

夏河农牧交错区小黑麦与豌豆混播比例对生产性能的影响

邵春慧,徐强,史志强,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:【目的】筛选适合于夏河农牧交错区小黑麦与豌豆的混播组合及比例。【方法】本试验研究了3种豆科牧草(加拿大饲用豌豆、青海箭筈豌豆和绿箭1号箭筈豌豆)与甘农2号小黑麦不同混播比例(0:100、20:80、30:70、40:60、50:50、60:40、70:30、80:20、100:0)下的生产性能及营养价值。【结果】从混播组合看,甘农2号小黑麦与加拿大饲用豌豆混播后不同混播比例的平均酸性洗涤纤维(ADF)含量最低(31.57%)、鲜草产量最高(48.14 t/hm²)、综合评价价值(0.954)最高,小黑麦与绿箭1号箭筈豌豆混播时小黑麦的株高(137.00 cm)、豆科牧草的株高(121.78 cm)、粗脂肪(EE)含量(2.76%)最高;从混播比例看,3种豆科牧草与甘农2号小黑麦以30:70的比例混播时,平均干草产量最高(13.76 t/hm²),综合评价价值(0.687)最高;混播组合和混播比例间的交互作用表明,青海箭筈豌豆与甘农2号小黑麦以30:70的比例混播时干草产量较高(15.69 t/hm²),综合评价价值最高(0.706),以20:80的比例混播时,干草产量最高(16.45 t/hm²),综合评价价值较高(0.633)。【结论】夏河农牧交错区青海箭筈豌豆与甘农2号小黑麦以30:70或20:80的比例混播时草产量和营养价值较好。

关键词:高寒牧区;小黑麦;混播;干草产量;营养价值

中图分类号:S512.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)03-0153-11

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2024.03.019



甘肃高寒牧区主要分布在甘南州和祁连山东部沿线地区^[1],由于海拔高气候寒冷,作物生长季短,可栽培牧草品种少且人工草地面积占比小^[2]。随着人们对经济效益的追求,旅游业和畜牧业成为主导产业,过牧和对自然资源的破坏,打破了草畜平衡^[3]。建植禾本科(Gramineae)和豆科(beguminosae)混播草地可以极大地提高草产量、改善饲草的营养价值,同时对

生态恢复与植被重建及草地畜牧业持续发展也极为重要^[4-5]。混播可以增加生物多样性,可以更好地利用环境资源,而不破坏生物平衡,禾-豆混播有利于增加土壤氮素和有机质的含量,适宜的禾-豆混播比例可以增加草地的空间利用率,促进土地资源的有效利用^[6-7]。禾-豆混播的增产效果在很大程度上取决于混播比例,草产量和饲用价值与禾-豆混播组合中草种的选择和混播比例的变化密切相关^[8]。高晨曦等^[9]研究发现,燕麦(*Avena sativa*)和箭筈豌豆(*Vicia sativa*)以不同比例混播时,草产量、营养价值及土壤养分等均显著高于相应的单播处理。不同禾-豆混播组合其增产效果明显不同,甚至有些混播组合增产效果极不明显^[10]。张永亮等^[11]研究发现,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。因此,只有合理的混播组合以适宜的比例混播时才能取得较好的混播

收稿日期:2022-04-11;修回日期:2022-04-13

基金资助:甘肃省重点研发项目(20YF8NA129);西藏重大专项(XZ202101ZD003N);国家自然科学基金项目(31760702)

作者简介:邵春慧(1995-),女,甘肃平凉人,硕士研究生。

E-mail:2801258720@qq.com

*通信作者。E-mail:duwh@gsau.edu.cn

**通信作者。E-mail:tianxh@gsau.edu.cn

效果。

小黑麦(*×Triticosecale*)是由小麦属(*Triticum*)和黑麦属(*Secale*)植物经有性杂交及染色体加倍形成的。其结合了双亲的优点,具有生物产量高、营养价值好以及抗病、抗旱、抗寒性强等优良特点^[12]。由于其抗寒性较强,草产量高于青稞(*Hordeum vulgare*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)和箭筈豌豆等常见牧草,近年来在青藏高原牧区的种植面积逐年扩大,在当地草牧业发展中发挥了举足轻重的作用^[13]。豌豆(*Pisum sativum*)是一年生攀缘性豆科牧草,蛋白质、脂肪、碳水化合物、粗纤维以及多种维生素的含量高,生育期短,此外,其适应性强,种植范围广,具有良好的经济效益^[14-15]。但是,豌豆单播时易倒伏,造成下部叶片的腐烂脱落,极大地降低了豌豆的产量和适口性^[16]。箭筈豌豆为一年生豆科牧草,具有营养价值高,适口性好,对土壤和气候的适应性强等优良特性^[17-18]。但是箭筈豌豆由于其茎秆纤细,单播时容易倒伏,草产量降低^[19]。马晓东等^[20]研究了高寒牧区甘农2号小黑麦与燕麦的最佳混播比例。西然朋措等^[4]研究了青海称多县甘农2号小黑麦与加拿大饲用豌豆混播的草产量和品质,甘农2号小黑麦与加拿大饲用豌豆的适宜混播比例为7:3。本项目组之前研究了甘农2号小黑麦与3个箭筈豌豆品种(绿箭1号,绿箭2号,绿箭431)在甘肃高寒牧区的混播效果,发现绿箭

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/hm²)^[21]。加拿大饲用豌豆为青海畜牧兽医科学院从加拿大引进的饲用豌豆品种,具有生长发育快、鲜草产量高等优势^[4]。青海箭筈豌豆为青海省的一个箭筈豌豆地方品种,生育时期与小黑麦相近^[22]。但尚未有甘肃高寒牧区甘农2号小黑麦与加拿大饲用豌豆和青海箭筈豌豆混播方面的研究报道。因此,本试验拟在项目组前期研究^[21]基础上,通过进一步研究甘农2号小黑麦与加拿大饲用豌豆、青海箭筈豌豆和绿箭1号箭筈豌豆不同混播比例的草产量及营养价值,以筛选更有利于提高单位面积草产量和营养价值的混播组合及比例,为甘肃高寒牧区甘农2号小黑麦的混播提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地自然概况

试验地位于甘肃省甘南藏族自治州夏河县扎油乡饲料厂(34°55′18″ N, 102°42′59″ E),地处青藏高原东北缘,海拔3 230 m,属于高寒湿润型气候区。年均温2.6℃,年降水量516 mm,年蒸发量1 232 mm,无霜期56 d,大于0℃的年积温为2 800~3 600℃。土壤类型为亚高山草甸土,试验地无灌溉条件。

1.2 供试材料

供试材料信息如表1所示。

表1 供试材料

Table 1 The experimental materials

材料	来源	净度/%	发芽率/%	千粒重/g
甘农2号小黑麦	甘肃农业大学	100	96.7	56.0
加拿大饲用豌豆	青海畜牧兽医科学院	100	98.9	171.9
青海箭筈豌豆	青海省	100	91.1	65.7
绿箭1号箭筈豌豆	青海省	100	84.4	52.1

