

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0475

史志强, 裴亚斌, 徐强, 刘汉成, 田新会, 杜文华. 甘南高寒牧区甘农 2 号小黑麦与箭筈豌豆的混播效果. 草业科学, 2021, 38(9): 1771-1781.

SHI Z Q, PEI Y B, XU Q, LIU H C, TIAN X H, DU W H. Studies on the mixed effect of triticale variety Gannong No. 2 and vetch in alpine pastures of Gannan. Pratacultural Science, 2021, 38(9): 1771-1781.

甘南高寒牧区甘农 2 号小黑麦与 箭筈豌豆的混播效果

史志强, 裴亚斌, 徐强, 刘汉成, 田新会, 杜文华

(甘肃农业大学草业学院 / 草业生态系统教育部重点实验室 / 甘肃省草业工程实验室 /
中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 通过研究甘农 2 号小黑麦 (*Triticosecale* Wittmack ‘Gannong No. 2’) 与 3 种箭筈豌豆 (*Vicia sativa*) 的最佳混播组分和混播比例, 采取裂区设计, 主区为混播组分, 副区为混播比例。试验测定了 3 个箭筈豌豆 (*Vicia sativa*) 品种绿箭 1 号 (‘Lvjian No.1’)、绿箭 2 号 (‘Lvjian No.2’)、绿箭 431 (‘Lvjian 431’) 与甘农 2 号小黑麦在不同混播比例 (0 : 100、20 : 80、30 : 70、40 : 60、50 : 50、60 : 40、70 : 30、80 : 20、100 : 0) 下的生产性能和营养价值。结果表明, 混播组分间, 绿箭 431 和甘农 2 号小黑麦混播时的干草产量较高, 营养价值较好, 综合评价价值最高 (0.941 6); 混播比例间, 50 : 50 混播处理混播效果最佳。交互作用表明, 绿箭 431 和甘农 2 号小黑麦以 50 : 50 的比例混播时干草产量最高 (11.15 t·hm⁻²), 粗蛋白含量为 13.25%, 营养适中, 综合评价价值最高 (0.832 1), 混播效果最好。本研究为甘南高寒牧区禾-豆混播草的科学建植和管理, 抗灾保畜、提升草地生产力和生态保障能力提供理论依据。

关键词: 甘南高寒牧区; 箭筈豌豆; 小黑麦; 混播比例; 生产性能; 营养价值; 灰色关联分析

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2021)09-1771-11

Studies on the mixed effect of triticale variety Gannong No. 2 and vetch in alpine pastures of Gannan

SHI Zhiqiang, PEI Yabin, XU Qiang, LIU Hancheng, TIAN Xinhui, DU Wenhua

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University / Key Laboratory of Grassland Ecosystem of Education Ministry /
Sino-U.S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: The aim of the current study was to determine the best sowing mixture and sowing ratios of triticale (*Triticosecale* Wittmack ‘Gannong No. 2’) with common vetch (*Vicia sativa*). The production performance and nutritional value of three vetch varieties (i.e., Lvjian 1, Lvjian 2, and Lvjian 431) and the triticale variety Gannong No. 2 were tested in different mixed sowing ratios (0 : 100, 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20, and 100 : 0). A spilt-plot design was used in the experiment, where sowing mixtures were assigned to main plots, and sowing ratios were assigned to subplots. The results showed that the sowing mixture of Lvjian 431 and Gannong No. 2 triticale scored the highest performance for hay yield, nutritional value, and the comprehensive evaluation value (0.941 6); the sowing ratio of 50 : 50 had the best mixed broadcast effect among the mixed sowing ratios. The interaction showed that the mixed sowing treatment

收稿日期: 2020-09-10 接受日期: 2020-12-27

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0502402-3); 西藏饲草产业专项 (XZ201801NA02); 国家自然科学基金 (31760702); 甘肃省草地畜牧业可持续发展创新团队项目 (2017C-11)

第一作者: 史志强 (1994-), 男, 甘肃临洮人, 在读硕士生, 研究方向为草种质资源及育种栽培。E-mail: 958628675@qq.com

通信作者: 杜文华 (1968-), 女, 甘肃临洮人, 教授, 博导, 博士, 研究方向为草种质资源及育种栽培。E-mail: duwh@gsau.edu.cn

of Lvjian 431 and Gannong No. 2 triticale at a ratio of 50 : 50 scored the highest hay yield ($11.15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), the highest comprehensive evaluation value (0.832 1), high crude protein (CP) content (13.25%), and the highest mixed broadcast effect. These results will assist the scientific establishment and management of grass-legume mixed grasslands in Gannan alpine pasture areas.

Keywords: alpine pasture of Gannan; vetch; triticale; mixed sowing ratio; production performance; nutrition value; grey correlation analysis

Corresponding author: DU Wenhua E-mail: duwh@gsau.edu.cn

甘南高寒牧区地处青藏高原东北部,是甘肃省重要的畜牧业生产基地,也是全国主要草原牧区之一^[1]。该区海拔高,年积温低,牧草生长季节短,草地初级生产力水平低下,枯草季难以满足放牧家畜对饲草需求,草畜矛盾突出,严重制约着该区草地畜牧业的发展^[2-3]。加上气候变化和过度放牧,该区的天然草地已出现严重退化现象^[4-5]。栽培草地在解决高寒地区草畜季节性供求矛盾、保护生态环境等方面发挥着重要作用。但适宜甘南高寒牧区栽培的优良牧草品种极少,大多为燕麦(*Avena sativa*),当地燕麦常年连作,养分内循环失调,导致土壤肥力逐渐降低^[6]。因此,寻找一种新的生产模式改善这一现状显得尤为重要。禾-豆混播可充分利用土地空间和资源,提高饲草产量和品质^[5],减少土壤侵蚀、降低病虫害^[7],减少化肥农药的使用。

小黑麦(\times *Triticosecale* Wittmack)是由小麦属(*Triticum*)和黑麦属(*Secale*)植物经有性杂交和杂种染色体数加倍形成的新物种^[8]。甘农2号小黑麦为国审品种,具有高产优质、抗锈病、抗寒抗旱等优势。箭筈豌豆(*Vicia sativa*)为豆科巢菜属一年生草本,具有营养价值高、适应性广等优良特性。其茎叶柔软,当株高达到50 cm以上时,极易倒伏,不利于收割^[9]。甘农2号小黑麦与箭筈豌豆混播时小黑麦起支撑作用,而箭筈豌豆能弥补小黑麦蛋白含量低的缺点,二者建植的混播草地高产优质。小黑麦相比燕麦而言,在高寒牧区种植时其株高和草产量高于燕麦,且其营养品质优于黑麦^[10],可作为抗灾保畜首选饲草料品种^[11]。针对禾-豆混播草地,重点研究其固氮机理^[12]、种间关系^[13]、混播比例^[14]、生产性能和营养品质^[15]等方面。谢开云等^[16]研究了豆-禾混播草地种间关系,分析深根系豆科牧草与浅根系禾草的共存机制,提出可通过建植技术提高草地生产力。在川西平原一年生牧草禾-豆混播群落生产力特征的研究中得出50%多花黑麦草+50%箭筈

