



亚热带区玉米和籽粒苋间作对饲草产量和品质的影响

段佳鑫 臧庆吉 薛世明 方云霞 蔡明 刘彦培 侯洁琼 黄梅芬 钟绍丽 张美艳

Effect on forage yield and silage quality of silage maize and amaranth intercropping in subtropical districts

DUAN Jiabin, ZANG Qingji, XUE Shiming, FANG Yunxia, CAI Ming, LIU Yanpei, HOU Jieqiong, HUANG Meifen, ZHONG Shaoli, ZHANG Meiyang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0157>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

青贮玉米与饲用谷子间作对产量相关性状的影响

Effects of silage maize and feeding millet intercropping on their yield

草业科学. 2023, 40(12): 3138 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0873>

中国西南地区饲草产业与草食畜牧业耦合协调关系

Coupling and coordinating relationship between forage industry and herbivorous animal husbandry in southwest China: Based on field research in Sichuan, Yunnan, and Guizhou

草业科学. 2023, 40(7): 1932 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0011>

高寒区燕麦、豌豆农艺性状对氮添加和间作模式的响应

Effects of nitrogen addition and intercropping patterns on agronomic traits of oats and peas in alpine regions

草业科学. 2024, 41(3): 718 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0325>

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

Effect of mixed sowing of *Dolichos lablab* and *Sorghum dochna* on mixed forage silage quality

草业科学. 2022, 39(8): 1628 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0133>

青贮时间对不同品种玉米青贮品质的影响

Effects of silage time on silage quality of different maize varieties

草业科学. 2022, 39(1): 202 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0319>

赣南稀土尾矿土壤不同施肥处理对饲料桑农艺性状、产量及品质的影响

Effects of different fertilization treatments on agronomic characters, yield, and quality of forage mulberry in the soil of rare earth tailings in southern Jiangxi

草业科学. 2024, 41(4): 942 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0176>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0157

段佳鑫, 臧庆吉, 薛世明, 方云霞, 蔡明, 刘彦培, 侯洁琼, 黄梅芬, 钟绍丽, 张美艳. 亚热带区玉米和籽粒苋间作对饲草产量和品质的影响. 草业科学, 2024, 41(6): 1471-1482.

DUAN J X, ZANG Q J, XUE S M, FANG Y X, CAI M, LIU Y P, HOU J Q, HUANG M F, ZHONG S L, ZHANG M Y. Effect on forage yield and silage quality of silage maize and amaranth intercropping in subtropical districts. Pratacultural Science, 2024, 41(6): 1471-1482.



亚热带区玉米和籽粒苋间作对饲草 产量和品质的影响

段佳鑫^{1,2}, 臧庆吉³, 薛世明^{1,2}, 方云霞^{2,4}, 蔡明², 刘彦培²,
侯洁琼², 黄梅芬², 钟绍丽², 张美艳^{1,2}

(1. 云南农业大学动物科学技术学院, 云南 昆明 650201; 2. 云南省草地动物科学研究院, 云南 昆明 650212;
3. 云南农业职业技术学院, 云南 昆明 650200; 4. 广南县农业农村和科学技术局, 云南 广南 663300)

摘要: 为探究亚热带区青贮玉米 (*Zea mays*) 与籽粒苋 (*Amaranthus hypochondriacus*) 间作的最佳比例及间作对饲草农艺性状、产量以及青贮品质的影响, 将青贮玉米与籽粒苋以行数比 T_1 (3:1)、 T_2 (3:2)、 T_3 (4:2) 3 种不同间作方式进行种植, 同时以玉米单作 (CK_1) 和籽粒苋单作 (CK_2) 作为对照, 对青贮玉米和籽粒苋的株高、茎粗等相关农艺性状、产量及青贮品质进行测定。结果表明, 不同间作方式对青贮玉米的株高和籽粒苋的茎粗存在显著影响 ($P < 0.05$); 与 CK_1 处理相比, T_2 和 T_3 处理下的鲜草产量分别提高 6.84% 和 11.33%, 但二者差异不显著 ($P > 0.05$)。在所有处理中, CK_1 处理的干草总产量最高, 为 $24.57 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 显著高于 T_1 处理 ($P < 0.05$)。对于混贮品质而言, T_3 处理的干物质含量最高, 极显著高于其他间作处理 ($P < 0.01$); T_2 处理的粗蛋白含量和乳酸含量较高, 分别为 12.1%、4.83%, 显著高于籽粒苋单作和其他间作处理 ($P < 0.05$)。综合分析表明, 在滇中地区青贮玉米和籽粒苋以 3:2 间作种植可获得较高的单位面积饲草产量和较好的青贮营养品质。

关键词: 亚热带地区; 间作; 农艺性状; 饲草产量; 混合青贮; 草食畜牧业

文献标识码: A **文章编号:** 1001-0629(2024)06-1471-12

Effect on forage yield and silage quality of silage maize and amaranth intercropping in subtropical districts

DUAN Jiixin^{1,2}, ZANG Qingji³, XUE Shiming^{1,2}, FANG Yunxia^{2,4}, CAI Ming², LIU Yanpei², HOU Jieqiong²,
HUANG Meifen², ZHONG Shaoli², ZHANG Meiyan^{1,2}

(1. Yunnan Agricultural University Institute of Animal Science and Technology, Kunming 650201, Yunnan, China;

2. Research Institute of Grassland Animal Science, Kunming 650212, Yunnan, China;

3. Yunnan Vocational and Technical College of Agriculture, Kunming 650200, Yunnan, China;

4. Bureau of Agriculture, Rural Areas, Science and Technology of Guangnan County, Guangnan 663300, Yunnan, China)

Abstract: This study aimed to explore the optimal ratio of intercropping between silage maize and amaranth in the midlands of Yunnan and its effect on forage agronomic traits, yield, and silage quality. We designed three intercropping models for

收稿日期: 2023-03-24 接受日期: 2023-09-04

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CAR-34-52); 云南省中青年学术和技术带头人后备人才项目 (2019HB035); 南方地区饲草配置组合与轮作复合技术示范推广项目 (16200157-21); 云南省现代农业草产业技术体系草地生态岗位专项 (2017KJTX0018); 云岭产业技术领军人才项目 (云发改人事〔2015〕1495 号)

第一作者: 段佳鑫 (1998-), 男, 云南保山人, 在读硕士生, 主要从事牧草种质资源评价、栽培和加工利用研究。E-mail: duanjiixin0603@163.com

通信作者: 张美艳 (1982-), 女, 山西忻州人, 研究员, 博士, 主要从事牧草种质资源开发利用、高产栽培和草地建群管理研究和推广工作。

E-mail: zhangmeiyan1220@163.com

silage maize (*Zea mays*) and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*): T_1 (3×1), T_2 (3×2), and T_3 (4×2). The silage maize monoculture was CK_1 , while the amaranth monoculture was CK_2 . We determined agronomic traits, such as plant height, stem diameter, forage yield, and silage quality. The results showed that the different intercropping models significantly affected the plant height of maize silage and stem thickness of amaranth ($P < 0.05$). Compared with silage maize monoculture (CK_1), the fresh grass yield under the T_2 and T_3 treatments increased by 6.84% and 11.33%, respectively, but the difference between the two treatments was not significant ($P > 0.05$). In all treatments, the total hay yield of the maize silage monoculture (CK_1) treatment was the highest at $24.57 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, which was significantly higher than that of the T_1 treatment ($P < 0.05$). Regarding the quality of mixed storage, the T_3 treatment had the highest dry matter content, significantly higher than that for other intercropping treatments ($P < 0.01$). For the mixed storage quality, the dry matter content of the T_3 treatment was the highest and was significantly higher than that for other intercropping treatments ($P < 0.01$). The crude protein content and acetic acid contents of the T_2 treatment were the highest, with values of 12.1% and 4.83%, respectively, significantly higher than that for other intercropping treatments and amaranth monoculture treatment ($P < 0.05$). Comprehensive analysis showed that the 3×2 intercropping of silage maize and amaranth in the midlands of Yunnan was an optimal intercropping model that could increase the yield of forage per unit area and improve the nutrient traits of the two crops.