1.3 试验设计

本试验采用裂区设计。主区为混播组合,设3个水平,分别为A1:甘农2号小黑麦与加拿大饲用豌豆混播(简称甘农2号×饲用豌豆,下同),A2:甘农2号×青海箭筈豌豆,A3:甘农2号×绿箭1号箭筈豌豆;副区为豆科牧草和禾本科牧草不同混播比例,设9个水平,分别为B1(0:100),B2(20:80),B3(30:70),B4(40:60),B5(50:50),B6(60:40),B7(70:30),B8(80:20),B9(100:0)(表2)。禾—豆等比例混播时播

种量按其单播量的80%计算^[23],不同混播比例下小黑麦与箭筈豌豆的播种量见表1。小区面积12 m²(=4 m×3 m),每个小区种10行,行距0.3 m,3次重复,共81个小区。播种时间为2020年5月6日,将每个处理的豆科和小黑麦种子混匀后条播。播种前施磷酸二铵(N+P₂O₅≥64.0%)250 kg/hm²,小黑麦出苗期和小黑麦拔节期分别追施尿素(N≥46.0%)157 kg/hm²。小黑麦分蘖期和拔节期各除草1次,开花期(2020年9月2日)刈割测产,留茬高度约5 cm。

表2 不同混播比例下小黑麦与豆科的播种量

Table 2 Seeding rate of triticale and legumes of different mixed ratio

编号	播种量/(kg·hm ⁻²)			
	甘农2号小 黑麦	加拿大饲用 豌豆	青海箭筈 豌豆	绿箭1号箭 筈豌豆
B ₁	408.2	0.0	0.0	0.0
B ₂	522.5	121.7	51.4	44.8
B ₃	457.2	182.5	77.1	67.1
B ₄	391.9	243.3	102.8	89.5
B ₅	326.6	304.2	128.5	111.9
B ₆	261.3	365.0	154.1	134.3
B ₇	195.9	425.8	179.8	156.6
B ₈	130.6	486.7	205.5	179.0
B ₉	0.0	378.9	160.0	139.4

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生产性能 株高:小黑麦开花期进行。从每个小区中随机选出10株,测量其自然高度,将10株的平均株高作为该小区的平均株高^[24]。

枝条数:小黑麦开花期进行。在每个小区中,随机选取一个1 m长样段(边行和距两头地边0.5 m部分除外),数样段内株高高于0.2 m的小黑麦分蘖数和箭筈豌豆枝条数,计算总枝条数^[24]。

草产量:小黑麦开花期进行。刈割各小区内所有植株的地上部分,留茬高度约5 cm,称重后得到鲜草产量。从中随机选取500 g鲜草,带回实验室,在105 °C下杀青30 min,然后在80 °C条件下烘48 h至恒重,计算鲜干比。根据500 g鲜草的鲜干比计算每个小区的干草产量。将草样粉碎,过0.425 mm筛后置于阴凉干燥处保存,用于营养指标测定^[24]。

1.4.2 营养价值 粗蛋白(CP)含量采用半微量凯氏定氮法测定,粗脂肪(EE)含量采用FOSS全自动脂肪测定仪测定,钙(Ca)含量采用原子吸收光谱法测定,磷(P)含量采用钼锑钒比色法测定,中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量采用范氏洗涤纤维分析法测定^[22]。

1.5 综合评价

用隶属函数法对3个混播组合和9个混播比例下的牧草营养价值进行综合评价。隶属函数值 $[X_{\mu 1}, X_{\mu 2}]$ 计算公式为:

$$X_{\mu 1} = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (1)$$

$$X_{\mu 2} = 1 - X_{\mu 1} \quad (2)$$

式中: X 为某一混播组合(或混播比例)下某一指

标的测定值; X_{max} 为所有混播组合(或混播比例)下某一指标的最大值; X_{min} 为所有混播组合(或混播比例)下某一指标的最小值。若所测指标与其营养价值呈正相关,则采用(1)式计算隶属值,负相关则用(2)式。

混播群体营养价值综合评价时,根据总干草产量、CP、ADF、NDF和DMD含量在其生产中的重要程度,对各指标分配权重,利用公式(3)计算不同混播组合和混播比例下的综合评价价值。

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^7 \delta_{ijk} \times W_k \quad (i=1,2,3; j=1,2,3,4,5,6,7,8,9; k=1,2,3,4,5,6,7) \quad (3)$$

式中: i 代表混播组合,1-3分别代表混播组合A1-A3; j 代表混播比例,1-9分别代表混播比例B1-B9; k 代表不同指标,1代表总干草产量,2代表CP含量,3代表ADF含量,4代表NDF含量,5代表EE含量,6代表Ca含量,7代表P含量; r_{ij} 代表小黑麦在第*i*个混播组合、第*j*个混播比例下的综合评价价值; δ_{ijk} 代表第*i*个混播组合、第*j*个混播比例下营养价值对应的隶属函数值; W_k 代表营养价值指标的权重。

1.6 数据统计分析

用Excel 2019进行数据整理和作图。用SPSS 25.0软件进行方差分析,用裂区试验设计的方差分析法分析混播组合间、混播比例间、混播组合×混播比例交互作用间各指标的差异显著性。如果差异显著,分别用Duncan法进行多重比较。用隶属函数法对每个处理的总干草产量和营养价值进行综合评价。

2 结果与分析

方差分析(表3)表明,混播组合间小黑麦株高和豌豆株高均存在极显著差异($P < 0.01$),鲜草产量、ADF和EE均存在显著差异($P < 0.05$);混播比例间除小黑麦株高外各指标均有极显著差异($P < 0.01$);混播组合×混播比例交互作用间各指标均有极显著差异($P < 0.01$)。

2.1 株高和枝条数

2.1.1 混播组合间株高的差异 混播组合间A2和A3处理小黑麦的平均株高和豌豆平均株高无显著差异,且均极显著高于A1($P < 0.01$)(图1)。

2.1.2 混播比例间株高和总枝条数的差异 3个混播组分下B9处理的豆科平均株高极显著低于其余混播比例($P < 0.01$),其余混播比例间豆科牧草的平均

表3 混播组合间、混播比例间和混播组合×混播比例交互作用间生产性能与营养价值的方差分析

Table 3 Variance analysis on production performance and nutrition quality within the mixture combination, mixed ratio and the interaction of mixture combination and mixed ratio

变异来源	F值											
	小黑麦株高	豆科牧草株高	总枝条数	鲜草产量	干草产量	鲜干比	CP	NDF	ADF	EE	Ca	P
混播组合	31.74**	11.52**	0.75	3.19*	0.56	2.44	0.39	0.66	3.67*	3.20*	1.60	2.18
混播比例	1.77	13.34**	27.65**	6.29**	19.12**	84.69**	113.36**	127.94**	40.77**	46.37**	80.52**	23.49**
混播组合×混播比例	7.61**	26.26**	15.16**	42.39**	61.17**	131.84**	58.63**	59.64**	30.79**	34.69**	45.21**	9.46**