豌豆可有效提高禾-豆混播草地的生产力水平^[17]。在江淮地区对燕麦和豆科牧草混播的生产性能进行研究,结果表明燕麦+箭筈豌豆(67:33)和燕麦+箭筈豌豆(50:50)混播草地的综合生产性能表现最好^[18]。禾-豆混播草地中豆科植物的比例是进行栽培草地建植需解决的一个重要问题,影响着混播草地的结构和功能^[19]。目前,青藏高寒牧区禾-豆混播主要集中在燕麦、黑麦和箭筈豌豆、毛苕子(*Vicia villosa*)的混播上。但关于甘农2号小黑麦与箭筈豌豆混播草地的混播效果(生产性能和营养价值)的研究鲜见报道。因此,拟通过对其混播效果的研究,以提高草产量和营养价值为目的,选出最佳混播组分及混播比例,为甘南高寒牧区禾-豆混播草地的建植与管理提供参考,为抗灾保畜提升草地生产力和生态保障能力提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省甘南藏族自治州合作市兰州大学干旱与草地教育部重点实验室高寒草甸生态系统定位站($34^{\circ}57'14'' \text{ N}$, $102^{\circ}53'54'' \text{ E}$),属高寒阴湿气候类型,海拔2954 m,年均温 3.2°C ,无霜期113 d,年有效积温 $1231.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,年均降水量550~680 mm,土壤类型为亚高山草甸土。试验地无灌溉条件。

1.2 试验材料

甘农2号小黑麦(以下简称小黑麦)和箭筈豌豆的3个品种绿箭1号、绿箭2号、绿箭431种子均由甘肃农业大学草业学院提供。

1.3 试验设计

裂区设计。主区为混播组分,设3个水平,分别为 A_1 :绿箭1号与甘农2号小黑麦混播; A_2 :绿箭2号与甘农2号小黑麦混播, A_3 :绿箭431与甘农

2号小黑麦混播;副区为箭筈豌豆和甘农2号小黑麦的混播比例,设9个水平,分别为箭筈豌豆:甘农2号小黑麦比为0:100(B₁)、20:80(B₂)、30:70(B₃)、40:60(B₄)、50:50(B₅)、60:40(B₆)、70:30(B₇)、80:20(B₈)、100:0(B₉)。各处理箭筈豌豆的播种密度B₁、B₂、B₃、B₄、B₅、B₆、B₇、B₈和B₉分别为0、70万、105万、140万、175万、210万、245万、280万和218万株·hm⁻²;各处理小黑麦的播种密度B₁、B₂、B₃、B₄、B₅、B₆、B₇、B₈和B₉分别为750万、960万、840万、720万、600万、480万、360万、240万和0株·hm⁻²。小区面积8.4m²(4m×2.1m),各小区种7行,条播,行距30cm。重复3次,共81个小区。基肥施磷酸二铵250kg·hm⁻²,分别在分蘖期和拔节期追施尿素157kg·hm⁻²(尿素:N≥46.4%)。播期为2018年5月6日。

1.4 测定指标及方法

株高:刈割前进行。每小区随机选取10株箭筈豌豆和小黑麦,分别测量从地面至最高点的自然高度,并将10株的平均值分别作为该小区小黑麦和箭筈豌豆的株高。

枝条数:刈割前进行。每个小区内随机选取1m样段(边行除外),数取样段内株高高于20cm的小黑麦和箭筈豌豆的枝条数量。

草产量:于小黑麦开花期^[20](2018年8月27日)刈割各小区内所有植株的地上部分,留茬高度约5cm,称重后得到鲜草产量。同时分别取样500g,自然风干至恒重,计算鲜干比,并根据鲜干比计算出干草产量。再取500g草样用于测定营养价值。

营养价值:粗蛋白(CP)含量用凯氏定氮法测定,酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)含量用范式纤维法测定^[21]。

1.5 数据处理

采用Excel 2010和SPSS 22.0软件对所测数据(小黑麦株高、箭筈豌豆株高、枝条数、干草产量、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和粗蛋白)进行统计分析和作图,表中数据用平均值±标准误表示,并用Duncan法对上述存在显著差异的指标进行多重比较。

综合评价采用灰色关联度法,选取所有混播方式各项指标的最优值为参考列,记为{X₀(k)}(k=1,2,3,⋯, n),各项指标作为评价指标为比较数列,即参评指标观测值集合,记为{X_i(k)}(i=1,2,3,⋯, m; k=1,2,3,⋯, n)。选择干草产量、粗蛋白含量、中性洗

涤纤维、酸性洗涤纤维4项指标进行权重比较,以此为基础构建综合评价模型,做灰色关联度分析,进行综合评价。参试混播方式以X表示,性状以k表示,各混播方式X在性状k处的值构成比较数列X_i,X₀为构建的理想参考混播方式。

采用初值法^[22]对原始数据进行无量纲化处理,即所有指标数值除以相应的X₀,再根据标准化处理的结果求出X₀与对应X_i的绝对差值,然后计算出参试混播方式与性状之间的关联系数[ξ_i(k)]。

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}$$

式中:|X₀(k)-X_i(k)|为k点的绝对值, min_i min_k |X₀(k)-X_i(k)|为两极度差最小值, max_i max_k |X₀(k)-X_i(k)|为两极度差最大值, ρ为分辨系数(取值为0.5),再由以下公式计算出所有参试混播方式与“理想混播方式”之间的关联度(r_i)。W_k表示第k个指标的权重值。

$$r_i = \sum_{k=1}^n W_k \xi_i(k)$$

2 结果与分析

方差分析表明,混播组分间除粗蛋白含量差异不显著外,其余各指标间均存在显著(P<0.05)或极显著(P<0.01)差异(表1);混播比例间、混播组分×混播比例交互作用间均存在极显著(P<0.01)差异。

2.1 混播组分间生产性能和营养价值的差异

2.1.1 混播组分间生产性能的差异

对于小黑麦的株高而言(表2),3个混播组分中,A₃的小黑麦株高显著高于A₁和A₂,A₁与A₂间无显著差异(P>0.05),A₁的小黑麦株高最低;对于箭筈豌豆的株高而言,A₃处理的箭筈豌豆株高最高,显著高于A₁和A₂(P<0.05),A₁处理的箭筈豌豆株高最低。对于枝条数而言,不同混播组分的枝条数A₁>A₃>A₂。A₁与A₂处理间差异显著,但A₁和A₂与A₃处理间均无显著差异。对于混播组分的干草产量而言,A₃处理的干草产量(8.18t·hm⁻²)显著高于A₁和A₂,A₁与A₂处理间无显著差异。

2.1.2 混播组分间营养价值的差异

3个混播组分中,A₁、A₂和A₃处理间的CP含量均无显著差异(P>0.05)(表2);A₂处理的NDF含量显著低于A₁和A₃处理(P<0.05),A₁与A₃处理

表1 混播组分、混播比例及其交互作用的方差分析 (F 值)
Table 1 Analysis of variance on the mixed component, mixed sowing ratios, and the interaction between the mixed component and sowing ratios

变异来源 Variation source	小黑麦株高 Plant height of triticale	箭筈豌豆株高 Plant height of vetch	枝条数 Number of vetch branches	干草产量 Hay yield	粗蛋白 Crude protein	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber
混播组分 Mixed component	8.59**	14.15**	6.95**	8.78**	0.02	11.39**	3.24*
混播比例 Mixed sowing ratios	27.80**	40.35**	37.44**	23.99**	59.07**	152.76**	70.61**
混播组分 × 混播比例 Mixed component × Mixed sowing ratios	9.58**	14.12**	14.39**	9.22**	18.68**	48.97**	22.25**

*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$.