Keywords: subtropical districts; intercropping; agronomic traits; forage yield; mixed silage; herbivore animal husbandry

Corresponding author: ZHANG Meiyang E-mail: zhangmeiyang1220@163.com

牧草对于草食畜牧业的发展至关重要,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]。我国通过实施“粮改饲”和“农业供给侧结构性改革”等政策,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十分有限,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重要保障^[3]。间作是通过不同作物搭配,充分利用光、温、水、热等自然资源,从而在有限土地上增加植物产量和土地利用效率的种植模式,符合可持续农业发展的要求^[4]。

籽粒苋 (*Amaranthus hypochondriacus*) 是苋科苋属一年生植物,生长快、产量高^[5],可粮饲兼用,原产于热带、亚热带及中美洲地区,我国也是原产地之一^[6]。籽粒苋粗蛋白含量高,钙、磷等微量元素丰富^[7],可用于牛、羊、猪等饲喂以及家禽和水产养殖等^[8]。由于云南独特的自然条件,海拔高差悬殊,气候多样,经过长期的自然选择和人工选择,形成了丰富独特的籽粒苋种质资源^[9]。籽粒苋在云南的传统利用方式主要是食用其茎叶,在反刍动物上的利用很少。有研究发现,用籽粒苋青贮饲喂奶牛、肉牛或家禽可提高奶牛乳品质^[10]、改善牛肉品质^[11],促进家禽增重^[12]。这表明,籽粒苋作为反刍牲畜的

饲草具有较大的利用潜力。玉米 (*Zea mays*) 是公认的“饲料之王”^[13],因其营养丰富,种植区域广,对于畜牧业发展至关重要。前人通过青贮玉米和籽粒苋套作试验发现,玉米地中采取宽窄行种植籽粒苋,对于改善玉米和籽粒苋品质具有较好的效果^[14]。在辽宁地区开展的玉米和籽粒苋栽培试验发现,这两种作物复合种植在产量方面表现出较大的潜力^[15]。玉米和籽粒苋间作可充分利用 CO_2 和光能,提高单位面积产量,实现一季双收^[16]。玉米和籽粒苋均属于高产作物,玉米含 70% 高碳水化合物含量和 7.84%~8.45% 低蛋白含量^[17],而全株籽粒苋含 16.70% 粗蛋白含量和 5.2% 低碳水化合物含量^[18]。因此,将二者进行合理的复合种植,对提高单位面积饲草产量和品质具有较大潜力。

肉牛产业是云南省主导的八大产业之一,目前云南省肉牛存栏 810.4 万头、出栏 335.9 万头,分别居全国第 1 位、第 4 位^[19]。云南省主要饲草有青贮玉米、鸭茅 (*Dactylis glomerata*)、多年生黑麦草 (*Lolium perenne*)、燕麦 (*Avena sativa*) 等^[20]。据统计,云南省饲料企业年消耗玉米 400 万 t,但本地生产玉米仅占全部使用量的 30%^[19],饲草料存在很大的缺口。2021 年,国家发布了 18 亿亩 ($1.2 \text{ 亿 } \text{hm}^2$) 的“耕地红线”^[21],而云南全省耕地面积为 $607.21 \text{ 万 } \text{hm}^2$ ^[22],其中可用于种植饲草的面积更是少之又少。同时,

云南存在山多、地形复杂、气候多样等畜牧业发展的制约因素^[23]。云南省畜牧业发展,亟需优质且高蛋白的饲草供应,因此如何在有限的土地上生产出更多的优质饲草,是云南亚热带区畜牧业发展的根本保障^[24]。目前针对青贮玉米种植及青贮方面的研究多集中于与其他豆科植物间作^[25],而对于籽粒苋的研究多集中于土壤生态修复^[26]及保健食品开发^[27]等方面。在云南亚热带地区,关于籽粒苋研究甚少,对于青贮玉米和籽粒苋复合种植对饲草产量和品质的影响的相关研究未见报道。本研究根据玉米和籽粒苋的生长特性,考虑收获宜机化,将玉米与籽粒苋间作行数作为一个重要的考虑因素,开展间作研究,以农艺性状、饲草产量和青贮品质为研究指标,以期得到玉米与籽粒苋的最佳间作比例,从而为云南亚热带区玉米与籽粒苋间作种植推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于云南省曲靖市马龙区马鸣乡(103°21' E, 25°18' N, 海拔2 038 m),属亚热带低纬高原季风型气候,冬春干旱,夏秋湿润,季节干湿分明,雨量充沛,夏无酷暑,冬无严寒。年均气温13.7℃,年均日照时数2 158 h,可满足多种作物生长发展的需要。年均降水量800~1 100 mm,无霜期247 d。试验地0~30 cm土层中,pH为5.77,有效磷含量为9.03 mg·kg⁻¹速效钾含量为48.14 mg·kg⁻¹,水解性氮含量为77.96 mg·kg⁻¹,全氮含量为0.65 g·kg⁻¹,有机质含量为14.2 g·kg⁻¹,全磷含量为0.34 g·kg⁻¹,全钾含量为10.70 g·kg⁻¹。

1.2 试验材料

青贮玉米‘曲辰9号’由云南省曲靖市曲辰种业有限公司提供,籽粒苋是曲靖当地品种。

1.3 试验设计

本研究采用单因素完全随机区组设计,青贮玉米与籽粒苋行数比设置3种间作处理[T₁(3:1)、T₂(3:2)、T₃(4:2)],并以玉米单作(CK₁)和籽粒苋单作(CK₂)为对照,共设5个处理,3次重复,共计15个小区,小区面积为35 m²(3.5 m×10 m),小区间隔0.8 m,随机排列。玉米和籽粒苋行距均为50 cm,

株距均为25 cm,每个小区280株,种植密度为80 000株·hm⁻²。试验于2021年6月4日播种,2021年9月26日收获。种植期间进行两次追肥,第1次为玉米拔节期,第2次为玉米孕穗期(与第1次追肥间隔30 d),追施肥料为尿素(N 46%),追肥量为225 kg·hm⁻²。

产量等农艺性状测定之后,进行混合青贮试验,取样按照不同的间作试验小区,避开边际区域,小区内按照同样的方向随机固定1.5 m×4.5 m的面积进行收割混贮。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 农艺性状测定

下列指标取样时,均是避开小区两边的边行,以消除边际效应,随机选取玉米和籽粒苋植株样品。

株高:收获期,随机选取10株籽粒苋和10株青贮玉米,测量从地面到植株最高部位的自然高度(cm)。茎粗:收获期,各小区随机选取10株籽粒苋,用游标卡尺测量主茎粗度(cm),测定位置为距离地面50 cm处的主茎部分。茎秆含糖量:收获期,利用便携式测糖仪WZ-103便携各小区分别随机选取10株籽粒苋,并选取第3茎秆(从上往下数)部分进行含糖量测定。有效分枝数:收获期测定主茎上的分枝数。叶片数:收获期观测记录全株叶片数,包括青绿叶片和枯黄叶片(基部极少数叶片部分枯黄)。茎叶比:收获期,各小区随机选取10株籽粒苋,将每株的茎和叶分离开,分别称取茎秆鲜重和叶片鲜重,于65℃烘箱恒温烘干,记录各自干重,进而计算茎叶比。

