

于娜,李磊,董宽虎. 白羊草与胡枝子混播对牧草生产性能和品质的影响[J]. 山西农业科学, 2025, 53(3): 114-120.

YU N, LI L, DONG K H. Effects of mixed sowing ratio of *Bothrichloa ischaemum* and *Lespedeza davurica* on forage production performance and quality[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(3): 114-120.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.03.14

白羊草与胡枝子混播对牧草生产性能和品质的影响

于娜¹, 李磊², 董宽虎²

(1. 山西省林业职业技术学院 园林系, 山西 太原 030009; 2. 山西农业大学 草业学院, 山西 晋中 030801)

摘要:为探究乡土草种最佳混播比例对牧草生产性能和品质的影响,选取乡土草太行白羊草(*Bothrichloa ischaemum* cv. Taihang)和晋农1号达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica* cv. Jinnong 1)为试验材料,按照白羊草:胡枝子1:1、1:2、1:3、1:4、2:1、3:1、4:1设置7个处理,同时以2个单播为对照(T_{ck} 、 J_{ck}),随机区组设计,测定株高、产量、叶茎比、粗蛋白含量等生产性能和品质指标。结果表明,5月至6月初,白羊草的生长速度为0.14~0.48 cm/d,以白羊草与胡枝子的比例1:1最高, T_{ck} 最低;至7月初,白羊草的生长速度显著增加,以白羊草与胡枝子的比例1:4混播生长最快,白羊草与胡枝子的比例2:1混播生长速度最慢,整体生长速度为0.31~1.88 cm/d;胡枝子生长速度为0.58~1.55 cm/d。干草产量以白羊草与胡枝子的比例1:4(15.21 t/hm²)和1:3(15.77 t/hm²)混播组合较高,显著高于对照;混播增加了牧草粗蛋白质含量。以白羊草与胡枝子的比例1:3和1:4混播组合的株高、干草总产量、粗蛋白质含量最高,2种草混播种间相容性好,并提高了牧草的生产性能和品质。

关键词:太行白羊草;晋农1号达乌里胡枝子;混播;干草产量;粗蛋白质含量

中图分类号:S816.5+1 文献标识码:A 文章编号:1002-2481(2025)03-0114-07

Effects of Mixed Sowing Ratio of *Bothrichloa ischaemum* and *Lespedeza davurica* on Forage Production Performance and Quality

YU Na¹, LI Lei², DONG Kuanhu²

(1. Department of Landscape, Shanxi Forestry Vocational Technical college, Taiyuan 030009, China;

2. College of Grassland Science, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China)

Abstract: To explore the effects of the optimal mixed sowing ratio of native grass species on the production performance and quality of forage, in this study, *Bothrichloa ischaemum* cv. Taihang and *Lespedeza davurica* cv. Jinnong 1 were selected as test materials. 7 treatments according to the 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 2:1, 3:1, and 4:1 ratio of *B. ischaemum* to *L. davurica* were set. Two unicast treatment(T_{ck} , J_{ck}) were set as the control, a randomized block design was used, and the production performance and quality indexes including plant height, yield, leaf-stem ratio, and crude protein content were determined. The results showed that the growth rate of *B. ischaemum* ranged from 0.14-0.48 cm/d from May to early June, with the highest ratio of 1:1 and the lowest T_{ck} . By early July, the growth rate of *B. Ischaemum* increased significantly, with the fastest growth rate of 1:4 and the slowest growth rate of 2:1, and the overall growth rate ranged from 0.31 to 1.88 cm/d. The growth rate of *L. davurica* ranged from 0.58 cm/d to 1.55 cm/d. The hay yield of mixed sowing was the highest at 1:4(15.21 t/ha) and 1:3(15.77 t/ha), which was significantly higher than that of the control. Mixed sowing increased the content of crude protein. In the mixed sowing combination, the combinations of 1:3 and 1:4 had the highest plant height, hay yield, and crude protein content, mixed sowing of the two kinds of grass had good compatibility and improved the production performance and quality of forage.

Keywords: *Bothrichloa ischaemum* cv. Taihang; *Lespedeza davurica* cv. Jinnong 1; mixed sowing; hay yield; crude protein content

收稿日期:2024-01-17

基金项目:山西林业职业技术学院自然科学类科研基金(20220109)

