

青海省甘德县燕麦+毛苕子+豌豆混播比例生产性能的综合评价

马晓东,孙金金,汪鹏斌,宋美娟,赵一珊,鱼小军

(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:为筛选出适宜青海省三江源区燕麦、毛苕子和豌豆混播的最佳比例,在青海省甘德县进行了燕麦、毛苕子和豌豆不同混播比例的研究。结果表明:在供试5个混播比例中,燕麦70%+毛苕子10%+豌豆20%处理下的燕麦、毛苕子、豌豆的株高及单株产量均最高,较燕麦单播分别提高13.6%和54.8%。燕麦70%+毛苕子10%+豌豆20%下的混合牧草干草产量和粗蛋白含量均最高,分别为15 793 kg/hm²和5.54%,显著高于燕麦单播、燕麦70%+豌豆30%、燕麦70%+毛苕子30%处理($P < 0.05$),较燕麦单播分别提高56.8%和57.4%。燕麦70%+毛苕子10%+豌豆20%下的混合牧草中性洗涤纤维含量和酸性洗涤纤维含量最低,分别为53.06%和32.2%,较燕麦单播分别降低7.7%和10.5%。利用混合草的干草产量、粗蛋白含量、可溶性糖含量、淀粉含量、中性洗涤纤维含量和酸性洗涤纤维含量进行隶属函数值综合评价,得出青海省甘德县最佳混播比例为燕麦70%+毛苕子10%+豌豆20%。

关键词:饲草混播;三江源区;最佳比例;综合评价

中图分类号:S54 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)06-0076-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyecp.2020.06.012

三江源区位于青藏高原腹地,是长江、黄河、澜沧江的发源地,其生态系统敏感而脆弱,是全国重要的生态环境保护区^[1-2]。三江源区因气候寒冷,生态系统自我修复能力弱,在人为因素干扰下一旦出现退化演替,便会出现恢复困难^[3-4]。近年来,三江源地区天然草地整体上仍处于超载状态^[5],在很大程度上造成草原的破坏或退化,草-畜平衡问题突出^[6]。由于青藏高原地区冬春季饲草不足,家畜“冬瘦、春死”的现象频繁发生^[7],故发展优质高产的人工草地是解决冷季草畜供求矛盾、保障草地畜牧业可持续发展的重要途径

径^[8-9]。

目前,在三江源区,燕麦(*Avena sativa*)具有适应性强、抗寒性强、易栽、产量高、气味香、口感佳、可溶性碳水化合物含量高等优良特性^[10-11],作为补饲草广泛种植。单一种植燕麦草产量和粗蛋白含量低,豆禾牧草混播可结合禾本科牧草碳水化合物含量高和豆科牧草粗蛋白含量高的特点,在保持较好的适口性的同时提高了蛋白含量,是实现草地可持续发展的重要途径^[12]。混播主要涉及的豆科牧草有箭筈豌豆(*Pisum sativum*)、豌豆(*Pisum sativum*)、毛苕子(*Vicia villosa*)、苜蓿(*Medicago sativa*)、红豆草(*Onobrychis viciifolia*)和红三叶(*Trifolium pratense*)等。豌豆是一年生攀缘型豆科作物,粗蛋白含量高;毛苕子为一年生或越年生豆科草本植物,具有适口性好、蛋白质含量高、耐旱、耐酸、耐盐碱等优点^[13],在高寒区广泛种植。

20世纪90年代初在青海省海北定位站种植一年生耐寒豆科牧草毛苕子与燕麦的混播试验成功^[14],深受该地区牧民欢迎^[15]。已有的燕麦混播研究集中于不同播种方式和施肥梯度对燕麦混播草地的生产性能

收稿日期:2019-12-24; **修回日期:**2020-01-10

基金项目:青海省重点研发与转化计划(2019-H-815);国家重点研发计划(2016YFC0501904)

作者简介:马晓东(1995-),男,内蒙古赤峰人,硕士研究生。

E-mail:1427578334@qq.com

鱼小军为通讯作者。

E-mail:yuxj@gsau.edu.cn

和品质的影响^[16-19],及不同燕麦和毛苕子混播对根系、种间竞争关系、草产量和品质的影响等方面^[20-22],因此,本研究设置燕麦、毛苕子和豌豆混播,比较混播后的产草量和品质,综合评价确定燕麦、毛苕子和豌豆混播的最佳比例,为该类型区域的饲草生产筛选出适宜的混播最佳组合。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验点选择在青海省果洛藏族自治州甘德县江千乡, N 34°09'41", E 100°26'43", 海拔 3 890 m, 属高原大陆性半湿润气候, 年均降水量 535.4 mm。年均温度 -1.5℃, 一年中最低温度 -12.6℃ (12 月), 最高温度 9.4℃ (7 月), 温度偏低。常年有风, 夏秋两季风力较小, 历年平均风速为 2.2 m/s, 多西北风^[23]。土壤为高山草甸土, pH 为 6.86, 土壤全氮 1.77 g/kg, 全磷 1.19 g/kg, 全钾 16.72 g/kg, 碱解氮 166.89 mg/kg, 速效磷 17.21 mg/kg, 速效钾 97.6 mg/kg, 有机质 85.10 g/kg。

