~1200 m,年平均气温 8.6 °C,有效积温大于 3000 °C,年均降水量为 450 mm,主要集中在夏秋季,全年日照时长为 3000 h 左右,年均光照辐射总量为 139.23 $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。试验地土壤为风沙土,0~30 cm 土层 pH 值为 7.9,有机质含量为 8.52 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮含量为 0.72 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮含量为 62.86 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量为 166.75 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷含量为 14.16 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验材料

供试青贮玉米品种为‘中农 787’,由中国农业大学选育;拉巴豆品种为‘高值’,由北京正道种业有限公司提供。

1.3 试验设计

同行混播试验于 2022 年开展,采用单因素随机区组设计,共设 4 个处理:玉米单播(T_0)、玉米+1 粒拉巴豆穴播(T_1)、玉米+2 粒拉巴豆穴播(T_2)、玉米+3 粒拉巴豆穴播(T_3),各处理 3 次重复,共 12 个小区。玉米和拉巴豆同期播种,玉米和拉巴豆的播种方式均为点播机人工点播,玉米出苗后间苗,每个小区面积为 15 m $\times$ 7 m=105 m^2 ,行距 60 cm,玉米种植密度为 8.25 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$, T_1 , T_2 , T_3 混播处理对应的拉巴豆种植密度分别为 8.25 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 、16.50 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 24.75 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。间行混播试验于 2023 年开展,采用单因素随机区组设计,设置 3 种不同混播量(X_1 : 15 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, X_2 : 22.5 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, X_3 : 30 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)的拉巴豆和玉米(6.75 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$)混播,对照为玉米宽窄行单播(X_0 : 6.75 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$;宽行 80 cm+窄行 40 cm),各处理 3 次重复,共 12 个

小区,小区面积为 $15\text{ m}\times 7\text{ m}=105\text{ m}^2$ 。玉米和拉巴豆同期播种,混播种植方式为:玉米播种机宽窄行播种,宽行 $80\text{ cm}+$ 窄行 40 cm ;在宽行内,按 20 cm 行距播3行拉巴豆,窄行 40 cm 铺设滴灌带。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 农艺性状测定 于玉米乳熟期进行农艺性状的测定,每个试验小区随机选取10株玉米对株高、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^[17]。

1.4.2 产量测定 于玉米乳熟期采样,在玉米单播各小区内收割 $7\text{ m}\times 1.2\text{ m}=8.4\text{ m}^2$ 的全部鲜草进行称重,测量鲜产;在混播处理各小区内收割 $7\text{ m}\times 1.2\text{ m}=8.4\text{ m}^2$ 的全部混合鲜草进行称重,测量鲜产。由于拉巴豆与玉米缠绕无法分离,以玉米为单位,在玉米单播各小区内随机选取5株玉米装入袋中,混播各处理每小区内分别选取5株玉米和拉巴豆装入袋中, 105°C 杀青 30 min , 65°C 烘至恒重,计算干物质产量等数据,并将所得到的风干样,用粉碎机(筛孔直径 20 mm)粉碎,过筛,保存在封口袋中,作为待测样品。

1.4.3 营养品质测定 将待测风干样品参照《饲料分析及饲料质量检测技术》^[18]测定粗蛋白(Crude protein, CP)、粗灰分(Crude ash, Ash)、粗脂肪(Ether extract, EE)、中性洗涤纤维(Neutral deter-

gent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF)和可溶性糖(Water-soluble carbohydrate, WSC)的含量。

1.5 数据处理

采用Excel 2016录入和整理试验数据,利用SPSS 26.0软件对试验数据进行单因素方差分析,所有数据用平均值 $\pm$ 标准误差表示。

2 结果与分析

2.1 不同混播处理对青贮玉米农艺性状的影响

同行混播各处理未显著影响青贮玉米的株高、叶长、叶宽、叶面积和绿叶数。但与 T_0 相比,各混播处理显著提高青贮玉米的茎粗($P<0.05$),分别提高了 13.9% 、 15.0% 和 26.4% ,其中 T_3 处理下玉米的茎粗最高,为 3.45 cm (表1)。

间行混播试验中,与青贮玉米单播相比,混播处理(X_1, X_2, X_3)对玉米的株高、叶长、叶宽及叶面积均无显著影响。与玉米单播相比,混播处理 X_1 和 X_2 的玉米茎粗显著降低($P<0.05$),混播处理 X_3 的玉米茎粗与玉米单播差异不显著。所有处理玉米单株绿叶数为 $9.33\sim 13.33$ 片,混播处理的青贮玉米绿叶数均显著少于玉米单播处理($P<0.05$),其中 X_3 处理的叶片数最少,较单播处理显著减少 30% (表2)。