作者简介:于娜,高级工程师,硕士,主要从事草地资源与草地管理研究,E-mail: yuna1023@126.com

通信作者:董宽虎,教授,博士,主要从事草地资源与草地管理研究,E-mail: dongkuanhu@126.com

白羊草是山西畜牧业发展不可或缺的优良草地资源,也是我国北方地区畜牧业生产及生态恢复的重要草种之一。白羊草草地作为山西中南部低山丘陵区的主要草地类型^[1],面积占山西省草地总面积的1/3以上^[2],是山西省主要的草地类型。但由于长期放牧利用和人为不合理开放,造成草地退化和水土流失。人工草地的建立是可持续实施生态恢复与系统重建的发展战略措施,国内外的多项研究表明,豆科牧草与禾本科牧草混播草地能够利用不同的生态位,比单播草地的结构更稳定,提高草地产量和质量的同时还能提高土壤肥力^[3]。目前,禾豆混播人工草地国内外研究主要集中在混播草种组合和混播比例的筛选上^[4],且人工草地选择草种均为栽培品种,对乡土优良草种研究不足。

本试验选取山西农业大学自主驯化选育的乡土草种太行白羊草和晋农1号达乌里胡枝子,通过不同混播比例组合,对其生产性能、营养品质进行研究,以筛选出最佳的混播比例组合,为后期合理保护和开发利用这些优良乡土牧草,解决人工草地缺乏优良草种、使用年限短、稳定性的问题,建设高产优质人工草地提供理论依据和科学指导。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

混播草地建植在山西省太谷县山西农业大学动物科技试验站(37.2°N,112.3°E),海拔800 m。属于温带大陆性气候,年平均气温为10.8℃;7月的温度最高,平均气温为23.9℃;1月的温度最低,平均气温为-4.9℃。年均降水量在450~490 mm。无霜期大约170 d。土壤类型为石灰性褐土。

1.2 试验设计

试验材料太行白羊草(*Bothrichloa ischaemum* cv. Taihang)与晋农1号达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica* cv. Jinnong 1)为山西农业大学自主驯化选育品种。按照太行白羊草(T):晋农1号达乌里胡枝子(J)的行比设置7个处理,分别为1:1、1:2、1:3、1:4、2:1、3:1、4:1,2个单播为对照(T_{ck} 和 J_{ck}),每个处理3次重复,随机区组设计。小区长5 m,宽3 m。采用间行条播播种,行距为30 cm,东西走向。太行白羊草的播种量为10 kg/hm²,晋农1号达乌里胡枝子的播种量为15 kg/hm²,不施肥,不定期地灌溉、除草。

1.3 测定项目及方法

试验第1年播种,第2年进行指标测定分析。株高、生长速度(R,cm/d)每10 d测定一次。叶茎比、牧草粗蛋白(CP)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)等依据常规方法测定^[5]。

在白羊草抽穗期以收获法分种刈割测定产量。

相对产量总和(RYT)(干草产量计算)= $Ybs/Ybb+Ysb/Yss$ (1)

式中, Ybs 为混播条件下白羊草的产草量; Ybb 为白羊草单播时的产草量; Ysb 为混播条件下胡枝子的产草量; Yss 为胡枝子单播时的产草量。RYT值表明物种间竞争力,当该值大于1.0时,说明白羊草种内竞争大于混播时的种间竞争,混播牧草间表现为一定的共生关系;当该值等于1.0时,说明混播牧草能利用共同的资源;当该值小于1.0时,混播牧草间对资源竞争激烈。

种间竞争力(CR_b)(干草产量计算)= $(Ybs/Ybb \times Zbs)/(Ysb/Yss \times Zsb)$ (2)

式中, Zbs 和 Zsb 分别为混播草地中的混播比例, CR_b 大于1,表明白羊草的竞争力大于胡枝子; CR_b 等于1,表明混播牧草竞争力相当; CR_b 小于1则表明白羊草的竞争力小于胡枝子。同理可计算出混播草地中胡枝子的竞争率 CR_s 。

1.4 数据处理

采用Excel进行数据处理,采用SPSS 22.0进行差异性分析,绘图用Origin 2022完成。

2 结果与分析

2.1 不同牧草混播比例对生产性能的影响

从图1、2可以看出,6月10日前白羊草生长很缓慢,之后开始迅速生长,7月1—21日,1:4混播比例的株高达到最高,为81.77 cm;1:1、1:2、1:3混播比例株高明显高于其他比例。单播白羊草(T_{ck})株高最低,为69.82 cm,单播达乌里胡枝子(J_{ck})株高在不同生育时期均高于混播胡枝子,最高可达101.45 cm。1:4混播比例株高达到85.76 cm,其次依次为1:1混播比例和3:1混播比例,分别为85.74、84.31 cm;4:1混播比例株高最低,为75.57 cm。

从4月返青开始,5月中旬至6月初白羊草经历分蘖期、拔节期,生长速度在0.14~0.48 cm/d,随生育期推移逐渐增加,以1:1最高, T_{ck} 最低;拔节期后至7月初,白羊草的生长速度增加,以1:4

生长最快,2:1生长最慢,整体生长速度在0.31~1.88 cm/d。胡枝子的生长速度在5月初分枝期至6月中旬孕蕾期不同混播比例呈现显著增加趋势 ($P<0.05$),生长速度在0.38~1.89 cm/d,以 J_{ck} 生