1.2 试验材料

试验选用耐寒的燕麦品种陇燕 2 号, 发芽率为 95%, 由甘肃农业大学提供; 毛苕子发芽率为 84%, 种子购自甘肃创绿草业科技有限公司; 麻豌豆种子发芽率为 97%, 购自天祝县华藏镇的农户。

1.3 试验设计

设置 3 个混播比例, 以单播燕麦、燕麦 70% + 毛苕子 30%、燕麦 70% + 豌豆 30% 为对照。小区面积为 3 m × 5 m, 小区间隔 0.5 m。每处理 4 次重复, 小区随机区组排列, 不施肥。试验样地的前茬作物为燕麦。于 2018 年 5 月 15 日进行播种, 同行条播。混播按照燕麦、毛苕子和豌豆单播量 225、60 和 150 kg/hm² 不同按比例组合 (表 1)。

1.4 测定指标及方法

株高: 于燕麦抽穗期 (9 月 24 日) 每个小区随机取 10 株 (远离边行), 测量从地面至穗顶部的垂直高度, 求平均值。

产草量: 于燕麦抽穗期 (9 月 24 日) 收割测产, 每个小区按行取 3 m 长样段 (远离边行), 齐地面刈割后称取鲜重。后随机取 500 g 鲜样在 105℃ 下杀青 30 min, 在 65℃ 烘箱中烘 24 h, 至恒重, 称干草产量, 计算鲜草产量和干草产量之比为鲜干比。单株产量: 随机挖取 10 株, 留茬 4 cm 刈割后称取鲜重。

表 1 燕麦、毛苕子和豌豆的混播比例

Table 1 Mixed ratio of *Avena sativa*, *Vicia villosa* and *Pisum sativum*

混播处理	混播比例
DB-Y	燕麦 100%
HB-YW1	燕麦 70% + 豌豆 30%
HB-YM2	燕麦 70% + 毛苕子 30%
HB-YMW3	燕麦 70% + 毛苕子 20% + 豌豆 10%
HB-YMW4	燕麦 70% + 毛苕子 15% + 豌豆 15%
HB-YMW5	燕麦 70% + 毛苕子 10% + 豌豆 20%

地下生物量: 在样地远离边行随机挖取 10 株, 取样深度为 30 cm, 用流水反复冲洗干净, 烘干称重 (在烘箱中 105℃ 杀青 30 min, 均置于 65℃ 烘箱烘至恒重, 感量 0.1 mg 的分析天平称量所得干重) 即为地下生物量。

茎叶比: 将 500 g 鲜草进行茎叶分离, 分别称重, 在烘箱中 105℃ 杀青 30 min, 65℃ 烘干 24 h 至恒重后称重, 求茎叶比。

营养价值: 将烘干草样用粉碎机粉碎过 1 mm 筛。粗蛋白含量测定采用凯氏定氮法^[24]; 可溶性糖和淀粉含量测定采用蒽酮法^[25]; 中性洗涤纤维含量 (Neutral Detergent Fibre, NDF) 和酸性洗涤纤维含量 (Acid Detergent Fibre, ADF) 的测定采用范氏洗涤纤维分析法^[24]。相对饲喂价值 (RFV)^[26]: $RFV = \frac{DMI \times DDM}{1.29}$,

其中, 干物质采食量 $DMI = \frac{120}{NDF}$, 可消化性干物质 $DDM = 88.9 - 0.779 ADF$ 。

应用隶属函数法对各处理的干草产量和品质进行综合评价。利用公式 $X(\mu) = \frac{(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})}$ 计算各处理的干草产量、粗蛋白含量、可溶性糖含量、淀粉含量在不同处理下的具体隶属函数值^[27]。式中 X 为各处理某指标的测定值, X_{\max} 和 X_{\min} 分别为所有处理中该指标的最大值和最小值。其中中性洗涤纤维含量和酸性洗涤纤维含量与牧草品质呈负相关, 计算公式为 $X(\mu) = 1 - \frac{(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})}$ ^[27]。然后把各处理的隶属函数值累加算平均值, 根据各处理的隶属函数平均值确定燕麦、毛苕子和豌豆混播的最佳比例。

1.5 数据处理

采用 Excel 2010 整理计算数据、制图; 利用 SPSS 19.0 中 Compare Means 对不同混播处理下的营养品

质及生产性能进行单因素方差分析,差异显著性水平为 0.05,试验数据以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 不同混播处理对牧草生产性能的影响

2.1.1 不同混播处理对植株高度的影响 不同混播处理与对照之间牧草植株高度的变化不同(图 1-A)。处理 HB-YMW5 的燕麦植株高度显著高于燕麦单播、处理 HB-YW1 和 HB-YM2 ($P < 0.05$),分别提高了 13.6%、13.3%、27.5%;处理 HB-YMW3、HB-