表1 2022年不同拉巴豆同行混播比例对青贮玉米农艺性状的影响

Table 1 Effects of different mixing ratios of lablab beans on agronomic traits of silage maize under peer mixed sowing in 2022

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶面积 Leaf area/cm ²	绿叶数 Leaf number
T_0	292.21 ± 3.73^a	2.73 ± 0.08^b	94.88 ± 3.62^a	8.54 ± 0.48^a	604.64 ± 34.10^a	14.25 ± 0.31^{ab}
T_1	283.32 ± 3.08^a	3.11 ± 0.07^a	100.25 ± 1.99^a	7.79 ± 0.38^a	585.07 ± 29.27^a	14.13 ± 0.23^{ab}
T_2	286.00 ± 4.81^a	3.14 ± 0.17^a	93.88 ± 2.40^a	8.36 ± 0.59^a	587.97 ± 43.11^a	13.75 ± 0.25^b
T_3	282.71 ± 2.50^a	3.45 ± 0.12^a	96.17 ± 1.50^a	8.98 ± 0.55^a	649.71 ± 46.68^a	14.83 ± 0.31^a

注: T_0 表示玉米单播, T_1 表示玉米+1粒拉巴豆穴播, T_2 表示玉米+2粒拉巴豆穴播, T_3 表示玉米+3粒拉巴豆穴播。同列数据不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$),下表同

Note: T_0 stands for mono-cropping of maize; T_1 stands for maize planted with 1 lablab bean seed per hole; T_2 stands for maize planted with 2 lablab bean seeds per hole; T_3 stands for maize planted with 3 lablab bean seeds per hole. Any two means not sharing a letter differ significantly at $P<0.05$, the same letter indicates no significant difference ($P>0.05$). This is applicable for the following figures and tables as well

2.2 不同混播处理对饲草产量的影响

混播处理 T_1 的饲草总鲜重与总干重与玉米单播处理无显著差异,但混播处理 T_2 和 T_3 显著降低了饲草的总鲜重与总干重产量($P<0.05$),且随着混播拉巴豆播种量的增加,混播总产量逐渐降低。整个产量构成中玉米干重产量平均占到总干重产量

的 82.3% ,拉巴豆占 17.7% 。其中, T_2 处理的拉巴豆干重产量占总干重产量比例最高,为 21.6% (表3)。

X_1 和 X_2 混播处理的总鲜重与总干重产量与玉米单播相比无显著差异,其中, X_1 处理的总鲜产量和总干产量高于玉米单播和其他混播处理, X_3 处理

表 2 2023 年不同拉巴豆间行混播比例对青贮玉米农艺性状的影响

Table 2 Effects of different mixing ratios of lablab beans on agronomic traits of silage maize under inter row mixed sowing in 2023

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶面积 Leaf area/cm ²	绿叶数 Leaf number
X ₀	298.03±6.50 ^a	3.47±0.06 ^a	82.00±2.12 ^a	10.23±0.15 ^a	629.77±17.29 ^a	13.33±0.33 ^a
X ₁	301.01±14.73 ^a	3.24±0.08 ^b	80.57±3.75 ^a	9.87±0.33 ^a	596.93±32.34 ^a	10.33±0.33 ^b
X ₂	296.04±7.77 ^a	3.18±0.05 ^b	80.70±0.25 ^a	9.67±0.22 ^a	585.43±10.78 ^a	10.33±0.33 ^b
X ₃	283.71±1.86 ^a	3.27±0.10 ^{ab}	78.93±1.13 ^a	9.87±0.03 ^a	582.70±9.83 ^a	9.33±0.33 ^b

注: X₀ 表示玉米单播, X₁ 表示拉巴豆 (15 kg·hm⁻²) + 玉米, X₂ 表示拉巴豆 (22.5 kg·hm⁻²) + 玉米, X₃ 表示拉巴豆 (30 kg·hm⁻²) + 玉米。同列数据不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 下表同