注:*表示差异达到显著水平($P<0.05$);**表示差异达到极显著水平($P<0.01$)。

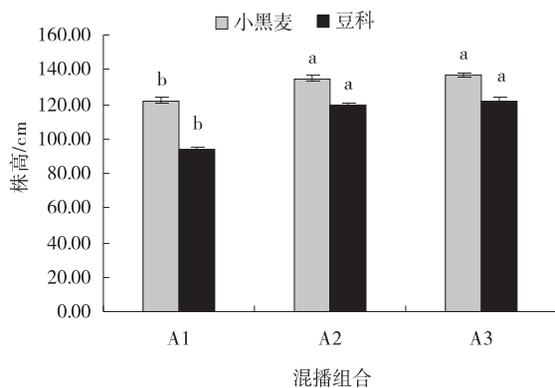


图1 混播组合间平均株高的差异

Figure 1 Differences on the averaged plant height among the mixed combinations

注:同一指标间不同字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

株高无显著差异。随着小黑麦混播比例的降低,禾一豆混播的总枝条数逐渐减少,其中B2的总枝条数最高(715.925 9 10⁴/hm²),极显著高于其余混播比例($P<0.01$);B9处理的总枝条数最低,极显著低于其余混播比例($P<0.01$);其余处理的总枝条数无显著差异(图2)。

2.1.3 混播组合×混播比例交互作用间株高和总枝条数的差异 株高: A1混播组合间,小黑麦株高随饲

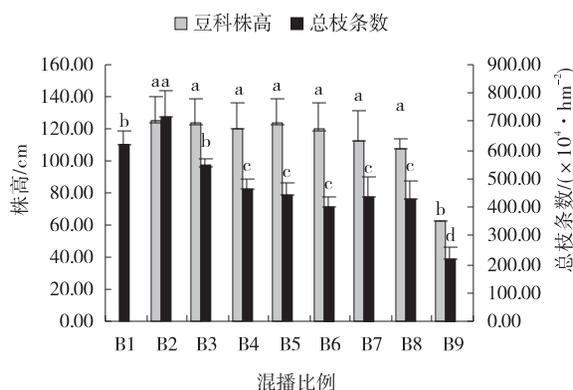


图2 混播比例间豆科牧草平均株高和总枝条数的差异

Figure 2 Differences of the height of legume and the total number of branches among mixture ratios

用豌豆播量增加而降低,禾一豆混播处理的株高均极显著高于饲用豌豆单播($P<0.01$);A2混播组合间,各混播处理的小黑麦株高与小黑麦单播处理无显著差异,A2B3混播处理的小黑麦株高最高,混播处理下箭筈豌豆的株高均极显著高于箭筈豌豆单播($P<0.01$);A3混播组合间,各混播处理的小黑麦株高与小黑麦单播处理无显著差异;混播处理下箭筈豌豆的株高均极显著高于单播处理($P<0.01$)(表4)。

总枝条数: A1混播组合间,小黑麦单播(A1B1)的总枝条数极显著高于除A1B2外的其余混播处理($P<0.01$),饲用豌豆单播处理(A1B9)的总枝条数极显著低于其余混播处理;A2混播组合间,小黑麦单播处理(A2B1)的总枝条数极显著高于A2B6、A2B7和A2B8($P<0.01$),箭筈豌豆单播处理(A2B9)的总枝条数极显著低于混播处理($P<0.01$);A3混播组合间,小黑麦单播处理(A3B1)的枝条数极显著高于除A3B2和A3B3外的其余混播处理($P<0.01$),箭筈豌豆单播处理(A3B9)的总枝条数极显著低于混播处理($P<0.01$)(表4)。

2.2 草产量和鲜干比

2.2.1 混播组合间鲜草产量的差异 混播组合间A1的平均鲜草产量(48.138 9 t/hm²)显著高于A3(43.094 1 t/hm²)($P<0.05$),A1和A3的鲜草产量均与A2(44.460 t/hm²)无显著差异。

2.2.2 混播比例间草产量和鲜干比的差异 混播比例间随着豆科牧草混播比例的增加,混播群体的平均鲜干比逐渐升高,B9的鲜干比最高(5.34);随着豆科牧草混播比例的增加,混播群体的干草产量逐渐降低,B3的干草产量最高(13.7598 t/hm²)(图3)。

2.2.3 混播组合×混播比例交互作用间草产量和鲜

表 4 混播组合×混播比例交互作用间小黑麦生产性能的差异

Table 4 Differences of the productivity for the interaction of mixture combinations and mixed ratios

