

青藏高原川西北牧区一年两季饲草种植模式对土壤理化性质及酶活性的影响

杨永强,尹玉林,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】川西北高寒牧区气候寒冷,牧草生长季短,选用抗寒性强的小黑麦品种进行秋播,翌年复种不同作物,可以有效提高土地利用效率和牧草产量。【方法】以8个小黑麦种质(甘农2号小黑麦、甘农3号小黑麦、甘农4号小黑麦、甘农7号小黑麦、藏饲1号小黑麦、小黑麦品系C16、C23、C25)作为秋播材料,次年复种不同作物:B1(50%藏饲1号小黑麦混播50%饲用豌豆),B2(50%藏饲1号小黑麦混播50%箭筈豌豆),B3(50%青甜1号燕麦混播50%饲用豌豆),B4(50%青甜1号燕麦混播50%箭筈豌豆),以研究秋播小黑麦复种不同作物对土壤理化性质(pH值、有机质、全氮、全钾、全磷、速效氮、速效磷及速效钾含量)及土壤酶(过氧化氢酶、碱性磷酸酶、脲酶及蔗糖酶)活性的影响。【结果】秋播小黑麦复种不同作物后,土壤养分含量及酶活性均有所提高。【结论】秋播甘农4号小黑麦,翌年麦复种50%藏饲1号小黑麦混播50%饲用豌豆模式对土壤理化及酶活性影响最大,能够改善土壤理化环境及酶活性,有助于提高牧草产量。

关键词:秋播小黑麦;复种;高寒牧区;土壤理化;土壤酶活性

中图分类号:S512 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)02-0057-10

DOI:10.13817/j.cnki.cyyep.2024.02.006



小黑麦(*×Triticosecale*)是由小麦(*Triticum aestivum*)和黑麦(*Secale cereale*)杂交产生的人工多倍体,在不利的生物和非生物条件下,如高盐度下也能生长^[1]。此外,它是一个具有高遗传潜力的物种。秋播小黑麦在甘南高寒牧区种植后能安全越冬,干草产量可达13~15 t/hm²,是当地大面积种植燕麦品种的1.4倍,粗蛋白含量为12%~15%,具有广阔的应用前景^[2]。近年来,复种、套作、间作和混合栽培等传统种植制度引起了研究人员的兴趣,因为种植多样化可以

改善土壤生物多样性和生态系统服务功能^[3]。复种是指在同一土地上1年内种植2季或2季以上作物的种植模式,与单作相比,复种具有明显优势。通过提高复种指数、合理种植多种作物等技术,可以避免同一作物种植后造成的总产量不断降低^[4]。复种可以更有效地利用耕地、土壤养分和水资源,而种植不同作物增加了农田的生物多样性,从而减少病虫害和降低土壤侵蚀的风险^[5]。在川西北地区,秋季播种小黑麦后,于来年6月初在其行间种植复种作物,不仅能够提高牧草产量,而且小黑麦可作为冬季覆盖作物,增加地表覆盖,保护土壤,减少水土流失,有利于农田生态系统的可持续发展。

土壤是牧草生长发育的基础,牧草从土壤中汲取生长发育所需的各种营养物质和水分,土壤养分含量是衡量土壤肥力的重要指标,对牧草产量有很大的影响。金星娜等^[6]在甘南高寒牧区冬季覆盖作物与复种作物耦合对土壤养分的影响中指出,小黑麦复种不同

收稿日期:2022-03-01;修回日期:2022-06-05

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

作者简介:杨永强(1992-),男,甘肃定西人,博士研究生。

E-mail:1049807120@qq.com

*通信作者。E-mail:duwh@gsau.edu.cn

作物后,有助于改善土壤养分,增加土壤中有机质、全氮、全磷等的含量。土壤酶在维持土壤健康方面发挥着重要作用,是土壤有机质和矿物成分生物分解代谢的直接介质^[7]。土壤中的酶有助于土壤环境中的总生物活性,因为它们密切参与有机物质分解、养分循环、能量转移和环境质量所需的催化反应^[8]。研究表明,合理的间作可以不同程度地提高土壤酶活性^[9-10]。王心星等^[11]研究表明,玉米和不同作物间套作能显著提高土壤养分含量和土壤脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶等酶的活性。当前关于土壤肥力的理论研究更多集中在土壤化学和土壤物理性质等方面,因此,研究土壤中最活跃和关键的生物学组分—土壤酶活性与土壤状况的关系尤为重要^[12]。

可以看出,复种方式和牧草种类对土壤理化及酶活性的影响很大。本试验拟通过研究秋播小黑麦与种植不同复种作物对土壤理化性质及酶活性的变化,探究秋播小黑麦与复种作物耦合对土壤理化性质和酶活性的影响,以筛选有利于提高土壤养分含量及酶活性的复种模式,提高牧草产量。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于四川省阿坝羌族自治州红原县草原科学研究院牧草试验基地(32°46′ N,102°32′ E),海拔

3 500 m,大陆性高原寒温带季风气候,年均气温2.9℃,年均降水量749.1 mm。土壤类型亚高山草甸土。

1.2 试验材料

秋播小黑麦种质:甘农2号小黑麦、甘农3号小黑麦、甘农4号小黑麦、甘农7号小黑麦、藏饲1号小黑麦、小黑麦品系C16、C23、C25,箭筈豌豆,饲用豌豆,青甜1号燕麦。均由甘肃农业大学草业学院提供。

