

甘南高寒牧区秋播小黑麦与复种作物耦合对土壤养分的影响

金星娜, 裴亚斌, 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/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:通过研究甘南高寒牧区秋播小黑麦套作式复种不同作物(50%小黑麦×50%箭筈豌豆混播, 40%黑麦×60%箭筈豌豆混播, 50%燕麦×50%箭筈豌豆混播, 小黑麦单播, 黑麦单播, 燕麦单播, 箭筈豌豆单播)土壤养分含量的变化,以明确秋播小黑麦与复种作物耦合对土壤养分含量的影响。结果表明:7个复种处理,秋播小黑麦复种50%小黑麦×50%箭筈豌豆混播处理土壤pH7.46(较春播前降低了1.84%)、有机质含量65.37 g/kg(较春播前增加了76.63%)、全氮含量2.14 g/kg(较春播前增加了9.18%)、全磷含量1.19 g/kg(较春播前增加了30.77%)、全钾含量8.71 g/kg(较春播前降低了1.36%)、速效磷含量17.08 mg/kg(较春播前增加了33.83%)、速效钾含量126.51 mg/kg(较春播前降低了12.07%);秋播小黑麦复种50%燕麦×50%箭筈豌豆混播处理时土壤pH7.39(较春播前降低了2.72%)、有机质含量75.67 g/kg(较春播前增加了104.46%)、全氮含量2.20 g/kg(较春播前增加了12.24%)、全磷含量1.23 g/kg(较春播前增加了35.16%)、全钾含量8.70 g/kg(较春播前降低了1.47%)、速效磷含量18.21 mg/kg(较春播前增加了42.71%)、速效钾含量127.73 mg/kg(较春播前降低了11.22%)。两种种植方式的土壤肥力综合评价值分别为0.645、0.739,属于高等级肥力水平,说明这两种复种混播模式耦合效应较好,有利于改良土壤养分条件,可作为甘南高寒牧区饲草复种模式进一步研究。

关键词:秋播小黑麦;复种作物;耦合效应;土壤养分

中图分类号:S512.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2021)04-0089-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyecp.2021.04.012



近年来甘南高寒牧区草地面积逐年减少,牧民为了减少经济效益的损失,在资源有限的情况下采取了过度放牧等方式^[1],造成草地土壤养分不均衡、土壤肥力严重下降^[2]。耕种模式、种植作物和肥料利用等人为活动均可影响土壤养分的分布、含量和有效性^[3],合理的耕作模式可以调节土壤养分的循环与平衡,提高

土壤肥力^[4]。由于甘南高寒牧区地处青藏高原东北缘,冬春季气候寒冷,适应种植的饲草种类较少。小黑麦(*Triticosecale*)是一年生禾本科饲草作物,由于抗寒性强,甘南高寒牧区秋季播种后不仅能够安全越冬,而且可以很好地利用冬春光热资源发挥出高产和稳产的优势^[5]。复种是指同一块土地上在一年内连续种植超过一熟(茬)作物的种植制度^[6],包括平作式复种和套作式复种^[7]。复种能提高土地产出效益,同时能够充分利用冬春光热资源,增加植被覆盖率,提高土地、热能的利用率^[8]。复种较单播可有效提高水分利用率、土地生产力及效益^[9]。复种作物中引入具有固氮特性的豆科饲草,可以有效减少氮肥的使用量^[10]。裴亚斌等^[11]研究表明甘南高寒牧区秋播小黑麦套作式复种箭筈豌豆和50%春播小黑麦×50%箭筈豌豆混播的干草产量和纯收益均显著高于3种作物单播模

收稿日期:2020-09-19; **修回日期:**2020-12-23

基金项目:西藏饲草产业专项(XZ201801NA02);国家自然科学基金项目(31760702);国家重点研发计划(2018YFD0502402-3)