表2 混播组分间生产性能和营养价值的差异
Table 2 Difference on the production performance among the mixed components

混播组分 Mixed component	小黑麦株高 Average height of triticale/cm	箭筈豌豆株高 Average height of vetch/cm	每公顷枝条数 Average number of branches per hm^2 ($\times 10^4$)	干草产量 Average hay yield/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	粗蛋白 Crude protein/ %	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber/%	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber/%
A ₁	80.93 ± 6.63b	69.37 ± 5.87b	455.41 ± 30.01a	6.74 ± 0.33b	14.03 ± 0.42a	47.24 ± 1.22b	36.23 ± 0.54b
A ₂	87.41 ± 7.47b	70.96 ± 5.89b	387.30 ± 31.91b	6.92 ± 0.47b	14.06 ± 0.49a	45.71 ± 1.13a	35.48 ± 0.61a
A ₃	102.52 ± 7.58a	88.59 ± 7.24a	422.52 ± 27.21ab	8.18 ± 0.47a	14.00 ± 0.50a	47.65 ± 1.22b	35.95 ± 0.57ab

A₁、A₂和A₃分别表示绿箭1号、绿箭2号和绿箭431分别与甘农2号小黑麦混播; 同列间不同小写字母表示不同混播组分间差异显著 ($P < 0.05$); 下表同。

A₁, A₂, and A₃ indicate Lvjian 1, Lvjian 2, and Lvjian 431 mixed with Gannong 2 triticale; different lowercase letters within the same column indicate significant differences between different mixed components at the 0.05 level; this is applicable for the following tables as well.

间无显著差异; A₂的 ADF 含量与 A₃ 处理无显著差异, 但与 A₁ 处理差异显著。

2.2 混播比例间生产性能和营养价值的差异

2.2.1 混播比例间生产性能的差异

对于小黑麦和豌豆的株高而言, 不同混播比例的小黑麦的株高与单播小黑麦 (B₁) 间无显著差异 ($P > 0.05$) (图 1), 箭筈豌豆的株高均显著高于单播 (B₉) ($P < 0.05$); 随着箭筈豌豆比例的增加, 小黑麦的平株高呈现波浪形变化, B₅ 处理小黑麦的株高最高 (111.44 cm), 显著高于 B₆ (88.44 cm), 其余处理间差异均不显著; 箭筈豌豆株高的变化与小黑麦相似, B₅ 处理的株高最高 (97.56 cm), 显著高于 B₂ (77.89 cm), 其余处理无显著差异。对于枝条数而言, 不同混播比例间的枝条数均显著高于箭筈豌豆单播处理 (B₉), 但均显著低于小黑麦单播处理 (B₁)。其中, B₂ 除与 B₅ 无显著差异外, B₂ 显著高于其他处理, B₄ 显著高于 B₆ 和 B₈ 处理, B₈ 显著低于其他各混播处理, 其余混播处理间的枝条数差异均不显著。对于干草产量而言, 不同混播比例的干草产量均显著高于箭筈豌豆单播 (B₉)。B₃、B₄、B₅ 和 B₇ 处理的干草产量显著高于小黑麦单播 (B₁)。随着箭筈豌豆比

例的增加, 混播处理的干草产量呈现波浪形变化趋势, 其中 B₅ 处理的平均干草产量最高, 为 $10.09 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 显著高于其他处理; B₇、B₄ 和 B₃ 处理显著高于 B₂、B₆ 和 B₈ 处理, 其余处理间无显著差异。

2.2.2 混播比例间营养价值的差异

不同小黑麦与箭筈豌豆混播比例的 CP、NDF 和 ADF 最高值和最低值分别在两种作物的单播 B₁ 和 B₉ 处理中, 除去单播, 随着箭筈豌豆混播比例增加, CP 含量逐渐升高, NDF、ADF 含量逐渐降低。不同混播比例中, B₈ 处理的 CP 含量 (15.17%) 显著高于除 B₇ (14.91%) 外的其他处理, B₂、B₃、B₄ 和 B₅ 处理间, B₆ 和 B₇ 间的平均 CP 含量均无显著差异 ($P > 0.05$); 除 B₃ 和 B₄ 的 NDF 含量 (49.37%) 无显著差异外, 其他处理均存在显著差异 ($P < 0.05$); 各混播比例间 B₈ 的 ADF 含量 (33.64%) 显著低于 B₅、B₄、B₃、B₂。B₅ 显著低于 B₄、B₃、B₂ 和 B₄ 显著低于 B₂, 其余处理均无显著差异。

2.3 混播组分 × 混播比例交互作用间生产性能和营养价值的差异

2.3.1 混播组分 × 混播比例交互作用间生产性能差异

混播组分 × 混播比例交互作用间的株高有差

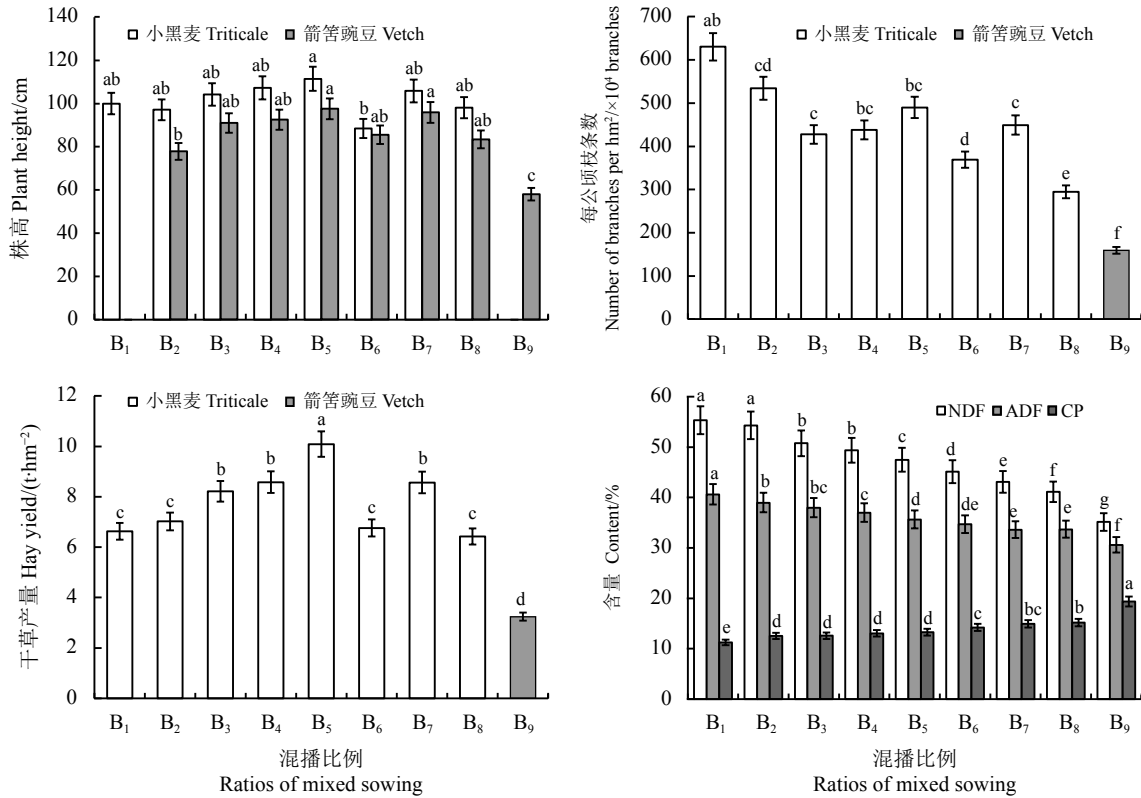


图 1 不同混播比例间生产性能和营养价值的差异

Figure 1 Production performance and nutritional value among the mixed sowing ratios

B₁、B₂、B₃、B₄、B₅、B₆、B₇、B₈ 和 B₉ 分别表示箭筈豌豆和甘农 2 号小黑麦的播种比例为 0 : 100、20 : 80、30 : 70、40 : 60、50 : 50、60 : 40、70 : 30、80 : 20、100 : 0; 下同。不同字母表示相同物种不同混播比例间差异显著 ($P < 0.05$)。

B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆, B₇, B₈ and B₉ indicate the ratio of vetch and triticale were 0 : 100, 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20, and 100 : 0; this is applicable for the following tables as well. Different lowercase letters within the same species indicate significant differences between different mixed sowing ratios at the 0.05 level.