1.4.2 产量测定

不同间作处理小区取样面积1.5 m×2 m,按照试验小区面积换算单位面积产量(t·hm⁻²)。每个取样面积的鲜草产量称重后,取样1 000 g,及时带回实验室烘干,杀青30 min,之后65℃烘72~96 h(其中:籽粒苋茎秆需要烘96 h,其余部分72 h可烘干),记录干鲜比,根据干鲜比换算单位面积干重产量。

根据各处理饲草产量计算土地当量比(LER),计算公式如下:

$$LER = LER_a + LER_m = \frac{Y_{Ia}}{Y_{Sa}} + \frac{Y_{Im}}{Y_{Sm}}$$

式中:LER_a和LER_m分别代表籽粒苋和玉米的偏土地当量比。Y_{Ia}和Y_{Sm}分别为间作籽粒苋和单作籽粒

苋的产量, Y_{im} 和 Y_{sm} 分别为间作玉米和单作玉米的产量。

1.4.3 青贮品质测定

每个小区将青贮玉米和籽粒苋两种饲草按照种植模式中的间作行数比固定一定的面积 (1.5 m × 4.5 m), 避开两边的边行, 刈割饲草 (留茬高度 3~5 cm), 将两种饲草混合铡短成约 2 cm 的小段, 混合均匀后装入青贮袋中, 用抽真空机排尽空气并及时密封, 每袋 2 kg, 每个小区 3 袋, 每个处理 9 个重复, 放置在室温下自然发酵, 60 d 后取样进行青贮营养品质的测定。粗蛋白含量测定采用阿尔瓦 KN520 自动凯式定氮仪测定; 粗脂肪含量采用索式提取器法测定; 粗灰分含量的测定参照 GB/T 6438—2007 标准; 酸性洗涤纤维含量及酸性洗涤纤维含量采用 Van Soest 法测定; 钙含量参照 GB/T 6436—2002 标准, 采用 EDTA 法测定; 磷含量参照 GB/T 6437—2002 标准, 采用分光光度法测定; 可溶性糖含量采用蒽酮法测定。用 pH 计 (梅特勒 FE28pH 计) 测定青贮滤液 pH; 用 FOSS 凯氏定氮仪测定氨态氮; 用高效液相色谱法测定乳酸等有机酸

含量^[28]。

1.5 数据处理与统计分析

利用 SPSS 2000 软件对试验数据进行单因素方差分析, 数据为平均值 ± 标准误, 显著性为 0.05 和 0.01 水平, 采用 Duncan’s 法进行多重比较。利用 Sigmaplot 10.0 作图。

2 结果与分析

2.1 不同间作方式对青贮玉米和籽粒苋农艺性状的影响

青贮玉米与籽粒苋按照不同间作方式种植后籽粒苋茎粗差异明显, 其中, T_3 处理茎粗为最高, 为 2.53 cm, 显著高于 T_1 处理 ($P < 0.05$), 但与 T_2 和 CK_2 处理差异不显著 ($P > 0.05$) (表 1)。青贮玉米和籽粒苋不同间作方式对于籽粒苋株高、茎秆含糖量、有效分枝数、茎叶比指标差异不显著 ($P > 0.05$)。

不同间作方式种植下的玉米株高差异明显 (表 2), 其中, 青贮玉米单作 (CK_1) 处理的株高最高, 为 263.47 cm, 显著高于 T_2 间作处理 ($P < 0.05$), 与其

表 1 不同间作处理下籽粒苋的农艺性状
Table 1 Agronomic traits of amaranth under different intercropping treatments

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	茎秆含糖量 Stem sugar content/%	有效分枝数 Effective branch number	茎叶比 Stem to leaf ratio
T_1	219.70 ± 2.22a	1.67 ± 0.04b	2.87 ± 0.41a	35.00 ± 1.73a	2.39 ± 0.36a
T_2	220.73 ± 0.93a	2.21 ± 0.02a	3.13 ± 0.30a	41.00 ± 1.15a	2.42 ± 0.22a
T_3	233.90 ± 8.77a	2.53 ± 0.08a	3.90 ± 0.78a	42.33 ± 3.48a	2.38 ± 0.41a
CK_2	229.93 ± 8.42a	2.25 ± 0.28a	3.47 ± 0.29a	42.67 ± 2.33a	2.77 ± 0.42a

T_1 、 T_2 和 T_3 处理分别表示青贮玉米与籽粒苋以行数比3:1、3:2、4:2方式进行种植及混贮; CK_1 为青贮玉米单作; CK_2 为籽粒苋单作; 下同。同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

T_1 , T_2 , and T_3 treatments were planted and mixed with silage maize and amaranth in a row ratio of 3 : 1, 3 : 2, 4 : 2, respectively. CK_1 is a silage maize monoculture, and CK_2 is an amaranth monoculture; This is also applicable for the following figures and tables as well. Different lowercase letters with in the same column indicate significant differences between different treatments at the 0.05 level.

表 2 不同间作处理下青贮玉米的农艺性状
Table 2 Agronomic characters of silage maize under different intercropping treatments

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	叶片数 Number of leaves
T_1	250.07 ± 0.87ab	3.47 ± 0.03a	13.33 ± 0.33a
T_2	244.80 ± 4.64b	3.63 ± 0.19a	13.00 ± 0.01a
T_3	253.57 ± 8.81ab	3.50 ± 0.17a	13.33 ± 0.33a
CK_1	263.47 ± 1.34a	3.10 ± 0.21a	13.67 ± 0.33a

他间作处理差异不显著 ($P > 0.05$); 不同间作种植方式下玉米茎粗、叶片数均差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 不同间作方式下的饲草产量及土地当量比

不同间作处理下的青贮玉米和籽粒苋产量均存在一定的差异 (表 3)。其中, CK₁ 的玉米鲜草产量和干草产量最高, 分别为 106.40 和 24.57 t·hm⁻², 极显著高于其他处理 ($P < 0.01$), 其中 T₁ 和 T₂ 处理差异不显著 ($P > 0.05$)。CK₂ 处理的籽粒苋鲜草产量和干草产量均为最高, 分别为 133.00、22.21 t·hm⁻², 极

显著高于其他处理 ($P < 0.01$)。

不同处理的总饲草产量存在一定的差异 (图 1), 其中, CK₂ 处理总鲜草产量最高, 为 133.00 t·hm⁻², 极显著高于 T₁ 和 CK₁ 处理 ($P < 0.01$); 与 CK₁ 相比, 玉米与籽粒苋间作 T₂ 和 T₃ 处理下的总鲜草产量分别提高 6.84% 和 11.33%, 且二者的总鲜草产量差异不显著 ($P > 0.05$)。T₁ 处理下的总干草产量显著低于 CK₁ ($P < 0.05$)。综合单位面积总鲜草和总干草产量, 玉米与籽粒苋间作行数比为 3:2 和 4:2 是较为适宜的间作方式。

表 3 不同间作处理下青贮玉米和籽粒苋的饲草产量
Table 3 Fresh weight and dry weight of silage maize and grain amaranth intercropping

处理 Treatment	青贮玉米 Silage maize		籽粒苋 Grain amaranth	
	鲜草产量 Fresh weight	干草产量 Dry weight	鲜草产量 Fresh weight	干草产量 Dry weight
T ₁	68.80 ± 4.18Bb	15.97 ± 0.97Bb	31.95 ± 1.55Cc	5.02 ± 0.24Cc
T ₂	67.36 ± 1.89Bb	15.31 ± 0.43BCb	46.32 ± 0.67BCc	7.27 ± 0.1BCbc
T ₃	52.22 ± 0.98Cc	12.70 ± 0.24Cc	66.24 ± 2.47Bb	9.54 ± 0.36Bb
CK ₁	106.40 ± 2.23Aa	24.57 ± 0.51Aa	—	—
CK ₂	—	—	133.00 ± 10.08Aa	22.21 ± 1.68Aa

玉米为乳熟期, 籽粒苋为结实期, 除T₂处理之外, 其余处理籽粒苋有籽粒脱落现象。不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P < 0.01$), 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Silage maize is in the milk-ripening stage, and grain amaranth is in the fruiting stage. Except for the T₂ treatment, in the other treatments, amaranth grains emerged and part of the seeds fell off the ground. Different capital letters indicate significant difference at the 0.01 level, different lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level. This is applicable for the following figures and tables as well.