YMW4 的植株高度较燕麦单播、处理 HB-YW1 和 HB-YM2 均差异不显著 ($P > 0.05$)。处理 HB-YMW5 的豌豆植株高度显著高于处理 HB-YW1 ($P < 0.05$),提高幅度为 23.0%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的毛苕子植株高度显著高于处理 HB-YM2 ($P < 0.05$),分别提高了 39.4%、27.2%、54.0%,其中处理 HB-YMW5 植株高度最高,为 68.8 cm。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5,随着毛苕子混播比例的降低,燕麦和毛苕子株高呈先降低后升高,豌豆株高呈逐渐升高的趋势。

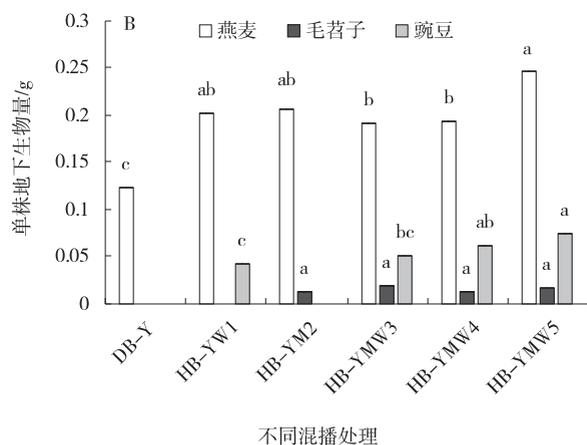
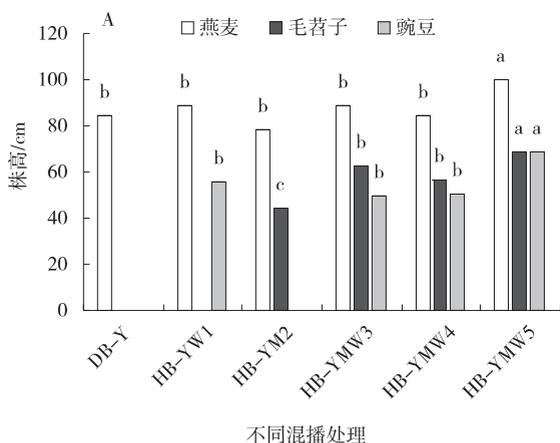


图 1 不同混播处理下牧草株高及单株地下生物量

Fig. 1 Effects of different mixed treatments on plant height and underground biomass per plant of forage

注:不同小写字母表示燕麦、毛苕子及豌豆不同处理分别与燕麦单播、燕麦 70%+豌豆 30%和燕麦 70%+毛苕子 30%差异显著 ($P < 0.05$),下同

2.1.2 不同混播处理对单株地下生物量的影响 不同混播处理与对照之间牧草单株地下生物量的变化不同(图 1-B)。处理 HB-YW1、HB-YM2、HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的燕麦单株地下生物量显著高于燕麦单播 ($P < 0.05$),分别提高了 65.0%、67.5%、56.1%、57.7%、101.6%,其中处理 HB-YMW5 单株地下生物量最高,为 0.248 g。处理 HB-YMW4、HB-YMW5 的豌豆单株地下生物量显著高于处理 HB-YW1 ($P < 0.05$),分别提高 41.9%、72.1%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的毛苕子单株地下生物量较处理 HB-YM2 均差异不显著 ($P > 0.05$)。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5,随着毛苕子混播比例的降低,燕麦和豌豆单株地下生物量呈逐渐升高的趋势,毛苕子单株地下生物量呈先降低后升高的趋势。

2.1.3 不同混播处理对单株产量的影响 不同混播处理与对照之间牧草单株产量的变化不同(表 2)。处

理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的燕麦单株产量均显著高于燕麦单播 ($P < 0.05$),分别提高了 50.9%、46.2%、54.8%,其中处理 HB-YMW5 燕麦单株产量最高,为 8.45 g。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的豌豆单株产量均显著高于处理 HB-YW1 ($P < 0.05$),分别提高了 27.3%、24.2%、27.3%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 毛苕子单株产量较处理 HB-YM2 均差异不显著 ($P > 0.05$)。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5,随着毛苕子混播比例的降低,燕麦、毛苕子和豌豆单株产量均呈先降低后升高的趋势。

2.1.4 不同混播处理对干草产量的影响 不同混播处理与对照之间牧草干草产量的变化不同(表 2)。处理 HB-YW1、HB-YM2、HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的干草产量均显著高于燕麦单播 ($P < 0.05$),分别提高 30.1%、37.2%、43.0%、50.7%、56.8%,其中处理 HB-YMW5 干草产量最高,为 1 5793 kg/hm²。

处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的干草产量均显著高于处理 HB-YW1、HB-YM2 ($P < 0.05$), 较处理 HB-YW1 分别提高 9.9%、15.8%、20.6%, 较处

理 HB-YM2 分别提高 4.3%、9.8%、14.3%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5, 随着毛苕子混播比例的降低, 牧草的干草产量呈逐渐升高的趋势。