异 (表 3)。所有混播处理的箭筈豌豆株高均高于箭筈豌豆单播处理。A₁ 混播处理, 各处理间的小黑麦和箭筈豌豆株高均无显著差异 ($P > 0.05$)。A₂ 混播处理, A₂B₄ 和 A₂B₅ 的小黑麦株高显著高于 A₂B₆ 处理 ($P < 0.05$), 其余混播处理间无显著差异; 各混播处理的箭筈豌豆株高均无显著差异。A₃ 混播处理, 各处理间小黑麦株高无显著差异; A₃B₇ 的箭筈豌豆株高显著高于 A₃B₂ 处理, 其余混播处理间无显著差异。3 个混播组分中, A₃B₇ 处理小黑麦株高 (127.67 cm) 最高, A₂B₆ 处理最低; A₃B₇ 处理箭筈豌豆株高 (117.33 cm) 最高, A₂B₂ 处理最低。

从枝条数来看, 枝条数在每个混播组分间呈波浪形变化, 所有混播处理的枝条数低于小黑麦单播, 高于箭筈豌豆单播。A₁ 混播组分间, A₁B₃ 的枝条数显著高于除 A₁B₂、A₁B₅ 外的各混播处理, A₁B₂ 显著高于 A₁B₇ 处理, A₁B₈ 显著低于除 A₁B₆ 外的各混播处理 ($P < 0.05$), A₁B₆ 与 A₁B₇ 无显著差异 ($P >$

0.05), 其他处理间无显著差异; A₂ 混播组分间, A₂B₂ 的枝条数显著高于其他混播处理, A₂B₈ 低于其他混播处理, 其他混播处理间无显著差异; A₃ 混播组分间, A₃B₅ 的枝条数显著高于除 A₃B₂、A₃B₇ 外的其他混播处理, A₃B₈ 显著低于 A₃B₇, 其他混播处理间无显著差异。

对于干草产量而言, 交互作用表明 (表 3), 3 个混播组分中, 所有混播处理的干草产量均显著高于箭筈豌豆单播, 混播处理 A₂B₅、A₃B₃、A₃B₄、A₃B₅ 和 A₃B₇ 的干草产量显著高于小黑麦单播。A₃B₅ 的干草产量最高, 除与 A₂B₅、A₃B₇、A₃B₄ 和 A₃B₃ 无显著差异外, 显著高于其他处理。A₁ 混播组分中, A₁B₅ 的干草产量最高, 但混播处理间干草产量无显著差异。A₂ 混播组分中, A₂B₅ 的干草产量显著高于除 A₂B₇ 外的其他混播处理, 其他混播处理间无显著差异 ($P < 0.05$)。A₃ 混播组分中, A₃B₅ 的干草产量除与 A₃B₃、A₃B₄ 和 A₃B₇ 无显著差异外, 显著高于其他

表3 混播组分 × 混播比例间交互作用间生产性能和营养价值的差异
Table 3 Production performance and nutritional value for each mixed component and mixed sowing ratio treatment

处理 Treatment	小黑麦株高 Plant height of triticale/cm	箭筈豌豆株高 Plant height of vetch/cm	枝条数 Number of branches per hm ² /(× 10 ⁴)	干草产量 Hay yield/ (t·hm ⁻²)	粗蛋白 Crude protein/ %	中性洗涤纤维 Neutral detergent fibe/%	酸性洗涤纤维 Acid detergent fibe/%
A ₁ B ₁	93.33 ± 18.56abc	—	651.33 ± 37.49ab	6.62 ± 0.12def	11.21 ± 0.16jk	55.45 ± 1.16a	0.54 ± 0.61a
A ₁ B ₂	90.00 ± 17.56abc	78.33 ± 15.90defg	571.33 ± 21.09abcde	7.16 ± 0.43def	12.72 ± 0.61ghijk	53.67 ± 0.57abc	39.17 ± 0.39ab
A ₁ B ₃	90.00 ± 15.28abc	78.33 ± 19.22defg	617.67 ± 20.37abc	7.65 ± 1.10def	12.65 ± 0.16ghijk	52.51 ± 0.34abcd	38.18 ± 0.35bcde
A ₁ B ₄	91.67 ± 9.28abc	80.00 ± 10.41defg	488.67 ± 39.35defghi	7.92 ± 0.66cdef	13.58 ± 0.70fgh	50.32 ± 1.31defg	37.21 ± 0.83bcdef
A ₁ B ₅	103.33 ± 15.90abc	95.00 ± 13.23abcde	511.00 ± 16.46cdefgh	8.32 ± 0.07cde	13.59 ± 0.93fgh	49.13 ± 0.59efgh	36.39 ± 0.60efgh
A ₁ B ₆	83.33 ± 8.82bc	75.00 ± 7.64defg	331.00 ± 24.58jkl	6.36 ± 0.89ef	14.22 ± 0.78defg	44.49 ± 0.83ij	35.58 ± 0.86fghi
A ₁ B ₇	88.33 ± 4.41abc	81.67 ± 6.67defg	440.00 ± 40.04fghij	6.74 ± 1.12def	14.66 ± 0.87cdef	43.09 ± 0.55jkl	34.13 ± 0.53ij
A ₁ B ₈	88.33 ± 4.41abc	75.00 ± 2.89defg	304.33 ± 29.69kl	6.68 ± 0.69def	15.36 ± 0.57cde	41.13 ± 0.60kl	33.88 ± 1.02ij
A ₁ B ₉	—	61.00 ± 0.58fg	183.33 ± 26.85mn	3.23 ± 0.19g	18.27 ± 0.77b	36.19 ± 1.15m	30.99 ± 0.16k
A ₂ B ₁	100.00 ± 16.07abc	—	670.00 ± 9.82a	6.63 ± 0.25def	11.15 ± 0.38k	55.21 ± 0.73a	40.60 ± 0.37a
A ₂ B ₂	97.33 ± 3.71abc	68.33 ± 11.67efg	585.67 ± 20.22abcd	6.57 ± 0.58def	13.07 ± 0.34fghi	54.50 ± 0.61ab	39.00 ± 0.95abc
A ₂ B ₃	100.33 ± 5.77abc	81.67 ± 6.01defg	327.00 ± 12.5jkl	7.12 ± 0.19def	12.49 ± 0.29ghijk	47.83 ± 0.64gh	37.57 ± 0.58bcdef
A ₂ B ₄	108.00 ± 7.27ab	95.67 ± 7.22abcde	404.33 ± 5.93hijk	7.87 ± 0.16cdef	12.69 ± 0.20ghijk	46.60 ± 0.81hi	36.80 ± 0.23defg
A ₂ B ₅	108.33 ± 7.27ab	85.00 ± 2.89cdef	398.67 ± 8.69hijk	10.80 ± 0.97ab	12.96 ± 0.58fghij	44.78 ± 0.35ij	34.93 ± 0.39ghij
A ₂ B ₆	68.33 ± 34.40c	81.33 ± 14.11defg	363.33 ± 26.85ijkl	5.64 ± 1.18f	13.71 ± 0.39efg	44.14 ± 1.24ijk	34.41 ± 0.57hij
A ₂ B ₇	101.67 ± 4.41abc	88.67 ± 4.67bcdef	374.33 ± 87.01ijkl	8.84 ± 0.54bcd	14.61 ± 0.44cdef	43.39 ± 0.46jkl	33.30 ± 1.33j
A ₂ B ₈	102.67 ± 6.36abc	85.00 ± 10.41cdef	255.33 ± 4.98lm	6.00 ± 0.06ef	15.98 ± 0.64c	40.49 ± 0.55l	33.03 ± 0.28j
A ₂ B ₉	—	53.00 ± 6.25g	107.00 ± 5.77n	2.81 ± 0.01g	19.83 ± 0.64a	36.93 ± 1.38m	29.69 ± 0.41k
A ₃ B ₁	106.67 ± 4.41abc	—	570.00 ± 97.13abcde	6.64 ± 0.47def	11.33 ± 0.31ijk	55.46 ± 0.81a	40.75 ± 0.61a
A ₃ B ₂	104.00 ± 2.31abc	87.00 ± 1.73bcdef	446.67 ± 24.01efghij	7.33 ± 0.19def	11.80 ± 0.10hijk	54.83 ± 0.76lab	38.83 ± 0.37abcd
A ₃ B ₃	122.00 ± 11.85ab	114.67 ± 12.46ab	337.67 ± 33.79jkl	9.88 ± 0.36abc	12.55 ± 0.82ghijk	51.98 ± 0.75bcde	38.28 ± 0.61bcde
A ₃ B ₄	122.00 ± 5.29ab	115.00 ± 2.89ab	430.00 ± 28.5ghijk	9.93 ± 0.13abc	12.80 ± 0.24ghijk	51.17 ± 0.59cdef	37.02 ± 0.81cdef
A ₃ B ₅	122.67 ± 3.71ab	112.67 ± 4.81abc	560.33 ± 95.28abcdef	11.15 ± 0.15a	13.25 ± 0.51fgh	48.56 ± 2.03fgh	35.72 ± 0.63fghi
A ₃ B ₆	113.67 ± 13.04ab	100.33 ± 11.55abcd	413.00 ± 15.59ghijk	8.29 ± 1.86cde	14.67 ± 0.33cdef	46.78 ± 1.77hi	34.15 ± 0.55ij
A ₃ B ₇	127.67 ± 4.33a	117.33 ± 1.45a	533.33 ± 31.79bcdef	10.11 ± 0.51abc	15.47 ± 0.24cd	41.79 ± 0.93jkl	33.48 ± 0.35j
A ₃ B ₈	103.33 ± 8.82abc	90.33 ± 3.18abcde	325.00 ± 36.94jkl	6.59 ± 0.94def	14.17 ± 0.51defg	42.90 ± 1.20jkl	34.21 ± 0.81ij
A ₃ B ₉	—	60.00 ± 1.16fg	186.67 ± 10.84mn	3.68 ± 0.27g	19.98 ± 0.38a	36.57 ± 0.45m	31.13 ± 0.40k