处理	小黑麦株高/cm	豆科牧草株高/cm	总枝条数/ (×10 ⁴ 枝·hm ⁻²)	鲜草产量/ (t·hm ⁻²)	鲜干比	干草产量/ (t·hm ⁻²)	
A1	B1	134.99±0.86 ^{abc}	—	672.22±54.44 ^{bc}	34.06±0.86 ^m	2.67±0.03 ^k	12.78±0.44 ^{ef}
	B2	127.80±1.02 ^{cd}	112.46±10.98 ^{de}	817.78±24.22 ^a	39.87±1.83 ^{kl}	3.38±0.10 ⁱ	11.78±0.21 ^{ghi}
	B3	127.58±3.78 ^{cd}	101.57±3.8 ^{ef}	524.44±56.91 ^{defgh}	37.10±1.65 ^{lm}	3.66±0.01 ^b	10.14±0.44 ^{klm}
	B4	120.72±3.07 ^{de}	99.14±4.64 ^{ef}	430.00±16.44 ^{ghijk}	55.67±2.05 ^a	4.00±0.13 ^e	13.92±0.27 ^{cd}
	B5	120.73±1.34 ^{de}	102.31±1.81 ^{ef}	386.67±27.28 ^{ijk}	54.82±0.56 ^a	4.69±0.16 ^c	11.71±0.33 ^{ghi}
	B6	115.80±3.39 ^{ef}	98.26±8.88 ^{ef}	355.56±24.22 ^{kl}	53.25±0.75 ^{abc}	4.45±0.06 ^d	11.97±0.08 ^{fgh}
	B7	115.10±1.95 ^{ef}	90.56±11.33 ^{fg}	350.00±35.33 ^{kl}	52.51±2.69 ^{abcd}	4.76±0.10 ^c	11.05±0.72 ^{hijk}
	B8	108.61±5.02 ^f	82.51±7.39 ^g	352.22±9.88 ^{kl}	50.66±2.30 ^{bcde}	5.07±0.02 ^b	9.99±0.48 ^{lm}
	B9	—	68.02±2.49 ^h	158.89±13.52 ^m	55.33±0.59 ^a	5.58±0.05 ^a	9.92±0.20 ^m
A2	B1	135.82±0.91 ^{abc}	—	552.22±21.20 ^{defg}	35.89±0.53 ^m	2.64±0.06 ^k	13.60±0.17 ^{cde}
	B2	129.52±1.43 ^{cd}	129.79±1.95 ^{abc}	595.56±19.37 ^{cde}	52.14±0.06 ^{abcd}	3.17±0.03 ^j	16.45±0.12 ^a
	B3	141.76±1.97 ^a	134.21±2.05 ^{ab}	578.89±51.00 ^{cdef}	50.90±0.23 ^{bcde}	3.23±0.07 ^j	15.69±0.31 ^b
	B4	131.36±2.37 ^{abc}	133.51±2.04 ^{ab}	514.44±65.47 ^{defgh}	49.90±0.88 ^{cdef}	3.63±0.07 ^b	13.77±0.46 ^{cd}
	B5	138.47±2.13 ^{abc}	138.69±3.44 ^a	481.11±47.23 ^{efghij}	42.40±0.28 ^{jk}	4.00±0.04 ^e	10.60±0.09 ^{iklm}
	B6	131.30±2.07 ^{abc}	130.97±2.69 ^{abc}	438.89±23.91 ^{ghijk}	44.04±0.72 ^{ij}	4.15±0.05 ^{efg}	10.61±0.10 ^{iklm}
	B7	130.22±11.45 ^{bcd}	117.28±1.59 ^{cd}	443.33±44.10 ^{ghijk}	48.07±0.78 ^{efgh}	4.11±0.06 ^{efg}	11.7±0.03 ^{ghi}
	B8	133.41±1.03 ^{abc}	119.19±3.05 ^{bcd}	424.44±17.78 ^{ghijk}	46.43±1.21 ^{fghi}	4.23±0.02 ^{ef}	10.98±0.30 ^{hijkl}
	B9	—	55.02±3.69 ^h	241.11±10.60 ^{lm}	30.54±1.09 ⁿ	5.28±0.10 ^b	5.79±0.17 ⁿ
A3	B1	134.54±1.82 ^{abc}	—	632.22±43.73 ^{bcd}	35.64±0.56 ^m	2.66±0.03 ^k	13.42±0.07 ^{de}
	B2	136.19±2.03 ^{abc}	131.13±3.52 ^{abc}	734.44±33.46 ^{ab}	45.66±1.06 ^{ghij}	3.16±0.02 ^j	14.45±0.30 ^c
	B3	142.17±2.24 ^a	134.97±1.30 ^{ab}	532.22±36.99 ^{defgh}	47.91±0.76 ^{efgh}	3.41±0.03 ⁱ	14.05±0.33 ^{cd}
	B4	138.24±1.96 ^{abc}	128.58±0.40 ^{abc}	450.00±85.98 ^{ghijk}	45.18±1.25 ^{ghij}	3.72±0.05 ^b	12.14±0.42 ^{fg}
	B5	140.70±0.98 ^{ab}	129.00±3.19 ^{abc}	463.33±23.41 ^{ghijk}	44.60±1.42 ^{hij}	4.05±0.03 ^{fg}	11.01±0.31 ^{hijkl}
	B6	135.64±1.03 ^{abc}	130.74±1.75 ^{abc}	415.56±36.73 ^{hijk}	45.27±0.32 ^{ghij}	4.21±0.06 ^{efg}	10.76±0.22 ^{iklm}
	B7	134.14±1.41 ^{abc}	131.00±2.78 ^{abc}	522.22±33.63 ^{defgh}	47.72±0.70 ^{efghi}	4.10±0.08 ^{efg}	11.65±0.34 ^{ghi}
	B8	134.39±2.07 ^{abc}	122.60±2.47 ^{abcd}	511.11±17.25 ^{defghi}	48.27±1.29 ^{efgh}	4.30±0.04 ^{de}	11.22±0.37 ^{ghij}
	B9	—	66.21±5.05 ^h	250.00±20.28 ^{lm}	27.45±0.42 ⁿ	5.17±0.11 ^b	5.32±0.16 ⁿ

注:同列不同字母表示差异极显著(P<0.01),下同。

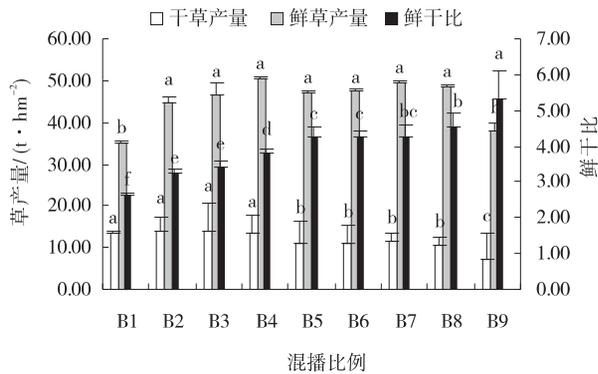


图 3 混播比例间草产量和鲜干比的差异

Fig. 3 Differences of the forage yield and Fresh dry ratio among mixture ratios

干比的差异 草产量:A1混播组合中除A1B3外其余混播处理的鲜草产量均极显著高于小黑麦单播(P<0.01),饲用豌豆单播处理的鲜草产量极显著高于

A1B2、A1B3和A1B8(P<0.01);所有混播处理中只有A1B4的干草产量极显著高于小黑麦单播(A1B1),其余混播处理的干草产量均显著低于小黑麦单播(P<0.01);A2混播组合中,所有混播处理的鲜草产量均极显著高于小黑麦单播(P<0.01)和箭筈豌豆单播(P<0.01),混播处理中A2B3的鲜草产量最高,所有混播处理的干草产量均极显著高于箭筈豌豆单播(P<0.01),混播处理中A2B2干草产量最高;A3混播组合中,所有混播处理的鲜草产量均极显著高于小黑麦单播(A3B1)和箭筈豌豆单播(A3B9)(P<0.01),混播处理中A3B3的鲜草产量最高,所有混播处理的干草产量均极显著高于箭筈豌豆单播(P<0.01)(表4)。

鲜干比:3个混播组合中,鲜干比均随豆科牧草比例增加而升高。A1混播组合中,混播处理的鲜干比均极显著高于小黑麦单播($P<0.01$),且极显著低于饲用豌豆单播($P<0.01$),混播处理间A1B8的鲜干比最高;A2混播组合中,混播处理的鲜干比均极显著高于小黑麦单播($P<0.01$),且极显著低于饲用豌豆单播($P<0.01$),混播处理中A2B8的鲜干比最高;A3混播组合中,混播处理的鲜干比均极显著高于小黑麦单播($P<0.01$),且极显著低于饲用豌豆单播($P<0.01$),混播处理中A2B8的鲜干比最高(表4)。

2.3 营养价值

2.3.1 混播组合间营养价值的差异 A2和A3混播组合的平均ADF含量无显著差异,均显著低于A1($P<0.05$);A2和A3的平均EE含量也无显著差异,均显著高于A1($P<0.05$)(图4)。