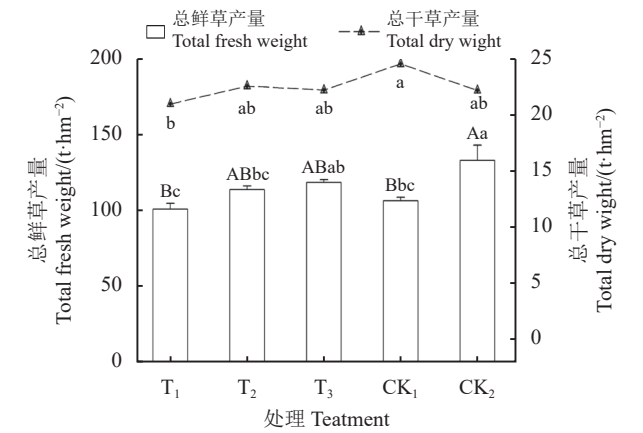


图 1 不同间作处理对饲草产量的影响
Figure 1 Effects on total weight of different intercropping treatments

3 种间作处理中, T₂ 和 T₃ 在 LER 上表现良好, 分别为 0.950 和 0.947, T₁ 的 LER 为 0.876, 所有间作

处理 LER 均小于 1。综合分析原因可能是: 1) 本试验青贮玉米和籽粒苋均为等行距等株距种植, 每公顷株数均为 80 000 株; 2) 籽粒苋是高水分作物, 其含水量在 85% 以上, 所有处理中, CK₂ 处理单位面积鲜草产量最高, 为 133.00 t·hm⁻², CK₁ 处理单位面积干草产量最高, 为 24.57 t·hm⁻², 故在间作处理中, LER 略小于 1 但接近 1, 综合考虑单位面积饲草产量以及土地当量比 LER, T₂ 处理在所有间作处理中表现更优。

2.3 间作方式对青贮玉米和籽粒苋青贮品质的影响

2.3.1 青贮营养品质

不同间作处理下玉米与籽粒苋混合青贮的营养品质存在一定差异 (表 4 和图 2、图 3)。除粗脂肪差异不显著 ($P > 0.05$) 之外, 其余指标均存在显著差异 ($P < 0.05$)。其中, T₃ 处理的干物质含量为 24.31%,

表 4 不同间作方式对青贮营养品质的影响
Table 4 Effects on nutrient quality of silage under different intercropping treatments

处理 Treatment	木质素 Lignin	粗灰分 Ash	粗脂肪 Ether extract	钙 Ca	磷 P
T ₁	0.87 ± 0.11Cc	6.70 ± 0.04De	1.75 ± 0.22a	0.62 ± 0.02Cc	0.18 ± 0.00Dd
T ₂	1.85 ± 0.14Bb	9.02 ± 0.02Bb	2.26 ± 0.29a	0.72 ± 0.02BCc	0.19 ± 0.00Cc
T ₃	0.98 ± 0.03Cc	7.84 ± 0.01Cc	2.18 ± 0.26a	0.71 ± 0.02BCc	0.20 ± 0.00Bb
CK ₁	2.21 ± 0.12Bb	7.70 ± 0.02Cd	2.24 ± 0.13a	0.87 ± 0.03Bb	0.19 ± 0.00Cc
CK ₂	5.01 ± 0.21Aa	12.34 ± 0.06Aa	2.42 ± 0.26a	1.61 ± 0.08Aa	0.24 ± 0.00Aa

籽粒莢结实后期，部分种子脱落在地。
In the late stage of seedpod growth, some of the seeds fell off the ground.

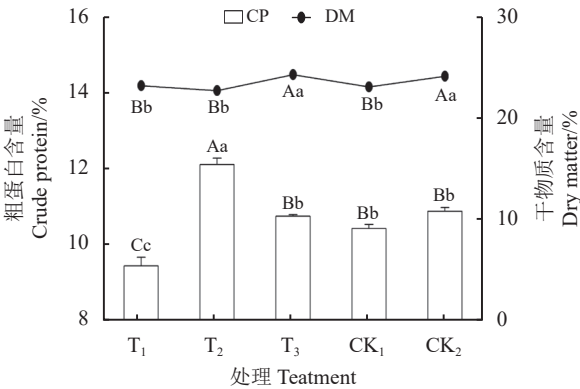


图 2 不同间作处理混合青贮对饲草粗蛋白和干物质含量的影响
Figure 2 Effect on crude (CP) and dry matter (DM) content of mixture silage under different intercropping treatments

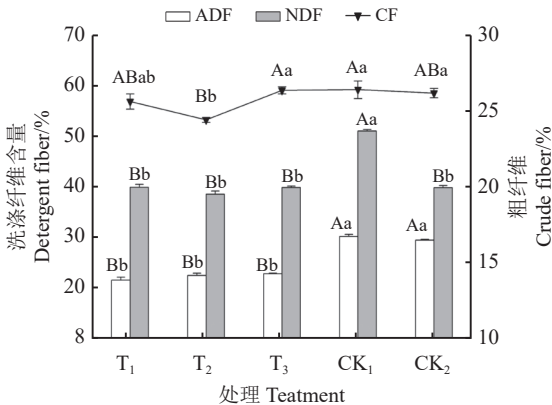


图 3 不同间作处理混合青贮对饲草酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维和粗纤维含量的影响
Figure 3 Effect on acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF) and crude fiber (CF) content of mixture silage under different intercropping treatments

极显著高于 T₁ 和 T₂ 处理 ($P < 0.01$); T₂ 处理的粗蛋白含量最高, 极显著高于 T₁、T₃ 间作处理和对照处

理 ($P < 0.01$); CK₁ 处理的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量最高, 分别为 50.99% 和 30.13%, 其他处理间的中性洗涤纤维差异不显著 ($P > 0.05$); T₁、T₂ 和 T₃ 处理间的酸性洗涤纤维差异不显著 ($P > 0.05$); CK₂ 处理的木质素含量最高, 为 5.01%, 极显著高于其他处理 ($P < 0.01$); CK₁ 处理的粗纤维含量最高, 为 26.38%, 极显著高于 T₂ 处理 ($P < 0.01$), 但与其他处理差异不显著 ($P > 0.05$); CK₂ 处理的粗灰分含量最高, 为 12.34%, 极显著高于其他处理 ($P < 0.01$); CK₂ 处理的 Ca 和 P 含量最高, 分别为 1.16% 和 0.24%, 极显著高于其他处理 ($P < 0.01$).