同列不同小写字母表示不同混播组分和比例间差异显著($P < 0.05$)。

Different lowercase letters within the same column indicate significant differences between treatments at the 0.05 level.

各处理。

2.3.2 混播组分 × 混播比例交互作用间营养价值的差异

3种箭筈豌豆单播的CP含量均显著高于混播处理及小黑麦单播($P < 0.05$)；箭筈豌豆单播NDF和ADF含量均低于混播处理及小黑麦单播。从CP含量来看，A₁混播组分中，A₁B₃的CP含量显著低于A₁B₇、A₁B₈处理，A₁B₈除与A₁B₇和A₁B₆无显著差异($P > 0.05$)外，显著高于其他混播处理，其他混播处理间差异不显著；A₂混播组分中，A₂B₂的

CP含量显著低于A₂B₈处理，A₂B₈除与A₂B₇处理无显著差异外，显著高于其他混播处理；A₃混播组分中，A₃B₂的CP含量显著低于A₃B₆、A₃B₇、A₃B₈处理，A₃B₇除与A₃B₆和A₃B₈处理无显著差异外，显著高于其他混播处理。

从NDF含量来看，A₁混播组分间，A₁B₂的NDF含量除与A₁B₃无显著差异($P > 0.05$)外，显著高于其他混播处理($P < 0.05$)，A₁B₈除与A₁B₇无显著差异外，显著低于其他各混播处理；A₂混播组分间，A₂B₂的NDF含量显著高于其他混播处理，A₂B₈的

NDF 含量除与 A₂B₇ 无显著差异外, 显著低于其他混播处理; A₃ 混播组分间, A₃B₂ 的 NDF 含量除与 A₃B₃ 无显著差异外, 显著高于其他混播处理, A₃B₇ 的 NDF 含量除与 A₃B₈ 无显著差异外, 显著低于其他混播处理。

从 ADF 含量来看, A₁ 混播组分间, A₁B₂ 的 ADF 含量除与 A₁B₃、A₁B₄ 无显著差异 ($P > 0.05$) 外, 显著高于其他混播处理 ($P < 0.01$); A₁B₈ 的 ADF 含量除与 A₁B₇、A₁B₆ 无显著差异外, 显著低于其他混播处理。A₂ 混播组分间, A₂B₂ 的 NDF 含量除与 A₂B₃ 无显著差异外, 显著高于其他混播处理, A₂B₈ 除与 A₂B₇、A₂B₆、A₂B₅ 无显著差异外, 显著低于其他混播处理。A₃ 混播组分间, A₃B₂ 的 ADF 含量除与 A₃B₃、A₃B₄ 无显著差异外, 显著高于其他混播处理, A₃B₇ 除与 A₃B₈ 和 A₃B₆ 无显著差异外, 显著低于其他混播处理。

2.4 灰色关联度分析

利用灰色关联分析的方法研究混播方式的干草产量、粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维与理想混播方式之间的灰色关联度, 计算出混播方式与理想混播方式灰色关联度。由于干草产量、粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维对牧草重要性不同, 干草产量是牧草生产性能重要的体现, CP 含量是决定牧草品质的重要因素, ADF、NDF 含量是决定牧草适口性及消化率的重要因素, 因此有必要根据各指标的重要性赋予权重值, 并计算加权关联度, 从而更客观地评价不同混播方式之间生产性能与营养价值^[23]。各指标的权重值分别为干草产量为 0.6, CP 为 0.2, NDF 为 0.1, ADF 为 0.1, 最后根据加权关联度的大小对不同混播处理进行排序 (表 4)。根据关联度分析原则, 关联度越大, 则混播方式越接近参考组分, 其综合性状评价表现越优; 关联度越小, 表明混播方式越远离参考组合, 综合性状表现越差^[24]。可以看出, 本研究中 A₃B₅ 混播方式的加权关联度最大 (0.8321), 综合性状最优。