作者简介:金星娜(1995-),女,甘肃兰州人,在读硕士。

E-mail:1097982768@qq.com

杜文华为通讯作者。

E-mail:duwh@gsau.edu.cn

式,且土壤的全氮含量显著提高;孙爱华等^[12]研究结果显示,在高寒阴湿地区燕麦与箭筈豌豆 1:1 混播复种较燕麦单播增产明显(40.78%);王富强等^[13]在拉萨河谷区研究了箭筈豌豆和黑麦混、间播的建植方式,结果表明混播更有利于增产,并可以改善混播牧草的饲用品质。本试验通过研究秋播小黑麦套作式复种不同作物后对土壤养分含量的影响,以筛选有利于改良土壤的复种模式,为甘南高寒牧区土壤改良和饲草复种提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验在合作市兰州大学高寒草甸与湿地生态系统

表 1 土壤基础理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of soil

取样时间	pH	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全氮/(g · kg ⁻¹)	全磷/ (g · kg ⁻¹)	全钾/ (g · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
A1	7.61	32.04	1.97	0.94	8.90	10.49	145.41
S1	7.60	37.01	1.96	0.91	8.83	12.76	143.88

注:上表中,A1 代表秋播小黑麦前,S1 代表复种作物播种前

1.3 试验设计

采用单因素随机区组设计。前茬作物为秋播小黑麦,复种作物设 7 个处理,分别为复种混播处理:50% 小黑麦×50% 箭筈豌豆混播(T1),40% 黑麦×60% 箭筈豌豆混播(T2),50% 燕麦×50% 箭筈豌豆混播(T3),复种单播处理:小黑麦单播(T4),黑麦单播(T5),燕麦单播(T6),箭筈豌豆单播(T7)。各复种处理具体播种量见表 2。小区面积为 13.5 m²(=2.7 m × 5 m),3 次重复,共计 21 个小区。2018 年 9 月 22 日种植前茬作物,条播,行距为 15 cm,每种植 3 行小黑麦预留 60 cm 空行用于次年种植 2 行复种作物。2019 年 6 月 4 日种植复种作物,条播,行距为 20 cm。播种前整理试验地,施羊粪 30 t/hm²。秋播小黑麦第 2 年返青后,于下雨前在每个小区撒施磷酸二胺 300 kg/hm²,人工防除杂草。拔节期和抽穗期分别施尿素 225 kg/hm²。复种作物在出苗期和拔节期分别施尿素 90 kg/hm²。2019 年 7 月 14 日刈割前茬作物,2019 年 9 月 22 日刈割后茬作物。

1.4 测定指标及方法

土壤样品采集:2018 年 9 月 22 日秋播小黑麦,于

定位研究站进行。地理位置 N 34°57'136",E 102°53'54",海拔 2 950 m,属高寒阴湿气候类型,年平均温度 3.2℃,年最高温度 30.4℃,年最低温度 -27.9℃,年有效积温 1231.1℃,无霜期 113 d,年降水量 671.7 mm。土壤类型为亚高山草甸土,试验地无灌溉条件(表 1)。

1.2 试验材料

供试材料为甘农 7 号小黑麦(*Triticosecale* cv. Gannong No. 7),简称小黑麦,澳洲燕麦(*Avena sativa* cv. Longyan No. 3),简称燕麦,甘农 3 号黑麦(*Secale cereal* cv. Gannong No. 3),简称黑麦。均由甘肃农业大学草业学院提供。

表 2 作物播种量

Table 2 Seeding density of double cropping kg/hm²

处理	作物			
	小黑麦	黑麦	燕麦	箭筈豌豆
T1	33.22	—	—	9.02
T2	—	12.60	—	10.83
T3	—	—	11.77	9.02
T4	41.53	—	—	—
T5	—	19.69	—	—
T6	—	—	14.72	—
T7	—	—	—	11.28

播种前进行大田基础土样的采集(A1),2019 年 6 月 4 日,复种作物种植前在预留空行间采集基础土样(S1)。2019 年 9 月 22 日,复种作物刈割(开花期)后在每个小区采集土样,采集过程中,剔除土样中杂物(包括明显的根系),装入自封袋带回实验室,放置阴凉处自然风干,研磨,过筛,用于土壤各指标的测定^[14]。禾本科牧草为须根系,箭筈豌豆根系较浅,根系用土钻采集 0~20 cm 的土层,土壤的取样采用五点取样法^[16],将