2.3.2 青贮发酵品质

不同间作处理青贮玉米与籽粒苋混贮的 pH、有机酸含量等存在一定的差异 (表 5)。其中, CK₂ 处理 pH 显著高于其他处理 ($P < 0.05$), 表明籽粒苋单作单贮酸度不易降低, 青贮容易失败。T₁、T₂、T₃ 处理下的乳酸含量分别为 2.90%、4.83%、4.35%, 较 CK₂ 分别提高了 27.8%、112.8% 和 91.6% ($P < 0.05$)。T₁ 处理下的乳酸含量低于 CK₁, T₂ 和 T₃ 处理的乳酸含量高于 CK₁, 其中 T₂ 处理下的乳酸含量显著增加 ($P < 0.05$)。CK₂ 的乙酸含量最高, 显著高于其他处理 ($P < 0.05$)。T₁ 处理的乙酸含量与 CK₁ 差异不显著 ($P > 0.05$), T₂ 和 T₃ 处理的乙酸含量显著低于 CK₁ ($P < 0.05$)。上述表明, 合理间作混贮, 更利于促进乳酸菌同型发酵, 产生更多的乳酸。除了 CK₂ 的丙酸含量为 0.08%, 其他处理均未检出丙酸。所有处理均未检测出丁酸。CK₂ 的氨态氮含量最高, 极显著高于其他处理 ($P < 0.05$)。CK₁ 的氨态氮含量显著低于 T₁、T₃ 和 CK₂ 处理 ($P < 0.05$); CK₁ 与 T₂ 处理

表 5 间作条件下混合青贮对饲草青贮 pH 和有机酸含量的影响
Table 5 Effects on pH and organic contents of mixed silage under different intercropping treatment

处理 Treatment	pH	乳酸 Lactic acid/%	乙酸 Acetate acid/%	丙酸 Propionate acid/%	丁酸 Butyrate acid/%	氨态氮 N-NH ₃ /(mg·g ⁻¹)
T ₁	3.68 ± 0.03b	2.90 ± 0.07c	0.42 ± 0.04b	—	—	0.273 ± 0.009Bb
T ₂	3.75 ± 0.02b	4.83 ± 0.21a	0.16 ± 0.02d	—	—	0.185 ± 0.003Ccd
T ₃	3.69 ± 0.03b	4.35 ± 0.06ab	0.25 ± 0.03c	—	—	0.204 ± 0.010Cc
CK ₁	3.75 ± 0.04b	3.96 ± 0.27b	0.36 ± 0.01b	—	—	0.170 ± 0.011Cd
CK ₂	4.39 ± 0.04a	2.27 ± 0.19d	0.50 ± 0.02a	0.08	—	0.448 ± 0.015Aa

—表示未检出。
— indicated no detection.

差异不显著 ($P > 0.05$)。表明籽粒苋单贮品质不佳, 与玉米合理间作混贮可显著改善其青贮发酵品质, 其中行数比为 3 : 2 时青贮品质最佳。

3 讨论

3.1 间作对青贮玉米和籽粒苋产量的影响

间作对农作物和牧草农艺性状的影响通常是有利的, 董志晓等^[29]在成都平原地区海拔高度 509 m、年均温 16.1 °C 试验地开展的玉米与拉巴豆 (*Dolichos lablab*) 间作研究发现, 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。本研究得出, 籽粒苋与青贮玉米间作 (行数比 3 : 2 和 4 : 2), 其株高、有效分枝数等指标不会受到玉米的影响。这可能与研究区气候条件, 特别是海拔高度 (本研究区海拔 2 038 m) 不同有关。郭楠等^[30]在辽宁沈阳市西南部农田进行玉米和籽粒苋不同间作模式种植, 发现玉米和籽粒苋的产量相较于单作, 均成上升趋势。本研究也得到了类似的结论, 相较于青贮玉米单作, 青贮玉米和籽粒苋间作可显著提高单位面积的鲜草产量, 但间作的鲜草产量低于籽粒苋单作产量, 这可能与籽粒苋鲜草含水量较高有关。玉米和大豆 (*Glycine max*) 间作能在一定程度上提高单位面积上的作物产量^[25]。李含婷等^[31]在河西绿洲灌区发现玉米地间作油菜 (*Brassica napus*)、箭筈豌豆 (*Vicia sativa*) 等绿肥可以抵消减施氮肥 25% 带来的玉米产量的损失, 最终保证减氮条件下玉米产量的稳定。由此可见, 玉米与绝大多数豆科植物间作, 对于产量的改变均表现出正向的增产效应, 本研究中青贮玉米与苋科植物籽粒苋间作也发现间作对于作物增产具有一定的优

势。周飞等^[32]在水稻 (*Oryza sativa*) 和不同品种苋菜间作的研究中发现, 二者间作条件下水稻单位面积产量降低, 但根区土壤速效养分含量和有机质含量显著提高。吴凯等^[33]通过籽粒苋和烟草 (*Nicotiana tabacum*) 间作还田试验发现, 二者间作后可以提高烟草叶片钾含量和土壤速效钾含量。赵颖等^[34]将籽粒苋和苜蓿 (*Medicago sativa*) 等分别与玉米进行间作, 发现玉米和苜蓿间作可显著提高玉米对 Cd、As 的吸收和累积量。刘静等^[35]也发现将籽粒苋与玉米间作对于玉米的镉 (Cd) 含量有明显的抑制作用。在籽粒苋间作研究中, 就饲草产量而言, 郜玉田和韩臣^[36]认为青贮玉米与籽粒苋建植较优的间作行数比为 2 : 2 或 4 : 4, 播种密度为 45 000~75 000 株·hm⁻²。本研究通过饲草产量和蛋白含量等综合考虑, 得出青贮玉米和籽粒苋以 3 : 2 的间作行数比种植, 播种密度为 80 000 株·hm⁻², 可显著提高单位面积饲草产量和粗蛋白含量。籽粒苋虽然是高产作物, 但含水量较高, 不易青贮成功, 青贮玉米是“粮改饲”政策的主推作物, 营养均衡, 青贮品质好, 故本研究从“混种混收混贮”角度出发, 将二者进行复合种植及混贮青贮。本研究在种植模式中仅设计了种植行数比这一因素, 今后的相关间作研究可从不同种植密度等角度进行考虑, 以期构建出更优的种植模式, 提高单位面积产量和饲草品质。

3.2 混贮方式对青贮玉米和籽粒苋青贮营养品质的影响

pH 是评价饲草青贮是否成功的关键指标之一, 根据德国农业协会的青贮料感官评定标准, pH 在 3.4~3.8 为优质青贮料。本研究中, 籽粒苋单贮的 pH 为 4.39, 氨态氮含量显著高于其他处理, 青贮品

质一般; 间作混贮处理、玉米单贮的 pH 在 3.4~3.8, 表明青贮品质较佳。随着畜禽养殖业的发展, 常规饲料不足和饲料品质不佳成为主要的制约因素^[37], 而青贮技术的发展为解决这些问题提供了技术支持, 混合青贮既经济又实用^[38], 用优势草种与劣势牧草进行混贮, 两者优劣互补, 而且成本低, 可以大量应用于实际生产。目前混合青贮以豆科和禾本科的混合青贮最为普遍, 豆科牧草粗蛋白含量偏高, 但含糖量较低, 与禾本科混合青贮效果较好^[39]。李新媛等^[40]通过进行不同比例玉米秸秆、燕麦、苜蓿和红豆草 (*Onobrychis viciifolia*) 的禾豆混合青贮试验, 对混合青贮品质进行分析, 结果表明: 添加豆科牧草提高了青贮的蛋白和 Ca 的含量, 但本研究混贮饲料中粗蛋白含量明显提高, 但 Ca、P 含量却呈现下降趋势。干物质含量是衡量植物有机物积累, 及营养多寡的重要指标, 它决定青贮能否成功^[41], 研究证实青贮饲料中干物质含量过低容易引起梭菌发酵, 产生大量丁酸, 导致青贮失败^[42], 而本研究中所有间作处理均未检测出丁酸, 也侧面说明了青贮玉米和籽粒苋混贮取得了较好的效果。任海伟等^[43]将白菜 (*Brassica pekinensis*) 与玉米秸秆按 19:29、21:27、23:25 等不同混合比例进行混贮 90 d, 结果表明, 随着白菜比例的增加, pH 降低显著, 乳酸含量增加明显, 混贮 27:21 的混合比例, 效果最好, 本研究中随着青贮玉米比例的增加, pH 和乙酸下降显著, 但乳酸却明显增加。邓蓉等^[44]在青贮玉米中加入金荞麦 (*Fagopyrum dibotrys*) 进行混合青贮, 结果发现金荞麦的添加使青贮饲料 pH 显著升高, Ca、P 显著降低, 本研究得出相似的结论。柳茜等^[45]研究高粱 (*Sorghum bicolor*) 与全株玉米按不同比例混合的青贮品质的质量情况, 发现高粱与玉米按照 3:7 的比例混贮效果最佳。黄晓辉等^[46]将苦豆子 (*Sophora alopecuroides*) 和玉米秸秆经过不同混合比例青贮, 在青贮不同天数后对其营养和化学成分进行测定, 发现混合青贮以 2:8 的比例混合时, 青贮 1 个月可明显改善青贮发酵品质, 青贮 45 d 以上, 青贮品质保持在一个稳定的水平。综上所述,

