



青海东部农区小黑麦与豆科牧草的混播组合与混播比例

刚永和 张海博 陈永琰 杜江 安林昌 牛勇 萨仁花 徐强

Mixture combination and mixed ratio of triticale and legumes in the eastern agricultural region of Qinghai

GANG Yonghe, ZHANG Haibo, CHEN Yonglong, DU Jiang, AN Linchang, NIU Yong, Sarenhua, XU Qiang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0182>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

青海果洛高寒地区燕麦和小黑麦最佳混播比例筛选

Screening of the best mixed ratio of *Avena sativa* and $\times$ *Triticale* Wittmack in the high-cold area of Guoluo, Qinghai Province

草业科学. 2020, 37(4): 753 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0466>

甘南高寒牧区甘农2号小黑麦与箭豌豆的混播效果

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

草业科学. 2021, 38(9): 1771 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0475>

混播比例对高寒草地红豆草垂穗披碱草混播群落生物量分配与竞争的影响

Effects of mixed seeding ratio on biomass allocation and competition of *Onobrychis viciifolia* and *Elymus nutans* under cold conditions in the Tianzhu alpine region

草业科学. 2020, 37(10): 2035 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0620>

宁夏干旱区滴灌条件下燕麦与毛苕子的混播方式

Evaluation of mixed sowing methods for oats and vetch under drip irrigation in arid areas of Ningxia

草业科学. 2021, 38(7): 1329 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0112>

燕麦豆草混播组合对草地生产性能的影响

Effect of mixed planting of *Avena sativa* bean grass on grassland performance

草业科学. 2021, 38(6): 1147 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0069>

混播方式对无芒雀麦+红豆草混播草地植物生长效率及混播效应的影响

Effect of mixed pattern on growth efficiency and mixed advantage of *Bromus inermis*+*Onobrychis viciaefolia* mixture pasture

草业科学. 2017, 11(11): 2335 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0032>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0182

刚永和, 张海博, 陈永珑, 杜江, 安林昌, 牛勇, 萨仁花, 徐强. 青海东部农区小黑麦与豆科牧草的混播组合与混播比例. 草业科学, 2021, 38(11): 2274-2285.

GANG Y H, ZHANG H B, CHEN Y L, DU J, AN L C, NIU Y, Sarenhua, XU Q. Mixture combination and mixed ratio of triticale and legumes in the eastern agricultural region of Qinghai. Pratacultural Science, 2021, 38(11): 2274-2285.

青海东部农区小黑麦与豆科牧草的 混播组合与混播比例

刚永和¹, 张海博², 陈永珑³, 杜江², 安林昌², 牛勇², 萨仁花², 徐强⁴

(1. 海东市乐都区林业和草原站, 青海 海东 810700; 2. 海东市乐都区畜牧兽医站, 青海 海东 810700;
3. 青海东牧湾农牧科技开发有限公司, 青海 海东 810700; 4. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为筛选适宜青海省东部农区推广的小黑麦 (*Triticosecale* Wittmack) 与豆科牧草的混播组合及比例, 采用裂区设计, 研究了‘甘农 2 号’小黑麦与两种豆科牧草[‘青建 1 号’饲用豌豆 (*Pisum sativum*) 和毛苕子 (*Vicia villosa*)] 不同混播比例 (0:100、20:80、30:70、40:60、50:50、60:40、70:30、80:20、100:0) 的混播效应。结果表明: 从混播组合看, ‘甘农 2 号’小黑麦与‘青建 1 号’饲用豌豆混播的平均鲜草产量 ($41.80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 最高; 从混播比例看, ‘甘农 2 号’小黑麦与豆科牧草 50:50 混播时平均鲜草产量 ($44.45 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 最高, 比小黑麦和豆科牧草单播平均分别提高了 17.94% 和 17.53%; 混播组合和混播比例间的交互作用表明, ‘甘农 2 号’小黑麦和‘青建 1 号’饲用豌豆以 40:60 的比例混播时总鲜草产量 ($45.55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 最高, 比小黑麦和饲用豌豆单播分别提高了 20.09% 和 17.00%。相关分析表明, 混播群体的鲜草产量与小黑麦株高呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 与豆科牧草株高呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$)。因此, 在青海省东部农区推荐‘甘农 2 号’小黑麦与‘青建 1 号’饲用豌豆以 40:60 的比例进行混播。

关键词: 小黑麦; 饲用豌豆; 毛苕子; 混播组合; 混播比例; 鲜草产量; 竞争力

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2021)11-2274-12

Mixture combination and mixed ratio of triticale and legumes in the eastern agricultural region of Qinghai

GANG Yonghe¹, ZHANG Haibo², CHEN Yonglong³, DU Jiang², AN Linchang²,
NIU Yong², Sarenhua², XU Qiang⁴

(1. Forestry and Grassland Station of Ledu District of Haidong City, Haidong 810700, Qinghai, China;

2. Ledu District Animal Husbandry and Veterinary Station of Haidong City, Haidong 810700, Qinghai, China;

3. Qinghai Dongmuwan Agriculture and Animal Husbandry Technology Development Co., Ltd., Haidong 810700, Qinghai, China;

4. Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: This study investigated the optimum mixed seeding planting ratio of legumes and triticale in the eastern agricultural region of Qinghai Province. Herein, the effects of mixed cropping the feed pea *Pisum sativum* variety ‘Qingjian No. 1’ (Q_1) and hairy vetch, sown with the triticale variety ‘Gannong No. 2’ (G_2) at different mixing ratios (0:100, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 100:0) were evaluated. The results showed that the average fresh weight ($41.80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) of $G_2 \times Q_1$ was the highest among the tested treatments. The average fresh weights ($44.45 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) were the

收稿日期: 2021-03-30 接受日期: 2021-07-09

基金项目: 青海东部农区肉牛高效养殖模式及可持续发展技术集成与示范 (2020-NK-C21); 甘肃省重点研发计划 (20YF8NA129)

第一作者: 刚永和 (1963-), 男, 青海乐都人, 高级畜牧 (草原) 师, 本科, 研究方向为饲草生产与开发利用。E-mail: ldgyh63@163.com

通信作者: 徐强 (1995-), 男, 河南新蔡人, 硕士, 研究方向为牧草栽培及育种。E-mail: 1154520092@qq.com

highest for the planting ratio of 50 : 50; the fresh weights of triticale and legume were 17.94% and 17.53% higher than their respective monocultures, respectively. For the interaction between the species combination and the mixing ratio, the best performing treatment was $G_2 \times Q_1$, planted at a ratio of 40 : 60, with a total fresh weight of $45.55 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$; the fresh weights of triticale and *P. sativum* were 20.09% and 17.00% higher than their respective monoculture, respectively. The results of the index correlation study revealed that the fresh weight of the mixed population was significantly positively correlated with the plant height of both triticale ($P < 0.05$) and legumes ($P < 0.01$). In summary, we suggest for G_2 and Q_1 , a mixing ratio of 40 : 60 is optimal for mixed cropping in the eastern agricultural region of Qinghai Province.