Note: X₀ stands for mono-cropping of maize; X₁ stands for lablab bean (15 kg·hm⁻²) + maize; X₂ stands for lablab bean (22.5 kg·hm⁻²) + maize; X₃ stands for lablab bean (30 kg·hm⁻²) + maize. Any two means not sharing a letter differ significantly at $P < 0.05$, the same letter indicates no significant difference ($P > 0.05$). This is applicable for the following figures and tables as well

的总产量最低, 显著低于玉米单播 ($P < 0.05$)。在量的 85.5%, 拉巴豆占 14.5%, 其中 X₂ 处理时拉巴整个产量构成中, 玉米干重产量平均占到总干重产豆产量占总产量比例最高, 为 17.7% (表 4)。

表 3 2022 年不同拉巴豆同行混播比例对饲草产量的影响

Table 3 Effects of different mixing ratios of lablab beans on forage yield under peer mixed sowing in 2022

处理 Treatment	鲜草产量 Fresh grass yield/(kg·hm ⁻²)		总鲜产量 Total fresh grass yield/(kg·hm ⁻²)	拉巴豆占总鲜重百分比 The percentage of Lablab bean in total fresh grass yield/%	玉米占总鲜重百分比 The percentage of Silage maize in total fresh grass yield/%	干草产量 Hay yield/(kg·hm ⁻²)		总干产量 Total hay yield/(kg·hm ⁻²)	拉巴豆占总干重百分比 The percentage of lablab bean in total hay yield/%	玉米占总干重百分比 The percentage of silage maize in total hay yield/%
	玉米 Silage maize	拉巴豆 Lablab beans				玉米 Silage maize	拉巴豆 Lablab beans			
T ₀	66 203.7±2011.6 ^a	—	66 203.7±2011.6 ^a	—	—	24 834.4±527.1 ^a	—	24 834.4±527.1 ^a	—	—
T ₁	47 314.8±2303.1 ^b	11 990.7±674.3 ^b	59 305.6±1839.0 ^{ab}	20.2	79.8	17 748.8±533.8 ^b	2971.4±132.6 ^b	20 720.2±898.9 ^{ab}	14.3	85.7
T ₂	37 361.1±1375.2 ^c	14 722.2±517.2 ^c	52 083.3±1701.1 ^{bc}	28.3	71.7	14 015.0±763.1 ^c	3861.9±158.4 ^c	17 876.9±475.2 ^{bc}	21.6	78.4
T ₃	36 481.5±1739.2 ^d	9814.8±415.8 ^b	46 296.3±1142.4 ^c	21.2	78.8	11 635.9±636.5 ^d	2432.2±169.3 ^b	14 068.1±566.1 ^c	17.2	82.8
平均 Average	46 840.3	12 175.9	55 972.2	23.2	76.8	17 058.5	3088.5	19 374.9	17.7	82.3

表 4 2023 年不同拉巴豆间行混播比例对饲草产量的影响

Table 4 Effects of different mixing ratios of lablab beans on forage yield under inter row mixed sowing in 2023

处理 Treatment	鲜草产量 Fresh grass yield/(kg·hm ⁻²)		总鲜产量 Total fresh grass yield/(kg·hm ⁻²)	拉巴豆占总鲜重百分比 The percentage of lablab bean in total fresh grass yield/%	玉米占总鲜重百分比 The percentage of silage maize in total fresh grass yield/%	干草产量 Hay yield/(kg·hm ⁻²)		总干产量 Total hay yield/(kg·hm ⁻²)	拉巴豆占总干重百分比 The percentage of Lablab bean in total hay yield/%	玉米占总干重百分比 The percentage of Silage maize in total hay yield/%
	玉米 Silage maize	拉巴豆 Lablab beans				玉米 Silage maize	拉巴豆 Lablab beans			
X ₀	80 837.2±1738.8 ^a	—	80 837.2±1738.8 ^a	—	—	25 972.2±298.5 ^a	—	25 972.2±298.5 ^a	—	—
X ₁	67 821.4±2103.2 ^b	18 573.0±1061.8 ^a	86 394.4±2929.5 ^a	21.5	78.5	23 773.4±469.2 ^a	4079.3±218.0 ^a	27 852.7±383.6 ^a	14.6	85.4
X ₂	69 149.0±1371.3 ^{ab}	14 068.0±1559.4 ^b	83 217.0±1755.0 ^a	16.9	83.1	23 307.3±308.2 ^a	2978.5±283.6 ^b	26 285.8±302.9 ^a	11.3	88.7
X ₃	50 796.5±2158.8 ^c	17 026.0±659.6 ^{ab}	67 822.4±1770.8 ^b	25.1	74.9	14 605.3±285.3 ^b	3150.4±337.1 ^b	17 755.7±117.9 ^b	17.7	82.3
平均	67 151.0	16 555.7	79 567.7	21.2	78.8	21 914.5	3402.7	24 466.6	14.5	85.5