长最快,1:2和4:1较低,1:3和1:4生长较快,在孕蕾期后下降,为0.58~1.55 cm/d,其中 J_{ck} 最高,4:1最低。

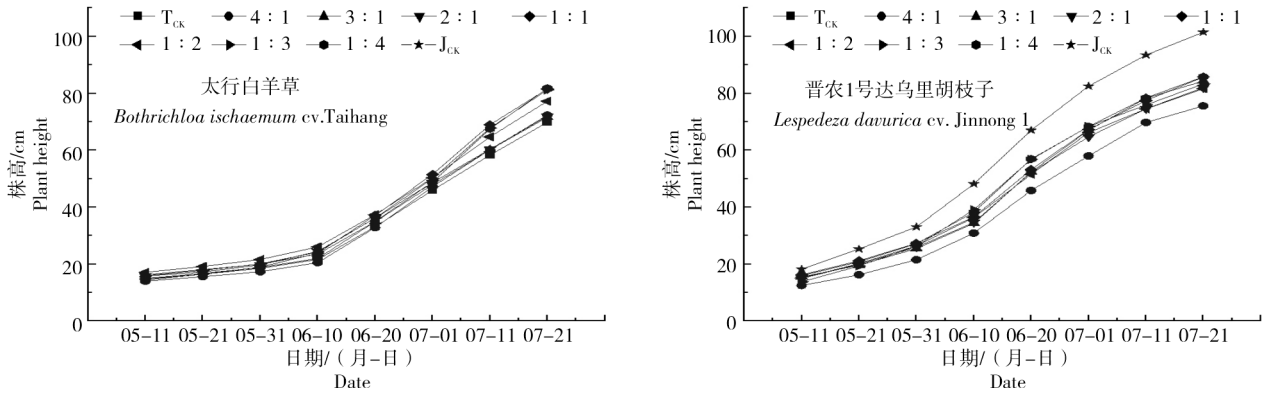


图1 混播比例对牧草株高的影响

Fig.1 Effect of mixed sowing ratio on forage plant height

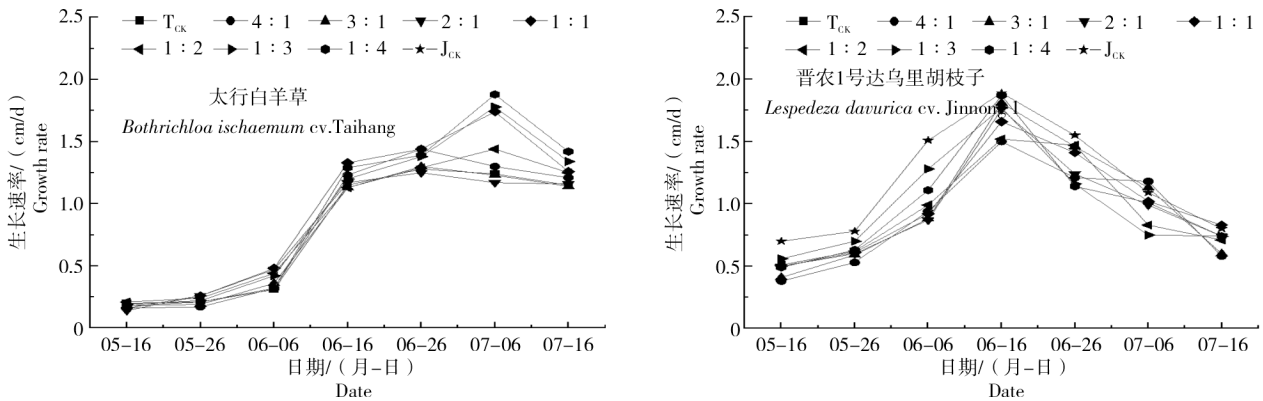


图2 混播比例对牧草生长速率的影响

Fig.2 Effect of mixing sowing ratio on growth rate of forage

由表1可知,不同混播比例中干草总产量较高为1:4(15.21 t/hm²)和1:3(15.77 t/hm²),显著高于其他混播比例($P<0.05$), J_{ck} (5.45 t/hm²)的干草总产量最低,其次为 T_{ck} (10.94 t/hm²)。混播比

例1:3(10.67 t/hm²)和1:4(10.34 t/hm²)中的白羊草干草产量显著高于其他混播比例($P<0.05$),而达乌里胡枝子干草产量在1:3混播比例(5.10 t/hm²)与 J_{ck} (5.45 t/hm²)差异不显著。

