

高寒牧区小黑麦与3种豆科牧草混播草地的土壤肥力特征

徐强,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】探究小黑麦与不同豆科牧草混播时草地土壤养分特征。【方法】研究了3个豆科牧草品种(青建1号饲用豌豆,青海箭筈豌豆和绿箭1号箭筈豌豆)与甘农2号小黑麦以不同混播比例(0:100、20:80、30:70、40:60、50:50、60:40、70:30、80:20、100:0)混播对浅层土壤养分含量的影响。【结果】混播组合A1(小黑麦×青建1号)有利于提高土壤有机质、碱解氮含量和降低土壤pH值,A2(小黑麦×青海箭筈豌豆)和A3(小黑麦×绿箭1号)有利于提高土壤全磷、速效磷和速效钾的含量;混播比例随豆科牧草比例的增加,有机质、全氮、碱解氮和全磷含量显著升高($P<0.05$),土壤pH值和速效磷含量显著下降($P<0.05$);混播组合与混播比例的交互作用表明,混播比小黑麦单播的土壤pH值降低0.55%~1.52%,有机质含量提高13.07%~18.30%,全氮含量提高20.24%~44.05%,碱解氮含量提高5.44%~12.5%,全磷含量提高12.77%~29.79%,速效磷含量下降17.15%~44.62%,速效钾含量提高6.61%~19.06%。【结论】与小黑麦单播相比,小黑麦与豆科牧草混播有利于改善土壤养分供应,提高土壤肥力,以小黑麦和饲用豌豆(40:60)的混播比例时,土壤肥力状况最好。

关键词:高寒牧区;小黑麦;混播;土壤肥力

中图分类号:S512.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)02-0107-09

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2023.02.013



小黑麦(*Triticosecale*)是由小麦属(*Triticum*)和黑麦属(*Secale*)经属间有性杂交以及染色体数加倍形成的新物种,它结合了小麦属高产优质特点,又兼具黑麦抗逆性强和适应性广的特点^[1]。小黑麦根系发达,对氮、磷利用率高,有利于节省水肥^[2]。饲用型小黑麦的糖分和蛋白质含量明显高于小麦和燕麦^[3]。秋播小黑麦在甘南高寒牧区种植后,能安全越冬,而且

干草产量可达13~15 t/hm²,是当地大面积种植的燕麦品种的1.4倍,粗蛋白含量为12%~15%,具有广阔的应用前景^[4]。合理的牧草组合和适宜的种植比例是混播草地能够保持理想生产力的前提,前人利用植株高大挺直的禾本科牧草与攀缘性豆科牧草混播能不同程度的提高牧草产量和营养价值^[5]。利用小黑麦与豆科牧草以不同比例混播有望在维持甚至提高小黑麦产量的基础上进一步增加其营养价值。

土壤养分含量直接影响牧草生长,因而维持土壤养分平衡和充足是提高饲草产量和品质的关键^[5]。土壤肥力状况反映着土壤为作物生长提供营养元素的能力,与作物生长息息相关。土壤肥力除了体现在土壤物理性状方面,更多的体现在土壤有机质含量及氮、磷、钾等养分元素的含量上^[7]。在甘肃高寒牧区,建植人工草地过程中,由于人们片面追求产量效益,草地连作、田间过量施肥现象严重,导致土壤养分不

收稿日期:2021-04-06;修回日期:2022-01-04

基金项目:西藏饲草产业专项(XZ201801NA02,XZ201901NA03);国家重点研发计划(2018YFD0502402-3);甘肃省草地畜牧业可持续发展创新团队项目(2017C-11);现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-40-09B)

作者简介:徐强(1995-),男,河南驻马店人,硕士研究生。

E-mail:1154520092@qq.com

*通讯作者。E-mail:duwh@gsau.edu.cn

均衡、土壤肥力严重下降及生态环境污染^[8]。禾—豆混播是改善这一现状的有效措施之一。1)禾本科牧草对氮肥需求量大,耐连作性较差。豆科牧草可将大气中的氮转化为植物可吸收利用的氮,除自身吸收利用外,还可将多余的氮传递到土壤中,增加土壤中氮的含量,维持土壤中氮素平衡或供其他作物吸收利用^[9];2)禾本科和豆科牧草根系在土壤中的分布格局及对各种养分的需求量不同,因而不同混播组合和比例对土壤养分含量的影响不同^[10]。此外,混播群体的根系不仅可促进土壤团粒结构的形成,改善耕层土壤的通透性,还可释放根系分泌物,提高土壤养分的有效性,缓解养分缺乏的状况^[11]。

目前关于高寒牧区小黑麦与豆科牧草混播对土壤养分的影响报道较少,明晰混播对土壤全量和速效养分含量的影响,是改进混播草地施肥管理措施、促进混播草地可持续利用的基础。因此,本试验通过对小黑麦与3个不同品种豆科牧草以不同比例混播进行研究,旨在明晰不同处理下土壤养分变化特征,为在甘肃高寒牧区建植优质高产的小黑麦混播草地及促进土地可持续利用提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省甘南藏族自治州夏河县扎油乡饲料厂内(E 103°23′69″,N 35°75′76″),地处青藏高原东北缘,海拔2 848 m,属高寒湿润型气候区。年平均气温2.6℃,年均降水量516 mm,年均蒸发量1 232 mm,无霜期56 d,年日照时间为2 296 h。 $>0^{\circ}\text{C}$ 的年积温为2 800~3 600℃。土壤类型为亚高山草甸土,0~20 cm土层土壤养分含量:有机质49.51 g/kg、全氮1.06 g/kg、全磷0.8 g/kg、全钾4.79 g/kg、碱解氮262.40 mg/kg、有效磷75.04 mg/kg、速效钾187.18 mg/kg,pH值为7.30。