采样点的土样混合,按照四分法取部分土样。用于土壤养分的测定。

土壤养分:参照《土壤农化分析》^[15],进行土壤养分含量测定。其中,土壤 pH 采用电位法(水:土=2.5:1);土壤有机质采用重铬酸钾容量法—外加热法测定;土壤全氮含量用凯氏定氮法测定;土壤全磷含量用硫酸—高氯酸消煮,钼锑抗显色法测定;土壤全钾用硫酸—高氯酸消煮,火焰光度计测定;速效磷含量用碳酸氢钠浸提—钼蓝比色法测定;速效钾含量用乙酸胺浸提—火焰光度法测定。

1.5 综合评价

土壤肥力综合评价根据以下步骤进行计算^[16]。

运用公式(1)将 7 个土壤养分指标数据进行标准化计算。

$$\mu(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - x_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (1)$$

式中, $\mu(X_{ij})$ 为各复种处理土壤养分指标的隶属度值; X_{ij} 为*i*个处理下第*j*项土壤养分指标的测定值; $X_{j\min}$ 为所有复种处理下第*j*项土壤养分指标的最小值; $X_{j\max}$ 为所有复种处理下第*j*项土壤养分指标的最大值。

土壤肥力综合评价时,由于各个土壤养分指标对土壤肥力的贡献程度不同,需要对各养分指标分配权重,利用公式(2)(3)计算各养分指标的权重。

$$V_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}}{X_j} \quad (2)$$

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j} \quad (3)$$

式中, V_j 代表标准差系数; W_j 代表土壤养分指标权重。

求出权重后,利用公式(4)求出土壤综合质量指数(*H*),*H*值越大表示土壤质量越好。

$$H = \sum_{j=1}^n [\mu(X_j) \times W_j] \quad (4)$$

1.6 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 对基础数据进行整理并作图,在 SPSS 20.0 中用随机区组试验设计的方法对各处理土壤养分进行方差分析,*F*检验显著时用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 秋播小黑麦与复种作物耦合对土壤 pH 和有机质含量的影响

A1 土壤 pH 值最高(7.61),S1 次之(7.60),各复种处理土壤 pH 值均低于 A1 和 S1。其中,T3 处理土壤 pH 值最低(7.39),显著低于 T2(7.56)和 T5 处理(7.56)($P < 0.05$);其余处理间土壤 pH 值无显著差异($P > 0.05$)(图 1)。

各复种处理有机质含量均高于 A1(32.04 g/kg)和 S1(37.13 g/kg),T3 处理最高(75.67 g/kg),T1 次之(65.37 g/kg),T3 处理有机质含量显著高于除 T1 外的其他处理($P < 0.05$);T1 处理有机质含量显著高于 T5 处理($P < 0.05$),与其余处理无显著差异($P > 0.05$);其余处理间无显著差异($P > 0.05$)。测定数据表明,T3 处理的土壤有机质含量分别比 T1、T2 处理高 15.76%、27.05%。各混播处理的土壤有机质含量均显著或不显著高于各自的单播处理,其中 T1 较 T4 提高了 30.56%,T2 较 T5 提高了 22.43%,T3 处理较 T6 提高了 31.03%。

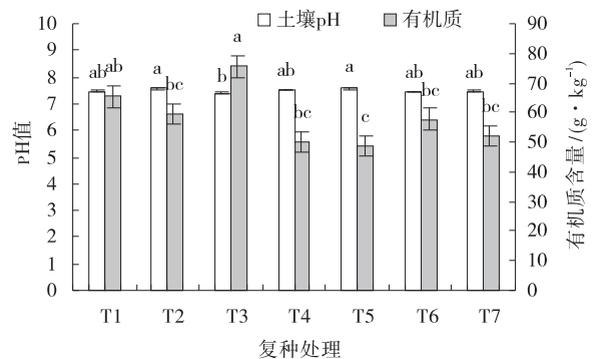


图 1 秋播小黑麦与复种作物耦合的土壤 pH 值和有机质含量

Fig. 1 Soil pH and organic matter content in the autumn-sown triticale double cropped with different crops