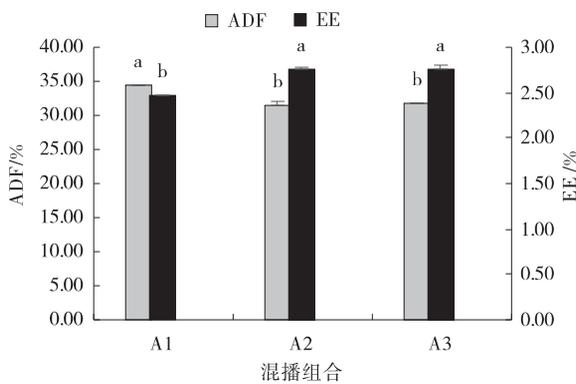


图4 混播组合间ADF和EE的差异

Fig. 4 Differences of ADF and EE among mixture combination

2.2.2 混播比例间营养价值的差异 随着豆科牧草比例增加,混播群体的平均CP含量逐渐升高($P<0.01$);NDF和ADF含量随豆科牧草比例增加而降低($P<0.01$)(图5)。随着箭筈豌豆比例增加,混播群体的EE含量逐渐降低($P<0.01$);随着豆科牧草混播比例增加,混播群体的Ca含量逐渐升高($P<0.01$);随着豆科牧草比例增加,混播群体的P含量逐渐升高($P<0.01$)(图6)。

2.3.3 混播组合×混播比例交互作用间营养价值的差异 在同一混播组合下,随着小黑麦混播比例的降低及豆科牧草混播比例的增加,牧草的CP含量、Ca含量、P含量逐渐升高,EE、NDF和ADF含量逐渐降低(表5)。

CP含量:A1混播组合中,除A1B2外其余混播处

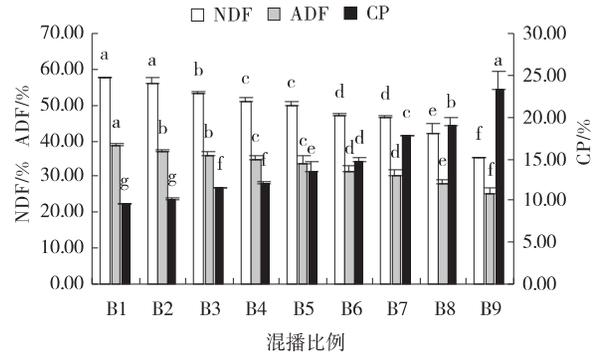


图5 混播比例间CP、NDF和ADF含量的差异

Figure 5 Differences of the contents of CP, NDF and ADF among the mixed ratios

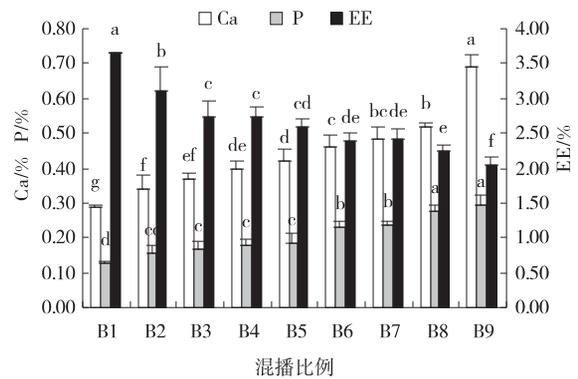


图6 混播比例间EE、Ca、P含量的差异

Fig. 6 Differences of the EE, Ca and P among mixed ratios

理的CP含量均极显著高于小黑麦单播处理(A1B1),所有混播处理的CP含量均极显著低于饲用豌豆单播处理(A1B9)($P<0.01$);A2混播组合中,除A2B2和A2B3外的其余混播处理的CP含量均极显著高于小黑麦单播处理(A2B1)且低于箭筈豌豆单播处理(A2B9)($P<0.01$);A3混播组合中,除A3B2外其余混播处理CP含量均极显著高于小黑麦单播处理(A3B1),所有混播处理的CP含量均极显著低于箭筈豌豆单播处理(A3B1)($P<0.01$)(表5)。

NDF含量:A1混播组合中,除A1B2外其余混播处理NDF含量均极显著低于小黑麦单播处理(A1B1),所有混播处理的NDF含量均极显著高于饲用豌豆单播处理(A1B9)($P<0.01$);A2混播组合中,混播处理的NDF含量均极显著低于小黑麦单播处理(A2B1)且极显著高于箭筈豌豆单播处理(A2B9)($P<0.01$);A3混播组合中,除A3B2外的其余混播处理的NDF含量均极显著低于小黑麦单播处理($P<0.01$),所有混播处理的NDF含量均极显著高于箭筈豌豆单播处理(A3B9)($P<0.01$)(表4)。

ADF含量:A1混播组合中,A1B6、A1B7和A1B8混播处理ADF含量极显著低于小黑麦单播处理(A1B1)($P<0.01$);A2混播组合中,混播处理的ADF含量均极显著低于小黑麦单播处理(A2B1)($P<0.01$),除A2B8外其余混播处理的ADF含量均极显著高于箭筈豌豆单播处理(A2B9)($P<0.01$);A3混播组合中,混播处理的ADF含量均极显著低于小黑麦单播处理(A3B1)($P<0.01$),所有混播处理的ADF含量均极显著高于箭筈豌豆单播处理(A3B9)($P<0.01$)(表5)。

EE含量:A1混播组合中,混播处理的EE含量均极显著低于小黑麦单播处理(A1B1)($P<0.01$),除A1B8外混播处理的EE含量均极显著高于饲用豌豆单播处理(A1B9)($P<0.01$);A2混播组合中,混播处理的EE含量均极显著低于小黑麦单播处理(A2B1)($P<0.01$),除A2B8外其余混播处理的EE含量均极显著高于箭筈豌豆单播处理(A2B9)($P<0.01$);A3混播组合中,混播处理EE含量均极显著低于小黑麦单播处理(A3B1)($P<0.01$),除A3B6、A3B7和A3B8外其余混播处理的EE含量均极显著高于箭筈豌豆单播处理(A3B9)($P<0.01$)(表5)。

Ca含量:A1混播组合中,混播处理的Ca含量均极显著高于小黑麦单播处理(A1B1)且极显著低于饲用豌豆单播处理(A1B9)($P<0.01$);A2混播组合中,除A2B2外其余混播处理的Ca含量均极显著高于小黑麦单播处理(A2B1)($P<0.01$),所有混播处理的Ca含量极显著低于箭筈豌豆单播处理(A2B9)($P<0.01$);A3混播组合中,除A3B2外其余混播处理Ca含量均极显著高于小黑麦单播处理(A3B1)且极显著低于箭筈豌豆单播处理(A3B9)($P<0.01$)(表5)。

P含量:A1混播组合中,A1B6、A1B7和A1B8的P含量均极显著高于小黑麦单播处理(A1B1)($P<0.01$),除A1B8外其余混播处理P含量极显著低于饲用豌豆单播处理(A1B9)($P<0.01$);A2混播组合中,A2B5、A2B5、A2B7和A2B8混播处理的P含量均极显著高于小黑麦单播处理(A2B1)($P<0.01$);A3混播组合中,混播处理A3B6、A3B7和A3B8的P含量极显著高于小黑麦单播处理(A3B1)($P<0.01$)(表5)。

2.4 综合评价

根据各指标在生产实践中的重要程度和专家评

分法,对指标进行赋权重^[25]并计算综合评价价值。计算结果表明,3个混播组合中,A2混播组合的平均综合评价价值最高;9个比例中B3的综合评价价值最高;混播组合×混播比例互作下A2B3的综合评价价值最高,因此A2B3为最佳混播组合和混播比例处理(表6)。