1.2 供试材料

甘农2号小黑麦,千粒重52 g;青建1号饲用豌豆,千粒重171.9 g;青海箭筈豌豆,千粒重65.7 g;绿箭1号箭筈豌豆,千粒重52.05 g。上述种子均由甘肃农业大学草业学院提供。

1.3 试验设计

裂区设计。主区为混播组合,设3个水平,分别为

A1:甘农2号与青建1号饲用豌豆混播(简称甘农2号×青建1号,下同),A2:甘农2号×青海箭筈豌豆,A3:甘农2号×绿箭1号。副区为混播比例,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)。禾—豆等比例混播时播种量按其单播量的80%计算^[5],不同混播比例下小黑麦与箭筈豌豆的播种量如表1所示。小区面积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。播种前1周引水灌溉试验地,播种时(2019年4月17日),将每个处理的豆科饲草和小黑麦种子混匀后条播。播种前施磷酸二铵($\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5\geq 64.0\%$)250 kg/hm²,小黑麦出苗期和小黑麦拔节期分别追施尿素($\text{N}\geq 46.0\%$)157 kg/hm²。小黑麦分蘖期和拔节期各除草1次。小黑麦开花期(2020年9月2日)刈割测产。

表1 不同混播比例下小黑麦与豆科的播种密度
Table 1 Seeding rate of rye and legume of different mixed ratio

编号	播种密度/(万基本苗·hm ⁻²)	
	小黑麦	豆科牧草
B1	750	0
B2	960	70
B3	840	105
B4	720	140
B5	600	175
B6	480	210
B7	360	245
B8	240	280
B9	0	218

1.4 测定指标及方法

采用土钻采集土样:于2020年5月牧草地翻耕前采集土壤基础样品,2020年9月,刈割后采集各小区土样。采样时用管形土钻采取0~20 cm的浅土层土壤,每个小区以S型取样法采集5个点的土样,装入自封袋带回实验室,在室内充分混匀后,以四分法取适量土样,置阴凉处自然风干,研磨,过2 mm筛,用于土壤肥力指标的测定。

指标测定^[12]:土壤pH值用Sartorius PB-10 pH计测定(水:土=2.5:1);土壤有机质采用重铬酸钾容量法—外加热法;土壤全氮测定采用凯氏定氮法测定;土壤全磷采用酸溶—钼锑抗显色法测定;土壤全钾采

用浓硫酸消煮后,火焰光度计测定;碱解氮采用碱解扩散法;速效磷用碳酸氢钠浸提—钼蓝比色法测定;速效钾用乙酸铵浸提—火焰光度法测定。

1.5 数据处理

用 Excel 2019 进行数据整理和作图。在 SPSS 25.0 软件中用 one-way ANOVA 对混播组合间、混播比例间、混播组合×混播比例交互作用间各指标进行方差分析。如果差异显著,用 Duncan 法进行多重比较。结果用平均值±标准误(standard error of mean, SEM)表示。

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (1)$$

式中, $|X_0(k) - X_i(k)|$ 为 k 点的绝对值,

$\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为两极度差最小值,

$\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为两极度差最大值, ρ 是分辨率系数(取值为 0.5), 由公式(2)和(3)计算各指标的权重, 由公式(4)求出加权关联度。

$$Y_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (2)$$

$$\omega = \frac{r_i}{\sum r_i} \quad (3)$$

采用灰色关联度法对不同混播处理下草地土壤肥力状况进行综合评价, 以所有混播组合各项指标的最优值为参考数列, 记为 $\{X_0(k)\} (k=1, 2, 3, \dots, n)$, 各项指标作为评价指标为比较数列, 记为 $\{X_i(k)\} (i=1, 2, 3, \dots, m; k=1, 2, 3, \dots, n)$ 。参试混播方式以 X 表示, 性状以 k 表示, 各混播方式 X 在性状 k 处的值构成以比较数列 X_i, X_0 为理想构建混播方式。

对数据进行无量纲化处理^[13], 求出 X_0 与对应 X_i 的绝对差值, 再根据公式(1)计算出参试混播处理与性状间的关联系数 $\xi_i(k)$ 。

$$r_i' = \sum_{k=1}^n W_k \xi_i(k) \quad (4)$$

2 结果与分析

方差分析(表 1)表明, 混播组合间除全氮、全磷和全钾外均存在显著差异($P < 0.05$); 混播比例间除全钾外各指标均有显著差异($P < 0.05$); 混播组合×混播比例交互作用间除全钾外各指标均有显著差异($P < 0.05$)。需对以上存在显著差异的指标进行多重比较。

表 2 混播组合间、混播比例间和混播组合×混播比例交互作用间土壤肥力的方差分析

Table 2 Variance analysis on soil fertility within the mixture combination, mixed ratio and the interaction of mixture combination and mixed ratio

变异来源	F 值							
	pH 值	有机质	全氮	碱解氮	全磷	速效磷	全钾	速效钾
混播组合	6.57*	15.25*	0.48	11.45*	0.86	5.46*	2.16	6.38*
混播比例	6.72*	2.78*	18.15*	8.35*	4.66*	14.59*	0.57	16.96*
混播组合×混播比例	24.83*	21.91*	7.36*	14.63*	2.79*	15.03*	0.95	12.57*