表1 混播比例对牧草干草产量的影响

Tab.1 Effect of mixed sowing ratio on hay yield

t/hm²

比例 Ratio	白羊草干草产量 <i>B. ischaemum</i> hay yield	胡枝子干草产量 <i>L. davurica</i> hay yield	总干草产量 Total hay yield	比例 Ratio	白羊草干草产量 <i>B. ischaemum</i> hay yield	胡枝子干草产量 <i>L. davurica</i> hay yield	总干草产量 Total hay yield
T_{ck}	10.94±0.37a		10.94±0.37e	1:1	8.96±0.14b	4.13±0.32d	13.09±0.46bc
J_{ck}		5.45±0.34a	5.45±0.34f	1:2	9.17±0.38b	4.83±0.23b	14.00±0.61b
4:1	7.46±0.32c	4.70±0.22bc	12.16±0.54cd	1:3	10.67±0.75a	5.10±0.10ab	15.77±0.85a
3:1	7.13±0.23c	4.36±0.23cd	11.49±0.46de	1:4	10.34±0.50a	4.87±0.33b	15.21±0.83a
2:1	7.47±0.42c	4.13±0.12d	11.60±0.54de				

注:不同小写字母表示不同混播比例间干草产量在0.05水平差异显著。

Note: Different lower case letters indicated significant difference among hay yield of different mixed sowing ratios at the 0.05 level.

从表2可以看出,混播后的相对产量总和(RYT值)都大于1,其中以1:3混播比例最大,为1.91,显著高于其他比例($P<0.05$);其次是1:4混播比例(1.84),再次是1:2混播比例(1.72)。白羊草种间竞争能力(CR值)在4:1混播比例中最大(3.16),显著高于其他比例($P<0.05$),其次依次为3:1(2.44)、2:1(1.83)、1:1(1.08)混播比例,白羊草

CR值大于1,说明这4个比例中其竞争力大于胡枝子;胡枝子种间竞争能力CR值在1:4混播比例最大(3.78),显著高于其他混播比例($P<0.05$),其次依次是1:3(2.89)、1:2(2.15)混播比例,胡枝子CR值大于1,说明这3个混播比例中其竞争力大于白羊草。

表2 不同牧草混播比例对种间竞争力的影响

Tab.2 Effects of different mixed sowing forage ratios of forage on CR

t/hm²

比例 Ratio	白羊草产量(相对) <i>B. ischaemum</i> relative yield	胡枝子产量(相对) <i>L. davurica</i> relative yield	RYT Sum of relative yield	白羊草种间竞争能力 CR _b	胡枝子种间竞争能力 CR _s
4:1	0.68±0.13Cd	0.86±0.02b	1.54±0.01e	3.16±0.08a	0.32±0.01f
3:1	0.32±0.00Ce	0.80±0.01c	1.45±0.01f	2.44±0.02b	0.41±0.00ef
2:1	0.68±0.02Cd	0.76±0.03d	1.44±0.01f	1.83±0.10c	0.55±0.03e
1:1	0.82±0.02Bc	0.76±0.01d	1.58±0.01d	1.08±0.04d	0.93±0.04d
1:2	0.84±0.01Bc	0.89±0.02b	1.72±0.01c	0.47±0.01e	2.15±0.05c
1:3	0.98±0.04Aa	0.94±0.04a	1.91±0.01a	0.35±0.03f	2.89±0.23b
1:4	0.95±0.02Ab	0.89±0.01b	1.84±0.02b	0.26±0.01f	3.78±0.04a

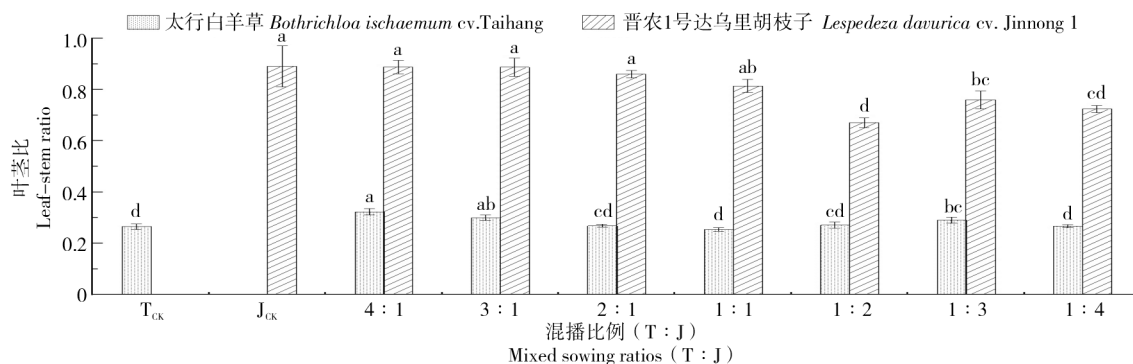
注:不同小写字母和大写字母分别表示同列在0.05水平和0.01水平差异显著和极显著。

Note: Different lowercase letters and uppercase letters indicated significant difference at the 0.05 level and extremely significant difference the 0.01 level in the same column, respectively.