表 2 不同混播处理下牧草单株产量及干草产量

Table 2 Effects of different mixed treatments on yield per plant and hay yield

混播处理	单株产量/g			干草产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
	燕麦	毛苕子	豌豆	
DB-Y	5.46 ± 0.75 ^b	—	—	10 069 ± 290 ^f
HB-YW1	7.14 ± 0.69 ^{ab}	—	2.63 ± 0.23 ^a	13 100 ± 126 ^e
HB-YM2	6.62 ± 0.70 ^{ab}	0.33 ± 0.02 ^b	—	13 812 ± 150 ^d
HB-YMW3	8.24 ± 0.65 ^a	0.42 ± 0.03 ^a	2.54 ± 0.17 ^a	14 401 ± 156 ^c
HB-YMW4	7.98 ± 0.08 ^a	0.41 ± 0.01 ^a	2.53 ± 0.22 ^a	15 171 ± 247 ^b
HB-YMW5	8.45 ± 0.05 ^a	0.42 ± 0.01 ^a	2.66 ± 0.01 ^a	15 793 ± 98 ^a

注: “—”表示该处理中没有该种牧草, 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.2 不同混播处理对牧草品质的影响

2.2.1 茎叶比 不同混播处理与对照之间牧草茎叶比的变化不同(图 2-A)。处理 HB-YM2、HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的燕麦茎叶比与燕麦单播均差异不显著 ($P > 0.05$), 其中处理 HB-YMW5 茎叶比

最低, 为 0.62。处理 HB-YMW5 的豌豆茎叶比最低, 为 1.16, 但较处理 HB-YW1 差异不显著 ($P > 0.05$)。在处理 HB-YMW5 的毛苕子茎叶比显著低于处理 HB-YM2 ($P < 0.05$), 降低幅度为 30.4%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5, 随着毛苕子混播比

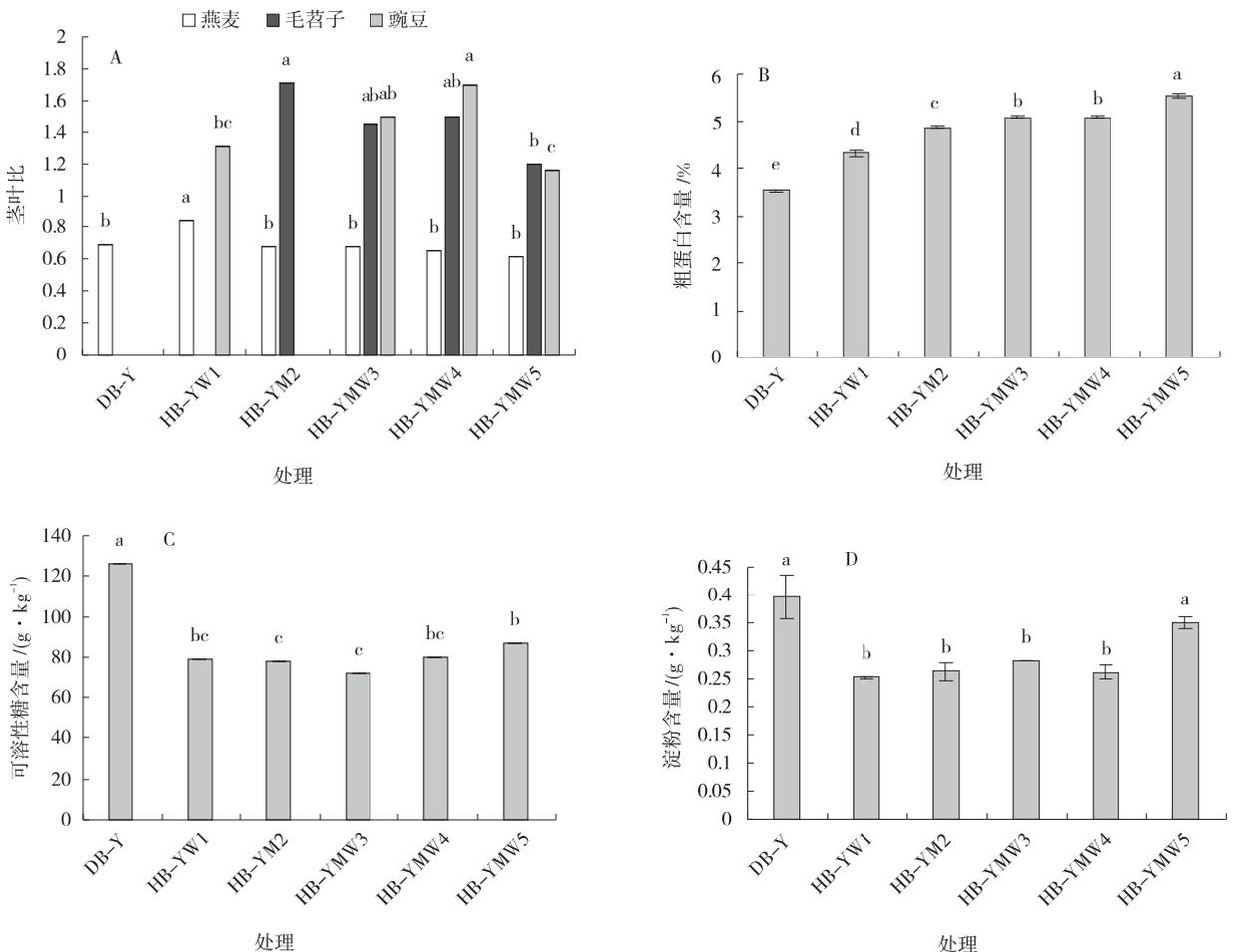


图 2 不同混播处理下牧草茎叶比、粗蛋白含量、可溶性糖含量及淀粉含量

Fig. 2 Effects of different mixed sowing treatments on stem-leaf ratio of forage, crude protein content, soluble sugar content, and starch content