Keywords: triticale; feed pea; hairy vetch; mixed sowing; mixed ration; fresh yield; competition

Corresponding author: XU Qiang E-mail: 1154520092@qq.com

青海东部农区水资源匮乏, 春季干旱频发, 且地形起伏, 海拔变化大, 优良牧草品种单一, 无法满足家畜对牧草的需求^[1]。此外, 该区冷季枯草期较长, 主要使用作物秸秆饲喂家畜^[2], 缺乏优质牧草是制约该地区畜牧业可持续发展的主要因素^[3]。严酷的自然气候条件是制约退耕地上种植多年生牧草的主要因素^[4]。因此, 选择抗旱性和抗寒性突出的草种建立高产优质的栽培混播草地是利用有限土地提高优质牧草供给、缓解草畜失衡和促进畜牧业可持续发展的有效措施之一^[5]。

合理的禾-豆混播比例与混播组分可以有效改善混播草地的草层结构, 提高光合作用面积, 改善土壤养分供给, 减少地下根系对土壤养分的直接竞争, 增加对环境资源的利用效率, 为禾-豆混播草地的持续稳产、高产奠定基础^[6-7]。25% 燕麦 (*Avena sativa*) 与 100% 多花黑麦草 (*Lolium multiflorum*) 混播时, 多花黑麦草竞争优势稳定, 牧草饲喂价值及生产性能均较高, 累计干物质产量达 $19.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 粗蛋白产量达 $2.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 可消化干物质产量达 $13.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[8]。燕麦与箭筈豌豆 (*Vicia sativa*) 以 50 : 50 和 75 : 25 同行、以 50 : 50 异行混播时牧草产量和种子产量优势明显, 既能提高土壤肥力, 还能提高牧草产量和营养价值^[9]。混播组合和比例不当会加剧种间竞争, 进而造成作物减产。有研究表明, 苜蓿 (*Medicago sativa*) 与禾草混播产量高于单播禾草, 但并不高于单播苜蓿^[10]。紫花苜蓿与 3 种禾草混播时, 单播苜蓿全年产量显著高于混播草地禾-豆总产量^[11]。4 个杂花苜蓿 (*Medicago varia*) 品种与无芒雀麦 (*Bromus inermis*) 混播后, 草产量并没有显著提高^[12]。故而, 确定混播牧草成员及其比例时需要考虑当地的气候条件、混播种类的生物学特性、混播牧草的利用方式和牧草品种之间的竞争效应^[13]。

小黑麦 ($\times$ *Triticosecale* Wittmack) 是小麦 (*Triticum aestivum*) 和黑麦 (*Secale cereale*) 经属间有性杂交和杂种染色体加倍而人工合成的新物种, 结合了小麦和黑麦双亲的优良特性, 具有草产量高、营养品质高和抗逆性强的特点^[14]。小黑麦在高寒牧区的草产量、茎叶比、株高等显著高于青稞 (*Hordeum vulgare*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 和箭筈豌豆等常见牧草种类, 且青贮品质佳^[15-17]。此外, 小黑麦抗寒性极强, ‘甘农 2 号’小黑麦在甘南高寒牧区可安全越冬^[18], 对于冷季缺草的牧区来说, 是牧草料贮备的可靠来源, 可作为抗灾保畜牧草料优良品种, 加强牧区冷季牧草料储备能力, 缓解冬春季牧草不足的矛盾^[19]。豆科牧草可提高耕地土壤肥力和耕地质量, 并且增加优质蛋白的供应, 有效减轻天然草地的放牧压力, 促进草地生态环境改善和恢复^[20]。饲用豌豆 (*Pisum sativum*) 抗寒性强, 且产量明显高于一般豆科牧草。毛苕子 (*Vicia villosa*) 是青海东部农区大面积种植的豆科牧草之一, 对当地的气候具有较强的适应性, 但其单播时存在草产量低的缺陷。前人对青海地区燕麦与小黑麦最佳混播比例^[21]和小黑麦播期^[22]进行了研究, 而关于青海东部农区小黑麦与饲用豌豆或毛苕子混播的研究鲜见报道。为此, 本研究采用 ‘甘农 2 号’小黑麦与燕麦和毛苕子两种豆科牧草分别以不同比例进行混播, 通过比较不同混播组合和不同比例混播的草产量筛选出最佳的混播组合和比例并探究其种间竞争关系, 以期为该地区建植优质高产混播草地提供理论依据和科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

试验地位于青藏高原边缘的青海省海东市乐都

区 (36°29'41.21" N, 102°37'55.21" E), 地处黄土高原向青藏高原过渡地带的低位丘陵山地, 海拔 2 527 m, 为内陆性半干旱气候, 年均温 4.5 °C, ≥5 °C 年积温为 2 232~2 640 °C·d, 年日照时数为 2 600 h, 作物生长期 180~195 d, 年均降水量 410 mm, 无霜期 144 d, 雨热同期, 春季旱情严重, 降水量集中在 6 月 - 10 月, 占全年降水量的 79.2%, 试验地无灌溉条件, 土壤类型为耕地栗钙土, 前茬作物为马铃薯 (*Solanum tuberosum*)。

1.2 供试材料

‘甘农 2 号’小黑麦由甘肃农业大学提供, ‘青建 1 号’饲用豌豆和毛苕子由青海省鑫瑞农牧业科技开发有限公司提供, 种子质量等级为二级。

1.3 试验设计

试验采用裂区设计。主区为混播组合, 设 2 个水平, 分别为 A₁: ‘甘农 2 号’小黑麦与青建 1 号饲用豌豆混播 (简称小黑麦 × 饲用豌豆, 下同), A₂: 小黑麦和毛苕子混播。副区为不同混播组合的混播比例, 设 9 个水平, 分别为 B₁ (100 : 0)、B₂ (80 : 20)、B₃ (70 : 30)、B₄ (60 : 40)、B₅ (50 : 50)、B₆ (40 : 60)、B₇ (30 : 70)、B₈ (20 : 80)、B₉ (0 : 100)。禾-豆等比例混播时播种量按其单播量的 80% 计算^[23], 小黑麦、饲用豌豆和毛苕子的单播量在参考文献 [24-26] 的基础上, 分别设置为 300、120 和 60 kg·hm⁻²。不同混播组合及比例下小黑麦、饲用豌豆与毛苕子的播种量如表 1 所列。小区面积 15 m² (3 m × 5 m), 每个小区种 10 行, 行距 0.3 m, 3 次重复, 共 54 个小区。播种时, 将每个处理的豆科牧草和小黑麦种子混匀后条播。2019 年 7 月 2 日播种, 播种前施磷酸二铵 (N 和 P₂O₅ 含量 ≥ 64.0%) 300 kg·hm⁻², 拔节期和抽穗期追施尿素 (N 含量 ≥ 46.0%) 150 kg·hm⁻²。2019 年 10 月 19 日 (小黑麦开花期) 刈割测产。

1.4 测定指标及方法

株高: 于开花期刈割前, 从每个小区中随机选出 10 株植株, 测量从地面至最高点的自然高度, 将 10 株的平均株高作为该小区的平均株高^[27]。

总枝条数: 于开花期刈割前, 在每个小区中随机选取一个 1 m 长样段 (边行和距地边 0.5 m 部分除外), 数取样段内株高高于 0.2 m 的小黑麦枝条数和豆科牧草枝条数, 计算总枝条数^[27]。

表 1 不同混播比例下小黑麦与豆科牧草的播种量
Table 1 Seeding rate of triticale and leguminous forages under different mixed ratios

小黑麦 : 豆科牧草 Triticale : legume	播种量 Seeding rate/(kg·hm ⁻²)			
	小黑麦 × 饲用豌豆 Triticale × <i>Pisum sativum</i> (A ₁)	小黑麦 × 毛苕子 Triticale × <i>Vicia villosa</i> (A ₂)		
100 : 0 (B ₁)	300	0	300	0
80 : 20 (B ₂)	384	38.4	384	19.2
70 : 30 (B ₃)	336	57.6	336	28.8
60 : 40 (B ₄)	288	76.8	288	38.4
50 : 50 (B ₅)	240	96	240	48
40 : 60 (B ₆)	192	115.2	192	67.2
30 : 70 (B ₇)	144	134.4	144	86.4
20 : 80 (B ₈)	96	153.6	96	105.6
0 : 100 (B ₉)	0	120	0	60

有效分蘖数/分枝数: 于开花期刈割前进行测定每株分蘖数中能够抽穗的枝条或豆科牧草分枝, 每个处理随机选取 5 株统计。‘青建 1 号’饲用豌豆和毛苕子只统计根部分枝数^[27]。