青贮玉米在与其他作物进行混合青贮时, 所占比例越大, 青贮效果越好, 本研究也发现了相似的结论, 也有研究得出这一结论, 陶雅等^[47]通过相关试验发现青贮玉米和籽粒苋混合青贮时, 青贮玉米占比超过 60%, 青贮品质优良。李文麒等^[48]将青贮玉米、籽粒苋和稻草进行混合青贮, 结果表明在稻草量保持不变的情况下, 青贮玉米占比越高, 青贮发酵品质越好。究其原因, 可能是因为籽粒苋具有 86.11%~92% 的高含水量^[49], 青贮玉米大比例的添加能调节混贮饲料中的含水量和含糖量, 以达到较好的青贮效果。国内外的混合青贮主要集中于豆科植物与禾本科植物以及禾本科植物之间, 对于禾本科和苋科植物青贮报道较少, 青贮玉米和籽粒苋在云南的混合青贮更是未见报道。目前国内外针对作物的混合青贮主要是针对具体的重量比, 但本研究结合实际的种植模式, 在重量比的基础上, 考虑适合机械作业的间作行数来进行现收现贮, 积极响应《“十四五”全国饲草产业发展规划》中“有条件的地方探索饲草混播混收混贮模式”的相关要求^[50], 对于实际的生产实践具有一定的参考意义以及创新性。

4 结论

青贮玉米和籽粒苋不同间作方式对青贮玉米和籽粒苋的农艺性状、饲草产量以及混贮品质具有不同程度的影响。在农艺性状方面, 主要是对青贮玉米的株高和籽粒苋的茎粗产生影响。在饲草产量方面, 玉米与籽粒苋 3:2、4:2 间作处理表现较好, 鲜草产量分别为 113.68 和 118.46 t·hm⁻², 与玉米单作处理相比分别提高 6.84% 和 11.33%, 干草产量分别为 22.59 和 22.24 t·hm⁻²。在青贮品质方面, 将青贮玉米和籽粒苋间作混收混贮, 3:2 处理的粗蛋白含量较高, 达 12.1%, 且该处理下乳酸含量显著提高, 氨态氮含量显著降低, 青贮品质明显改善。综上所述, 在滇中地区开展青贮玉米与籽粒苋间作可有效提高单位面积的土地产出, 青贮玉米和籽粒苋以 3:2 的间作方式种植, 可获得较高的单位饲草产量和较优的青贮品质。

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, 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, 董臣飞, 程明君, 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(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(3): 49-55.
- [3] 刘贺贺, 祁晓慧, 乔光华, 蔡祺. 北方农牧交错带县域农牧业产业发展规划实证研究: 以内蒙古化德县为例. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(5): 113-121.
LIU H, QI X H, QIAO G H, CAI Q. Empirical research on the development planning of agriculture and animal husbandry industry in northern farming-pastoral ecotone counties: Taking Huade County, Inner Mongolia as an example. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(5): 113-121.
- [4] 翁伯琦, 王义祥. 福建山区草地农业生产模式与发展对策. *草业科学*, 2009, 26(9): 183-189.
WEN B Q, WANG Y X. The production models and countermeasures of grassland agriculture of in hilly area of Fujian. *Pratacultural Science*, 2009, 26(9): 183-189.
- [5] 吴凯, 刘继坤, 王晓萌, 王钢, 张超, 闫慧峰. 不同粉碎程度对绿肥籽粒苋腐解过程中氮、钾释放与转化的影响. *土壤通报*, 2019, 50(1): 124-130.
WU K, LIU J K, WANG X M, WANG G, ZHANG C, YAN H F. Release and transformation of nitrogen and potassium during the decomposition of *amaranthus hypochondriacus* with different grinding degrees. *Chinese Journal of Soil Science*, 2019, 50(1): 124-130.
- [6] 上官新晨, 陈锦屏, 汤凯洁, 徐明生. 籽粒苋蛋白质功能特性的研究 (I): 籽粒苋蛋白质乳化性、持水力的研究. *中国粮油学报*, 2003(1): 55-57, 60.
SHANGGUAN X C, CHEN J P, TANG K J, XU M S. A Study on functional properties of amaranth seed protein (I): A study on emulsifying and water-holding capacity of amaranth seed protein. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2003(1): 55-57, 60.
- [7] 蔡红燕, 聂婷婷, 党长英, 孙云杰, 王展, 沈汪洋. 籽粒苋—小麦面包预混合粉特性. *食品工业*, 2019, 40(11): 122-125.
CAI H Y, NIE T T, DANG Z Y, SUN Y J, WANG Z, SHEN W Y. Characteristics of grain amaranth—wheat bread premixed powder. *Food Industry*, 2019, 40(11): 122-125.
- [8] 孙国庆, 马健, 都文, 王雅晶, 曹志军, 李胜利, 余雄, 王宇, 雷小英, 马亚宾. 饲粮中添加籽粒苋对泌乳奶牛瘤胃发酵、血液指标和生产性能的影响. *动物营养学报*, 2017, 29(5): 1652-1660.
SUN G Q, MA J, DU W, WANG Y J, CAO Z J, LI S L, YU X, WANG Y, LEI X Y, MA Y B. Effects of dietary supplementation of *Amaranthus hypochondriacus* L. on ruminal fermentation, blood indicators and performance of dairy cows. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(5): 1652-1660.
- [9] 王艳青, 卢文洁, 李春花, 尹桂芳, 孙道旺, 洪波, 王莉花. 云南籽粒苋种质资源的表型多样性分析. *中国农学通报*, 2020, 36(18): 44-54.
WANG Y Q, LU W J, LI C H, YIN G F, SUN D W, HONG B, WANG L H. *Amaranthus* spp. germplasm resources in Yunnan: Phenotypic diversity analysis. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(18): 44-54.
- [10] 邓红雨, 康梦琛, 李信颖, 王笑笑, 段海涛, 聂芙蓉, 郑立. 籽粒苋青贮替代部分全株玉米青贮和精料对低产奶牛产奶量和乳成分的影响. *饲料研究*, 2020, 43(8): 9-13.
DENG H Y, KANG M C, LI X J, WANG X X, DUAN H T, NIE F R, ZHENG L. Effect of partly replacing corn silage and concentrate with *Amaranthus hypochondriacus* L. silage on milk yield and composition of low-yield dairy cows. *Feed Research*, 2020, 43(8): 9-13.
- [11] 邱昊日, 范雪, 马健, 赵尚尚, 森巴提·黑力木别克, 张德隆. 籽粒苋在动物饲料中应用的研究进展. *饲料工业*, 2019, 40(3): 26-30.
QIU H R, FAN X, MA J, ZHAO S S, Senbati-Heilimubieke, ZHANG D L. Research progress of application of *Amaranthus hypochondriacus* in animal feed. *Feed Industry*, 2019, 40(3): 26-30.
- [12] 何金环, 王清龙, 王延方, 席磊. 籽粒苋不同生育期营养特点和氨基酸饲用价值分析. *中国饲料*, 2015(12): 11-13.
HE J H, WANG Q L, WANG Y F, XI L. Nutritional characteristics and amino acid feeding value of grain amaranth at different growth stages. *Chinese Feed*, 2015(12): 11-13.