2.3 不同混播处理对饲草营养品质的影响

间行混播各处理之间的粗灰分、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量均无显著差异。X₁和

X₂处理的粗蛋白含量显著高于 X₀处理 ($P < 0.05$), 分别提高了 27.5% 和 57.0%。X₃处理的可溶性糖含量显著低于其他处理 ($P < 0.05$, 表 5)。

表 5 2023 年不同间行混播处理的饲草品质
Table 5 Quality of forage under different inter row mixed sowing in 2023

处理 Treatment	粗灰分 Crude ash/%	粗脂肪 Ether extract/%	粗蛋白 Crude protein/%	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (NDF)/%	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (ADF)/%	可溶性糖 Water soluble carbohydrates (WSC)/%
X ₀	4.84±0.52 ^a	5.79±0.63 ^a	6.88±0.10 ^b	33.88±2.90 ^a	25.27±2.25 ^a	4.82±1.15 ^a
X ₁	5.40±1.01 ^a	4.30±0.27 ^a	8.77±0.82 ^a	37.14±3.46 ^a	25.36±2.76 ^a	2.96±1.35 ^a
X ₂	5.41±1.52 ^a	5.74±0.92 ^a	10.80±1.37 ^a	34.01±1.22 ^a	26.60±6.47 ^a	1.92±0.61 ^a
X ₃	4.78±0.34 ^a	6.00±0.54 ^a	8.46±0.27 ^{ab}	33.24±1.39 ^a	28.18±1.36 ^a	1.28±1.66 ^b

3 讨论

3.1 不同拉巴豆播量对混播下青贮玉米农艺性状的影响

适宜播量的拉巴豆与玉米混播可以改变青贮玉米的农艺性状,有效提高青贮玉米的生产性能^[19]。本研究表明,同行混播条件下,随着拉巴豆混播比例的增加,各混播处理之间的农艺性状差异不显著,与玉米单作相比,仅茎粗呈显著上升趋势。而间行混播处理中,X₁和X₂的玉米茎粗较玉米单播显著降低,混播处理的青贮玉米绿叶数均显著少于玉米单播处理。王斌等^[20]通过将拉巴豆以5种比例点播在青贮玉米周围研究发现,随着拉巴豆播种量的增加,青贮玉米的株高各处理间无显著差异,茎粗呈上升趋势,这与本试验同行混播的研究结果一致,与间行混播的研究结果相反,主要原因可能是高播量的拉巴豆对青贮玉米产生了较强的竞争,使玉米茎粗增加、重心降低,有利于防止倒伏的发生^[21]。而董志晓等^[17]将不同播量的拉巴豆条播在两行玉米中间,结果表明,不同密度拉巴豆间作处理下玉米的株高、茎粗和叶片数均小于玉米单播处理,与本研究同行混播的结果相反,与间行混播的研究结果一致。造成该结果的原因可能包括:拉巴豆与玉米在土壤养分和光照上存在强烈竞争,并且拉巴豆对玉米茎秆的缠绕会在一定程度上阻碍玉米茎的横向生长^[22]。同时,播种方式不同可能是导致两年试验结果不同的原因之一^[17,19]。

3.2 不同拉巴豆播量与青贮玉米混播对饲草产量的影响

在农业生产中,农作物的生长不仅会受光照、水分等外部环境的影响,还会受到种间关系的影响^[23],合理的拉巴豆与玉米混播种植密度是提高土地资源利用率^[24]、获得青贮玉米高产的前提^[25]。王