注: *表示差异达到显著水平($P < 0.05$)

2.1 混播组合间土壤肥力的差异

A1 和 A3 的土壤 pH 值无显著差异, 均显著低于 A2 ($P < 0.05$); A2 和 A3 的土壤有机质和碱解氮含量无显著差异但均显著低于 A1 ($P < 0.05$); A2 和 A3 的土壤速效磷含量无显著差异但均显著高于 A1 ($P < 0.05$); A1 和 A2 的土壤速效钾含量无显著差异但均显著低于 A3 ($P < 0.05$) (表 3)。

2.2 混播比例间草地土壤肥力的差异

B1 的土壤 pH 值最高, 显著高于其他比例 ($P < 0.05$), B7 最低, 显著低于 B1、B2 和 B3 ($P < 0.05$), 其他比例间无显著差异; B1 的土壤有机质含量最低, B6 最高, 其他比例间无显著差异(图 1)。

土壤全氮含量随着豆科牧草比例的增加而升高, B9 最高, 显著高于除 B7 和 B8 外的其他比例 ($P <$

表 3 各混播组合的土壤养分含量
Table 3 Soil nutrients among the mixture combination

混播组合	pH值	有机质/%	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)
A1	7.15±0.01 ^b	5.44±0.15 ^a	257.1±1.33 ^a	36.23±1.75 ^b	149.3±2.08 ^b
A2	7.2±0.01 ^a	4.79±0.02 ^b	243.88±2.84 ^b	43±1.96 ^a	151.16±1.78 ^b
A3	7.17±0.01 ^b	4.86±0.03 ^b	243.49±2.43 ^b	44.18±1.8 ^a	157.34±2.19 ^a

注:同列不同字母表示差异显著($P<0.05$),下同

0.05),B1最低;B8的土壤碱解氮含量最高,显著高于除B6、B7和B9外的其余比例($P<0.05$),B1最低(图2)。

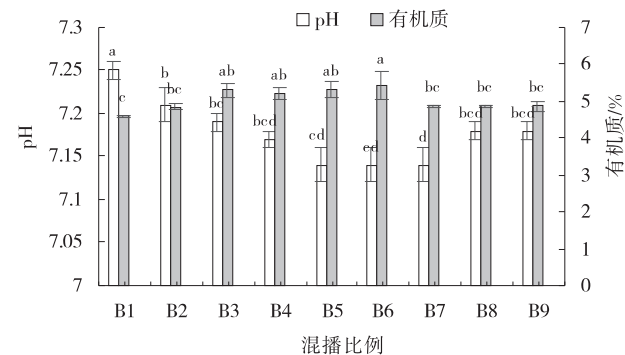


图 1 各混播比例的土壤 pH 值和有机质含量

Fig. 1 Soil pH and organic matter content of mixed ratio

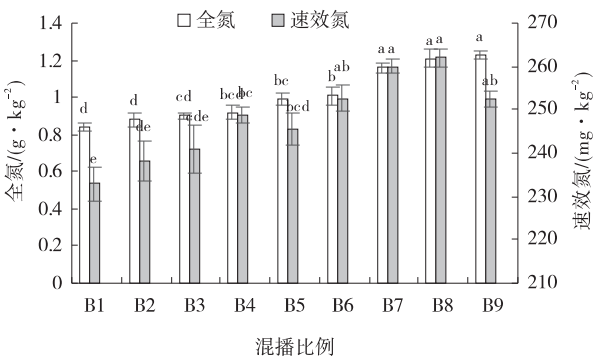


图 2 各混播比例的土壤全氮和速效氮含量

Fig. 2 Soil total nitrogen and available nitrogen content of mixed ratio

B6的土壤全磷含量最高,显著高于除B4、B5和B8外的其余比例($P<0.05$),B1和B2最低;土壤速效磷含量随着豆科牧草比例的增加而下降,B1最高,显著高于其余比例($P<0.05$),B8最低,显著低于B5、B6、B7和B9外的其余比例($P<0.05$)(图3)。