3 讨论

3.1 混播群体的草产量的差异及原因

牧草的生产潜力可以通过株高和枝条数来反映,通常情况下株高和枝条数与草产量正相关^[26]。刚永和等^[27]研究发现,燕麦和豆科牧草混播时,燕麦单播的株高和混播间无显著差异,但豆科牧草单播的株高显著低于混播。本试验也得出相似结果,即禾豆混播时豆科牧草的株高显著高于其单播,小黑麦的株高与单播无显著差异。本试验中,甘农2号小黑麦和3种豆科牧草混播时,混播效果差异较大,A1组合(甘农2号小黑麦×加拿大饲用豌豆)小黑麦和饲用豌豆的平均枝条数、小黑麦平均株高均低于A2(甘农2号小黑麦×青海箭筈豌豆)和A3(甘农2号小黑麦×绿箭1号箭筈豌豆),但其平均鲜草产量却显著高于A3,略高于A2,这主要是因为饲用豌豆茎秆粗壮,叶片厚而且大,茎秆和叶片的含水量高,与周娟娟等^[28]的研究结果相同。但史志强等^[21]研究表明,甘农2号小黑麦和3个箭筈豌豆混播时平均鲜草产量无显著差异。本试验交互作用得出,青海箭筈豌豆与甘农2号小黑麦以20:80的比例混播时的干草产量(16.45 t/hm²)显著高于史志强等^[21]绿箭431和甘农2号小黑麦以50:50的比例混播时的干草产量(11.15 t/hm²),这可能取决于箭筈豌豆品种,也与试验地的土壤条件有关,本试验的前作为油菜,史志强等^[21]的前作为小黑麦,从而说明轮作倒茬有利于提高混播草地的饲草产量。

禾本科牧草的根系入土较浅,豆科牧草的根系入土较深,可以从土壤的不同深度吸收养分和水分^[29]。适宜的禾—豆混播比例可以改变田间小气候,提高空间和光热资源的利用率,改善土壤理化性质,减少病虫害,从而提高牧草产量^[29-30]。吴妹菊^[31]研究发现紫花苜蓿分别与无芒雀麦和扁穗冰草以一定比例混播时,草地利用效益和牧草饲用价值均显著提高。适宜的禾—豆混播比例是提高混播群体生产潜力的前提,混播比例对分蘖/分枝数和干物质产量具有显著影

表5 混播组合×混播比例交互作用间营养价值的差异

Table 5 Differences of the nutritional values for the interaction of the mixture combination and mixed ratio

处理	占绝干重/%						
	CP含量	NDF含量	ADF含量	EE含量	Ca含量	P含量	
A1	B1	9.38±0.20 ^m	57.71±0.06 ^a	38.26±0.53 ^{ab}	3.63±0.04 ^{ab}	0.28±0.01	0.12±0.01 ^k
	B2	9.64±0.04 ^{lm}	57.12±0.96 ^{ab}	37.33±0.82 ^{abc}	2.67±0.11 ^{def}	0.39±0.00 ^{ghij}	0.15±0.01 ^{hijk}
	B3	11.65±0.41 ^{ijk}	54.21±0.35 ^c	37.58±0.59 ^{abc}	2.44±0.03 ^{ghi}	0.4±0.01 ^{ghij}	0.15±0.00 ^{ijk}
	B4	11.59±0.51 ^{ijk}	52.47±1.31 ^{ede}	36.30±1.27 ^{bcd}	2.54±0.07 ^{fgh}	0.43±0.03 ^{efgh}	0.18±0.01 ^{efghijk}
	B5	11.78±0.74 ^{ijk}	51.57±1.32 ^{edef}	36.66±0.59 ^{bed}	2.41±0.04 ^{ghi}	0.47±0.03 ^{de}	0.17±0.03 ^{efghijk}
	B6	15.30±0.62 ^{fg}	47.52±1.39 ^{ghi}	33.77±0.39 ^{efgh}	2.27±0.09 ^{hij}	0.51±0.03 ^{cd}	0.24±0.02 ^{bcd}
	B7	17.93±0.83 ^{cd}	47.12±2.06 ^{ghi}	32.93±0.90 ^{gh}	2.21±0.02 ^{ij}	0.52±0.03 ^c	0.23±0.01 ^{ede}
	B8	17.39±0.50 ^{de}	45.87±0.91 ^{hi}	29.09±0.37 ^{jk}	2.12±0.09 ^{jk}	0.54±0.01 ^c	0.3±0.01 ^{ab}
	B9	20.51±0.22 ^b	35.71±0.25 ^k	27.06±0.38 ^{klm}	1.88±0.05 ^k	0.73±0.02 ^a	0.32±0.01 ^a
A2	B1	9.62±0.17 ^{lm}	57.45±0.42 ^a	39.25±0.91 ^a	3.64±0.07 ^{ab}	0.29±0.01 ^l	0.14±0.00 ^{ijk}
	B2	10.25±0.31 ^{klm}	54.44±1.07 ^{bc}	34.76±0.69 ^{defg}	3.29±0.07 ^c	0.29±0.01 ^{kl}	0.18±0.04 ^{efghij}
	B3	11.32±0.75 ^{klj}	52.56±1.00 ^{ede}	35.55±1.18 ^{edef}	2.88±0.06 ^d	0.36±0.00 ^{ij}	0.2±0.03 ^{defghi}
	B4	12.18±0.54 ^{ij}	50.60±0.86 ^{def}	33.77±0.93 ^{efgh}	2.86±0.12 ^d	0.39±0.02 ^{ghij}	0.2±0.04 ^{defghi}
	B5	14.36±0.62 ^{gh}	49.03±0.95 ^{fg}	31.76±1.32 ^{hi}	2.65±0.09 ^{def}	0.41±0.02 ^{efghi}	0.22±0.01 ^{defg}
	B6	14.31±0.44 ^{gh}	46.42±0.8 ^{ghi}	29.91±0.34 ^{ij}	2.50±0.08 ^{fgh}	0.43±0.01 ^{efg}	0.24±0.00 ^{bcd}
	B7	17.53±0.70 ^{de}	46.08±1.00 ^{hi}	28.68±0.36 ^{klj}	2.56±0.07 ^{efg}	0.48±0.03 ^{ede}	0.25±0.02 ^{bed}
	B8	19.61±0.41 ^{bc}	39.00±0.89 ^j	26.28±0.18 ^{lmn}	2.34±0.02 ^{ghij}	0.51±0.03 ^{cd}	0.27±0.01 ^{abc}
	B9	24.81±0.67 ^a	34.68±0.36 ^k	24.21±0.16 ⁿ	2.07±0 ^{jk}	0.69±0.01 ^{ab}	0.30±0.01 ^{ab}
A3	B1	9.61±0.22 ^{lm}	57.96±0.67 ^a	38.06±0.23 ^{ab}	3.67±0.06 ^a	0.29±0.01 ^{kl}	0.13±0.02 ^{jk}
	B2	10.84±0.58 ^{klm}	57.12±0.44 ^{ab}	35.29±0.08 ^{defg}	3.40±0.05 ^{bc}	0.34±0.01 ^{jk}	0.13±0.03 ^{jk}
	B3	11.88±0.63 ^{ijk}	53.25±1.14 ^{cd}	34.10±0.63 ^{efgh}	2.91±0.13 ^d	0.35±0.02 ^j	0.15±0.03 ^{ijk}
	B4	12.3±1.04 ^{ij}	50.32±0.73 ^{ef}	33.31±0.34 ^{fgh}	2.82±0.19 ^{de}	0.38±0.01 ^{hij}	0.15±0.01 ^{hijk}
	B5	13.40±0.66 ^{hi}	48.75±0.04 ^{fgh}	31.99±1.97 ^{hi}	2.68±0.04 ^{def}	0.39±0.02 ^{ghij}	0.16±0.01 ^{ghijk}
	B6	15.37±0.61 ^{fg}	46.71±0.91 ^{ghi}	30.29±1.04 ^{ij}	2.42±0.13 ^{fghi}	0.43±0.00 ^{efgh}	0.21±0.02 ^{defgh}
	B7	16.15±0.62 ^{ef}	45.76±0.07 ⁱ	28.55±0.44 ^{ijkl}	2.45±0.12 ^{fghi}	0.45±0.01 ^{ef}	0.22±0.01 ^{def}
	B8	19.11±0.33 ^{bcd}	40.56±0.78 ^j	28.23±0.50 ^{ijkl}	2.30±0.07 ^{ghij}	0.51±0.01 ^{cd}	0.27±0.01 ^{abc}
	B9	23.95±0.74 ^a	34.76±0.32 ^k	24.89±0.58 ^{mn}	2.18±0.08 ^{ij}	0.65±0.01 ^b	0.26±0.01 ^{abcd}