2.2 秋播小黑麦与复种作物耦合对土壤全氮含量的影响

T1、T2、T3、T7 处理全氮含量比 A1 增加了 8.63%~27.92%,比 S1 增加了 9.18%~28.57%,而 T4、T5、T6 处理略微降低。T7 处理最高(2.52 g/kg),显著高于其他各处理($P < 0.05$)。混播处理 T1、T2、T3 间的全氮含量无显著差异,单播处理 T4、T5、T6 间无显著差异($P > 0.05$)。各混播处理的

全氮含量显著高于各自的禾本科单播处理($P < 0.05$) (图 2)。T1 较 T4 增加了 11.46%, T2 较 T5 增加了 13.09%, T3 较 T6 增加了 12.82%。

各复种处理的全磷含量与 A1 和 S1 相比均有增加,其中 T3 处理最高(1.23 g/kg),显著高于除 T1、T2 外的其他处理($P < 0.05$),T1 处理显著高于 T4、T5 处理($P < 0.05$),其余处理间无显著差异。混播处理 T3 全磷含量分别比 T1、T2 高 3.36%、13.89%。各混播处理的全磷含量均显著高于各自的禾本科单播处理,其中 T1 较 T4 增加了 19%,T2 较 T5 增加了 10.20%,T3 较 T6 增加了 20.59%,

各复种处理全钾含量与 A1 和 S1 相比均有所降低,各处理间无显著差异($P > 0.05$)。T7 处理的全钾含量最高(8.77 g/kg),T4 次之(8.76 g/kg),T5 最低(8.31 g/kg)(图 2)。

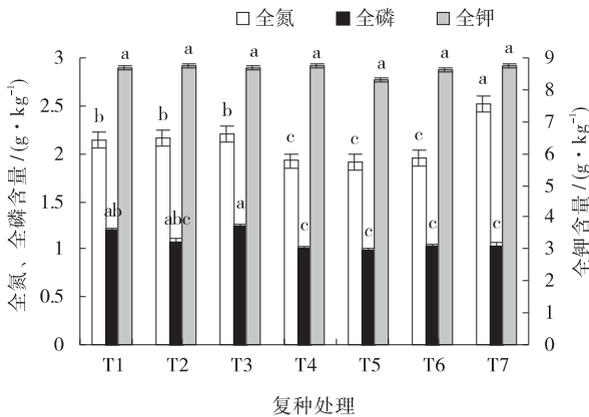


图 2 秋播小黑麦与复种作物耦合的土壤全量养分含量

Fig. 2 Soil total nutrient content for the autumn-sown triticale double cropped with different crops

2.3 秋播小黑麦与复种作物耦合对土壤速效养分含量的影响

各处理的速效磷含量均比 A1 和 S1 高,但各处理间无显著差异($P > 0.05$)。T7 处理速效磷含量最高(23.06 mg/kg),T3 次之(18.21 mg/kg),T4 最低(13.45 mg/kg)。各混播处理速效磷含量高于相应单播处理,T1 较 T4 提高了 26.99%,T2 较 T5 提高了 12.36%,T3 较 T6 提高了 20.12%。

各处理速效钾含量均较 A1 和 S1 低,但各处理间速效钾含量无显著差异($P > 0.05$)。T3 处理速效钾含量最高(127.73 mg/kg),T2 次之(126.85 mg/kg),T4 最低(122.22 mg/kg)(表 3)。

表 3 秋播小黑麦与复种作物耦合的土壤速效养分含量

Table 3 Soil available nutrient content for the autumn-sown triticale double cropped with different crops

复种处理	速效磷含量/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾含量/ (mg · kg ⁻¹)
T1	17.08 ± 4.34 ^a	126.51 ± 3.74 ^a
T2	15.45 ± 3.44 ^a	126.85 ± 2.45 ^a
T3	18.21 ± 1.18 ^a	127.73 ± 1.03 ^a
T4	13.45 ± 3.59 ^a	122.22 ± 2.02 ^a
T5	13.75 ± 4.23 ^a	124.34 ± 2.92 ^a
T6	15.16 ± 3.32 ^a	124.07 ± 3.36 ^a
T7	23.06 ± 1.54 ^a	125.77 ± 0.58 ^a