B6土壤速效钾含量最高,显著高于除B7和B8外的其余比例($P<0.05$),B1最低,显著低于B2和B9外的其余比例($P<0.05$)(图4)。

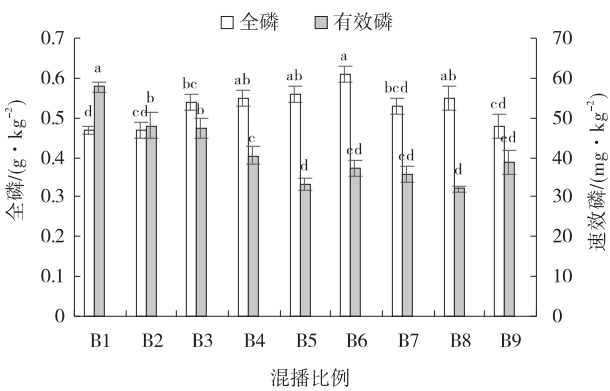


图 3 混播比例间的土壤全磷和速效磷含量

Fig. 3 Soil total phosphorus and available phosphorus content of mixed ratio

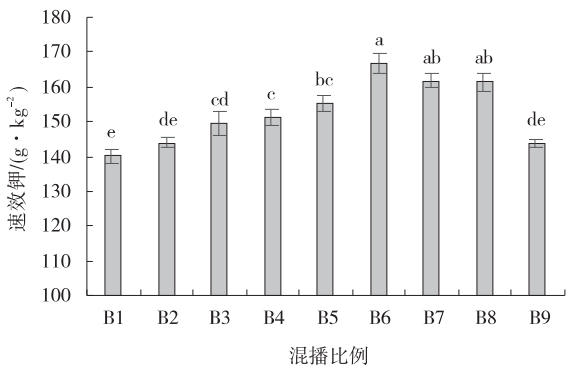


图 4 各混播比例的土壤速效钾含量

Fig. 4 Soil available potassium content of mixed ratio

2.3 混播组合×混播比例交互作用间草地土壤肥力的差异

土壤pH值:A1混播组合间,小黑麦单播处理显著高于混播处理($P<0.05$),A1B2、A1B4、A1B6和A1B7显著低于饲用豌豆单播($P<0.05$);A2混播组合间,除A2B2、A2B6和A2B8外的其余混播处理显著低于小黑麦单播处理($P<0.05$),A2B2、A2B6和A2B8显著高于箭筈豌豆单播($P<0.05$);A3混播组合间,小黑麦单播处理显著高于除A3B2外的其余混

播处理 ($P < 0.05$), 箭筈豌豆单播显著低于 A3B2、A3B3 和 A3B4 ($P < 0.05$), 混播处理间, A3B2 最高, 显著高于其余混播处理 ($P < 0.05$), 混播比单播小黑麦土壤 pH 值降低 5.44%~12.5% (表 4)。

土壤有机质含量: A1 混播组合间, 除 A1B2 外的其余混播处理显著高于小黑麦单播处理 ($P < 0.05$), 除 A1B2、A1B7 和 A1B8 外的其余混播处理显著高于饲用豌豆单播处理 ($P < 0.05$), 混播处理间, A1B6 最高, 显著高于其余混播处理 ($P < 0.05$); A2 混播组合

间, 混播处理 A2B2、A2B3 和 A2B5 显著高于小黑麦单播处理 ($P < 0.05$), A2B2 显著高于箭筈豌豆单播处理 ($P < 0.05$), 各混播处理间无显著差异; A3 混播组合间, 除 A3B6 外的其余混播处理显著高于小黑麦单播处理 ($P < 0.05$), 混播处理 A3B2、A3B3 和 A3B5 显著高于箭筈豌豆单播处理 ($P < 0.05$), 混播处理间 A3B2 最高, 显著高于 A3B6 ($P < 0.05$), 其余混播处理间无显著差异, 混播比小黑麦单播土壤有机质含量提高 13.07%~18.30% (表 4)。

表 4 混播组合×混播比例交互作用间混播草地的土壤养分含量

Table 4 Soil nutrients for the interaction of mixture combination and mixed ratio