例的降低,燕麦茎叶比呈现逐渐降低的趋势;毛苕子和豌豆均呈现先升高后降低的趋势。

2.2.2 粗蛋白含量 不同混播处理与对照之间混合牧草的粗蛋白含量变化不同(图 2-B)。处理 HB-YW1、HB-YM2、HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的粗蛋白含量均显著高于燕麦单播($P<0.05$),分别提高 22.2%、37.5%、44.6%、44.6%、57.4%,其中处理 HB-YMW5 的粗蛋白含量最高,为 5.54%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的粗蛋白含量均显著高于处理 HB-YW1、HB-YM2($P<0.05$),较处理 HB-YW1 分别提高 18.4%、18.4%、28.8%,较处理 HB-YM2 分别提高 5.2%、5.2%、14.5%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5,随着毛苕子混播比例的降低,混合牧草的粗蛋白含量呈逐渐升高的趋势。

2.2.3 可溶性糖含量 不同混播处理与对照之间混合牧草的可溶性糖含量变化不同(图 2-C)。处理 HB-YW1、HB-YM2、HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的可溶性糖含量均显著低于燕麦单播($P<0.05$),其中处理 HB-YMW5 的可溶性糖含量较高,为 87.24 g/kg。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 随着毛苕子混播比例的降低,混合牧草的可溶性糖含量呈逐渐升高的趋势。

2.2.4 淀粉含量 不同混播处理与对照之间混合牧草的淀粉含量变化不同(图 2-D)。处理 HB-YW1、HB-YM2、HB-YMW3、HB-YMW4 的淀粉含量均显著低于燕麦单播($P<0.05$),处理 HB-YMW5 的淀粉含量较高,为 0.35 g/kg,但较燕麦单播差异不显著($P>0.05$)。处理 HB-YMW5 的淀粉含量较处理 HB-YW1、HB-YM2 均显著提高($P<0.05$),较处理 HB-YW1 提高 40%,较

处理 HB-YM2 提高 34.6%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5,随着毛苕子混播比例的降低,混合牧草的淀粉含量呈先降低后升高的趋势。

2.2.5 中性洗涤纤维含量 不同混播处理与对照之间混合牧草的中性洗涤纤维含量变化不同(表 3)。处理 HB-YMW4、HB-YMW5 的中性洗涤纤维含量均显著低于燕麦单播($P<0.05$),分别降低 6.5%、7.7%,其中处理 HB-YMW5 中性洗涤纤维含量最低,为 53.06%。处理 HB-YMW5 的中性洗涤纤维含量均显著低于处理 HB-YW1、HB-YM2($P<0.05$),较处理 HB-YW1 降低 6.3%,较处理 HB-YM2 降低 8.3%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5,随着毛苕子混播比例的降低,混合牧草的中性洗涤纤维含量呈逐渐降低的趋势。

2.2.6 酸性洗涤纤维含量 不同混播处理与对照之间混合牧草的酸性洗涤纤维含量变化不同(表 3)。处理 HB-YW1、HB-YM2、HB-YMW3 酸性洗涤纤维含量均显著高于燕麦单播($P<0.05$),处理 HB-YMW4、HB-YMW5 的酸性洗涤纤维含量均显著低于燕麦单播($P<0.05$),分别降低 4.1%、10.5%,其中处理 HB-YMW5 酸性洗涤纤维含量最低,为 32.2%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 的酸性洗涤纤维含量均显著低于处理 HB-YW1($P<0.05$),分别降低 6.0%、13.0%、18.8%。处理 HB-YMW4、HB-YMW5 酸性洗涤纤维含量较处理 HB-YM2 均显著降低($P<0.05$),分别降低 9.6%、15.6%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5,随着毛苕子混播比例的降低,混合牧草的酸性洗涤纤维含量呈现逐渐降低的趋势。

表 3 不同混播处理下牧草中性洗涤纤维含量、酸性洗涤纤维含量及相对饲喂价值

Table 3 Effects of different mixed sowing treatments on the neutral washing fiber content, acid washing fiber content and relative feeding value of forage