2.2 混播比例对牧草营养品质的影响

从图3可以看出,白羊草和胡枝子的叶茎比在部分混播比例下差异显著($P<0.05$)。白羊草中叶茎比最高的是4:1混播比例(0.32),叶茎比最低

的是1:1混播比例(0.25)。胡枝子中叶茎比最低的是1:2混播比例(0.67),叶茎比最大的是4:1混播比例(0.89)和3:1混播比例(0.89),与单播胡枝子差异不显著。



不同小写字母表示不同混播比例间在0.05水平差异显著。图4同

Different lowercase letters indicated significant difference in different mixed sowing ratios at the 0.05 level. The same as Fig.4

图3 不同牧草混播比例对叶茎比的影响

Fig.3 Effect of different mixed sowing ratios on leaf-stem ratio

由图4可知,CP含量最高的是J_{ck}(13.30%),显著高于其他比例($P<0.05$),单播白羊草CP含量最低(5.69%),显著低于其他混播比例($P<0.05$)。T_{ck}的NDF含量为70.70%,显著高于其他

比例($P<0.05$),1:3含量最少(54.52%),其次为1:4(55.87%)。T_{ck}的ADF最高,为45.76%,显著高于其他混播比例($P<0.05$),J_{ck}的ADF含量最小(35.06%),与1:4(36.91%)均显著低于其他比例

($P < 0.05$)。

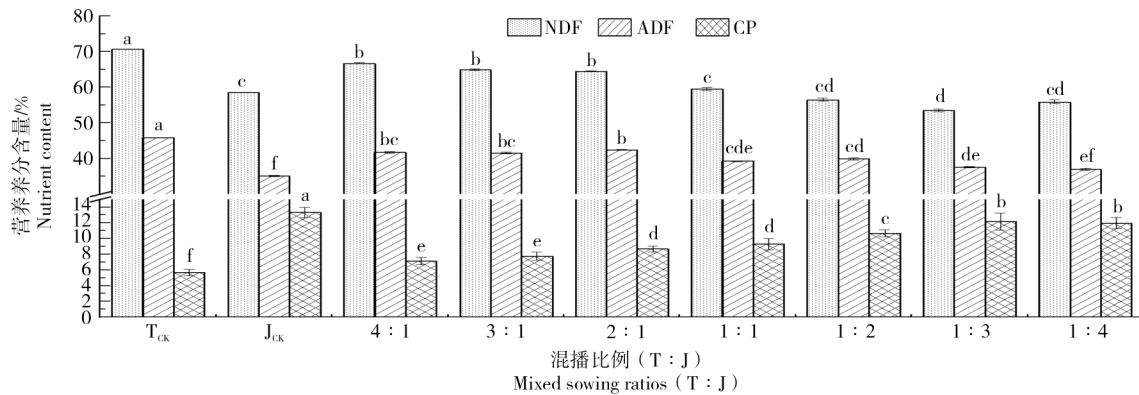


图4 不同混播比例对牧草主要营养成分的影响

Fig.4 Effect of different mixed sowing ratios on main nutrients of forage

3 结论与讨论

3.1 牧草生产性能受混播比例的影响

混播株高是植物形态学调查的最基本指标之一^[2],通常与产量呈正相关关系。胡枝子为豆科牧草,其根瘤可以固定氮,混播后,为白羊草提供了氮素营养,增加白羊草株高,表明混播可以提高白羊草的株高,这与杨春华等^[6]观点一致。

混播后太行白羊草的生长规律与单播一致,初期生长缓慢,拔节期后生长迅速。混播后晋农1号达乌里胡枝子单播株高大于所有混播草地,表明混播后胡枝子的生长受到白羊草的影响。牧草的遗传因素、生态条件、栽培管理技术对生长速度也有一定程度的影响,白羊草生长速度显著增加是在拔节期后,混播后白羊草的生长速度高于单播,与株高一致,以T1:J4的白羊草生长最快,胡枝子的生长速度从分枝期到孕蕾期显著加快,与株高一致,以单播胡枝子最高。

已有研究表明,产草量越高其生产性能越好^[7],牧草混播的基本目标是取得较高的产量。本研究表明,当保持胡枝子比例不变,逐渐降低白羊草比例后,3种混播比例中胡枝子干草产量与J_{ck}间均差异显著,白羊草干草产量呈现先减少后增加的趋势,总的干草产量呈现先下降后增加的趋势,混播模式干草产量均高于2种牧草单播,这与王平等^[8]、姚泽英等^[9]的研究结果一致。原因可能是白羊草叶面积较胡枝子大且密集,抽穗后更是对光线的吸收形成竞争,导致胡枝子生长受限,进而影响生物量积累。1:1混播比例,白羊草干草总量上