2.4 土壤肥力综合评价

土壤质量是各养分指标共同作用的结果^[17],综合评价不仅可以用数字直观表达复杂多变的土壤肥力,而且还能够较好地反映研究区土壤养分水平的基本状况^[16]。本研究中将 7 项土壤养分指标通过公式(1)–(4)计算出土壤肥力综合评价值(表 3)。

表 4 土壤肥力综合评价

Table 4 Comprehensive assessment of the soil fertility

复种处理	隶属函数值							综合评价值
	$\mu(1)$	$\mu(2)$	$\mu(3)$	$\mu(4)$	$\mu(5)$	$\mu(6)$	$\mu(7)$	
T1	0.40	0.62	0.37	0.83	0.87	0.38	0.60	0.645
T2	1.00	0.40	0.41	0.39	0.93	0.21	0.65	0.471
T3	0.00	1.00	0.48	1.00	0.86	0.50	1.00	0.739
T4	0.70	0.05	0.01	0.07	0.98	0.00	0.00	0.148
T5	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.30	0.074
T6	0.32	0.34	0.06	0.16	0.75	0.18	0.26	0.150
T7	0.52	0.13	1.00	0.19	1.00	1.00	0.50	0.482
权重	0.035	0.005	0.273	0.534	0.066	0.010	0.077	—

注:表中 $\mu(1) \sim \mu(7)$ 分别表示各复种处理土壤 pH 值、有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾的隶属函数值

(表 3)。根据前人的等间距法^[18-19]将各复种处理土壤肥力划分为高等级(0.739、0.645)、中等级(0.482、0.471)和极低等级(0.150、0.148、0.074)3个水平。其中,T3的土壤肥力水平最高(0.739),T1次之(0.645),T5最低(0.074)(表4)。

3 讨论

3.1 秋播小黑麦与复种作物耦合对土壤 pH 值和有机质的影响及原因

土壤中的养分含量反映了土壤对植物所需营养的供给能力^[20],有研究表明,套作式复种在提高水肥资源的利用率的同时,还可以改良土壤微环境^[21]。土壤 pH 值会影响土壤养分的转运、存在形式和有效性^[22]。本研究表明,0~20 cm 土层,各复种处理与秋播前、春播前相比,土壤 pH 值均有所降低,这是因为植物根系伸长过程会释放有机酸和质子,可在一定程度上中和土壤 pH^[23];复种燕麦处理土壤 pH 值显著降低,可能是由于该处理中枝条数较多,根系部分分泌的有机酸和呼吸作用释放的 CO₂增加的结果^[24]。

土壤有机质可以体现土壤供肥能力,在疏松土壤结构和改良土壤理化性质方面具有重要作用^[25]。孙丹平^[26]研究发现,复种和轮作种植模式对提高土壤有机质含量具有显著作用。本研究发现,各复种处理与秋播前、春播前相比,土壤有机质含量显著提高,这是因为牧草根在吸收土壤养分的同时,也会向土壤中释放大量有机物质^[24],植物残体作为养分回归土壤、根际土壤根系增多,都作为土壤中有机物的输入途径,使土壤有机质积累随之增多^[27]。复种燕麦与箭筈豌豆处理土壤有机质含量最高,而且各复种混播处理高于各复种单播处理,可能是禾本科牧草中纤维素含量高、碳氮比值较大^[28],而且混播处理中牧草根系较多^[11],豆科牧草的根系死亡之后直接增加土壤中腐殖质含量^[29],所以复种混播处理中有机质积累量均高于相应单播处理。包兴国等^[30]研究也表明禾一豆混播可种间相互促进,是土壤有机质积累的有效措施。

3.2 秋播小黑麦与复种作物耦合对土壤氮素的影响及原因

本试验中,复种箭筈豌豆时的土壤全氮含量最高,这是由于豆科牧草与根瘤菌共生固氮,可将土壤中游离态的氮固定为化合态氮,从而提高土壤全氮含量^[31];禾一豆混播草地可利用箭筈豌豆根际固定的氮

素,减少对土壤中氮素的消耗^[32],因此本试验禾一豆混播处理的全氮含量高于秋播前和春播前。禾本科单播处理与秋播前和春播前相比,土壤全氮含量略有降低,这是由于禾本科牧草地上茎叶在生长期内需要从土壤中吸收大量氮素合成自身有机物所致^[33]。