- [13] 柴华, 孙静, 曹立军, 张梅娟, 沙伟. 正交设计优化青贮玉米自交系 ISSR-PCR 反应体系. 种子, 2015, 34(9): 102-105.
CHAI H, SUN J, CAO L J, ZHANG M J, SHA W. Study on optimization for ISSR-PCR reaction system of silage maize inbred line. Seed, 2015, 34(9): 102-105.
- [14] 赵家君, 邹勇, 陈德森. 玉米与籽粒苋套作及单作对比试验. 贵州畜牧兽医, 2000(4): 1-2.
ZHAO J J, ZOU Y, CHEN D S. Comparative experiment of maize and amaranth intercropping and monocropping. Guizhou Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2000(4): 1-2.
- [15] 苏维洲, 陈明刚, 王绍文. 玉米籽粒苋双高栽培. 辽宁畜牧兽医, 2004(8): 24.
SU W Z, CHEN M G, WANG S W. Double height cultivation of maize grain amaranth. Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2004(8): 24.
- [16] 晏希良. 试论玉米间种籽粒苋种植技术. 农村实用科技信息, 2014(4): 8.
YAN X L. Discussion on planting technique of maize intercropping amaranth. Modern Agriculture Research, 2014(4): 8.
- [17] 郭江, 孙颖琦, 瓮巧云, 刘颖慧, 袁进成. 青贮玉米和青贮谷子营养物质比较分析. 饲料研究, 2022(19): 97-103.
GUO J, SUN Y Q, WENG Q Y, LIU Y H, YUAN J C. Comparative analysis of nutrients in silage corn and silage millet. Feed Research, 2022(19): 97-103.
- [18] 汪志强, 上官新晨, 蒋艳, 吴少福. 碱溶酸沉法提取籽粒苋蛋白质的工艺优化. 食品工业, 2012, 33(4): 23-26.
WANG Z Q, SHANGGUAN X C, JIANG Y, WU S F. Optimization of the alkali solution and acid precipitation method to extract protein from amaranthus seeds. Food Industry, 2012, 33(4): 23-26.
- [19] 王世琴, 张乃锋, 屠焰, 姜成钢, 刁其玉. 我国南方地区草食畜禽养殖现状及饲料对策. 中国畜牧杂志, 2017, 53(2): 151-156.
WANG S Q, ZHANG N F, TU Y, JIANG C G, DIAO Q Y. Feeding situation and feed countermeasures of herbivorous livestock production in southern China. Chinese Journal of Animal Science, 2017, 53(2): 151-156.
- [20] 毕玉芬, 马向丽. 云南高原特色草地农业的发展潜力分析. 云南农业大学学报 (社会科学版), 2013, 7(3): 11-15.
BI Y F, MA X L. Development potential analysis of Yunnan plateau characteristics of grassland agriculture. Journal of Yunnan Agricultural University (Social Science), 2013, 7(3): 11-15.
- [21] 杨翠红, 林康, 高翔, 陈锡康, 汪寿阳. “十四五”时期我国粮食生产的发展态势及风险分析. 中国科学院院刊, 2022, 37(8): 1088-1098.
YANG C H, LIN K, GAO X, CHEN X K, WANG S Y. Analysis on development and risks of China's food production during 14th five-year plan period. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(8): 1088-1098.
- [22] 李冬丽, 贺海波. 西南喀斯特地区水体硝态氮时空分布特征及其来源解析. 地球化学, 2022, 51(1): 34-45.
LI D L, HE H B. Spatial-temporal distribution and sources of nitrate-nitrogen in Karst water, Southwest China. Acta Geochimica, 2022, 51(1): 34-45.
- [23] 孙擎, 赵艳霞, 程晋昕, 曾厅余, 张玮. 基于多种算法的果树果实生长模型研究: 以云南昭通苹果为例. 中国农业科学, 2021, 54(17): 3737-3751.
SUN Q, ZHAO Y X, CHENG J X, ZENG T Y, ZHANG Y. Fruit growth modelling based on multi-methods: A case study of apple in Zhaotong, Yunnan. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 54(17): 3737-3751.
- [24] 孙佳美, 刘智全, 钟瑾, 王天威, 王相权, 孙昌荣, 高树琴, 潘庆民. 云贵高原生态草牧业立体发展模式探索: 以云南省永善县为例. 草业科学, 2022, 39(2): 381-390.
SUN J M, LIU Z Q, ZHONG J, WANG T W, WANG X Q, SUN C R, GAO S Q, PAN Q M. Exploration of the stereo development mode of ecological grass-based livestock husbandry in Yunnan-Guizhou Plateau: An example from the Yongshan County, Yunnan Province. Pratacultural Science, 2022, 39(2): 381-390.
- [25] 陈爱国, 李兆波, 崔晓光, 吴禹. 一年生野生大豆与青贮玉米混作对饲草产量及品质的影响. 中国饲料, 2022(16): 83-86.
CHEN A G, LI Z B, CUI X G, WU Y. The influence of the mixed intercropping of annual wild soybean (*Glycine soja*) and silage maize on the yield and quality of forage grass. China Feed, 2022(16): 83-86.
- [26] 赵秋, 张新建, 宁晓光. 华北冬绿肥作物养分累积特征及对翻压前土壤养分的影响. 中国土壤与肥料, 2022(5): 61-67.
ZHAO Q, ZHANG X J, NING X G. Study on green manure crops nutrient accumulation and effect on soil nutrients before returning in north China. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022(5): 61-67.