表6 混播组合、混播比例和混播组合×混播比例交互作用的综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation values for the single factor and the interaction of mixture combination and mixed ratio

处理	综合评价	处理	综合评价	处理	综合评价	处理	综合评价
A1	0.078	A1B1	0.450	A2B1	0.495	A3B1	0.490
A2	0.954	A1B2	0.399	A2B2	0.633	A3B2	0.550
A3	0.346	A1B3	0.325	A2B3	0.706	A3B3	0.586
B1	0.606	A1B4	0.550	A2B4	0.576	A3B4	0.480
B2	0.679	A1B5	0.432	A2B5	0.441	A3B5	0.439
B3	0.687	A1B6	0.515	A2B6	0.462	A3B6	0.464
B4	0.672	A1B7	0.486	A2B7	0.559	A3B7	0.535
B5	0.496	A1B8	0.472	A2B8	0.568	A3B8	0.560
B6	0.547	A1B9	0.544	A2B9	0.371	A3B9	0.324
B7	0.613						
B8	0.597						
B9	0.350						

响^[32]。本试验也表明,小黑麦与3种豆科牧草以不同比例混播时,3种豆科牧草的平均株高、混播群体的总枝条数和鲜干草产量均有极显著差异,禾—豆混播比例为70:30时,平均干草产量最高(13.7598 t/hm²),但史志强等^[21]得出的禾豆最佳混播比例为50:50,这可能是由于本试验的豆科牧草中包含加拿大饲用豌豆^[27]。

对于本试验的3种豆科牧草而言,由于各自的生长习性和形态特征差异较大,和甘农2号小黑麦混播时要求的比例不同,加拿大饲用豌豆与甘农2号小黑麦的最佳混播比例为40:60,干草产量为13.92 t/hm²;青海箭筈豌豆和绿箭1号箭筈豌豆与甘农2号小黑麦的最佳混播比例均为20:80,干草产量分别为16.45 t/hm²和14.45 t/hm²。从而说明,青海箭筈豌豆与甘农2号小黑麦的混播效果最好,草产量最高。该产量比绿箭431和甘农2号小黑麦以50:50比例混播时的干草产量(11.15 t/hm²)^[21]高48%。

3.2 混播群体营养价值的差异及原因

由于气候、土壤等因素的影响,单一草种很难发挥其优势,禾本科和豆科牧草混播时,两者可以发挥种间互补优势,充分利用时间、空间、光、热、水、气、肥、微生物等资源,从而获得较高的草产量和营养品质^[33-34]。此外,豆科牧草可攀援在禾本科牧草的茎秆上,减少倒伏情况,有利于提高光合能力和有机物积累,进而提高草产量和营养品质^[35]。禾本科和豆科牧草以适宜比例混播均可有效提高混播饲草中的粗蛋白产量,同时混播饲草的营养成分比单播饲草的更加全面,产量也比单播饲草高^[36];CP、EE、Ca和P含量高,NDF和ADF含量较低,牧草的营养品质更好^[37]。本试验中,3种混播组合间只有ADF和EE含量有显著差异,2个箭筈豌豆品种与甘农2号小黑麦混播的ADF含量显著低于饲用豌豆,EE含量显著高于饲用豌豆,说明混播后营养成分较高。从混播比例看,随着豆科牧草比例的增加,CP、Ca、P含量呈显著或不显著升高,NDF、ADF和EE含量呈显著或不显著降低,说明禾豆混播可改善饲草品质,这与李满有等^[34]和罗彩云等^[38]的研究结果一致。西然朋措等^[4]研究发现甘农2号小黑麦与饲用豌豆的最佳混播比例为70:30,CP含量为8.61%。而本试验中甘农2号小黑麦与饲用豌豆的最佳混播比例为60:40,CP含量为11.59%。

这可能与试验地的土壤条件和当地的气候条件有关。

禾豆混播组合和比例的确定需要综合草产量和营养成分等因素,本试验给草产量和营养成分根据重要性赋值并综合评价后得出的最佳混播组合为青海箭筈豌豆与甘农2号小黑麦混播,最佳混播比例为30:70,因此青海箭筈豌豆与甘农2号小黑麦以30:70的比例混播时,草产量和营养成分均较高。该研究结果为提高夏河农牧交错区草产量和牧草营养品质提供了技术支撑,满足该区域生态畜牧业建设的发展需要,适宜在夏河农牧交错区示范推广。

4 结论

夏河农牧交错区甘农2号小黑麦与青海箭筈豌豆以70:30或80:20的比例混播时,干草产量可达16.45 t/hm²),饲草营养价值较高。

参考文献:

- [1] 郑永山. 甘肃省牧区灌溉饲草料地发展需求分析[J]. 中国水利, 2015(21):39-40+48.
- [2] 俞联平, 李新媛, 俞慧云. 放牧家畜品种改良是高寒牧区草地畜牧业提质增效的有效举措[J]. 甘肃畜牧兽医, 2017, 47(3):66-68.
- [3] 范玉革. 草原生态保护与畜牧经济可持续发展研究[J]. 农家参谋, 2018(15):125.
- [4] 西然朋措, 魏希杰, 周洛, 等. 称多县禾豆混播对牧草产量和品质的影响研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2020, 50(6):15-20.
- [5] 王辛有, 曹文侠, 王小军, 等. 河西地区豆禾混播草地生产性能对刈割高度与施肥的响应[J]. 草业学报, 2021, 30(4):99-110.
- [6] Tratwal A, Bocianowski J. Suitability of winter triticale varieties for composing crop mixtures[J]. Current Plant Biology, 2021, 25.
- [7] 张庆昕, 张淑艳, 刘殿鹏. 4种冰草与黄花苜蓿混播草地的产量及产量构成研究[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2017, 32(3):238-242.
- [8] 苟文龙, 李平, 马啸, 等. DTOPSIS法在一年生牧草禾豆混播优势组合筛选中的应用研究[J]. 草学, 2020(2):31-35+39.
- [9] 高晨曦. 燕麦和箭筈豌豆混播对牧草产量和根际土壤养分的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2020.
- [10] 张永亮, 张丽娟, 于铁峰, 等. 禾豆组合与间作方式对牧

- 草产量及产量稳定性的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(5):1410—1418.
- [11] 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[J]. 草地学报, 2007, 15(1):43—49.
- [12] 孙迷平,岳竞之,肖兴中,等. 饲用小黑麦在济源地区的生产性能和品质研究[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(13): 20—22+26.
- [13] 张起荣,潘正武,韩天维. 小黑麦对高寒地区的适应性研究[J]. 中国草食动物, 2011, 31(4):56—58.
- [14] 李艳兰,李灶福,禹宗红,等. 烟后食粒豌豆不同播期主要农艺性状与产量的多重分析[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(14):34—38.
- [15] 杨凌杰,苟梦堃,布合利奇·马木提汗,胡小文,武艳培. 光照对箭筈豌豆及其子代生长和繁殖特性的影响[J]. 中国草地学报, 2021, 43(2):8—16.
- [16] 樊文婷. 燕麦单播和与箭舌豌豆混播的实验效果[J]. 当代畜禽养殖业, 2017(2):10+19.
- [17] 周诗晶,罗佳宁,刘仲森,等. 箭筈豌豆种植密度对土壤微生物养分代谢的影响[J]. 草业学报, 2021, 30(10): 63—72.
- [18] 雄奴塔巴,伦珠朗杰,达瓦顿珠,等. 不同播种方法对冬青裸复种箭筈豌豆鲜草产量的影响研究[J]. 西藏农业科技, 2021, 43(1):38—41.
- [19] 张学梅. 高寒荒漠草原区燕麦单播与燕麦/箭筈豌豆混播草地产量和水氮利用研究[D]. 兰州:兰州大学, 2019.
- [20] 马晓东,孙金金,汪鹏斌,等. 青海果洛高寒地区燕麦和小黑麦最佳混播比例[J]. 草业科学, 2020, 37(4): 753—761.
- [21] 史志强,裴亚斌,徐强,等. 甘南高寒牧区甘农2号小黑麦与箭筈豌豆的混播效果[J]. 草业科学, 2021, 38(9): 1771—1781.
- [22] 徐强. 甘肃高寒牧区小黑麦与豌豆的混播组合及混播比例研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2021.
- [23] 刘晓英,陈琴. 牧草混播技术简介[J]. 草业与畜牧, 2010(11):61—62.
- [24] 宋谦,田新会,杜文华. 甘肃省高寒牧区小黑麦新品系的生产性能[J]. 草业科学, 2016, 33(7):1367—1374.
- [25] 任昱鑫,刘汉成,田新会,等. 甘南高寒牧区秋播小黑麦对氮肥施用量和播种密度的响应[J]. 草地学报, 2019, 27(4):1044—1051.
- [26] 李冬梅,田新会,杜文华. 小黑麦新品系的草产量及营养价值研究[J]. 草地学报, 2016, 24(6):1164—1169.
- [27] 刚永和,张海博,刚馥欣,等. 燕麦与饲用豌豆混播对饲草产质量的影响[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(7): 23—28.
- [28] 周娟娟,白玛嘎翁,魏巍,等. 西藏高寒区禾—豆混播对牧草营养品质及土壤养分的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(2):143—149.
- [29] 王皓. 河西灌区调亏灌溉对禾豆混播饲草产量、品质和水分利用的影响[D]. 兰州:兰州大学, 2020.
- [30] 张瑜,高碧荣,龙忠富,等. 饲用小黑麦与箭舌豌豆不同混播比例的生产效应[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(11): 112—114.
- [31] 吴姝菊. 紫花苜蓿与无芒雀麦、扁穗冰草混播效果研究[J]. 中国草地学报, 2010, 32(2):15—18+46.
- [32] 苟文龙,李平,张建波,等. 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[J]. 草地学报, 2019, 27(2):473—481.
- [33] 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.
- [34] 李满有,蒙向武,王斌,等. 燕麦—豆草混播组合对草地生产性能的影响[J]. 草业科学, 2021, 38(6):1147—1155.
- [35] 王旭,曾昭海,胡跃高,等. 豆科与禾本科牧草混播效应研究进展[J]. 中国草地学报, 2007, 29(4):92—98.
- [36] 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.
- [37] 赵方媛,曲广鹏,田新会,等. 饲料型小黑麦品系籽粒产量及其营养价值研究[J]. 草地学报, 2018, 26(6): 1374—1381.
- [38] 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.

Forage yield and nutrient value in the mixture of triticale and legume in the farming–pastoral ecotone of Xiahe

SHAO Chun-hui, XU Qiang, SHI Zhi-qiang, TIAN Xin-hui*, DU Wen-hua**

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

Abstract: [Objective] To establish the optimum mixture model of triticale and legumes in the farming–pastoral ecotone of Xiahe. [Method] This research was conducted to study the production performance and nutrition quality of three kinds of legumes (Canadian forage peas, Qinghai common vetch and ‘Lvjian No. 1’) mixed with triticale variety ‘Gannong No. 2 at different ratios (0:100, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 100:0), respectively. [Result] The combination of Gannong No. 2 and Canadian forage peas, had the lowest average ADF content (31.57%) and highest comprehensive evaluation value (0.954). The triticale height (137.00 cm), legume forage height (121.78 cm) and EE content (2.76%) were the highest in the combination of Gannong No. 2 and ‘Lvjian No. 1’ vetch. From the signal factor of mixed ratios, the three kinds of legumes mixed with Gannong No. 2 at a ratio of 30:70, both the average hay yield (13.759 8 t/hm²) and the comprehensive evaluation value (0.687) were the highest. In contrary, from the interaction of mixture combination and ratios, Qinghai common vetch mixed with Gannong No. 2, at a ratio of 30:70, hay yield (15.69 t/hm²) was high and comprehensive evaluation value was the highest (0.706) while at a ratio of 20:80, the hay yield was the highest (16.45 t/hm²) and comprehensive evaluation value was high (0.633). [Conclusion] Therefore, in the farming–pastoral ecotone of Xiahe, the best mixture model was Qinghai common vetch mixed with Gannong No. 2 at a ratio of 30:70 or 20:80.

Key words: farming–pastoral ecotone of Xiahe; triticale; mixed sowing; hay yield; nutrition quality

(责任编辑 康宇坤)