升,说明豆科与禾本科混播比例提高后,提升了禾本科的生物量。且随着胡枝子比例的增加,混播中胡枝子干草产量呈现先增加后减少的趋势,在1:3、1:4混播草地中,白羊草干草产量与单播白羊草的干草产量间差异不显著;1:3混播草地的胡枝子干草产量与J_{ck}间差异不显著;1:3、1:4混播的总干草产量显著高于其他混播草地和对照单播草地,与LITHOURGIDIS等^[10]研究结论一致。总干草产量在1:3混播组合中达到峰值,同来幸樑^[11]的试验结果一致,可能是由于2种牧草达到了优于其他混播比例的协同效应,也反映了该混播比例下草地群落表现出一定的稳定性^[12]。本试验中,各混播比例的总干草质量显著高于胡枝子单播和白羊草单播的干草质量,达到增产目的。

混播组合对RYT有显著影响,本试验中,各组合RYT均大于1,表明2种牧草种间相容性较好,具有一定的共生关系。RYT以1:3混播最高,较其他组合,显著提高了5%~18%,说明该组合白羊草和胡枝子的间行混播草地的种间关系最为融洽,利用不同生态位达到对资源利用的最大化。

在4:1、3:1、2:1、1:1的混播比例中,白羊草的CR值均显著大于1.0,胡枝子的CR值均显著小于1.0,表明在4个混播比例下白羊草种内竞争大于种间竞争,胡枝子种间竞争大于种内竞争。在1:2、1:3、1:4的混播比例中,白羊草的CR值均显著小于1.0,胡枝子的CR值均显著大于1.0,表明在3个混播比例下白羊草种间竞争大于种内竞争,胡枝子种内竞争大于种间竞争。1:1混播比例中,白羊草的种间竞争能力大于胡枝子,胡枝子的CR值接近1。

3.2 牧草营养品质受混播比例的影响

牧草叶茎比是评价草地品质的重要指标,直接反映出牧草的营养物质比例和适口性^[13]。除了1:1混播外,混播草地白羊草叶茎比都大于单播白羊草,混播比例中胡枝子的叶茎比显著高于白羊草,胡枝子在混播条件下的叶茎比没有降低,说明混播条件下胡枝子表现为竞争优势。同时,光合作用对植物产量也有一定影响,表现在一定范围内,光合作用越大,光合产物积累就越多^[14,15]。

相比胡枝子和混播草地,单播白羊草的NDF、ADF含量最高,混播后白羊草ADF、NDF含量较 T_{ck} 显著降低,说明混播有效降低了禾本科牧草中的NDF、ADF,混播较单播营养更均衡^[16-19]。一般来说,豆禾混播草地中禾本科牧草比例较大时,草地产量越高,但品质有所降低,反之,草地的CP含量会随着豆科牧草的增加而提高^[20]。本试验同样表明,相比胡枝子和白羊草混播及单播白羊草,胡枝子单播具有更高的CP含量。CP含量普遍高于单播白羊草草地,其中以1:3、1:4混播最为显著,说明混播可以增加白羊草中CP含量,与祁军等^[21]、李香君等^[22]的研究结果相似,混播草地中CP含量升高与胡枝子比例相关,混播同样增加白羊草中CP含量,说明混播后豆科牧草固定的氮被禾本科牧草利用,提高了人工草地的整体产量与品质^[23-24],形成的原因可能是由于混播使牧草更好在不同空间实现对光照、水分、养分的充分利用^[25],加之混播强化了禾本科的固氮能力^[26-27],同时改变了土壤环境^[28]。这对于瘤胃家畜来说,增加慢速可利用的能量来源,提高了饲料的消化率和利用率^[29],从而增加了草地生产力。

太行白羊草与晋农1号达乌里胡枝子不同混播比例组合建植人工草地,长势均良好,增产效果显著,以白羊草与胡枝子的比例1:3和1:4混播组合的株高、干草总产量、粗蛋白质含量最高,2种草混播种间相容性好,并提高了牧草生产性能和品质。

参考文献:

- [1] 董宽虎. 山西白羊草草地生产性能、种群生态位及草地培育的研究[D]. 北京:中国农业大学,2004:1-7.
DONG K H. Study on production performance, population niche and grassland cultivation of Shanxi *Bothriochloa ischaemum* (L.) [D]. Bei jing:China Agricultural University,2004:1-7.
- [2] 武路广,霍梅俊,刘思奇,等. 白羊草干草产量与主要农艺性状的多元回归及通径分析[J]. 草地学报,2013,21(4):697-701.
WU L G, HUO M J, LIU S Q, et al. Estimating hay yield and agronomic traits of *Bothriochloa ischaemum* (L.) using multivariate linear regression and path analysis[J]. Acta Agrestia Sinica, 2013, 21(4): 697-701.
- [3] 张永亮,于铁峰,郝凤,等. 施肥与混播比例对豆禾混播牧草产量及氮磷钾利用效率的影响[J]. 草业学报,2020,29(11):91-101.
ZHANG Y L, YU T F, HAO F, et al. Effects of fertilization and legume-grass ratio on forage yield and NPK utilization efficiency[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(11): 91-101.
- [4] 王建光. 农牧交错区苜蓿-禾草混播模式研究[D]. 北京:中国农业科学院,2012.
WANG J G. Farming pasture region alfalfa-grasses mixed-sowing[D]. Bei jing:Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [5] 李磊,董宽虎. 白羊草和达乌里胡枝子不同混播比例对草地的影响[D]. 晋中:山西农业大学,2017.
LI L, DONG K H. The effect of different mixed sowing ratios of *Bothriochloa ischaemum* and *Lespedeza davurica* on grassland [D]. Jinzhong:Shanxi Agriculture University, 2017.
- [6] 杨春华,张新全. 人工建植混播草地技术研究[J]. 草业科学,2003,20(3):42-46.
YANG C H, ZHANG X Q. Study on the techniques of mixed sown grassland establishment[J]. Pratacultural Science, 2003, 20(3): 42-46.
- [7] 杜俊颖,李鑫洋,杨莉,等. 冀西北坝上地区豆禾混播草地建植第三年草地生产力变化研究[J]. 草地学报,2022,30(7):1855-1861.
DU J Y, LI X Y, YANG L, et al. Study on the changes of grassland productivity in the third year of mixed sowing in Bashang area of northwest of Hebei[J]. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(7): 1855-1861.
- [8] 王平,周道玮,张宝田. 禾-豆混播草地种间竞争与共存[J]. 生态学报,2009,29(5):2560-2567.
WANG P, ZHOU D W, ZHANG B T. Coexistence and inter-specific competition in grass-legume mixture[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2560-2567.
- [9] 姚泽英,李军,宋连昭,等. 张家口坝上地区豆-禾牧草混播效果研究[J]. 草地学报,2020,28(4):1076-1082.
YAO Z Y, LI J, SONG L Z, et al. Study on the leguminous-grass mixed sowing in Bashang area of Zhangjiakou [J]. Acta Agrestia Sinica, 2020, 28(4): 1076-1082.
- [10] LITHOURGIDIS A S, VASILAKOGLU I B, DHIMA K V, et al. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and *Triticale* in two seeding ratios[J]. Field Crops Research, 2006, 99(2/3): 106-113.
- [11] 来幸樑. 紫花苜蓿与3种禾本科牧草混播效应研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2020.
LAI X L. Study on the mixture effect of alfalfa and three grasses[D]. Lanzhou:Gansu Agriculture University, 2020.
- [12] 谢开云,曹凯,万江春,等. 新疆半干旱区不同豆科/禾本科牧草混播草地生产力的变化研究[J]. 草业学报,2020,29(4):29-40.
XIE K Y, CAO K, WAN J C, et al. Change in productivity of