处理	pH 值	有机质/%	全氮/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)
A1B1	7.25±0.01 ^{ab}	4.59±0.03 ⁱ	0.82±0.06 ^{hi}	246.09±2.92 ^{efgh}	0.48±0.02 ^{defg}	54.63±1.72 ^{ab}	134.85±2.15 ^k
A1B2	7.13±0.02 ^{gh}	4.57±0.10 ⁱ	0.79±0.04 ⁱ	254.85±3.48 ^{bcdef}	0.47±0.03 ^{efg}	37.8±6.70 ^{fghijkl}	142.34±2.99 ^{ijk}
A1B3	7.16±0.01 ^{efg}	5.98±0.15 ^{bc}	0.89±0.0 ^{ghi}	260.15±7.10 ^{abc}	0.57±0.03 ^{abcdef}	37.93±1.06 ^{fghijkl}	139.39±2.77 ^{jk}
A1B4	7.14±0.02 ^{gh}	5.86±0.13 ^c	1.04±0.07 ^{cdefg}	253.40±2.17 ^{bcdef}	0.61±0.02 ^{abc}	34.42±1.15 ^{hijklmn}	147.14±1.97 ^{ghj}
A1B5	7.18±0.02 ^{de}	6.08±0.08 ^b	1.03±0.04 ^{defg}	258.93±2.02 ^{abcd}	0.55±0.03 ^{abcdefg}	28.95±0.86 ^{mn}	153.16±2.71 ^{efgh}
A1B6	7.08±0.01 ⁱ	6.48±0.01 ^a	1.00±0.08 ^{efgh}	263.70±2.57 ^{ab}	0.61±0.04 ^{abc}	43.97±0.77 ^{defg}	157.38±0.99 ^{cdef}
A1B7	7.09±0.01 ⁱ	4.90±0.04 ^{def}	1.24±0.04 ^{ab}	261.23±1.17 ^{ab}	0.47±0.02 ^{defg}	28.35±1.67 ⁿ	161.69±3.10 ^{bcd}
A1B8	7.16±0.02 ^{efg}	4.94±0.01 ^{de}	1.29±0.07 ^a	256.58±2.30 ^{abcde}	0.49±0.02 ^{cdefg}	30.22±1.18 ^{kilmn}	165.80±1.44 ^{bc}
A1B9	7.18±0.01 ^{def}	4.84±0.09 ^{defgh}	1.25±0.02 ^{ab}	258.94±2.01 ^{abcd}	0.44±0.02 ^g	29.78±0.95 ^{lmn}	141.94±1.72 ^{ijk}
A2B1	7.25±0.01 ^{ab}	4.63±0.03 ^{hi}	0.86±0.02 ^{ghi}	223.97±5.36 ^k	0.45±0.01 ^{fg}	58.63±1.71 ^a	141.23±1.94 ^{ijk}
A2B2	7.23±0.01 ^{bc}	4.93±0.09 ^{def}	0.88±0.01 ^{ghi}	227.00±4.64 ^k	0.5±0.03 ^{bcdefg}	52.46±1.22 ^{abc}	146.51±1.77 ^{ghj}
A2B3	7.19±0.01 ^{de}	4.89±0.04 ^{defg}	0.86±0.03 ^{ghi}	233.28±3.10 ^{ijk}	0.54±0.02 ^{abcdefg}	53.87±1.69 ^{ab}	148.3±2.94 ^{fghij}
A2B4	7.18±0.01 ^{def}	4.82±0.0 ^{defgh}	0.88±0.04 ^{ghi}	248.44±3.48 ^{defgh}	0.58±0.02 ^{abcde}	40.25±4.04 ^{efghi}	149.42±2.17 ^{fghi}
A2B5	7.16±0.01 ^{efg}	4.85±0.01 ^{defg}	1.01±0.05 ^{efgh}	238.06±3.65 ^{hij}	0.63±0.03 ^a	34.08±1.75 ^{hijklmn}	150.33±2.93 ^{fghi}
A2B6	7.22±0 ^{bc}	4.76±0.04 ^{efghi}	1.09±0.09 ^{bcdef}	248.44±2.02 ^{defgh}	0.62±0.06 ^{ab}	31.77±4.02 ^{kilmn}	167.87±2.73 ^{ab}
A2B7	7.19±0.01 ^{de}	4.83±0.09 ^{defgh}	1.15±0.04 ^{abcde}	260.21±3.16 ^{abc}	0.56±0.02 ^{abcdefg}	38.37±0.76 ^{fghijk}	159.67±3.06 ^{bcd}
A2B8	7.23±0 ^{bc}	4.71±0.03 ^{fghi}	1.11±0.08 ^{abcdef}	266.32±1.89 ^a	0.57±0.06 ^{abcdef}	32.57±0.48 ^{ijklmn}	154.89±5.83 ^{defg}
A2B9	7.19±0 ^{de}	4.67±0.09 ^{ghi}	1.23±0.04 ^{ab}	249.21±2.49 ^{cdefg}	0.46±0.10 ^{efg}	44.98±2.31 ^{cdef}	142.26±1.25 ^{ijk}
A3B1	7.26±0.01 ^a	4.56±0.06 ⁱ	0.83±0.05 ^{hi}	228.57±1.22 ^{jk}	0.47±0.04 ^{defg}	60.14±2.49 ^a	144.18±3.12 ^{hijk}
A3B2	7.26±0.01 ^a	5.04±0.02 ^d	0.96±0.10 ^{fghi}	232.39±2.49 ^{ijk}	0.44±0.02 ^g	53.40±2.38 ^{ab}	143.06±2.32 ^{ijk}
A3B3	7.21±0.01 ^{cd}	5.02±0.03 ^d	0.94±0.03 ^{fghi}	229.70±4.20 ^{ijk}	0.50±0.02 ^{bcdefg}	49.72±1.89 ^{bcd}	160.34±2.75 ^{bcd}
A3B4	7.20±0.01 ^{cd}	4.90±0.08 ^{def}	0.85±0.03 ^{ghi}	244.48±2.31 ^{fgh}	0.48±0.02 ^{defg}	46.82±1.55 ^{bcd}	157.32±5.17 ^{cdef}
A3B5	7.08±0.01 ⁱ	4.99±0.04 ^d	0.92±0.07 ^{fghi}	239.62±3.05 ^{ghi}	0.50±0.03 ^{bcdefg}	36.79±2.76 ^{ghijklm}	161.91±4.03 ^{bcd}
A3B6	7.11±0.01 ^{hi}	4.71±0.03 ^{fghi}	0.94±0.08 ^{fghi}	245.72±1.16 ^{efgh}	0.59±0.04 ^{abcd}	36.02±1.57 ^{ghijklmn}	175.13±2.73 ^a
A3B7	7.14±0.01 ^{gh}	4.85±0.07 ^{defg}	1.08±0.03 ^{bcdef}	258.59±4.00 ^{abcd}	0.55±0.02 ^{abcdefg}	39.97±2.63 ^{efghij}	164.11±3.95 ^{bcd}
A3B8	7.15±0.01 ^{fg}	4.94±0.02 ^{de}	1.22±0.10 ^{abc}	263.08±4.85 ^{ab}	0.59±0.04 ^{abcd}	33.23±0.11 ^{ijklmn}	163.54±1.77 ^{bcd}
A3B9	7.16±0.01 ^{efg}	4.74±0.04 ^{efghi}	1.20±0.04 ^{abcd}	249.27±2.93 ^{cdefg}	0.53±0.02 ^{abcdefg}	41.55±4.84 ^{efgh}	146.47±2.30 ^{ghj}