鲜草产量: 于开花期进行测定。将每个小区内所有植株的地上部分齐地面刈割 (边行和地头两边 0.5 m 部分除外), 称重, 得到总鲜草产量。分捡各处理的小黑麦和豆科牧草, 并分别称重^[27]。

相对产量总和 (relative yield total, RYT) 用于表达混作植物之间的种间关系。

$$RYT = Y_{ab}/Y_a + Y_{ba}/Y_b。 \tag{1}$$

式中: Y_{ab} 为物种 a 与物种 b 混作时物种 a 的产量; Y_a 为物种 a 单作时的产量; Y_{ba} 为物种 a 与物种 b 混作时物种 b 的产量; Y_b 为物种 b 单作时的产量。 $RYT > 1$ 表示两物种间没有竞争; $RYT < 1$ 表示两物种间有拮抗作用; $RYT = 1$ 表示两物种需要相同的资源, 且一种可通过竞争将另一种排除出去。

相对产量 (relative yield, RY) 用来评价物种对已占有资源量的利用程度。

$$RY_a = Y_{ab}/pY_a; \tag{2}$$

$$RY_b = Y_{ba}/qY_b。 \tag{3}$$

式中: RY_a 表示混作中物种 a 的相对产量; p 表示混作中物种 a 的混播比例; Y_{ab} 和 Y_a 同式 (1); RY_b 表示混作中物种 b 的相对产量; q 表示混作中物种 b 的

混播比例; Y_{ba} 和 Y_b 同式 (1)。 $RY > 1$ 表示种内竞争大于种间竞争; $RY < 1$ 表示种间竞争大于种内竞争; $RY = 1$ 表示种内和种间竞争水平相当。

显著影响 ($P < 0.05$); 混播组合 $\times$ 混播比例交互作用对除小黑麦有效分蘖数和豆科牧草分枝数外其余各指标均有极显著影响 ($P < 0.01$)。

1.5 数据统计分析

用 Excel 2019 整理数据和作图。用 SPSS 25.0 软件对所测数据统计分析, 在对数据进行正态分布和方差齐性检验后, 对混播组合间的差异进行配对样本 t 检验, 对混播比例间的差异进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 混播组合 $\times$ 混播比例交互作用间的差异采用双因素方差分析 (Two-way ANOVA), 如果差异显著, 用 Duncan 法进行多重比较 ($P < 0.05$)。结果用平均值 $\pm$ 标准误 (standard error of mean, SEM) 表示。并对各指标进行 Person 相关性分析。

2 结果与分析

方差分析 (表 2) 表明, 混播组合对小黑麦株高存在显著影响 ($P < 0.05$), 对豆科牧草株高和鲜草产量均存在极显著影响 ($P < 0.01$); 混播比例对除小黑麦有效分蘖数和豆科牧草分枝数外的其余各指标均有极显著影响 ($P < 0.01$), 对小黑麦有效分蘖数有

2.1 混播组合间草地生产性能的差异

A_1 混播组合下的小黑麦平均株高和豆科牧草平均株高均显著高于 A_2 ($P < 0.05$) (表 3)。平均鲜草产量 A_1 也显著高于 A_2 ($P < 0.05$)。

2.2 混播比例间草地生产性能的差异

B_5 处理的小黑麦平均株高最高, 显著高于除 B_2 和 B_4 外的其余处理 ($P < 0.05$); B_8 处理的小黑麦平均株高最低, 显著低于 B_2 、 B_4 、 B_5 处理 ($P < 0.05$); 除最高的 B_5 和最低的 B_8 外, 其余混播处理间小黑麦平均株高无显著差异 ($P > 0.05$); 所有混播处理间豆科牧草平均株高无显著差异 ($P > 0.05$), 但均显著高于豆科牧草单播处理 ($P < 0.05$) (图 1)。

平均总枝条数随混播小黑麦混播比例的减少而降低 (图 2), B_3 、 B_4 、 B_5 、 B_6 、 B_7 混播比例间无显著差异 ($P > 0.05$); 小黑麦单播处理的平均总枝条数最高, 显著高于除 B_2 外的其他处理 ($P < 0.05$); 豆科牧

表 2 混播组合间、混播比例间和混播组合 $\times$ 混播比例交互作用间产量性状的方差分析
Table 2 Variance analysis of yield traits within the mixture combination, mixed ratio and the interaction of mixture combination and mixed ratio

变异来源 Variation source	小黑麦株高 Plant height of triticale	豆科牧草株高 Plant height of legumes	总枝条数 Total number of branches	小黑麦分蘖数 Number of tillers of triticale	豆科牧草分枝数 Number of branches of legumes	鲜草产量 Fresh weight
混播组合 Mixture combination	6.07*	10.19**	1.06	0.15	2.80	8.36**
混播比例 Mixture ratio	3.59**	16.92**	7.36**	2.75*	0.10	8.16**
混播组合 $\times$ 混播比例 Mixture combination $\times$ mixed ratio	3.41**	70.06**	5.66**	1.14	0.35	10.04**

*表示差异达到显著水平($P < 0.05$); **表示差异达到极显著水平($P < 0.01$); 表5同。
* indicates significant differences at the 0.05 level; ** indicates extremely significant differences at the 0.01 level; this is applicable for Table 5 as well.

表 3 混播组合间株高和产量性状的差异
Table 3 Differences in plant height and yield traits between mixture combinations

混播组合 Mixture combination	小黑麦株高 Plant height of triticale/cm	豆科牧草株高 Plant height of legumes/cm	鲜草产量 Fresh weight/(t·hm ⁻²)
A_1	141.54 $\pm$ 0.72a	125.00 $\pm$ 4.54a	41.80 $\pm$ 0.57a
A_2	138.75 $\pm$ 0.87b	105.50 $\pm$ 4.08b	39.46 $\pm$ 0.58b

A_1 表示小黑麦 $\times$ 饲用豌豆, A_2 表示小黑麦 $\times$ 毛苕子; 同列不同小写字母表示不同组合间差异显著($P < 0.05$); 下同。
 A_1 , Triticale $\times$ Pisum sativum, A_2 , Triticale $\times$ Vicia villosa; Different lowercase letters within the same column indicate significant differences at the 0.05 level; this is applicable for the following figures and tables as well.

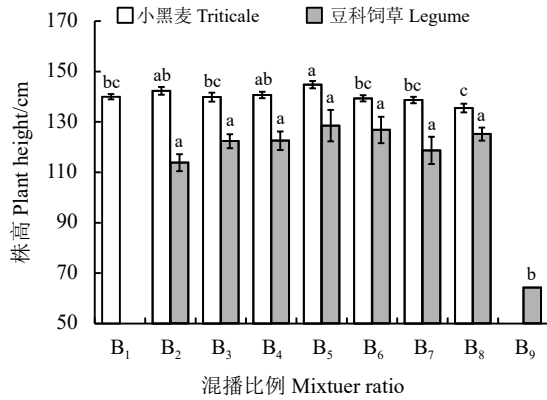


图 1 不同混播比例下小黑麦和豆科牧草的株高
Figure 1 Plant height of triticale and legumes at different mixed ratios

B₁、B₂、B₃、…、B₉ 同表 1 所列；不同小写字母表示同一牧草不同混播比例之间差异显著 ($P < 0.05$)；下同。

B₁, B₂, B₃, ..., B₉ are same as them in Table 1; Different lowercase letters indicate significant differences between different mixture ratios at the 0.05 level; this is applicable for the following figures and tables as well.