- [27] 杨积鹏, 刘建福. 假谷物的营养及加工应用研究进展. 食品与发酵工业, 2022, 48(10): 284-289, 298.
YANG J P, LIU J F. Research progress of pseudo cereal nutrition and processing application. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(10): 284-289, 298.
- [28] 张丽英. 饲料分析与饲料质量检测技术 (第二版). 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 45-75.
ZHANG L Y. Feed Analysis and Feed Quality Testing Technology (Second Edition). Beijing: China Agricultural University Press, 2007: 45-75.
- [29] 董志晓, 何润濠, 况鉴洋, 聂聪, 杨建, 苟文龙. 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. 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.
- [30] 郭楠, 迟光宇, 史奕, 陈欣. 玉米与籽粒苋不同种植模式下植物生长及 Cd 累积特征. 应用生态学报, 2019, 30(9): 3164-3174.
GUO N, CHI G Y, SHI Y, CHEN X. Plant growth and Cd accumulation characteristics in different planting modes of maize and *Amaranthus hypochondriacus*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(9): 3164-3174.
- [31] 李含婷, 柴强, 胡发龙, 王国瑾, 王琦明, 樊志龙, 殷文, 范虹. 间作绿肥弥补减施氮肥引起的玉米产量损失. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(7): 1329-1340.
LI H T, CHAI Q, HU F L, WANG G C, WANG Q M, FAN Z L, YIN W, FAN H. Intercropping green manure with maize reduces nitrogen fertilizer input and stabilizes grain yield. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2022, 28(7): 1329-1340.
- [32] 周飞, 曾露苹, 杨旭, 黎天寿. 水稻和不同品种苋菜间作对水稻产量、根区速效养分及砷累积的影响. 华南农业大学学报, 2019, 40(6): 38-44.
ZHOU F, ZENG L P, YANG X, LI T S. Effects of rice-amaranth intercropping on rice yield, rhizosphere soil available nutrient and As accumulation. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(6): 38-44.
- [33] 吴凯, 陈国军, 闫慧峰, 张永春, 温亮, 张超, 孙延国, 刘海伟, 石屹. 籽粒苋与烟草间作后还田对烟草钾吸收和土壤钾有效性的影响. 草业学报, 2017, 26(6): 45-55.
WU K, CHEN G J, YAN H F, ZHANG Y C, WEN L, ZHANG C, SUN Y G, LIU H W, SHI Y. Returning effects on tobacco potassium uptake and soil potassium availability in grain amaranth-tobacco intercropping system. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(6): 45-55.
- [34] 赵颖, 刘利军, 党晋华, 张丽, 向云, 史晓凯. 不同植物与玉米间作对玉米吸收多环芳烃和重金属的影响. 环境工程, 2014, 32(7): 138-141.
ZHAO Y, LIU L J, DANG J H, ZHANG L, XIANG Y, SHI X K. Effects of intercropping different crops with maize on its uptake of the PAHs and heavy metal. Environmental Engineering, 2014, 32(7): 138-141.
- [35] 刘静, 张祎, 康凌云, 杜连凤, 赵会薇, 闵欣月, 邹国元, 李顺江. 间作修复对玉米镉含量影响的整合分析. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(9): 1626-1640.
LIU J, ZHANG Y, KANG L Y, DU L F, ZHAO H W, MIN X Y, ZOU G Y, LI S J. Effects of intercropping remediation on Cd concentration in maize and its influencing factors with meta-analysis. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2022, 28(9): 1626-1640.
- [36] 郜玉田, 韩臣. 玉米与籽粒苋间种轮作值得推广. 北方牧业, 2004(11): 25.
GAO Y T, HAN C. The intercropping rotation of maize and grain amaranth is worth popularizing. Northern Animal Husbandry, 2004(11): 25.
- [37] 王鸿泽, 彭全辉, 康坤, 邹华围, 王之盛. 不同混合比例对甘薯蔓、酒糟及稻草混合青贮品质的影响. 动物营养学报, 2014, 26(12): 3868-3876.
WANG H Z, PENG Q H, KANG K, ZOU H W, WANG Z S. Effects of mixing ratio on quality of sweet potato vines, distilled grains and rice straw mixed silage. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(12): 3868-3876.
- [38] 梁小玉, 季杨, 易军, 付茂忠, 胡远彬. 混合比例和添加剂对菊苣与青贮玉米混合青贮品质的影响. 草业学报, 2018, 27(2): 173-181.
LIANG X Y, JI Y, YI J, FU M Z, HU Y B. Effects of mixing ratio and additives on ensilage efficiency of mixed chicory and silage

- maize. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27(2): 173-181.
- [39] 万江春, 王玉祥, 张博, 李昌华, 刘莉. 添加剂对不同比例豆禾混贮饲料品质的影响. *草地学报*, 2017, 25(3): 666-669.
WAN J C, WANG Y X, ZHANG B, LI C H, LIU L. Effects of additives on the silage quality of different proportions of legume-grass mixtures. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 25(3): 666-669.
- [40] 李新媛, 俞联平, 高占琪, 陈兴荣, 张林, 孙京魁, 朱强, 王国生, 任越. 豆科牧草与禾本科牧草混合青贮饲喂肉羊试验研究. *中国草食动物科学*, 2015, 35(3): 33-36.
LI X Y, YU L P, GAO Z Q, CHEN X L, ZHANG L, SUN J K, ZHU Q, WANG G S, REN Y. Study on performance of mutton sheep with silages from different proportions of legume and grass. *China Herbivore Science*, 2015, 35(3): 33-36.
- [41] 陈明霞, 刘秦华, 张建国. 耐低温乳酸菌的筛选鉴定及其对黑麦草青贮的影响. *草地学报*, 2016, 24(2): 409-415.
CHEN M X, LIU Q H, ZHANG J G. Identification of lactic acid bacteria isolates and their inoculating effects on the silage fermentation of Italian ryegrass at low temperature. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 24(2): 409-415.
- [42] 李海萍, 关皓, 贾志锋, 刘文辉, 陈仕勇, 徐美玲, 陈生翠, 严东海, 蒋永梅, 甘丽, 张珈敏, 周青平. 添加麦麸和乳酸菌对川西北高寒地区燕麦裹包青贮品质和有氧稳定性的影响. *草地学报*, 2023, 31(1): 1-10.
LI H P, GUAN H, JIA Z F, LIU W H, CHEN S Y, XU M L, CHEN S C, YAN D H, JIANG Y M, GAN L, ZHANG J M, ZHOU Q P. Effects of wheat bran and lactic acid bacteria on baled oats silage quality and aerobic stability in the alpine region of northwest Sichuan. *Acta Prataculturae Sinica*, 2023, 31(1): 1-10.
- [43] 任海伟, 孙文丽, 裴佳雯, 王昱, 张东, 李志忠, 李金平. 不同温度下干玉米秸秆与废弃白菜混贮品质差异及微生物多样性. *应用基础与工程科学学报*, 2020, 28(4): 788-804.
REN H W, SUN W L, PEI J W, WANG Y, ZHANG D, LI Z Z, LI J P. Differences of storage quality and microbial diversity for the mixed silages between dry maize stalks and cabbage waste at different temperatures. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2020, 28(4): 788-804.
- [44] 邓蓉, 袁仕改, 孙小富, 郝俊, 向清华. 金荞麦和玉米混合青贮对其营养成分和发酵品质的影响. *草地学报*, 2017, 25(4): 880-884.
DENG R, YUAN S G, SUN X F, HAO J, XIANG Q H. Chemical composition and fermentation parameters of ensiling mixed *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara. with *Zea mays* L. *Acta Agrestia Sinica*, 2017, 25(4): 880-884.
- [45] 柳茜, 程晓, 孙启忠, 刘晓波, 何春. 玉米与高粱混合青贮的研究. *中国奶牛*, 2016(5): 1-4.
LIU X, CHENG X, SUN Q Z, LIU X B, HE C. Study on the mixed silage of corn and sorghum. *China Dairy Cattle*, 2016(5): 1-4.
- [46] 黄晓辉, 李树成, 李东华, 王彦荣. 苦豆子和玉米秸秆的混合青贮. *草业科学*, 2013, 30(10): 1633-1639.
HUANG X H, LI S C, LI D H, WANG Y R. Fermentation quality and content of poisonous substances in *Sophora alopecuroides* and corn straw mixed silage. *Pratacultural Science*, 2013, 30(10): 1633-1639.
- [47] 陶雅, 李峰, 高凤芹, 孙春城, 孙启忠. 籽粒苋与青贮玉米混贮品质及微生物特性研究. *草业学报*, 2016, 25(12): 119-129.
TAO Y, LI F, GAO F Q, SUN C C, SUN Q Z. Fermentation quality and microbial characteristics of *Amaranthus hypochondriacus*—corn mixed silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(12): 119-129.
- [48] 李文麒, 吴哲, 康长清, 玉柱. 添加剂和混合比例对籽粒苋、全株玉米与稻秸混合青贮品质的影响. *中国饲料*, 2021(7): 122-126.
LI W Q, WU Z, KANG C Q, Yuzhu. Effects of additives and mixing ratios on the quality of grain amaranth, whole-plant corn and rice straw mixed silage. *China Feed*, 2021(7): 122-126.
- [49] 李顺, 穆麟, 曾宁波, 陈东, 张志飞, 叶志刚. 添加剂对籽粒苋与豆粕混合青贮品质的影响. *草业学报*, 2019, 28(12): 205-210.
LI S, MU L, ZENG N B, CHEN D, ZHANG Z F, YE Z G. Effects of additives on the quality of mixed silage of amaranth and soybean meal. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(12): 205-210.
- [50] 杨惠. 加快建立现代饲草产业体系 推动饲草产业高质量发展. *农民日报*, 2022-03-02 (002).
YANG H. Accelerate the establishment of modern forage industry system and promote the high-quality development of forage industry. *Farmers Daily*, 2022-03-02 (002).

(责任编辑 魏晓燕)