斌等^[20]在宁夏研究发现,拉巴豆与玉米混播的饲草产量均低于玉米单播。Armstrong等^[26]和李文彬等^[19]研究发现,不同播种密度的玉米与拉巴豆混播时干物质产量并非一直保持上升,当拉巴豆种植密度达到一定量时,饲草产量会下降。蒋微^[27]在黑龙江研究发现,青贮玉米与拉巴豆混播的饲草产量与青贮玉米单播无显著差异,但混播青贮玉米平均亩产量高于单播青贮玉米。本研究中,同行混播的试验结果表明,T₁处理的饲草产量与玉米单播无显著差异,T₂和T₃处理的饲草产量显著低于玉米单播,且随着拉巴豆混播密度的增加,饲草产量逐渐下降;间行混播的试验结果表明,X₁和X₂处理的饲草产量与玉米单播无显著差异,但X₁处理的总鲜产量和总干产量高于单播和其他混播处理,X₃处理的饲草产量显著低于玉米单播,这与前人研究结果一致。造成这一现象的原因可能是拉巴豆作为一种攀缘植物,其阔叶在生长季的大部分时间中螺旋分布在混合冠层的顶部和四周,使其成为对光照的强有利竞争者,随着拉巴豆播种密度的增加,玉米与拉巴豆之间的共生竞争增强,间作系统内的通风及透光条件受到限制,作物个体之间对养分的竞争程度加剧,迫使植株由营养生长转为生殖生长,从而使产量不变或下降^[19,28]。柳茜等^[12]在西昌地区采用两行青贮玉米间套种拉巴豆的方式研究发现,当玉米播种量为8.34万株·hm⁻²,拉巴豆播种量为37.0kg·hm⁻²时,饲草干草收获量较玉米单播提高11.85%。李亚娇等^[6]研究发现,与单播青贮玉米相比,套种拉巴豆产量显著增加,且拉巴豆套种行数越多青贮玉米产量越高。这与本试验研究结果不一致,这一现象可能是试验地点不同,土壤肥力有所差异,光照及水热条件不同,以及青贮玉米品种或者豆科作物品种不同引起的。造成本试验两年研究结果不同的原因可能是播种方式不同,这与王斌^[20]、柳茜等^[13]的研究结果一致。

3.3 不同拉巴豆播种量与青贮玉米混播对饲草营养品质的影响

豆禾混播较禾本科单播有更均衡、丰富的营养成分,可以显著改善牧草的营养品质^[29]。

董志晓等^[17]试验得出,玉米与拉巴豆混播能提高混播饲草的粗蛋白含量(最高可提高82%),同时还可降低酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维的含量。柳茜等^[13]研究发现,青贮玉米与拉巴豆混播的粗蛋白含量高于青贮玉米单播,可溶性糖含量低于单播。本研究中,间行混播试验结果表明,各处理之间的粗灰分、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量均无显著差异, X_1 和 X_2 处理的粗蛋白含量显著高于 X_0 处理,各混播处理的可溶性糖含量低于单播,与前人^[12,17]研究结论一致。说明适宜的拉巴豆与玉米混播比例能提高饲草粗蛋白质含量,提升混合青贮饲料营养品质。这可能是由于混播模式促进了群落地上部分的光能利用以及地下部豆科牧草根瘤菌的共生固氮作用,混播体系下的根系分布更为优化,发达的根系系统可以提高作物对养分的吸收效率^[20, 29-30]。

4 结论

在同行混播条件下,与玉米单播相比,青贮玉米+1粒拉巴豆穴播(T_1)显著增加了玉米的茎粗,混播饲草总产量与玉米单播相比无显著差异。而在间行混播条件下,青贮玉米混播 $15\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 拉巴豆(X_1)和 $22.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (X_2)拉巴豆的混播饲草总产量与玉米单播无显著差异,但 X_2 处理下混播饲草的蛋白质含量有显著提高,且提高幅度最大。

因此,综合考虑饲草产量和品质的表现,推荐间行混播种植模式下,青贮玉米(种植密度: $6.75\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$)与拉巴豆播种量为 $22.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (X_2)混播作为陕西榆阳地区适宜的混播模式。

参考文献

- [1] 王晓光,史桂清,刘春阁,等. 中国青贮玉米产业现状及发展趋势[J]. 农学报,2023,13(7):20-24
WANG X G, SHI G Q, LIU C G, et al. Present situation and development trend of silage corn industry in China [J]. Journal of Agriculture, 2023, 13(7): 20-24
- [2] 朱霞,杨文钰,任万君. 粮饲兼用型玉米全株饲用营养价值及其调控[J]. 草业学报,2005,14(5):92-98
ZHU X, YANG W Y, REN W J. Studies on the nutritive values of whole plant for feeding and its regulation of feed *Zea*