3.3 秋播小黑麦与复种作物耦合对土壤磷素的影响及原因

本研究中,各复种处理土壤速效磷含量均比秋播、春播前高,且各复种混播处理高于各相应单播处理,表明混播能够提高土壤磷含量,这与危庆等^[34]研究结果一致。其中,箭筈豌豆处理的速效磷含量最高,燕麦与箭筈豌豆混播处理的土壤全磷含量最高、速效磷含量次之,这是因为豆科植物根系在磷素欠缺的情况下分泌能够有机酸和质子,提高土壤中磷酸化合物的溶解度^[35],而且禾一豆混播种间相互抑制和促进增强了豆科牧草共生固氮及有机酸分泌能力,在根际土壤营造磷素空间优势,使得土壤磷含量显著增加,这与来幸樑等^[36]研究结论相似。

3.4 秋播小黑麦与复种作物耦合对土壤钾素的影响及原因

各复种处理与秋播前、春播前相比,土壤全钾、速效钾含量均降低。其中,T7处理的全钾含量与T3处理的速效钾含量最高,说明这两种处理对土壤中钾素的消耗较少。

4 结论

7个复种处理,秋播小黑麦复种50%小黑麦×50%箭筈豌豆混播、50%燕麦×50%箭筈豌豆混处理的耦合效应较好,有利于降低土壤 pH、提高有机质和氮素含量,可为甘南高寒牧区饲草复种模式进一步研究提供理论基础。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 李海峰, 曾凡江, 桂东伟, 等. 不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征[J]. 生态学报, 2012, 32(6): 1803-1810.
- [4] 杨一凡, 吴发启, 段红腾, 徐宁. 青海主要枸杞产区不同耕作措施对灰棕漠土理化性质影响及肥力综合评价[J]. 水

- 土保持研究,2020,27(2):1-8.
- [5] 任昱鑫,代寒凌,田新会,等. 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[J]. 草业学报,2020,29(3):197-206.
- [6] 刘巽浩. 论我国耕地种植指数(复种)的潜力[J]. 作物杂志,1997(3):1-3.
- [7] 陈宝书. 牧草饲料作物栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
- [8] 黄恒掌. 辣椒-香瓜-玉米套种一年三熟双免耕高产高效栽培技术[J]. 作物杂志,2012(2):119-122.
- [9] 游永亮,赵海明,李源,等. 海河平原区棉花饲用黑麦复种方式及水肥利用效率分析[J]. 草业学报,2018,27(12):166-176.
- [10] 张凯. 华北平原禾豆复种水氮利用与氮转移研究[D]. 北京:中国农业大学,2017.
- [11] 裴亚斌,杜文华,刘汉成. 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[J]. 草业科学,2020,37(4):791-799.
- [12] 孙爱华,鲁鸿佩,马绍慧. 高寒地区箭筈豌豆+燕麦混播复种试验研究[J]. 草业科学,2003(8):37-38.
- [13] 王富强,向洁,郭宝光,等. 拉萨河谷区箭筈豌豆和黑麦混、间播建植方式研究[J]. 草业学报,2018,27(8):39-49.
- [14] 祝丽香,闫文秀,李雪,等. 控释尿素与尿素配施对杭白菊栽培土壤生物学特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(1):226-233.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [16] 高君亮,罗凤敏,高永,等. 阴山北麓不同土地利用类型土壤养分特征分析与评价[J]. 草业学报,2016,25(4):230-238.
- [17] 赵串串,王媛,高瑞梅. 青海省黄土丘陵区主要林分土壤微量元素丰缺状况研究[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(3):130-135.
- [18] 黎妍妍,许自成,肖汉乾,等. 湖南省主要植烟区土壤肥力状况综合评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006(11):179-183.
- [19] 赵军,尚杰,耿荣,等. 西安咸阳国际机场绿地土壤养分分析与评价[J]. 西北林学院学报,2015,30(1):257-262.
- [20] 张仁陟,罗珠珠,蔡立群,等. 长期保护性耕作对黄土高原旱地土壤物理质量的影响[J]. 草业学报,2011,20(4):1-10.
- [21] Camille Amossé, Marie-Hélène Jeuffroy, Florian Celette, et al. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production[J]. 2013, 49: 158-167.
- [22] 张维,李启权,王昌全,等. 川中丘陵县域土壤pH空间变异及影响因素分析-以四川仁寿县为例[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(7):1192-1199.
- [23] 厉婉华. 栓皮栎、杉木和火炬松根际与非根际土壤氮素及pH差异的研究[J]. 南京林业大学学报,1996(2):50-53.
- [24] 张学利,杨树军,刘亚萍,等. 章古台固沙林主要树种根际土壤性质研究[J]. 中国沙漠,2004(1):74-78.
- [25] 郭婧航. 紫云英、稻草及其配施对土壤氮素转化影响[D]. 武汉:华中农业大学,2019.
- [26] 孙丹平. 稻田水旱复种轮作对作物生长、资源利用及土壤生态环境的影响[D]. 南昌:江西农业大学,2016.
- [27] 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.
- [28] 代寒凌. 高寒牧区小黑麦、黑麦和燕麦的生产性能和饲用品质比较[D]. 兰州:甘肃农业大学,2018.
- [29] 王平. 半干旱地区禾-豆混播草地生产力及种间关系研究[D]. 长春:东北师范大学,2006.
- [30] 包兴国,杨文玉,曹卫东,等. 豆科与禾本科绿肥饲草作物混播增肥及改土效果研究[J]. 中国草地学报,2012,34(1):43-47.
- [31] 杨琼博. pH值和化合态氮对紫花苜蓿结瘤和固氮效果的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2007.
- [32] 朱亚琼. 豆禾混播草地氮素利用效率及混播优势的测度[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2017.
- [33] 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(4):21-28.
- [34] 危庆,赛吉日呼,王静,等. 不同牧草种植模式对退化农田土壤养分的影响[J]. 中国农学通报,2020,36(24):63-71.
- [35] 张玲. 根分泌物与土壤肥力[J]. 生物学通报,2000(9):17.