3 讨论

3.1 混播组分间生产性能和营养品质差异分析

牧草的株高、枝条数由其遗传特性和外界环境条件共同决定, 株高是反映其竞争力和繁殖力的重要性状^[24], 枝条数是衡量牧草分蘖能力的一个重要

表 4 关联系数及关联度排名
Table 4 Association coefficient and relevance ranking

处理 Treatment	加权关联度 Correlative degree	排序 Rank	处理 Treatment	加权关联度 Correlative degree	排序 Rank
A ₁	0.5459	3	A ₁ B ₉	0.5590	14
A ₂	0.6393	2	A ₂ B ₁	0.4898	26
A ₃	0.9416	1	A ₂ B ₂	0.5019	24
B ₁	0.4956	9	A ₂ B ₃	0.5280	19
B ₂	0.5269	8	A ₂ B ₄	0.5640	12
B ₃	0.6044	4	A ₂ B ₅	0.7166	3
B ₄	0.6407	3	A ₂ B ₆	0.5065	23
B ₅	0.8344	1	A ₂ B ₇	0.6480	6
B ₆	0.5550	7	A ₂ B ₈	0.5541	15
B ₇	0.6823	2	A ₂ B ₉	0.5910	9
B ₈	0.5667	6	A ₃ B ₁	0.4907	25
B ₉	0.6000	5	A ₃ B ₂	0.5207	21
A ₁ B ₁	0.4897	25	A ₃ B ₃	0.6762	5
A ₁ B ₂	0.5205	22	A ₃ B ₄	0.6861	4
A ₁ B ₃	0.5429	17	A ₃ B ₅	0.8321	1
A ₁ B ₄	0.5663	11	A ₃ B ₆	0.6079	7
A ₁ B ₅	0.5894	10	A ₃ B ₇	0.7541	2
A ₁ B ₆	0.5267	20	A ₃ B ₈	0.5422	18
A ₁ B ₇	0.5513	16	A ₃ B ₉	0.5984	8
A ₁ B ₈	0.5627	13			

指标, 株高和枝条数是影响草产量高低的重要因素。混播组分较多时不同品种间农艺性状差异较大^[25]。本研究的 3 个混播组分中, 虽然 A₃ 处理的枝条数居中, 但 A₃ 处理的小黑麦和绿箭 431 箭筈豌豆平均株高均显著高于 A₁ 和 A₂, 所以干草产量较高; A₁ 处理混播组分的平均枝条数最多, A₂ 最少, 但干草产量 A₂ 比 A₁ 高, 这可能是因为 A₁ 的小黑麦与箭筈豌豆株高较 A₂ 低, 混播时协同效应差的原因。豆科牧草具有较高的营养品质, 使得其可以在禾-豆混播中改善牧草品质, 营养品质高低是评价牧草饲用价值的重要因素。牧草 CP 含量越高, NDF 和 ADF 含量越低, 牧草的饲用价值越高^[26]。3 个混播组分的平均 CP 含量无显著差异, 但 A₂ 处理的 NDF、ADF 含量最低, 说明混播时 A₂ 的营养价值较好。

3.2 混播比例间生产性能和营养品质差异分析

混播比例影响牧草的产量和品质^[27]。研究表明,选择适宜的混播组分不仅可以提高栽培草地的生态适应性,还可因混播组分间的互作提高对环境资源(水、热、光)的利用效率^[28]。本研究表明,随着箭筈豌豆混播比例的增加,小黑麦和箭筈豌豆株高均呈现先升高后降低的趋势,混播比例为 B_5 时最高,这可能是因为箭筈豌豆为了获得生存所需光资源以小黑麦直立茎为攀援体向上生长,增强植物顶端对光资源的竞争所导致的。箭筈豌豆株高的增加促进小黑麦向更高处生长,因此,株高较各自单播时高,说明适宜的混播比例能促进牧草的生长^[29-30];小黑麦播种比例最大时,枝条数不是最多,这可能是因为资源和空间限制,种内和种间竞争激烈,导致小黑麦分蘖数减少造成的^[31];混播枝条数在 B_5 时较 B_3 和 B_4 有所增加,可能是由于种间组分适宜,促进了牧草分蘖^[32]; B_5 处理下干草产量最高,该处理下各自株高高、枝条数较多,这可能是因为禾-豆牧草间协同效应较好所导致的^[33-34]。也有研究认为,混播比例为 $8:2$ ^[35]、 $4:6$ ^[15]时,混播草地的草产量最高。这可能与不同的牧草品种、试验地区水热条件、土壤肥力状况等有密切关系。CP、NDF和ADF是决定饲草品质的重要条件^[36]。豆科与禾本科牧草混播比禾本科牧草单播的粗蛋白质含量和牧草产量高,可消化有机物质的值也增高^[37-38]。本研究表明,随着箭筈豌豆比例的增加,混播牧草CP含量显著升高,NDF含量和ADF含量显著降低,牧草的营养品质得到了提高^[39]。

3.3 混播组分×混播比例交互作用间生产性能和营养品质差异分析

研究表明,箭筈豌豆在混播中的比例占到30%~50%时,产量均较单播有明显提高^[40-41]。交互作用结果表明, A_3B_5 时,混播牧草的干草产量最高,说明该混播处理生产性能最好, A_2B_9 处理干草产量最

低,说明箭筈豌豆单播时不利于收获较多的干草,混播 A_2B_6 的干草产量较低,这与混播比例不适宜、株高较低有关,石永红等^[42]研究表明,当禾-豆混播组合不当,常出现牧草生长不良、草群结构稳定性差、产量及品质下降等现象。代寒凌^[43]研究甘南高寒牧区小黑麦、黑麦和燕麦单播的生产性能和饲用品质比较(播期为4月15日),得出小黑麦干草产量为 $12.96\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,本研究中干草产量最高时为 $11.15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,这可能是因为本研究混播牧草播期较晚(5月6日),而且牧草生长前期杂草较多,影响了混播草地的生长,导致混播草地草产量整体偏低。CP是牧草中含氮物质的总和,是决定牧草营养品质的重要指标,NDF含量与干物质的采食量呈负相关,ADF含量直接影响饲草的消化率^[44]。本研究中,混播处理的CP含量介于小黑麦单播与箭筈豌豆单播之间,混播比例间NDF和ADF含量随着箭筈豌豆播种比例的增加显著降低,说明混播可以明显改善牧草品质,提高营养价值^[45]。

4 结论

1) 箭筈豌豆和小黑麦混播,草产量和营养价值均提高,可在高寒牧区采取混播的种植模式来提高经济效益。

2) 比较混播组分:甘农2号小黑麦与绿箭1号的混播效果较差,不推荐甘南高寒牧区种植;甘农2号小黑麦与绿箭2号混播时,虽然其草产量低,但其营养价值较高,因此牧草生产有营养价值要求时,可采用此种混播组分。比较混播比例:甘农2号小黑麦与箭筈豌豆混播比例为 $50:50$ 时,混播效果较好,这说明该混播比例下混播组分间的协调性较好。

3) 甘农2号小黑麦与绿箭431箭筈豌豆混播比例为 $50:50$ 时,混播草地的干草产量($11.15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)最高,相比小黑麦单播时增产40.62%,CP含量为13.25%,综合评价价值最高,适宜在甘南高寒牧区及类似区域种植推广。

参考文献 References:

- [1] 穆锋海,武高林.甘南高寒草地畜牧业的可持续发展. *草业科学*, 2005(3): 59-64.
MU Z H, WU G L. The sustainable development of alpine grassland husbandry in Gannan. *Pratacultural Science*, 2005(3): 59-64.
- [2] 王敬龙,拉巴,多吉顿珠,格桑次仁,贡嘎桑布,秦爱琼.西藏牧草产业发展存在的问题和对策. *西藏科技*, 2013(3): 52-55.
WANG J L, Laba, Duoqidunzhu, Gesangciren, QIN A Q. Problems and countermeasures in the development of Tibet forage industry. *Tibet Science and Technology*, 2013(3): 52-55.