不同混播处理	中性洗涤纤维含量/%	酸性洗涤纤维含量/%	相对饲喂价值
DB-Y	57.47±0.29 ^a	35.96±0.23 ^c	98.90±0.79 ^b
HB-YW1	56.61±0.99 ^{ab}	39.64±0.13 ^a	95.78±1.50 ^b
HB-YM2	57.49±2.10 ^a	38.15±0.10 ^b	96.39±3.52 ^b
HB-YMW3	58.72±0.54 ^a	37.25±0.69 ^b	95.23±1.08 ^b
HB-YMW4	53.71±0.42 ^{bc}	34.50±0.14 ^d	107.80±0.98 ^a
HB-YMW5	53.06±0.10 ^c	32.20±0.13 ^e	112.23±0.39 ^a

2.2.7 不同混播处理 RFV 与对照的差异 不同混播处理与对照之间混合牧草的相对饲喂价值变化不同

(表 3)。处理 HB-YMW4、HB-YMW5 相对饲喂价值较燕麦单播、处理 HB-YW1、HB-YM2 均显著提高(P

<0.05),处理 HB-YMW4 较燕麦单播提高 9.0%,较处理 HB-YW1 提高 12.5%,较处理 HB-YM2 提高 11.8%;处理 HB-YMW5 较燕麦单播提高 13.5%,较处理 HB-YW1 提高 17.2%,较处理 HB-YM2 提高 16.4%。处理 HB-YMW3、HB-YMW4、HB-YMW5 随着毛苕子混播比例的降低,混合牧草的相对饲喂价值呈现逐渐升高的趋势。

表 4 不同混播处理下牧草各指标隶属函数值及综合评价值

Table 4 Subordinate function values and comprehensive evaluation values of various mixed pasture treatments

处理	隶属函数值						隶属平均值	排序
	干草产量	粗蛋白含量	可溶性糖含量	淀粉含量	中性洗涤纤维含量	酸性洗涤纤维含量		
DB-Y	0.00	0.00	1.00	1.00	0.22	0.49	0.45	3
HB-YW1	0.53	0.39	0.14	0.00	0.37	0.00	0.24	6
HB-YM2	0.65	0.65	0.10	0.07	0.22	0.20	0.32	5
HB-YMW3	0.76	0.78	0.00	0.20	0.00	0.32	0.34	4
HB-YMW4	0.89	0.78	0.14	0.07	0.88	0.69	0.58	2
HB-YMW5	1.00	1.00	0.28	0.68	1.00	1.00	0.83	1

3 讨论

3.1 不同混播处理对牧草产量的影响

干草产量是评价牧草的主要指标之一^[28],是混播牧草生产性能的重要测度值,草产量越高,生产性能越好,代表草地的初级生产力越高^[29]。混播植物在空间上的分布差异均可导致混播物种的生态位分离,从而导致竞争强度降低,实现对光、水分和养分的利用互补,提高草地生产力^[30]。混播避免了对土壤养分的直接竞争,而且豆科牧草对禾本科牧草的生长具有一定的促进作用^[31]。已有研究发现,豆禾牧草混播后其资源利用结构和生产性能往往优于单播草地^[32]。

株高可以直观地反映牧草的产量和生长发育状况。李估恺等^[18]研究发现,燕麦和箭筈豌豆混播后的产量较箭筈豌豆单播增加。孙杰等^[28]也发现,燕麦和箭筈豌豆混播后,混播牧草干草产量平均值比燕麦单播提高 51.74%,比箭筈豌豆单播提高 96.50%。本研究也表明,燕麦、毛苕子和豌豆混播后,燕麦、毛苕子和豌豆的单株地下生物量均高于燕麦单播、燕麦 70%+毛苕子 30%、燕麦 70%+豌豆 30%。由于根系是植株在地下汲取养分和水分的重要器官,故燕麦、毛苕子和豌豆混播后,干草产量较燕麦单播、燕麦 70%+毛苕子 30%、燕麦 70%+豌豆 30%提高。燕麦 70%+毛苕子 10%+豌豆 20%株高和单株产量均显著高于燕麦单播、燕麦 70%+毛苕子 30%、燕麦 70%+豌豆

2.3 不同混播处理牧草的综合评价

采用模糊数学隶属函数法,对供试的 6 个处理的干草产量、粗蛋白含量、淀粉含量、可溶性糖含量、中性洗涤纤维含量和酸性洗涤纤维含量进行隶属函数值计算。根据隶属函数平均值可以综合得出:处理 HB-YMW5 > HB-YMW4 > DB-Y > HB-YMW3 > HB-YM2 > HB-YW1(表 4)。

30%,故燕麦 70%+毛苕子 10%+豌豆 20%处理下的干草产量最高。燕麦、毛苕子和豌豆混播系统中,由于燕麦植株高大且直立生长,须根系发达,可充分利用光照、水分;毛苕子和豌豆植株低矮,燕麦可有效支撑毛苕子和豌豆生长,三者叶片可有效利用空间分层,降低种间竞争效应,从而有效提高牧草产量^[28]。