Effects of coupling of autumn-sown triticale and compound crops on soil nutrients in alpine pastoral area of Gannan

JIN Xing-na, PEI Ya-bin, TIAN Xin-hui, DU Wen-hua

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

Abstract: This experiment investigated the effects of intercropping autumn-seeding triticale with different crops (including 50% triticale×50% vetch mixed, 40% rye×60% vetch mixed, 50% oats×50% vetch mixed, seeding triticale, seeding rye, seeding oats, seeding vetch) in Gannan alpine pastoral area. The study aimed to study the coupling effects of autumn-sown triticale with double crops on soil nutrient content. Results showed that among all the seven double cropping treatments, autumn-seeding triticale intercropped with 50% triticale×50% vetch mixed had soil pH of 7.46 (reduced by 1.84% than before spring sowing), organic matter content of 65.37 g/kg (increased by 76.63%), total N content of 2.14 g/kg (increased by 9.18%), total P content of 1.19 g/kg (increased by 30.77%), total K content of 8.71 g/kg (reduced by 1.36%), available P of 17.08 mg/kg (increased by 33.83%), available K of 126.51 mg/kg (reduced by 12.07%). Autumn-seeding triticale intercropped with 50% oats×50% vetch mixed had soil pH of 7.39 (reduced by 2.72% than before spring sowing), organic matter content of 75.67 g/kg (increased by 104.46%), total N content of 2.20 g/kg (increased by 12.24%), total P content of 1.23 g/kg (increased by 35.16%), total K content of 8.70 g/kg (reduced by 1.47%), available P of 18.21 mg/kg (increased by 42.71%), available K of 127.73 mg/kg (reduced by 11.22%). The comprehensive evaluation values of soil fertility of the two planting methods were 0.645 and 0.739, respectively, which fell into the category of high fertility. Our results showed that the coupling effects of the two hybrid mixing modes were effective to improve soil nutrient conditions and could be further studied as the mixed seeding mode of forage grass in the alpine pastoral area of Gannan.

Key words: autumn seeding triticale; multiple cropping; coupling effect; soil nutrients