- mays* [J]. Acta Pratacultural Science, 2005, 14(5): 92-98
- [3] 童成昊,周文章,莫本田,等. 喀斯特地区不同青贮玉米品种的综合评价[J]. 草业科学,2023,40(2):482-490
TONG C H, ZHOU W Z, MO B T, et al. Evaluation of different silage maize varieties in karst regions [J]. Pratacultural Science, 2023, 40(2): 482-490
- [4] 姬承东,史卉玲,周芸芸. 青贮玉米SC704与拉巴豆混播后的青贮品质测定[J]. 安徽农业科学,2015,43(26):151-154
JI C D, SHI H L, ZHOU Y Y. Determination of silage quality of maize cultivar SC704 in the mixed sowing with *Dolichos lablab* [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(26): 151-154
- [5] 黄晓辉. 苦豆子和玉米秸秆的混合青贮及其品质评价[D]. 兰州:兰州大学,2014:8
HUANG X H. *Sophora alopecuroides* and corn straw mixed silaging and quality evaluation of silage [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2014: 8
- [6] 李亚娇,马培杰,吴佳海,等. 不同品种青贮玉米与拉巴豆套种对青贮玉米农艺性状及产量的影响[J]. 草业学报,2019,28(9):209-216
LI Y J, MA P J, WU J H, et al. Effects of interplanting with *Dolichos Lablab* on agronomic traits and yield of two varieties of silage maize [J]. Acta Pratacultural Sinica, 2019, 28(9): 209-216
- [7] 赵心月,王凤霞,袁进成. 青贮玉米混播研究进展[J]. 河南农业,2021(2):18-19
ZHAO X Y, WANG F X, YUAN J C. Research progress of mixed sowing of silage maize [J]. Agriculture of Henan, 2021 (02): 18-19
- [8] 张晓梦,王树林,张瑞萍. 黑龙江省西部地区扁豆与青贮玉米混种技术研究[J]. 黑龙江农业科学,2013(7):123-126
ZHANG X M, WANG S L, ZHANG R P. Study on mixing planting technology of *Lablab purpureus* and silage maize in western region of Heilongjiang Province [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2013(7): 123-126
- [9] 李驰,刘进芳,罗丽霞,等. 玉米、拉巴豆混播技术研究应用进展[J]. 广东饲料,2022,31(7):42-44
LI C, LIU J F, LUO L X, et al. Progress in research and application of mixed sowing technology of maize and lablab bean [J]. Guangdong Feed, 2022, 31(7): 42-44
- [10] LI L, LI S M, SUN J H, et al. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104 (27): 11192-11196
- [11] 刘子翀. 榆阳沙区青贮玉米品种筛选及综合评价[D]. 榆林:榆林学院,2023:2
LIU Z H. Selection and comprehensive evaluation of silage corn varieties in the sandy area of Yuyang [D]. Yulin: Yulin University, 2023: 2
- [12] 安昊云,王皓,贾倩民,等. 禾豆混播与调亏灌溉对河西地区饲草产量、品质和水充分利用的影响[J]. 草业科学,2021,38(1):122-135