3.2 不同混播处理对牧草品质的影响

牧草品质包括适口性、消化率、营养价值及抗营养因子含量等几个方面。茎叶比可以较好地反映牧草的适口性,茎叶比越低,适口性就越好,粗蛋白含量越高^[33]。粗蛋白含量可以较好地反映牧草的营养价值,中性洗涤纤维含量、酸性洗涤纤维含量和可溶性糖含量则可较好的反映牧草的可消化情况^[33-34]。本研究结果表明,燕麦、毛苕子和豌豆混播后,随着毛苕子混播比例降低,混合牧草的 NDF 和 ADF 均逐渐降低。其中燕麦 70%+毛苕子 15%+豌豆 15%和燕麦 70%+毛苕子 10%+豌豆 20%的 NDF 和 ADF 含量均较燕麦单播显著降低,故其相对饲喂价值较燕麦单播显著提高。兰兴平等^[12]的研究表明,豆科和禾本科间混播后改善了饲草的营养成分,其中粗蛋白质含量比天然草场平均提高 90.5%,粗纤维含量下降 12.6%。李春喜等^[35]研究发现,混播粗蛋白含量增加 4.79%~85.79%,混播纤维含量总体呈现降低趋势。这和本研究结果,燕麦、毛苕子和豌豆混播后粗蛋白含量较燕麦单播显著提高的结果相似。

本试验中粗蛋白含量较低,可能是因为环境因素(气候寒冷)和海拔高导致植物营养积累少。尹航等^[36]研究发现低海拔地区粗蛋白含量平均值明显高于高海拔地区。粗蛋白并非只与生态气候条件有关系,还有很多生态因子(如土壤)与其紧密联系^[37]。当然,高海拔地区粗蛋白含量低的原因有待进一步研究。

4 结论

燕麦、毛苕子和豌豆混播的各处理牧草的干草产量和粗蛋白含量显著高于燕麦单播、燕麦 70%+豌豆 30%、燕麦 70%+毛苕子 30%处理,其中燕麦 70%+毛苕子 10%+豌豆 20%处理下的干草产量和粗蛋白含量均最高,NDF 和 ADF 均最低。利用牧草干草产量、粗蛋白含量、可溶性糖含量、淀粉含量、NDF 和 ADF 含量进行隶属函数值综合评价,得出在青海省甘德县高寒地区以燕麦为主的燕麦、毛苕子和豌豆混播最佳比例为燕麦 70%+毛苕子 10%+豌豆 20%。

参考文献:

[1] 周华坤,姚步青,于龙,等.三江源区高寒草地退化演替与生态恢复[M].北京:科学出版社,2016:18-19.

[2] Wang G X, Cheng G D. Eco-environmental changes and causative analysis in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers, China [J]. *The Environmentalist*, 2000, 20(3): 221-232.

[3] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策[J]. *中国农业科学*, 1997, 30(6): 1-9.

[4] Long R J, Apori S O, Castro F B, *et al.* Feed value of native forages of the Tibetan Plateau of China[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1999, 80(2): 101-113.

[5] 李猛,何永涛,付刚,等.基于 TEM 模型的三江源草畜平衡分析[J]. *生态环境学报*, 2016, 25(12): 1915-1921.

[6] 孙鹏飞,崔占鸿,刘书杰,等.三江源区不同季节放牧草场天然牧草营养价值评定及载畜量研究[J]. *草业学报*, 2015, 24(12): 92-101.

[7] 徐长林.青藏高原燕麦人工草地营养体农业生产潜力的探讨[J]. *中国草地*, 2005, 27(6): 66-68.

[8] 韩德梁,何胜江,陈超,等.豆禾混播草地群落稳定性的比较[J]. *生态环境*, 2008, 17(5): 1974-1979.

[9] 张静,赵成章.高寒山区混播草地燕麦和毛苕子生物量分配格局对组分密度比的响应[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(2): 266-270.

[10] 董世魁,胡自治,龙瑞军,等.高寒地区多年生禾草混播草地的群落学特征研究[J]. *生态学杂志*, 2003, 22(5): 20

-25.

[11] 张瑞珍,马涛,程明军,等.14个多年生牧草品种在川西北高寒牧区适应性研究[J]. *草原与草坪*, 2018, 38(3): 35-39.

[12] 兰兴平,王峰.禾本科牧草与豆科牧草混播的四大优点[J]. *四川畜牧兽医*, 2004, 31(12): 426.

[13] 张萍,丁显萍,张雯,等.不同处理方法对苕子种子发芽的影响[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(5): 36-37.

[14] 张耀生,周兴民,王启基,等.高寒牧区燕麦与箭筈豌豆、毛苕子混播优化组合模式的初步研究[C]//*高原生物学集刊*,北京:科学出版社,1999:14,184-190.

[15] 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[J]. *草业学报*, 2001, 10(1): 13-19.

[16] 乔月静,郭来香,葛军勇,等.燕麦与豆科作物间作对土壤酶活和微生物量的影响[J]. 2020, 55(3): 54-61.

[17] 张子龙.高寒地区施肥和混播对燕麦草产量、水肥利用及经济效益的影响[D].兰州:兰州大学,2018.

[18] 李估恺.西藏地区燕麦与箭筈豌豆不同混播比例对牧草产量和品质的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2011.

[19] 渠佳慧.燕麦与箭筈豌豆不同行比例间作对饲草产质量及土壤性状的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.