- swards of different forage legume and grass species monocultures and combinations in the semi-arid region of Xinjiang Province[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(4): 29-40.
- [13] 张晓娜, 宋书红, 陈志飞, 等. 紫花苜蓿叶、茎产量及品质动态[J]. *草业科学*, 2016, 33(4): 713-721.
ZHANG X N, SONG S H, CHEN Z F, et al. Yield and quality dynamics of alfalfa leaf and stem[J]. *Pratacultural Science*, 2016, 33(4): 713-721.
- [14] 朱乐洋, 张西哲, 陶江, 等. 氮沉降对土壤呼吸影响的研究进展[J]. *河南农业科学*, 2024, 53(10): 1-11.
ZHU L Y, ZHANG X Z, TAO J, et al. Research progress on the impact of nitrogen deposition on soil respiration[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2024, 53(10): 1-11.
- [15] 胡静一, 王佳芯, 魏骞, 等. 黄土塬区膜际玉米大豆间作对玉米光合特性、产量及水分利用效率的影响[J]. *山西农业科学*, 2024, 52(5): 1-8.
HU J Y, WANG J X, WEI Q, et al. Effects of intermembranous maize soybean intercropping on photosynthetic characteristics, yield, and water use efficiency of maize in loess plateau region[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2024, 52(5): 1-8.
- [16] 冯廷旭, 德科加, 向雪梅, 等. 三江源区小黑麦与豆科饲草混播最佳组合及比例研究[J]. *西北农业学报*, 2023, 32(2): 232-241.
FENG T X, DE K J, XIANG X M, et al. Optimal combination and proportion of Triticale and leguminous forage grass in established artificial grassland at three-river source region[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2023, 32(2): 232-241.
- [17] 吴秀兰, 唐文武. 东乡野生稻与普通栽培稻中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维等含量的对比研究[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(11): 42-45.
WU X L, TANG W W. Contrast analysis of neutral detergent fiber, acid detergent fiber and acid detergent lignin between Dongxiang wild rice and cultivated rice[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(11): 42-45.
- [18] 拾方坚. 春箭筈豌豆是草原牧区的优良饲草[J]. *饲料研究*, 1979(2): 29-30.
SHI F J. Common *Vicia sativa* is an excellent forage in grassland pastoral areas[J]. *Feed Research* 1979(2): 29-30.
- [19] 李静, 袁继超, 蔡光泽. 海拔对水稻产量和品质的影响研究进展[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(24): 1-4.
LI J, YUAN J C, CAI G Z. Advances in the research of elevation on rice yield and quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(24): 1-4.
- [20] 何玮, 张新全, 杨春华. 刈割次数、施肥量及混播比例对牛鞭草和白三叶混播草地牧草品质的影响[J]. *草业科学*, 2006, 23(4): 39-42.
HE W, ZHANG X Q, YANG C H. The effects of cutting frequency, seeding rates and nitrogen fertilizer on the yield and quality of mixture pasture of *Hemarthria compressa* and *Trifolium repens*[J]. *Pratacultural Science*, 2006, 23(4): 39-42.
- [21] 祁军, 郑伟, 张鲜花, 等. 不同豆禾混播模式的草地生产性能[J]. *草业科学*, 2016, 33(1): 116-128.
QI J, ZHENG W, ZHANG X H, et al. Determination and comparison of the production performance of pastures among different spatial structure of legume-grass mixtures[J]. *Pratacultural Science*, 2016, 33(1): 116-128.
- [22] 李香君, 弓晋超, 李旭旭, 等. 豆禾混播对丛枝菌根真菌群落及氮素吸收的影响[J]. *中国草地学报*, 2023, 45(7): 71-80.
LI X J, GONG J C, LI X X, et al. Effects of legume-grass mixtures on soil Arbuscular mycorrhizal fungi community and plant nitrogen uptake[J]. *Chinese Journal Grassland*, 2023, 45(7): 71-80.
- [23] 刘明健, 张永亮, 贾玉山, 等. 豆禾混播对草地土壤碳氮磷含量的影响[J]. *中国草地学报*, 2021, 43(8): 50-57.
LIU M J, ZHANG Y L, JIA Y S, et al. Effect of mixed sowing of grass and legume on soil C, N and P contents[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2021, 43(8): 50-57.
- [24] 王文虎, 曹文侠, 王小军, 等. 河西走廊荒漠灌区不同豆禾混播对土壤养分及牧草产量的影响[J]. *中国草地学报*, 2022, 44(5): 40-49.
WANG W H, CAO W X, WANG X J, et al. Effects of legume-grass mixtures on soil nutrients and forage yield in desert irrigated area of Hexi Corridor[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2022, 44(5): 40-49.
- [25] 刘文辉, 魏小星, 刘芳, 等. 高寒区施肥和混播对燕麦人工草地植物器官碳氮储量分配的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(4): 100-106.
LIU W H, WEI X X, LIU F, et al. Effects of fertilization and mixed crops on carbon and nitrogen allocation of the different plant organs on oat cultivation grassland on alpine area[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2019, 37(4): 100-106.
- [26] 蒋慧. 紫花苜蓿与无芒雀麦混播草地产量、品质和降解率研究及其综合评价[D]. 石河子: 石河子大学, 2007.
JIANG H. General evaluation on study of yield, qualities and degradability about mixed-sowing of alfalfa & smooth brome-grass[D]. Shihezi: Shihezi University, 2007.
- [27] 李满有, 杨彦军, 王斌, 等. 干旱地区滴灌条件下燕麦与箭筈豌豆混播模式研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2021, 49(12): 51-57, 66.
LI M Y, YANG Y J, WANG B, et al. Mixed sowing modes of *Avena sativa* and *Vicia sativa* under drip irrigation condition in arid area[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2021, 49(12): 51-57, 66.
- [28] 高若凡. 根系分隔与氮素添加对紫花苜蓿-无芒雀麦混播草地种间关系的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2020.
GAO R F. Effects of root separation and nitrogen addition on interspecific relationship of alfalfa/smooth brome mixed planting grasslands[D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2020.
- [29] 孙启忠, 柳茜, 李峰, 等. 首藉的起源与传播考述[J]. *草业学报*, 2019, 28(6): 204-212.
SUN Q Z, LIU X, LI F, et al. A brief review of the origin and dissemination of alfalfa[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(6): 204-212.