草单播处理的平均总枝条数最低，显著低于其余处理 ($P < 0.05$)。平均鲜草产量随着混播小黑麦比例的减少呈先升高后降低的趋势。B₅ 的平均鲜草产量最高，显著高于除 B₄ 和 B₆ 外的其他处理 ($P < 0.05$)；B₁ 的平均鲜草产量最低，显著低于 B₃、B₄、B₅ 和 B₆ ($P < 0.05$)；B₄、B₅ 和 B₆ 的平均鲜草产量均显著高于小黑麦单播和豆科牧草单播处理 ($P < 0.05$)。

与单播相比，适宜的混播比例可显著提高小黑麦的平均有效分蘖数 ($P < 0.05$) (图 3)，但不同混播比例间小黑麦的平均有效分蘖数无显著差异 ($P > 0.05$)，除 B₂ 和 B₃ 外，其余混播比例下小黑麦的平均

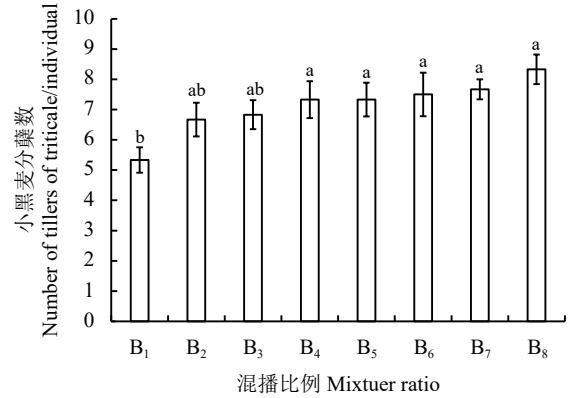


图 3 不同混播比例下小黑麦的分蘖数
Figure 3 Number of tillers of triticale at different mixed ratios

有效分蘖数均显著高于小黑麦单播处理 ($P < 0.05$)。

2.3 混播组合 × 混播比例下牧草的生产性能

小黑麦株高以处理 A₁B₅ 最高，显著高于 A₁B₁、A₁B₇、A₁B₈、A₂B₂、A₂B₃、A₂B₆、A₂B₇ 和 A₂B₈ 处理 ($P < 0.05$)；A₂B₈ 的株高最低，显著低于除 A₂B₃ 和 A₂B₆ 外的其余所有处理 ($P < 0.05$) (表 4)。

豆科牧草株高以 A₁B₆ 最高，显著高于除 A₁B₂、A₁B₅ 和 A₁B₈ 外的其余处理 ($P < 0.05$)；A₂B₉ 的株高最低，显著低于其他处理 ($P < 0.05$) (表 4)。

总枝条数以 A₁B₁ 最高，显著高于除 A₁B₂ 和 A₂B₁ 外的其他处理 ($P < 0.05$)；A₁B₉ 的总枝条数最低，显著低于除 A₂B₉ 外的其余处理 ($P < 0.05$) (表 4)。

鲜草产量以 A₁B₆ 最高，显著高于除 A₁B₄、A₁B₅、A₂B₄ 和 A₂B₅ 外的其余处理 ($P < 0.05$)；A₂B₈ 的鲜草产量最低，显著低于除 A₁B₁、A₁B₉、A₂B₁、A₂B₂、A₂B₇ 和 A₂B₉ 外的其他处理 ($P < 0.05$) (表 4)。

2.4 不同混播处理下植物种间关系特征

小黑麦不同混播处理下的相对产量总和 (RYT) 特征显示 (图 4)，除 A₂B₇ 和 A₁B₈ 外，各混播处理的 RYT 值均大于 1.0，说明不同混播处理下小黑麦与饲用豌豆和毛苕子占有不同的生态位，利用不同的资源，主要表现出共生关系。统计分析结果表明，A₁B₅ 和 A₁B₆ 的 RYT 值均显著大于 1.0 ($P < 0.05$)；A₂B₅ 的 RYT 值显著大于 1.0 ($P < 0.05$)。

小黑麦不同混播处理下的相对产量 (RY) 特征显示 (图 5)，A₁B₂、A₁B₃、A₁B₄ 和 A₁B₅ 时饲用豌豆受到抑制，小黑麦具有竞争优势；A₁B₄ 和 A₁B₅ 时小黑麦 RY 值均显著大于 1.0 ($P < 0.05$)；A₁B₆ 时小黑麦

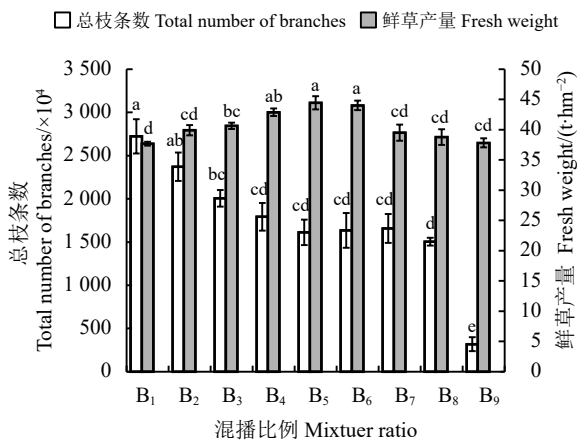


图 2 不同混播比例下总枝条数和鲜草产量的差异
Figure 2 Differences in the total number of branches and fresh weight at different mixed ratios

表 4 混播组合与混播比例交互作用下牧草产量性状和鲜草产量的差异
Table 4 Differences in yield traits and fresh weight based on the interaction of mixture combinations and mixed ratios

混播组合 × 混播比例 Mixture combination × mixed ratio	小黑麦株高 Plant height of triticale/cm	豆科牧草株高 Plant height of legumes/cm	总枝条数 Total number of branches per hm ² /(× 10 ⁴)	鲜草产量 Fresh weight/ (t·hm ⁻²)
A ₁ B ₁	139.67 ± 1.86bcd	—	2 745.00 ± 315.00a	37.93 ± 0.64ef
A ₁ B ₂	145.33 ± 0.88ab	133.00 ± 2.65abc	2 627.50 ± 238.37ab	41.60 ± 0.35bc
A ₁ B ₃	142.67 ± 0.88abcd	129.67 ± 1.20bcd	2 023.33 ± 121.97cd	40.35 ± 0.61bcde
A ₁ B ₄	140.33 ± 1.20abcd	126.67 ± 2.91cde	1 885.00 ± 297.87cde	42.95 ± 1.35ab
A ₁ B ₅	146.00 ± 1.53a	135.00 ± 3.79abc	1 365.00 ± 180.00ef	45.50 ± 1.88a
A ₁ B ₆	141.33 ± 1.20abcd	140.00 ± 4.36a	1 190.00 ± 10.00f	45.55 ± 0.14a
A ₁ B ₇	138.67 ± 1.76cd	129.33 ± 1.45bcd	1 530.00 ± 168.23cdef	41.77 ± 1.79bc
A ₁ B ₈	138.33 ± 2.33cd	137.00 ± 2.65ab	1 446.67 ± 48.07def	41.60 ± 0.40bc
A ₁ B ₉	—	69.33 ± 1.86i	151.67 ± 30.87g	38.93 ± 0.85cdef
A ₂ B ₁	140.33 ± 1.45abcd	—	2 700.00 ± 311.77a	37.45 ± 0.18ef
A ₂ B ₂	139.33 ± 1.45cd	94.67 ± 2.91h	2 116.67 ± 114.65bc	38.20 ± 0.76def
A ₂ B ₃	137.00 ± 2.65de	115.00 ± 1.53fg	1 990.00 ± 176.16cd	40.90 ± 0.98bcd
A ₂ B ₄	141.00 ± 2.52abcd	118.33 ± 3.48ef	1 700.00 ± 173.37cdef	42.80 ± 0.29ab
A ₂ B ₅	143.67 ± 2.60abc	122.00 ± 3.46def	1 860.00 ± 120.03cde	43.40 ± 1.12ab
A ₂ B ₆	137.33 ± 1.45de	113.67 ± 1.20fg	2 080.00 ± 46.19bc	42.45 ± 0.84b
A ₂ B ₇	138.67 ± 2.19cd	108.00 ± 4.51g	1 786.67 ± 309.04cdef	37.25 ± 0.84f
A ₂ B ₈	132.67 ± 1.20e	113.33 ± 0.33fg	1 563.33 ± 66.67cdef	35.95 ± 0.09f
A ₂ B ₉	—	59.00 ± 2.08j	483.33 ± 66.67g	36.70 ± 0.90f