[20] 盛亚萍.高寒山区燕麦和毛苕子根系分布特征及其对竞争的响应研究[D].兰州:西北师范大学,2012.

[21] 盛亚萍,赵成章,张静,等.高寒山区混播草地燕麦和毛苕子根长密度分布格局[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(2): 279-284.

[22] 张静,赵成章,盛亚萍,等.高寒山区混播草地燕麦和毛苕子种间竞争对密度的响应[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(7): 1605-1611.

[23] 王鑫,陈瑾.影响甘德县高原牧草生长的气象因素分析[J]. *时代农机*, 2018, 45(3): 183.

[24] 宋金昌,牛一兵.饲料分析与饲料质量检测技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2012.

[25] 张以顺,黄霞,陈云凤.植物生理学实验教程[M].北京:高等教育出版社,2009.

[26] 张丽英.饲料分析及饲料质量检查技术[M].北京:中国农业大学出版社,2003:69-72.

[27] 孙金金,鱼小军,王金辉,等.重金属 Cu²⁺、Cd²⁺ 和 Pb²⁺ 对 8 种禾草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *草地学报*, 2018, 26(3): 673-683.

[28] 聂秀美,赵桂琴,柴继宽,等.黄土高原半干旱区引进燕种质的适应性评价[J]. *草原与草坪*, 2019, 39(2): 25-31.

[29] 李估恺,孙涛,旺扎,等.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[J]. 草地学报, 2011, 19(5): 830—833.
- [30] 陈宝书. 牧草饲料作物栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 142—145.
- [31] 罗彩云, 赵亮, 赵新全, 等. 青海湖地区燕麦与箭筈豌豆最佳混播比例的筛选[J]. 草原与草坪, 2019, 39(1): 95—99.
- [32] 郑伟, 朱进忠, 加娜尔古丽, 等. 不同混播方式对豆禾混播草地生产性能的影响[J]. 中国草地学报, 2011, 33(5): 45—52.
- [33] 潘伟彬, 陈志彤, 陈恩, 等. 5个热带豆科牧草 14个营养品质组成因子的相关性研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2009, 25(5): 95—101.
- [34] 马军, 郑伟, 张博. 基于马营养需求的多年生豆禾混播草地生产性能的评价[J]. 草原与草坪, 2016, 36(2): 52—58.
- [35] 李春喜, 叶润蓉, 周玉碧, 等. 高寒牧区燕麦与箭筈豌豆混播生产性能及营养价值评价[J]. 草原与草坪, 2016, 36(5): 40—45.
- [36] 尹航. 青藏高原不同海拔高度对披碱草营养品质影响[C]//2017中国草学会年会论文集. 广州: 中国草学会, 2017: 2.
- [37] 张宇. 不同海拔高度对大叶碎米芥营养成分和生理特性影响的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2006.

Comprehensive evaluation on productivity of oat+hairy vetch+pea mixed sowing in Gande County, Qinghai Province

MA Xiao-dong, SUN Jin-jin, WANG Peng-bin, SONG Mei-juan,
ZHAO Yi-shan, YU Xiao-jun

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

Abstract: In order to select the optimal ratio of *Avena sativa*, *Vicia villosa*, and *Pisum sativum* for mixed in the high-cold area of Sanjiangyuan, Qinghai Province, a study was conducted on different mixed sowing ratios of *Avena sativa*, *Vicia villosa*, and *Pisum sativum* in Gande County, Qinghai Province. The results showed that the plant height and yield per plant of *Avena sativa*, *Vicia villosa*, and *Pisum sativum* under the treatment of *Avena sativa* 70% + *Vicia villosa* 10% + *Pisum sativum* 20% were the highest among the 5 mixed seeding ratios tested, which were 13.6% and 54.8% higher than the *Avena sativa* unicast, respectively. The hay yield and crude protein content of the mixed forage under the treatment of *Avena sativa* 70% + *Vicia villosa* 10% + *Pisum sativum* 20% were the highest, respectively 15 793 kg/hm² and 5.54%, which was significantly higher than *Avena sativa* unicast, *Avena sativa* 70% + *Vicia villosa* 30%, and *Avena sativa* 70% + *Pisum sativum* 30% ($P < 0.05$), and 56.8% and 57.4% higher than the *Avena sativa* unicast. The content of neutral washing fiber and acid washing fiber in the mixed forage of *Avena sativa* 70% + *Vicia villosa* 10% + *Pisum sativum* 20% were the lowest, which was 53.06% and 32.2%, respectively, and 7.7% and 10.5% lower than that of *Avena sativa* unicast. Based on the comprehensive evaluation of membership function values using hay yield, crude protein content, soluble sugar content, starch content, acid washing fiber content, and neutral washing fiber content of mixed grass, the optimal mixed ratio of *Avena sativa*, *Vicia villosa* and *Pisum sativum* was *Avena sativa* 70% + *Vicia villosa* 10% + *Pisum sativum* 20%.

Key words: select; high-cold area of Sanjiangyuan; optimal ratio; comprehensive evaluation