土壤全氮含量:A1混播组合间,除A1B7和A1B8外其余混播处理均显著低于饲用豌豆单播($P<0.05$),除A1B2、A1B3和A1B6外其余混播处理显著高于小黑麦单播($P<0.05$),混播处理间,A1B8最高,显著高于除A1B7外的其余混播处理($P<0.05$);A2混播组合间,混播处理A2B6、A2B7和A2B8显著高于小黑麦单播($P<0.05$),除A2B7和A2B8外其余混播处理均显著低于箭筈豌豆单播($P<0.05$),混播处理间,A2B7最高,显著高于A2B2、A2B3和A2B4($P<0.05$);A3混播组合间,A3B7和A3B8显著高于小黑麦单播($P<0.05$),除A3B7和A3B8外其余混播处理均显著低于箭筈豌豆单播($P<0.05$),混播处理间A3B8最高,显著高于除A3B7外的其余混播处理($P<0.05$),混播比小黑麦单播土壤全氮含量提高20.24%~44.05%(表4)。

土壤碱解氮含量:A1混播组合间,除A1B2、A1B4和A1B8外其余混播处理均显著高于小黑麦单播($P<0.05$),混播处理均与饲用豌豆单播无显著差异,各混播处理间无显著差异;A2混播组合间,除A2B2和A2B3外的其余混播处理均显著高于小黑麦单播($P<0.05$),A2B8显著高于箭筈豌豆单播,A2B2、A2B3和A2B5显著低于箭筈豌豆单播($P<0.05$),其余混播处理与箭筈豌豆单播无显著差异;A3混播组合间,除A2B2和A2B3外的其余混播处理显著高于小黑麦单播($P<0.05$),A3B8显著高于箭筈豌豆单播($P<0.05$),混播处理间,A3B8最高,显著高于除A3B7外的其余混播处理($P<0.05$),混播比小黑麦单播土壤碱解氮含量提高5.44%~1.50%(表4)。

土壤全磷含量:由表3~5可知,A1混播组合间,A1B4和A1B6显著高于小黑麦单播($P<0.05$),A1B3、A1B4和A1B6显著高于饲用豌豆单播($P<0.05$);A2混播组合间,A2B4、A2B5和A2B6显著高于小黑麦单播($P<0.05$),A2B5和A2B6显著高于箭筈豌豆单播($P<0.05$),混播处理间,A2B5最高,显著高于A2B2($P<0.05$),其余混播处理间无显著差异;A3混播组合间,A3B6和A3B8显著高于小黑麦单播($P<0.05$),混播处理均与箭筈豌豆单播无显著差异,混播处理间A3B2最低,其余混播处理间无显著差异,混播比小黑麦单播土壤全磷含量提高12.77%~

29.79%(表4)。

土壤速效磷含量:A1混播组合间,混播处理显著低于小黑麦单播($P<0.05$),混播处理A1B6显著高于饲用豌豆单播($P<0.05$)。混播处理间,A1B6最高,显著高于A1B2和A1B3外的其余混播处理($P<0.05$);A2混播组合间,除A2B2和A2B3外其余混播处理显著低于小黑麦单播($P<0.05$),饲用豌豆单播显著高于A2B5、A2B6和A2B8($P<0.05$),混播处理间,A2B3最高,显著高于除A2B2外的其余混播处理($P<0.05$);A3混播组合间,除A3B1外其余混播处理显著低于小黑麦单播($P<0.05$),A3B2和A3B3显著高于箭筈豌豆单播处理($P<0.05$),混播处理间,A3B2最高,显著高于除A3B3和A3B4外的其余混播处理($P<0.05$),且其余混播处理间无显著差异,混播比小黑麦单播土壤速效磷含量下降17.15%~44.62%(表4)。

土壤速效钾含量:A1混播组合间,除A1B2和A1B3外其余混播处理均显著高于小黑麦单播($P<0.05$),除A1B2、A1B3和A1B4外其余混播处理均显著高于饲用豌豆单播($P<0.05$)。混播处理间,A1B8最高,显著高于除A1B6和A1B7外的其余混播处理($P<0.05$);A2混播组合间,A2B6、A2B7和A2B8显著高于小黑麦单播和箭筈豌豆单播($P<0.05$),混播处理间,A2B6最高,显著高于除A2B7外的其余混播处理($P<0.05$);A3混播组合间,除A3B2外的其余混播处理显著高于小黑麦单播和箭筈豌豆单播($P<0.05$),混播处理间,A3B6最高,显著高于其余混播处理($P<0.05$),混播比小黑麦单播土壤速效钾含量提高6.62%~19.06%(表4)。

2.4 综合评价

利用灰色关联分析的方法研究混播方式的土壤养分指标与理想混播方式之间的灰色关联度,计算出混播方式与理想混播方式灰色关联度。由于不同土壤养分指标的重要性不同,因此计算各指标的权重值,并计算加权关联度,依据加权关联度的大小对不同混播处理进行排序。综合评价结果表明,2,A1和A2混播组合均以B6比例的加权关联度最大,A3以B8比例的加权关联度最大,其中,A1B8加权关联度最大(表5)。

表 5 2020 年关联度及排名
Table 5 Correlative degree and ranking in 2020

处理	加权关联度	排名	处理	加权关联度	排名	处理	加权关联度	排名
A1B1	0.667	24	A2B1	0.649	27	A3B1	0.677	23
A1B2	0.658	26	A2B2	0.662	25	A3B2	0.682	21
A1B3	0.733	10	A2B3	0.678	22	A3B3	0.713	16
A1B4	0.731	11	A2B4	0.715	15	A3B4	0.696	20
A1B5	0.717	14	A2B5	0.725	13	A3B5	0.708	17
A1B6	0.852	1	A2B6	0.783	3	A3B6	0.746	8
A1B7	0.761	5	A2B7	0.745	9	A3B7	0.748	6
A1B8	0.764	4	A2B8	0.728	12	A3B8	0.793	2
A1B9	0.707	18	A2B9	0.703	19	A3B9	0.748	7