种内竞争大于种间竞争, 饲用豌豆种内和种间竞争水平相当, 两者 RY 值均与 1.0 无显著差异 ($P > 0.05$); A₁B₇ 和 A₁B₈ 时小黑麦受到抑制, 饲用豌豆具有竞争优势, 但两者 RY 值均与 1.0 无显著差异 ($P > 0.05$)。

小黑麦与毛苕子混播时, 在各混播比例下均表现为小黑麦具有竞争优势, 毛苕子受到抑制, 除 A₂B₂ 和 A₂B₃ 外, 其余混播处理下小黑麦的 RY 值均显著大于 1.0 ($P < 0.05$)。

2.5 产量性状指标间的相关性分析

对各产量性状指标与鲜草产量进行相关性分析发现, 混播群体的鲜草产量与小黑麦株高呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 与豆科牧草株高呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 说明株高是影响混播群体鲜草产量的主要因素。鲜草产量与小黑麦分蘖数、豆科牧草分枝数和总枝条数呈负相关关系, 此外, 豆科牧

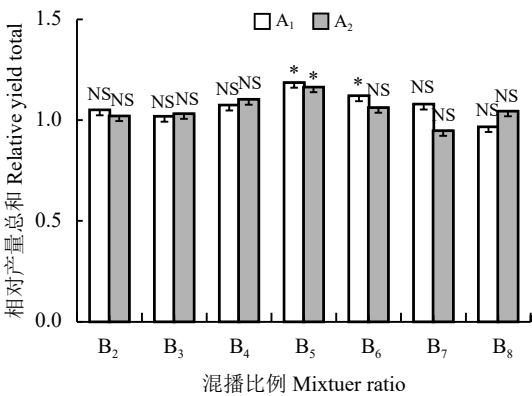


图 4 不同混播比例下牧草的相对产量总和
Figure 4 Relative yield total (RYT) of forages at different mixed ratios

*表示 RYT 值与 1.0 有显著差异 ($P < 0.05$); NS 表示 RYT 值与 1.0 无显著差异 ($P > 0.05$)。
* represents significant difference between RYT and 1.0 at the 0.05 level; NS represents no significant difference between RYT and 1.0 at the 0.05 level.

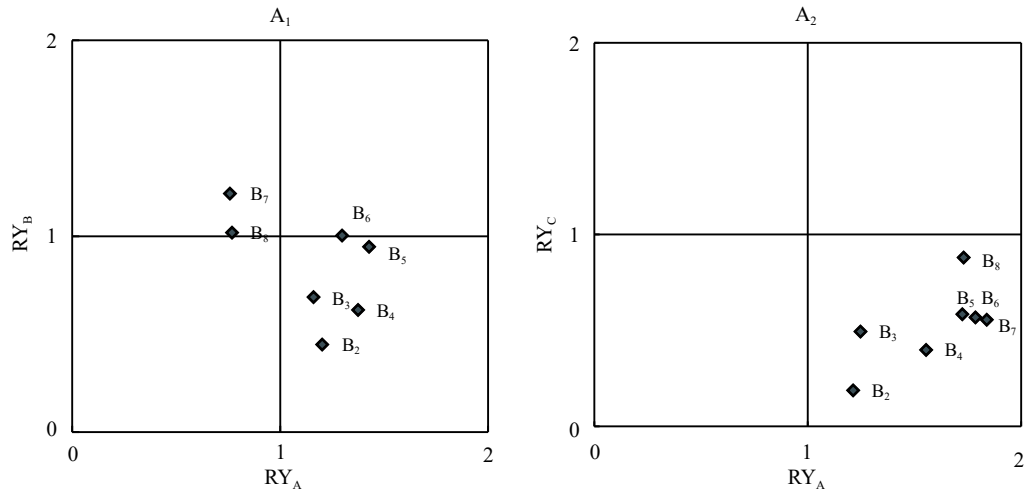


图 5 不同混播处理下牧草的相对产量

Figure 5 Relative yield (RY) of forages under different mixed treatments

RY_A 、 RY_B 和 RY_C 分别代表各混播比例下小黑麦、饲用豌豆和毛苕子的 RY 值。
 RY_A , RY_B , and RY_C represent the RY values of triticale, feed pea, and hairy vetch at different mixing ratios, respectively.

草株高与小黑麦株高呈显著正相关关系 ($P < 0.05$) (表 5)。

3 讨论

3.1 混播组合间草地生产性能的差异及原因

与单播相比，牧草混播的优势主要表现在提高了单位面积土地上的牧草生物产量^[28]，其提高幅度因混播组合的类型而变化。不同草种的生物学、生态学和植物营养代谢特性不尽相同，混播草地植物群落与单一草种草地有着不同的植被数量及结构

特征，从而表现出不同的生态功能及生产性能。适宜的牧草品种生态位重叠程度小，两者混播能有效提高牧草的产量和品质，并形成稳定的群落结构^[29]。沙打旺 (*Astragalus adsurgens*) 与老芒麦 (*Elymus sibiricus*) 混播的牧草产量分别比沙打旺与披碱草 (*Elymus dahuricus*) 和沙打旺与无芒雀麦混播高 12% 和 29.4%^[30]，用不同种类的豆科牧草与燕麦搭配混播组合，其牧草产量也有明显的差异。燕麦与箭筈豌豆或红豆草 (*Onobrychis viciifolia*) 混播，其草产量高于燕麦与毛苕子混播^[31]。在本研究中， A_1 的鲜草产量比 A_2 提高了 5.93%，主要是由于 A_1 混播

表 5 牧草产量性状指标间的相关性分析
Table 5 Correlation analysis of yield traits

指标 Index	鲜草产量 Fresh weight	小黑麦株高 Plant height of triticale	豆科牧草株高 Plant height of legumes	小黑麦分蘖数 Number of tillers of triticale	豆科牧草分枝数 Number of branches of legumes	总枝条数 Total number of branches
鲜草产量 Fresh weight	1.000					
小黑麦株高 Plant height of triticale	0.385*	1.000				
豆科牧草株高 Plant height of legumes	0.548**	0.370*	1.000			
小黑麦分蘖数 Number of tillers of triticale	-0.189	-0.133	0.024	1.000		
豆科牧草分枝数 Number of branches of legumes	-0.129	0.068	-0.215	0.007	1.000	
总枝条数 Total number of branches	-0.186	0.121	-0.283	-0.172	0.131	1.000

组合的豆科牧草平均株高和小黑麦平均株高均显著高于 A_2 , 说明与毛苕子相比, 饲用豌豆更适宜与小黑麦混播, 主要是由于饲用豌豆比毛苕子的竞争力相对更强, 与小黑麦混播时更易于形成稳定的群落结构。