- AN H Y, WANG H, JIA Q M, et al. Effects of Gramineae-legume mixed sowing and deficit irrigation on yield, quality and water use of forage grass in Hexi region [J]. *Pratacultural Science*, 2021, 38(1):122-135
- [13] 柳茜,傅平,苏茂,等. 青贮玉米与拉巴豆混播生产性能研究[J]. 草业与畜牧, 2015(5):22-24
- LIU Q, FU P, SU M, et al. Study on performance of mixed sowing silage maize and lablab bean [J]. *Prataculture & Animal Husbandry*, 2015(5):22-24
- [14] 赵海明,游永亮,武瑞鑫,等. 种植密度和间作豆科牧草对青贮玉米生产性能的影响[J]. 草学, 2020(5):25-31
- ZHAO H M, YOU Y L, WU R X, et al. Effects of planting density and intercropping legume on the performance of silage maize [J]. *Journal of Grassland and Forage Science*, 2020(5):25-31
- [15] 王爱军. 庄浪县玉米与拉巴豆混播不同密度试验初报[J]. 农业科技与信息, 2019(22):9-10
- WANG A J. Preliminary report on the experiment of different densities of mixed sowing of corn and lablab bean in Zhuanglang County [J]. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2019(22):9-10
- [16] 刘美华. 青贮玉米与拉巴豆混播营养价值及青贮品质研究[D]. 阿拉尔:塔里木大学, 2014:7-13
- LIU M H. The research on nutritional and silage value of intercropping corn with lablab bean [D]. Alaer: Tarim University, 2014:7-13
- [17] 董志晓,何润濠,况鉴洋,等. 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[J]. 草业科学, 2021, 38(8):1587-1595
- DONG Z X, HE R H, KUANG J Y, et al. Effects of intercropping *Dolichos lablab* with silage maize on the yield and quality of mixed forage in the Chengdu Plain, China [J]. *Pratacultural Science*, 2021, 38(8):1587-1595
- [18] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2021:53-88
- ZHANG L Y. Feed analysis and quality test technology[M]. Beijing:China Agricultural University Press, 2021:53-88
- [19] 李文彬,柴明杰,张斌,等. 不同密度拉巴豆与旱地玉米间作栽培对混合青贮饲料品质的影响[J]. 中国饲料, 2022(14):13-18
- LI W B, CHAI M J, ZHANG B, et al. Effects of intercropping of different densities of *Dolichos lablab* and dryland maize on the quality of mixed silage [J]. *China Feed*, 2022(14):13-18
- [20] 王斌,董秀,李满有,等. 不同播量拉巴豆与青贮玉米混播对草地生产性能及牧草品质的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(4):828-834
- WANG B, DONG X, LI M Y, et al. Effects of mixed planting of *Dolichos lablab* with different sowing rates and silage corn on grassland productivity and forage quality [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(4):828-834
- [21] 孟凡凡,王博,刘宝泉,等. 玉米-大豆带状间作下玉米品种产量和主要农艺性状比较分析[J]. 作物杂志, 2014(3):101-105
- MENG F F, WANG B, LIU B Q, et al. Analysis of yield and main agronomic traits of maize in maize and soybean strip intercropping system [J]. *Crops*, 2014(3):101-105
- [22] 杨帆,刘卓,韩旭彪,等. 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[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(5):24-30
- YANG F, LIU Z, HAN X B, et al. Effects of mixed planting of *Lablab purpureus* L. sweet and *Sorghum dochna* (Forssk.) Snowden on grassland yield and quality of forage grass in Ningxia rain fed region [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2021, 49(5):24-30
- [23] KRISHNAN P, SWAIN D K, CHANDRA BHASKAR B, et al. Impact of elevated CO₂ and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, 122 (2):233-242
- [24] 赵小光,赵兴忠,刘颖萌,等. 玉米大豆间作对大豆农艺、品质和产量性状的影响[J]. 农学学报, 2023, 13(8):18-24
- ZHAO X G, ZHAO X Z, LIU H M, et al. Effects of maize and soybean intercropping on agronomic, quality and yield traits of soybean [J]. *Journal of Agriculture*, 2023, 13(8):18-24
- [25] 张敬宇,付健,杨克军,等. 不同种植方式和密度对玉米产量及光合特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(23):29-32, 93
- ZHANG J Y, FU J, YANG K J, et al. Effects of different plant patterns and planting density on yield and photosynthetic characteristics of maize [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(23):29-32, 93
- [26] ARMSTRONG K L, ALBRECHT K A. Effect of plant density on forage yield and quality of intercropped corn and lablab bean [J]. *Crop Science*, 2008, 48(2):814-822
- [27] 蒋微. 玉米与拉巴豆混种青贮对奶牛营养价值的系统评定[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学, 2012:12-13
- JIANG W. Evaluation of nutritional value of intercropping corn with Lablab bean in dairy cows [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2012:12-13
- [28] 李川东. 一年生野生大豆和饲用高粱间作及其混合青贮的研究[D]. 南京:南京农业大学, 2008:31
- LI C D. Study on intercropping of annual wild soybean and forage sorghum and their mixed silage [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008:31
- [29] 李洪影,高飞,刘昭明,等. 青贮玉米不同混播方式对饲料作物产量和品质的影响[J]. 草地学报, 2011, 19(5):825-829
- LI H Y, GAO F, LIU Z M, et al. Effects of different mixture sowing on yield and quality of forage crop [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2011, 19(5):825-829
- [30] 李文彬,朱俊峰,梁天柱,等. 不同水平施氮量的旱地玉米-拉巴豆间作栽培对产量、混贮营养及能值的影响[J]. 饲料研究, 2022, 45(23):105-108
- LI W B, ZHU J F, LIANG T Z, et al. Effect of dryland corn-*Lablab purpureus* intercropping with different levels of nitrogen application on yield, mixed storage nutrition and energy index [J]. *Feed Research*, 2022, 45(23):105-108