- [3] 魏学红, 孙磊. 新形势下西藏草业科学的发展思路. *河北农业科学*, 2009, 13(9): 165-166.
WEI X H, SUN L. Development thinking on pratacultural science under new situation in Tibet. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2009, 13(9): 165-166.
- [4] 陈军强, 李小刚, 张世挺, 周振, 丁路明. 甘南燕麦引种及其刈割期研究. *家畜生态学报*, 2014, 35(9): 55-60.
CHEN J Q, LI X G, ZHANG S T, ZHOU Z, DIN L M. Study on oats introduction and harvesting stages in Gannan. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2014, 35(9): 55-60.
- [5] 李佶恺, 孙涛, 旺扎, 李洪影, 崔国文. 西藏地区燕麦与箭筈豌豆不同混播比例对牧草产量和质量的影响. *草地学报*, 2011, 19(5): 830-833.
LI J K, SUN T, Wangzha, LI H Y, CUI G W. Effects on mixture sowing ratio on the yield and quality of both vetch and oat in Tibet. *Acta Agrestia Sinica*, 2011, 19(5): 830-833.
- [6] 柴继宽. 轮作和连作对燕麦产量、品质、主要病虫害及土壤肥力的影响. 兰州: 甘肃农业大学博士学位论文, 2012.
CAI J K. Effects of crop rotation and continuing on productivity, quality, pests and diseases of qats and soil fertility. PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012.
- [7] 王旭, 曾昭海, 胡跃高, 朱波. 豆科与禾本科牧草混播效应研究进展. *中国草地学报*, 2007(4): 92-98.
WANG X, ZENG Z H, HU Y G, ZHU B. Progress and prospect on mixture of gramineae herbage and leguminosae herbage. *Chinese Journal of Grassland*, 2007(4): 92-98.
- [8] 李焰焰, 聂传朋, 董召荣. 优质饲草小黑麦的品种特性及研究现状. *安徽农业科学*, 2005(6): 1093-1094, 1106.
LI Y Y, NIE C P, DONG Z R. Characteristic and current situation of *Triticale*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2005(6): 1093-1094, 1106.
- [9] 陈功, 李锦华, 周青平. 高寒牧区春箭筈豌豆生产性能的研究. *青海草业*, 1999(3): 10-12.
CHEN G, LI J H, ZHOU Q P. Study of production performance on *Vicia sativa* in alpine region. *Qinghai Prataculture*, 1999(3): 10-12.
- [10] 代寒凌, 田新会, 杜文华, 吴建平. 甘南地区饲用型小黑麦草产量及营养品质研究. *草原与草坪*, 2019, 39(2): 66-72.
DAI H L, TIAN X H, DU W H, WU J P. Study on grass yield and nutrient quality of forage type triticale in Gannan area. *Grassland and Turf*, 2019, 39(2): 66-72.
- [11] 王伟, 徐成体, 德科加, 张明. 称多县燕麦与小黑麦引种试验初步研究. *青海畜牧兽医杂志*, 2015, 45(5): 4-6.
WANG W, XU C T, DE K J, ZHANG M. Preliminary study on introduction experimental of oats and *Triticale* in Chengduo. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2015, 45(5): 4-6.
- [12] 谢开云, 王玉祥, 万江春, 张树振, 隋晓青, 赵云, 张博. 混播草地中豆科/禾本科牧草氮转移机理及其影响因素. *草业学报*, 2020, 29(3): 157-170.
XIE K Y, WANG Y X, WAN J C, ZHANG Z S, SUI X Q, ZHAO Y, ZHANG B. Mechanisms and factors affecting nitrogen transfer in mixed legume/grass swards: A review. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(3): 157-170.
- [13] 王平. 半干旱地区禾-豆混播草地生产力及种间关系研究. 长春: 东北师范大学博士学位论文, 2006.
WANG P. Research on interspecific relationship and productivity of grass-legume mixture in semi-arid area. PhD Thesis. Changchun: Northeast Normal University, 2006.
- [14] 罗彩云, 赵亮, 赵新全, 徐世晓, 贺福全, 许茜, 陈昕. 青海湖地区燕麦与箭筈豌豆最佳混播比例的筛选. *草原与草坪*, 2019, 39(1): 95-99.
LUO C Y, ZHAO L, ZHAO X Q, XU S X, HE F Q, XU Q, CHEN X. Screening of seeding ratio of common vetch and oat mixture in Qinghai Lake area. *Grassland and Turf*, 2019, 39(1): 95-99.
- [15] 向洁, 王富强, 郭宝光, 王庆刚, 余成群, 沈振西, 邵小明. 西藏河谷区燕麦与箭筈豌豆混间作对产量和营养品质的影响. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2018, 44(5): 555-564.
XIANG J, WANG F Q, GUO B G, WANG Q G, YU C Q, SHEN Z X, SHAO X M. Effects of mixtures and intercropping of common vetch and oat in valley area of Tibet on the yield and quality. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2018, 44(5): 555-564.
- [16] 谢开云, 赵云, 李向林, 何峰, 万里强, 王丹, 韩冬梅. 豆-禾混播草地种间关系研究进展. *草业学报*, 2013, 22(3): 284-296.
XIE K Y, ZHAO Y, LI X L, HE F, WAN L Q, WANG D, HAN D M. Relationships between grasses and legumes in mixed grassland: a review. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22(3): 284-296.