3.2 混播比例间草地生产性能的差异及原因

牧草混播比例由不同牧草的相对竞争力、自身功能特性、种群更新机制及营养配比需求来决定, 因而不同牧草品种乃至不同地域间牧草的混播比例均有所不同^[32]。不同作物种间和种内存在竞争作用, 混播比例的变化会影响混播物种的竞争关系, 进而影响作物产量^[33]。赵青等^[34]研究表明, 黑麦与箭筈豌豆混播时, 牧草产量随箭筈豌豆混播比例的提高而上升, 草产量提高的幅度很大程度上取决于箭筈豌豆在混播群体中所占的比例。这与本研究结果不同, 本研究中鲜草产量随着豆科牧草比例的增加先升高后下降, 说明利用小黑麦建植混播草地时, 豆科牧草比例过高或过低均不利于提高其草产量。有许多研究认为, 豆-禾以 1:1 比例种植效果最好^[35]。舒思敏等^[36]用扁穗牛鞭草 (*Hemarthria compressa*) 和紫花苜蓿进行混播试验, 结果亦表明当扁穗牛鞭草和紫花苜蓿的混播比例为 1:1 时在植株高度和产草量方面表现较好, 这与本研究结果相似。本研究中 B_5 (50:50) 处理的平均鲜草产量最高, 但其枝条数并未达到最高水平, 说明混播群体的平均单株生物量较高, 主要得益于禾草、豆科牧草株高有所提高, 地上部分在空间上具有较合理的配置比例, 能够充分地利用阳光和 CO_2 , 可制造更多的有机物质。张瑜等^[37]在贵州高寒山区的研究表明, 饲用小黑麦与箭筈豌豆以 50:50 的比例混播时平均株高为 176.9 cm, 平均鲜草产量高达 $57.35\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 远高于本研究中小黑麦与豆科牧草在该比例下的平均株高 (144.83 cm) 和平均鲜草产量 ($44.45\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$), 这主要是由于自然气候条件差异较大所致。

3.3 混播组合 × 混播比例交互作用下草地生产性能的差异及原因

适宜的混播组合和混播比例可丰富群落层次, 促进空间合理搭配, 显著提高混播草地的产量, 但不同牧草其最佳混播组合和混播比例不同。王富强

等^[38]在拉萨河谷地区的研究表明, 燕麦与箭筈豌豆的适宜混播比为 7:3, 相比单播燕麦增产 11%, 比单播箭筈豌豆增产 148%; 紫花苜蓿与垂穗披碱草的最适播种比例为 3:2, 混播牧草的产量相对于紫花苜蓿单播增长 35.2%, 相对于垂穗披碱草单播增长 54.8%; 紫花苜蓿和苇状羊茅 (*Festuca arundinacea*) 的适宜混播比例为 7:3, 该比例可使混作总产量相对于紫花苜蓿单播增长 13.6%, 相对于苇状羊茅单播增产 19.4%。株高是反映牧草生长状况和产量的主要指标之一, 当环境资源有限, 竞争促进个体为了生存向上生长^[25]。箭筈豌豆与燕麦混播使箭筈豌豆株高比单播提高 85.2%, 使燕麦株高比燕麦单播增高 7.52%; 黑麦与箭筈豌豆混播时黑麦株高较黑麦单播增高 3.9%, 箭筈豌豆株高较箭筈豌豆单播增高 16.2%; 豌豆与燕麦混播使两者株高均有所提高, 提高幅度分别为 4.3% 和 3.1%^[39-40]。饲用豌豆与燕麦、‘冬牧 70’黑麦混播, 豆科牧草盛花后期平均株高为 60 cm, 比单播增加 20 cm^[41]。本研究表明, 随着豆科牧草比例的增加, 小黑麦株高逐渐下降, 而豆科牧草株高表现出先升高后降低的趋势, 说明植物株高除了受自身遗传特性的影响外, 种间和种内竞争的相对强弱亦会塑造其形态结构特征, 这与 Kirst 等^[42]的研究结果一致, A_1B_6 处理的鲜草产量最高, 主要得益于该比例下小黑麦和饲用豌豆株高较高, 这与相关性分析结果相符。而随着豆科牧草混播比例的进一步增大, 鲜草产量逐渐降低, 主要是由于饲用豌豆比例较大时, 在种间竞争中处于优势地位, 抑制小黑麦的生长。燕麦与饲用豌豆混播的相关研究表明, 燕麦与饲用豌豆混播时其株高显著高于单播^[43]。主要是由于种内和种间同时存在竞争和促进作用, 促使燕麦快速增高, 饲用豌豆攀援燕麦向上生长, 饲用豌豆株高增加加剧了植株对光照资源的竞争, 也促进了燕麦进一步长高, 最终使燕麦与饲用豌豆混播株高均较各自单播有不同程度的提高, 本研究结果表明小黑麦与豆科牧草混播时对株高也存在相似的促进效应。

3.4 不同混播处理下植物种间关系特征分析

不同的品种组合, 群落达到稳定时, 豆科牧草在群落中所占的比例也不相同, 豆科牧草与禾本科牧草之间形成互利或偏利的关系, 竞争关系强度较小。合理的品种组合是实现草地高产和稳产的前

提基础^[44]。在同一植物群落中,由于不同植物利用资源能力的差异或同种植物因个体差异均可引起植物对资源竞争的不对称性。本研究表明,两种作物的竞争关系因混播组合而异,随混播比例而变化。小黑麦与饲用豌豆/毛苕子混播时,大部分混播比例的 RYT 值与 1.0 无显著差异,主要原因在于开花期牧草进入生长旺盛阶段,对资源的需求增大; A₁B₂、A₁B₃、A₁B₄、A₂B₂、A₂B₃ 和 A₂B₄ 时 RYT 值与 1.0 无显著差异,主要是由于总枝条数较高,加剧了地上部分对光照资源的竞争。提高豆科牧草的比例,有利于氮素转移到禾草中^[45]。A₁B₅、A₁B₆ 和 A₂B₅ 的 RYT 值与 1.0 有显著差异,这可能与适宜的混播比例下豆科牧草可以向禾本科牧草转移较多氮素而降低对养分的竞争作用有关,此时主要表现出对小黑麦的偏利效应; A₁B₇、A₁B₈、A₂B₇ 和 A₂B₈ 时,豆科牧草的比例升高,而 RYT 值依然与 1.0 无显著差异,这可能与豆科牧草比例过高,叶片密集加剧了豆科牧草与禾本科牧草对光照资源的竞争有关。

对不同混播处理下 RY 值的研究结果表明,种间关系在不同混播组合与混播比例下有明显差异,小黑麦与饲用豌豆混播时,种间与种内竞争水平主要与混播组分所占比例有关;小黑麦与毛苕子混播时,小黑麦种内竞争大于种间竞争,毛苕子种间竞争大于种内竞争。种间关系与不同比例下混播组分利用资源的类型和能力有关。本研究分析了开花期小黑麦和豆科牧草的种间竞争关系,关于不同生育时期的种间动态竞争关系还需要进一步探究。

4 结论

小黑麦与饲用豌豆的最佳混播比例为 40 : 60, 小黑麦与毛苕子的最佳混播比例为 50 : 50, 其中‘甘农 2 号’小黑麦与‘青建 1 号’饲用豌豆以 40 : 60 的比例混播时,种间竞争可以达到相对平衡,可获得最高的鲜草产量。而对不同水肥管理条件下混播牧草的产量、品质及生态效益的研究尚未涉及,仍需从不同角度进行试验,以便更好地为实际生产和推广应用提供依据。

参考文献 References:

- [1] 颜亮东, 何彩青, 周秉荣, 伏洋. 青海省东部农业区季节性干旱成因及其发生规律研究: 以乐都县为例. 青海气象, 2007(3): 9-12.
YAN L D, HE C Q, ZHOU B R, FU Y. Study on the causes and occurrence regularity of seasonal drought in eastern agricultural areas of Qinghai Province: A case study of Ledu County. Journal of Qinghai Meteorology, 2007(3): 9-12.
- [2] 邓艳芳. 青海省农区种草及复种牧草初探. 青海草业, 2014, 23(1): 46-48.
DENG Y F. The stand on the development of the rural area forage and multiple cropping forage grass in Qinghai Province. Qinghai Prataculture, 2014, 23(1): 46-48.
- [3] 贾濮华, 靳义超. 青海农区冷季肉牛的牧草饲料管理技术研究. 青海畜牧兽医杂志, 2011, 41(5): 23-24.
JIA P H, JIN Y C. Forage feed management in cold season in Qinghai rural areas. Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2011, 41(5): 23-24.
- [4] 杨国柱, 韩增祥. 东部农区退耕地种草的主要制约因素和对策 (I). 青海草业, 2002, 11(2): 45-47, 49.
YANG G Z, HAN Z X. Main restrictive factors and countermeasures of grass planting in returning farmland in eastern agricultural areas (I). Qinghai Prataculture, 2002, 11(2): 45-47, 49.
- [5] 王元素, 蒋文兰, 洪绂曾, 王堃. 人工混播草地群落稳定性研究进展. 中国草地, 2005, 27(4): 58-63, 73.
WANG Y S, JIANG W L, HONG F Z, WANG K. A review of studies on stability of artificial mixed-pasture. Grassland of China, 2005, 27(4): 58-63, 73.
- [6] BILIGETU B, JEFFERSON P G, MURI R, SCHELLENBERG M P. Late summer forage yield, nutritive value, compatibility of warm- and cool-season grasses seeded with legumes in western Canada. Canadian Journal of Plant Science, 2014, 94(7): 1139-1148.
- [7] GURR G M, LU Z X, ZHENG X S. Multi-country evidence that crop diversification promotes ecological intensification of agriculture. Nature Plants, 2016, 2(3): 16014.

- [8] 杨晓鹏, 李平, 董臣飞, 马啸, 苟文龙. 多花黑麦草 + 燕麦混播草地上生物量和营养品质动态研究. 草地学报, 2020, 28(1): 149-158.
- YANG X P, LI P, DONG C F, MA X, GOU W L. Studies on the dynamics of above-ground biomass and nutritive value of annual ryegrass and common oat mixtures. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(1): 149-158.
- [9] 关正翺, 娜尔克孜, 朱亚琼, 郑伟, 刘岳含, 艾丽菲热. 不同混播方式下燕麦 + 箭筈豌豆混播草地的生产性能及土壤养分特征. 草业科学, 2019, 36(3): 772-784.
- GUAN Z X, Naerkezi, ZHU Y Q, ZHENG W, LIU Y H, Ailifeire. Effect of different sowing patterns on production performance and soil nutrients in *Avena sativa* + *Vicia sativa* mixtures. *Pratacultural Science*, 2019, 36(3): 772-784.
- [10] FRANKOW-LINDBERG B E, DAHLIN A S. N² fixation, N transfer, and yield in grassland communities including a deep-rooted legume or non-legume species. *Plant and Soil*, 2013, 370(1): 567-581.
- [11] 张永亮, 骆秀梅, 吴明浩, 潘东. 科尔沁沙地苜蓿-禾草混播组合对播种当年牧草生产性能的影响. 草业科学, 2018, 35(4): 882-890.
- ZHANG Y L, LUO X M, WU M H, PAN D. Effect of alfalfa-grass mix combinations on the forage productivity during the sowing year in the Horqin Sandy Land. *Pratacultural Science*, 2018, 35(4): 882-890.
- [12] 张永亮, 王建丽, 胡自治. 杂花苜蓿与无芒雀麦混播群落种间竞争及稳定性. 草地学报, 2007, 15(1): 43-49.
- ZHANG Y L, WANG J L, HU Z Z. Interspecific competition and community stability of variegated alfalfa + awnless brome mixture. *Acta Agrestia Sinica*, 2007, 15(1): 43-49.
- [13] 庞丹波, 李生宝, 潘占兵, 张龙. 紫花苜蓿混播研究进展. 安徽农业科学, 2014(27): 9395-9397.
- PANG D B, LI S B, PAN Z B, ZHANG L. Research progress of pasture mixed-sowing of alfalfa. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014(27): 9395-9397.
- [14] 赵方媛, 刘晶, 杜文华, 田新会. 不同牧草型小黑麦基因型的光合生理差异. 草业学报, 2020, 29(1): 63-73.
- ZHAO F Y, LIU J, DU W H, TIAN X H. A study of the photosynthetic physiology of different forage triticales genotypes. *Acta Pratacultural Sinica*, 2020, 29(1): 63-73.
- [15] 宫旭胤, 汪晓娟, 张利平, 李成, 冯明廷, 海菊花, 刘婷. 小黑麦在祁连山牧区引种试验研究. 甘肃农业科技, 2014(7): 32-34.
- GONG X Y, WANG X J, ZHANG L P, LI C, FENG M T, HAI J H, LIU T. Study on introduction experimental of planting triticales in Qilian pastoral. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2014(7): 32-34.
- [16] 张起荣, 潘正武, 韩天维. 小黑麦对高寒地区的适应性研究. 中国草食动物, 2011, 31(4): 56-58.
- ZHANG Q R, PAN Z W, HAN T W. Study on adaptability of triticales in alpine region. *China Herbivores*, 2011, 31(4): 56-58.
- [17] 任显鑫, 代寒凌, 田新会, 杜文华. 添加剂对甘肃省高寒牧区不同刈割期小黑麦青贮饲料营养品质和青贮品质的影响. 草业学报, 2020, 29(3): 197-206.
- REN Y X, DAI H L, TIAN X H, DU W H. Effects of different additives and cutting dates on nutritional and silage fermentation quality of triticales silage in an alpine pastoral area of Gansu Province. *Acta Pratacultural Sinica*, 2020, 29(3): 197-206.
- [18] 裴亚斌, 杜文华, 刘汉成, 刘翠, 田新会. 甘南高寒牧区 3 种饲草不同种植模式下的生产性能及经济效益. 草业科学, 2020, 37(4): 791-799.
- PEI Y B, DU W H, LIU H C, LIU C, TIAN X H. Comparison of the production performance and economic benefits of three different forage planting models in the alpine grazing area of Gannan. *Pratacultural Science*, 2020, 37(4): 791-799.
- [19] 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 triticales in Chengduo. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2015, 45(5): 4-6.
- [20] 邓艳芳. 青海省东部农区复种箭筈豌豆最佳播量试验. 青海草业, 2015, 24(3): 10-12.
- DENG Y F. Test of multiple cropping vetch seeding amount in Qinghai eastern agricultural region. *Qinghai Prataculture*, 2015, 24(3): 10-12.