3 讨论

土壤 pH 不仅对土壤微生物活性有很大影响^[14], 还会影响土壤中养分的转化、固定、迁移及其有效性^[15]。周栋昌^[16]研究表明作物本身也能够通过根系吸收、分泌、分解作用来改变土壤环境。本研究表明, A1 混播组合的 pH 值、有效磷、速效钾比 A2 和 A3 低, 一方面是由于不同豆科牧草品种与小黑麦混播改变土壤 pH 的能力不同, 而土壤 pH 值降低有利于促进土壤中有效磷和速效钾的释放以供牧草吸收利用, 另一方面, 是由于磷高效植物与磷低效植物对磷素需求量存在差异^[17]。而 A1 混播组合的有机质、碱解氮含量均较 A2 和 A3 高, 说明 A1 组合下饲用豌豆的固氮能力和氮的协同效果更好, 这主要是由于适宜的混播组合下豆科牧草为禾草提供了充足的氮源, 根系活力增强, 积累植物体碳的能力增加, 最终促使有机质含量积累量相对升高^[18]。

混播比例间, 土壤 pH 值随着豆科牧草比例升高而降低, 主要是由于豆科植物可通过根系释放有机酸和质子, 有机酸分泌量随豆科牧草比例增加而升高。蔺芳^[19]认为牧草种植后, 地表枯落物养分回归土壤、地下根系和植物残体增多, 增加了有机物的输入来源。而本试验中, 牧草于开花期刈割, 枯落物较少, 且高寒地区气候寒冷, 植物残体腐化较慢, 因而, 小黑麦单播的土壤有机质含量低主要与禾本科对养分需求量大, 土壤有机质分解转化相对较多有关, 豆科牧草

单播与混播相比虽消耗较少, 但其缺乏禾本科竞争, 根系活力较低, 对土壤有机质的积累作用有限。因而在本研究中, 禾—豆混播时土壤有机质含量较高, 而小黑麦单播和豆科单播较低。全氮和碱解氮含量随豆科牧草比例增加而升高, 这主要是由于豆科牧草比例增加可减少混播群体对氮素的消耗, 同时向禾本科转移了一部分氮素^[20]。禾本科单播时土壤全氮含量和碱解氮含量较混播低, 主要是由于禾本科对氮素需求量较大有关^[21], 而当禾草的竞争力过强时, 将会抑制豆科牧草的生长并由此减弱其生物固氮能力^[22], 因此当禾本科比例较高时, 土壤氮素水平与小黑麦单播无显著差异。与曹仲华^[23]研究结果不同, 本研究中豆科牧草单播时土壤碱解氮含量并没有达到最大值, 而以 B7 和 B8 比例的土壤碱解氮含量最高, 这主要是由于豆—禾混播草地中的禾草对氮素的吸收可间接刺激豆科牧草的固氮能力^[24]。全磷含量随豆科牧草增加而升高, 这说明与禾草单播相比, 禾—豆混播可在根际同时形成磷养分利用空间优势、磷源利用差异及相互促进吸收, 因此土壤磷素供应也得到了改善^[25]。与张永亮^[26]和邵继承^[27]等人的研究结果不同, 本研究中速效磷含量随豆科牧草增加而下降, 这可能是因为一方面开花期豆科牧草对磷素需求量较大, 另一方面豆科的固氮作用使土壤的氮磷供应平衡受到影响, 较充裕的氮供应促使牧草吸收了更多的磷^[28]。杜青峰的研究也得出豆科牧草单播时速效磷含量明显下降的结果^[29]。张仁平等^[30]研究表明豆科牧草为满足自

身生长,需要从土壤中吸收大量的磷元素和钾元素,从而导致土壤中速效磷和速效钾含量降低。本研究中,随豆科牧草比例增加,土壤速效钾含量先升高后降低,B6比例最高,主要是由于混播牧草可以通过其发达的根系,改变土壤有机质含量、酸碱度及溶解钾离子浓度来影响土壤中钾的固定与释放过程^[31],进而提高对钾的利用效率。这与霍雅媛^[32]在红豆草与不同禾本科牧草混播的研究结果相似。

4 结论

3个混播组合中,小黑麦与饲用豌豆混播的最佳比例为B6;小黑麦与青海箭筈豌豆混播的最佳比例为B6;小黑麦与绿箭1号的最佳混播比例为B8。其中,小黑麦与饲用豌豆以B6(40:60)的比例混播时土壤肥力状况最好。而对不同土壤条件下混播草地不同深度土层的土壤肥力动态变化的研究尚未涉及,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:

- [1] 许庆方. 小黑麦的特性及应用研究进展[J]. 草原与草坪, 2008, 28(4): 80—86.
- [2] 金涛. 西藏中部农区冬春季小黑麦饲草生产技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [3] 邵丽萍, 范亚菊, 梁世博, 等. 小黑麦的类型、特点及其利用[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2010(5): 98—99.
- [4] 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.
- [5] 苟文龙, 李平, 肖冰雪, 等. 禾豆牧草混播增产增效研究进展[J]. 草学, 2020(3): 16—23.
- [6] 陈宝书. 牧草饲料作物栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [7] 李振华. 种植紫花苜蓿对武威灌漠土理化性质及土壤微生物的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2015.
- [8] 柴继宽. 轮作和连作对燕麦产量、品质、主要病虫害及土壤肥力的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [9] 姜薇, 关秀清, 于井朝. 生物固氮在集约化草地畜牧业中的作用[J]. 草业学报, 2003, 12(6): 42—46.
- [10] 苟文龙, 李平, 马啸, 等. 混播比例和刈割茬次对一年生禾豆混播草地根系形态、土壤养分的影响[J]. 草原与草坪, 2020, 40(4): 1—7.
- [11] 芦奕晓, 牟乐, 杨惠敏. 豆科与禾本科牧草混播改良土壤的研究进展[J]. 中国草地学报, 2019, 41(1): 94—100.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 杨秀芳, 陈玲玲, 乌艳红, 等. 应用灰色关联度综合评价26个青贮玉米的生产性能[J]. 草业科学, 2012, 29(1): 105—111.
- [14] 张金柱. 生物有机肥对盐碱土理化性质及苜蓿生理反应影响的研究[D]. 黑龙江: 东北农业大学, 2007.
- [15] 孟昭虹, 周嘉. 哈尔滨市城市土壤理化性质研究[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2005, 21(4): 102—105.
- [16] 周栋昌. 陇中黄土高原紫花苜蓿与红豆草混播草地生产性能和土壤理化性质研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [17] 李淑敏. 间作作物吸收磷的种间促进作用机制研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [18] 张晓红, 徐炳成, 李凤民. 黄土塬区三种豆科牧草的土壤养分剖面分布特征与平衡[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 810—817.
- [19] 蔺芳, 刘晓静, 张家洋. 紫花苜蓿与多年生黑麦草不同种植模式下沙化土壤碳、氮含量和酶活性研究[J]. 草原与草坪, 2019, 39(3): 43—49.
- [20] 郑伟, 加娜尔古丽, 唐高溶, 等. 混播种类与混播比例对豆禾混播草地浅层土壤养分的影响[J]. 草业科学, 2015, 32(3): 329—339.
- [21] 韩建国, 韩永伟, 孙铁军, 等. 农牧交错带退耕还草对土壤有机质和氮的影响[J]. 草业学报, 2004, 13(4): 21—28.
- [22] 时安东, 李建伟, 袁玲. 轮间作系统对烤烟产量、品质和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 411—418.
- [23] 曹仲华. 西藏农区箭筈豌豆与一年生禾草混种效应的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [24] 王平, 周道玮, 姜世成. 半干旱地区禾—豆混播草地生物固氮作用研究[J]. 草业学报, 2010, 19(6): 276—280.
- [25] ZHANG F S, LI L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency [J]. Plant and Soil, 2003, 248(1/2): 305—312.
- [26] 张永亮, 范富, 高凯, 等. 苜蓿、无芒雀麦单播与混播对土壤有机质和速效养分的影响[J]. 草地学报, 2009, 17(1): 22—26.
- [27] 邵继承, 张宏宇, 杨恒山, 等. 播种方式对紫花苜蓿+无芒雀麦人工草地土壤剖面养分分布的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2009, 24(4): 392—396.

- [28] 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.
- [29] 杜青峰,王党军,于翔宇,等. 玉米间作夏季绿肥对当季植物养分吸收和土壤养分有效性的影响[J]. 草业学报, 2016,25(3):225—233.
- [30] 张仁平,于磊,鲁为华,等. 混播草地地上生物量与土壤主要养分变化的关系研究[J]. 新疆农业科学,2009,46(3):592—596.
- [31] 来幸樑,师尚礼,吴芳,等. 紫花苜蓿与3种多年生禾草混播草地的土壤养分特征[J]. 草业科学,2020,37(1):52—64.
- [32] 霍雅媛,曹宏,柴守玺,等. 不同豆禾牧草混播对土壤质地及肥力的影响[J]. 干旱地区农业研究,2020,38(3):238—244.

Effects of mix-sowing of triticale and legume forage on surface soil fertility in alpine pastoral areas

XU 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 investigate the characteristics of grassland soil nutrients when triticale is mixed with different legumes. 【Method】 This study was conducted to evaluate the content of soil nutrients of different mixed sowings by using three varieties of legume forage (Qingjian No. 1, Qinghai common vetch and Green Arrow No. 1) to mix with triticale Gannong No. 2 at different mixed ratios, 0:100, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 100:0, respectively. 【Result】 The results showed that A1 (triticale× Qingjian No. 1) was beneficial to increase the soil organic matter, available nitrogen and decrease soil pH; A2 (triticale× Qinghai common vetch) and A3 (triticale× Green Arrow No. 1) were beneficial to increase the total phosphorus, available phosphorus and available potassium within the soil. With the increase of ratio of legumes, the contents of organic matter, total nitrogen, available nitrogen and total phosphorus increased significantly ($P<0.05$), while the contents of soil pH and available phosphorus decreased significantly ($P<0.05$). The interaction of the species combination and the mixture ratio showed that compared with triticale unicast the average pH of mixed sowing decreased by 0.55%~1.52%, the organic matter content increased by 13.07%~18.3%, the total nitrogen content increased by 20.24%~44.05%, and the available nitrogen content increased by 5.44%~12.5%. 【Conclusion】 Therefore, the mixed sowing of triticale and legumes are beneficial to improve soil nutrient supply and soil fertility than triticale unicast.

Key words: alpine pastoral area; triticale; mixed sowing; soil fertility