- [17] 苟文龙. 川西平原一年生牧草禾豆混播群落生产力特征研究. 兰州: 甘肃农业大学博士学位论文, 2019.
GOU W L. Study on productive features of annual grass-legume community in the western Sichuan Plain. PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2019.
- [18] 周雅欣. 江淮地区燕麦与豆科牧草混播生产性能的研究及综合评价. 兰州: 兰州大学硕士学位论文, 2020.
ZHOU Y X. Study and comprehensive evaluation on the production performance of the mixture of oats and legumes in Yangtze-Huaihe Region. Master Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2020.
- [19] 李强, 黄迎新, 钟荣珍, 孙海霞, 周道玮. 豆-禾混播草地中紫花苜蓿比例对其固氮效率的影响及潜在生理机制. *中国农业科学*, 2020, 53(13): 2647-2656.
LI Q, HUANG Y X, ZHONG Z R, SUN H X, ZHOU D W. Influence of *Medicago sativa* proportion on its individual nitrogen fixation efficiency and underlying physiological mechanism in legume-grass mixture grassland. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2647-2656.
- [20] 赵雅姣, 田新会, 杜文华. 饲草型小黑麦在定西地区的最佳刈割期. *草业科学*, 2015, 32(7): 1143-1149.
ZHAO Y J, TIAN X H, DU W H. Studies on the optimal cutting period of forage triticale in Dingxi area. *Pratacultural Science*, 2015, 32(7): 1143-1149.
- [21] 杨胜. 饲料分析及饲料质量监测技术. 北京: 中国农业大学出版社, 1998: 330-338.
YANG S. Feed Analysis and Feed Quality Monitoring Technology. Beijing: China Agricultural University Press, 1998: 330-338.
- [22] 杨秀芳, 陈玲玲, 乌艳红, 娜日苏, 吕宁, 梁庆伟. 应用灰色关联度综合评价 26 个青贮玉米的生产性能. *草业科学*, 2012, 29(1): 105-111.
YANG X F, CHEN L L, WU Y H, NA R S, LYUN, LIANG Q W. A comprehensive evaluation of the growth performance of 26 silage maize genotypes using grey correlative degree analysis. *Pratacultural Science*, 2012, 29(1): 105-111.
- [23] 赵方媛, 田新会, 杜文华. 饲料型小黑麦新品系种子产量及籽粒营养价值的分析. *草原与草坪*, 2017, 37(3): 75-80.
ZHANG F Y, TIAN X H, DU W H. Studies on seed yield and grain nutritional value of new *Triticale* lines. *Grassland and Turf*, 2017, 37(3): 75-80.
- [24] CORNELISSEN J H C, LAVOREL S, GARNIER E, DÍAZ S, BUCHMANN N, GURVICH D E, REICH P B, STEEGE H T, MORGAN H D, HEIJDEN M A. Handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 2003, 51(4): 335.
- [25] 关卫星, 金涛, 宋国英, 彭君. 不同燕麦品种与箭舌豌豆的混播试验初报. *西藏农业科技*, 2011, 33(4): 19-22.
GUAN W X, JIN T, SONG G Y, PENG J. Preliminary report on mixed planting experiment of different oat varieties and arrow Pea. *Tibet Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 33(4): 19-22.
- [26] 刘晶, 赵方媛, 杜文华, 田新会. 甘肃省不同生态区高产优质小黑麦种质的筛选. *草原与草坪*, 2019, 39(5): 44-52.
LIU J, ZHAO F Y, DU W H, TIAN X H. Screening of high yield and high quality triticale genotypes in different ecological regions of Gansu Province. *Grassland and Turf*, 2019, 39(5): 44-52.
- [27] Moreira N. The effect of seed rate and nitrogen fertilizer on the yield and nutritive value of oat-vetch mixtures. *The Journal of Agricultural Science*, 1989, 112(1): 57-66.
- [28] 董世魁, 马金星, 蒲小鹏, 张起荣, 潘臻武. 高寒地区多年生禾草引种生态适应性及混播组合筛选研究. *草原与草坪*, 2003(1): 38-41, 48.
DONG S K, MA J L, PU X P, ZHANG Q R, PAN Z W. Study on the ecological adaptability of introduced perennial grasses and the selection of combinations in alpine region. *Grassland and Turf*, 2003(1): 38-41, 48.
- [29] 马春晖, 韩建国. 高寒地区种植一年生牧草及饲料作物的研究. *中国草地*, 2001(2): 50-55.
MA C H, HAN J G. Studies on cultivated annual forage and crop in high cold area. *Chinese Journal of Grassland*, 2001(2): 50-55.
- [30] 张静, 赵成章, 盛亚萍, 张军霞, 史丽丽. 高寒山区混播草地燕麦和毛苕子种间竞争对密度的响应. *生态学杂志*, 2012, 31(7): 1605-1611.
ZHANG J, ZHAO C Z, SHENG Y P, ZHANG J X, SHI L L. Inter-specific competition between *Avena sativa* and *Vicia villosa* in mixed owing grassland in alpine region of the Qilian Mountain in response to grass density. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(7): 1605-1611.
- [31] 董永琴, 郭春英, 王华芬. 不同播种量对小黑麦不同品种的影响. *贵州农业科学*, 1988(1): 17-22.
DONG Y Q, GUO C Y, WANG H F. The effect of different seeding rates on different varieties of Triticale. *Guizhou Agricultural*

- Sciences, 1988(1): 17-22.
- [32] 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.
- [33] 张瑜, 高碧荣, 龙忠富, 李娟, 张建波. 饲用小黑麦与箭舌豌豆不同混播比例的生产效应. *贵州农业科学*, 2016, 44(11): 112-114.
ZHANG Y, GAO B R, LONG Z F, LI J, ZHANG J B. Effects of different mixed seeding rates on triticale and vicia sativa yield. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2016, 44(11): 112-114.
- [34] 柳茜, 傅平, 敖学成, 苏茂, 孙启忠. 冬闲田多花黑麦草+光叶紫花苜蓿混播草地生产性能与种间竞争的研究. *草地学报*, 2016, 24(1): 42-46.
LIU Q, FU P, AO X C, SU M, SUN Q Z. Study on production performance and interspecific competition of Italian ryegrass and villose vetch mixed grassland in winter fallow farmlands. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, 24(1): 42-46.
- [35] 孙杰, 巩林, 连露, 崔国文, 尹航, 张亚玲, 付佳琦. 海拔高度和混播比例对燕麦与箭筈豌豆产草量及质量的影响. *草业科学*, 2018, 35(10): 2438-2449.
SUN J, GONG L, LIAN L, CUI G W, YIN H, ZHANG Y L, FU J Q. Effect of altitude and mixed-sowing ratio on forage production and quality of oat and common vetch. *Pratacultural Science*, 2018, 35(10): 2438-2449.
- [36] 王旭, 曾昭海, 朱波, 胡跃高. 箭筈豌豆与燕麦不同间作混播模式对产量和品质的影响. *作物学报*, 2007(11): 1892-1895.
WANG X, ZENG Z H, ZHU B, HU Y G. Effect of different intercropping and mixture modes on forage yield and quality of oat and common vetch. *Acta Agronomica Sinica*, 2007(11): 1892-1895.
- [37] ROSS S M, KING J R, O'DONOVAN J T, SPANER D. Intercropping ber-seem clover with barley and oat cultivars for forage. *Agronomy Journal*, 2004, 96: 1719-1729.
- [38] 兰兴平, 王峰. 禾本科牧草与豆科牧草混播的四大优点. *四川畜牧兽医*, 2004(12): 45.
LAN X P, WANG F. Four advantages of mixed planting of gramineous forage and legume forage. *Sichuan Animal & Veterinary Sciences*, 2004(12): 45.
- [39] 曹仲华, 魏军, 杨富裕, 曹社会. 西藏山南地区箭筈豌豆与丹麦“444”燕麦混播效应的研究. *西北农业学报*, 2007(5): 67-71.
CAO Z H, WEI J, YANG F Y, CAO S H. Effects of the common vetch-oat mixture in the shannan region of Tibet. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2007(5): 67-71.
- [40] 孙爱华, 鲁鸿佩, 马绍慧. 高寒地区箭筈豌豆+燕麦混播复种试验研究. *草业科学*, 2003(8): 37-38.
SUN A H, LU H P, MA S H. Experimental study of vetch + oat mixture system in highland region. *Pratacultural Science*, 2003(8): 37-38.
- [41] LITHOURGIDIS A S, VASILAKOGLU I B, DHIMA K V, DORDAS C A, YIAKOULAKI M D. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 2006, 99(2/3): 0-11.
- [42] 石永红, 符义坤, 李阳春, 张景雨. 半荒漠地区绿洲混播牧草群落稳定性与调控研究. *草业学报*, 2000(3): 1-7.
SHI Y H, FU Y K, LI Y C, ZHANG J Y. Study on community stability of mixed pastures in semi desert area of Gansu. *Acta Pratacultural Sinica*, 2000(3): 1-7.
- [43] 代寒凌. 高寒牧区小黑麦、黑麦和燕麦的生产性能和饲用品质比较. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2018.
DAI H L. Comparisons on the productivity and quality for triticale, rye and oat in alpine pastoral area. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.
- [44] 赵方媛, 王文, 陈平, 杜文华. 甘农 2 号小黑麦在云贵高原的生产性能研究. *草原与草坪*, 2019, 39(1): 43-47, 53.
ZHAO F Y, WANG W, CHEN P, DU W H. Studies on the production performance of triticale in Yunnan-Guizhou Plateau. *Grassland and Turf*, 2019, 39(1): 43-47, 53.
- [45] 马军, 郑伟, 张博, 加孜依拉·哈勒克. 基于马营养需求的燕麦-箭筈豌豆混播草地生产性能的评价. *草业科学*, 2015, 32(6): 1002-1009.
MA J, ZHENG W, ZHANG B, Jiziyila·Haleke. Production performance evaluation of oat-common vetch mixed pasture based on nutrient needs of horses. *Pratacultural Science*, 2015, 32(6): 1002-1009.

(责任编辑 张瑾)