- [21] 马晓东, 孙金金, 汪鹏斌, 赵一珊, 宋美娟, 鱼小军. 青海果洛高寒地区燕麦和小黑麦最佳混播比例. *草业科学*, 2020, 37(4): 753-761.
- MA X D, SUN J J, WANG P B, ZHAO Y S, SONG M J, YU X J. Screening of the best mixed ratio of *Avena sativa* and $\times$ *Triticale* Wittmack in the high-cold area of Guoluo, Qinghai Province. *Pratacultural Science*, 2020, 37(4): 753-761.
- [22] 王伟. 玉树地区小黑麦不同播期生产性能研究. *青海畜牧兽医杂志*, 2019, 49(1): 22-25.
- WANG W. Study on the production performance of triticale in different sowing time in Yushu. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2019, 49(1): 22-25.
- [23] 陈宝书. 牧草饲料作物栽培学. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- CHEN B S. Forage and Crop Cultivation. Beijing: China Agriculture Press, 2001.
- [24] 任昱鑫, 刘汉成, 田新会, 杜文华. 氮肥施用量和播种密度对甘南高寒牧区小黑麦生产性能和营养价值的影响. *草业科学*, 2019, 36(10): 2601-2611.
- REN Y X, LIU H C, TIAN X H, DU W H. Effects of the nitrogen application rate and sowing density on the productivity and nutritional value of $\times$ *Triticosecale* Wittmack in the Gannan area. *Pratacultural Science*, 2019, 36(10): 2601-2611.
- [25] 徐桂花, 于徐根, 黄栋, 戴征煌, 刘水华, 胡文婷, 甘兴华. 播种量对冬闲田种植燕麦和饲用豌豆草产量的影响. *江西农业学报*, 2018, 30(9): 39-42.
- XU G H, YU X G, HUANG D, DAI Z H, LIU S H, HU W T, GAN X H. Effects of seeding rate on hay yield of *Avena sativa* and *Pisum arvense* planted in winter idle farmland. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2018, 30(9): 39-42.
- [26] 曹亦芬, 曹致中, 郭景文. 毛苕子最适播种量试验研究. *草业科学*, 1994, 11(5): 39-41.
- CAO Y F, CAO Z Z, GUO J W. Study on amount of optimum sowing norm of *Vicia villosa*. *Pratacultural Science*, 1994, 11(5): 39-41.
- [27] 秦燕, 关佑君, 王有良, 陈季贵, 张永超, 刘勇, 魏小星, 李小瑞, 刘文辉. 高寒区饲用油菜混作效应研究. *草业科学*, 2019, 36(10): 2612-2621.
- QIN Y, GUAN Y J, WANG Y L, CHEN J G, ZHANG Y C, LIU Y, WEI X X, LI X R, LIU W H. Effects of fodder-rape intercropping in the alpine region. *Pratacultural Science*, 2019, 36(10): 2612-2621.
- [28] 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, Jiaziyila-Haleke. Production performance evaluation of oat-common vetch mixed pasture based on nutrient needs of horses. *Pratacultural Science*, 2015, 32(6): 1002-1009.
- [29] 袁福锦, 黄梅芬, 廖祥龙, 吴文荣, 余梅, 李友, 薛世明, 王馨, 李继中. 滇西北高寒地区牧草混播组合的筛选. *草业科学*, 2015, 32(12): 2078-2082.
- YUAN F J, HUANG M F, LIAO X L, WU W R, YU M, LI Y, XUE S M, WANG X, LI J Z. Screening of the pasture mixed sowing combination in Shangri-la alpine region of Yunnan. *Pratacultural Science*, 2015, 32(12): 2078-2082.
- [30] 姚支春, 康博文, 柳怀孝. 多年生牧草混播试验研究. *中国草地*, 1992(4): 23-26.
- YAO Z C, KANG B W, LIU H X. Study on the mixed seeding experiment of perennial forage crops. *Grassland of China*, 1992(4): 23-26.
- [31] 张耀生, 赵新全, 周兴民. 高寒牧区三种豆科牧草与燕麦混播的试验研究. *草业学报*, 2001, 10(1): 13-19.
- ZHANG Y S, ZHAO X Q, ZHOU X M. Mixed cropping of oat with three leguminous pasture species in alpine pastoral area. *Acta Pratacultural Sinica*, 2001, 10(1): 13-19.
- [32] 赵海新, 朱占林, 张永亮, 黄晓群, 刘晶. 混播草地之研究进展. *中国农学通报*, 2005, 21(11): 38-41.
- ZHAO H X, ZHU Z L, ZHANG Y L, HUANG X Q, LIU J. Progress of research in mixed-seeding meadow. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(11): 38-41.
- [33] 苟文龙, 李平, 张建波, 王婷, 马啸, 周俗, 白史旦, 师尚礼. 多花小黑麦草 + 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): 198-206.
- GOU W L, LI P, ZHANG J B, WANG T, MA X, ZHOU S, BAI S Q, SHI S L. Study on the dynamics of above-ground biomass and nutritive value of annual triticale grass and common vetch mixtures. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(2): 198-206.
- [34] 赵青, 李世丹, 陈仕勇, 马莉, 王泰. 川西北高寒牧区黑麦与箭筈豌豆适宜混播比例的筛选试验. *草学*, 2017(6): 34-36.
- ZHAO Q, LI S D, CHEN S Y, MA L, WANG T. The study of the most appropriate mixed sowing proportion with *Secale cereale* Lrye and *Vicia sativa* Lrye in alpine and low temperature pasture area of northwest Szechwan. *Journal of Grassland and Forage Science*, 2017(6): 34-36.
- [35] LI Q, SONG Y T, LI G D, YU P J, WANG P, ZHOU D W. Grass-legume mixtures impact soil N, species recruitment, and productivity in temperate steppe grassland. *Plant and Soil*, 2015, 394: 271-285.
- [36] 舒思敏, 傅鲜桃, 杨春华, 陈灵鸷, 何凌斐. 扁穗牛鞭草与紫花苜蓿不同混播比例草地生产特性评价. 四川农业大学学报, 2011, 29(1): 115-118.
- SHU S M, FU X T, YANG C H, CHEN L Z, HE L F. Evaluation on the production characteristics of mixture grassland with different ratio of *Hemarthria compressa* and *Medicago varia*. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2011, 29(1): 115-118.
- [37] 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.
- [38] 王富强, 向洁, 郭宝光, 邵小明. 拉萨河谷区豆禾牧草混播比例、施氮、灌溉对生物量的影响. //中国草学会 2017 年会论文集. 广州: 中国草学会, 2017.
- WANG F Q, XIANG J, GUO B G, SHAO X M. Effects of mixed sowing ratio, nitrogen application and irrigation on biomass. // *Proceedings of Annual Conference in 2017 by the Chinese Grassland Society*. Guangzhou: Chinese Grassland Society, 2017.
- [39] 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, 23(2): 50-55.
- MA C H, HAN J G. Studies on cultivated annual forage and crop in high-cold area. *Grassland of China*, 2001, 23(2): 50-55.
- [40] 马春晖, 韩建国. 冬牧 70 小黑麦 + 箭筈豌豆混播草地生物量、品质及种间竞争的动态研究. *草业学报*, 1999, 8(4): 56-64.
- MA C H, HAN J G. The dynamical studies on biomass, qualities and interspecific competition of the rye and vetch mixture. *Acta Prataculturae Sinica*, 1999, 8(4): 56-64.
- [41] 邵新庆. 两个新品种豌豆与冬牧 70 黑麦燕麦混播试验. *甘肃农业大学学报*, 2000, 35(3): 320-325.
- SHAO X Q. Mix-planting experiment on two new varieties of peas with 70-rye and oat. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2000, 35(3): 320-325.
- [42] KIRST H, SHEN Y X, VAMVAKA E, BETTERLE N, XU D M, WAREK U, STRICKLAND J A, MELIS A. Downregulation of the *CpSRP43* gene expression confers a truncated light-harvesting antenna (TLA) and enhances biomass and leaf-to-stem ratio in *Nicotiana tabacum* canopies. *Planta*, 2018, 248(1): 1-16.
- [43] 刚永和, 张海博, 刚馥欣, 杜江, 牛勇, 萨仁花. 燕麦与饲用豌豆混播对饲草产质量的影响. *贵州农业科学*, 2020, 48(7): 23-28.
- GANG Y H, ZHANG H B, GANG F X, DU J, NIU Y, SA R H. Effect of *Avena sativa* and *Pisum sativum* mixed with different proportion on forage yield and quality. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2020, 48(7): 23-28.
- [44] 赵俊权. 18 种引进优良牧草混播草地生产力和群落稳定性及可持续利用研究. 兰州: 兰州大学博士学位论文, 2007.
- ZHAO J Q. The sustainable utilization study of 18 introduced excellent cultivars mixture pastures productivity and community stability. PhD Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2007.
- [45] TA T C. Effects of alfalfa proportions and clipping frequencies on timothy-alfalfa mixtures. *Agronomy Journal*, 1987(79): 817-824.

(责任编辑 王芳)