1.3 试验设计

裂区试验设计,主区为秋播小黑麦种质,设8个处理,分别为A1(甘农2号小黑麦)、A2(甘农3号小黑麦)、A3(甘农4号小黑麦)、A4(甘农7号小黑麦)、A5(藏饲1号小黑麦)、A6(小黑麦品系C16)、A7(小黑麦品系C23)、A8(小黑麦品系C25);小黑麦播种密度均为750万苗/hm²,小区面积:10 m²(=5 m×2 m),条播,行距20 cm,种3行留60 cm空行,以种植复种作物。副区为复种作物,设4个水平,分别为B1(50%藏饲1号小黑麦混播50%饲用豌豆混播,简称小黑麦×饲用豌豆);B2(50%藏饲1号小黑麦混播50%箭筈豌豆,简称小黑麦×箭筈豌豆);B3(50%青甜1号燕麦混播50%饲用豌豆,简称小黑麦×饲用豌豆);B4(50%青甜1号燕麦混播50%箭筈豌豆,简称小黑麦×箭筈豌豆)(图1),各处理的播种量及播种密度见表1。

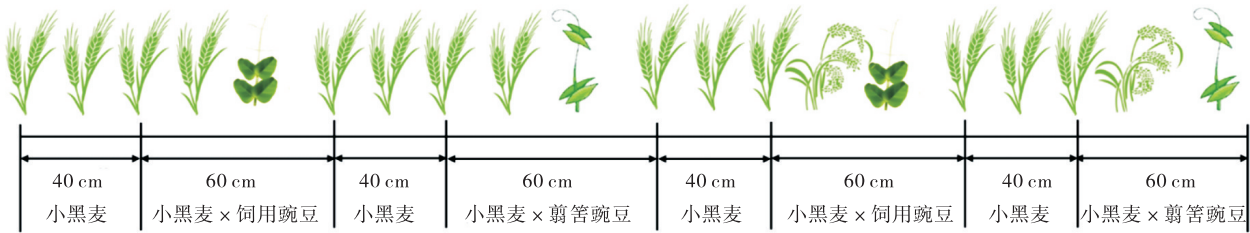


图1 秋播小黑麦复种不同作物种植图

Fig. 1 Planting map of multiple cropping different crops of autumn sowing triticale

表1 试验各处理播种密度

Table1 Test the seeding density of each treatment

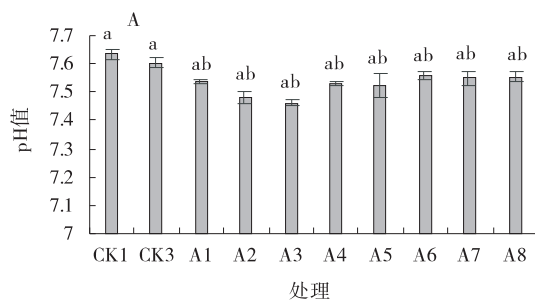
基本苗·hm⁻²

处理	藏饲1号小黑麦	青甜1号燕麦	箭筈豌豆	饲用豌豆
B1	6×10 ⁶	—	—	1.6×10 ⁶
B2	6×10 ⁶	—	1.6×10 ⁶	—
B3	—	6×10 ⁶	—	1.6×10 ⁶
B4	—	6×10 ⁶	1.6×10 ⁶	—

1.4 测定指标及方法

秋播(2019年9月10日、2020年9月6日)小黑麦前用土钻取试验地0~20 cm土样,作为基础土样(CK1);复种作物种植前(2020年6月8日、2021年6月10日)从预留空行内取土样作为对照土样(CK2);秋播小黑麦刈割(2020年6月22日、2021年6月24日)后,在各处理行间采集土样,并在空地取土样,作为对照土样(CK3),复种作物刈割(2020年9月2日、2021年9月4日)后在各处理行间采集土样,并在空地取土样,作为对照(CK4)。取样时用五点取样法采集土样,将所采土样混合均匀,除去根系、石块及其他杂物,装入自封袋,带回实验室用于土壤理化因子及酶活性的测定。

土壤理化因子测定:土壤有机质含量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;速效氮含量用碱解扩散法测定;速效磷含量用碳酸氢钠浸提—钼蓝比色法测定;速效钾含量用乙酸铵浸提—火焰光度法测定^[13]。



土壤酶活性测定:脲酶采用靛酚蓝比色法测定;蔗糖酶采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定;中性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法测定;过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法测定^[14]。

1.5 数据处理

用Microsoft Excel 2016进行数据分析整理,用origin 2018作图,用SPSS 25.0进行差异显著性分析,文中数据为2年的均值。

2 结果与分析

2.1 秋播小黑麦种质间土壤理化的差异

未种植秋播小黑麦的土样中,次年6月份(CK3: 7.60)与前一年9月份(CK1)的土壤pH值无显著差异,但种植小黑麦后土壤的pH值不同程度降低,其中A3处理使土壤pH值显著下降,其余处理的pH值无显著差异,与2对照也无显著差异(图2-A)。从土壤有机质含量来看(图2-B),秋播小黑麦可显著增加土壤有机质含量,其含量从秋播前的32.54 g/kg增加至56.75~62.46 g/kg,其中A3处理的土壤有机质含量最高。

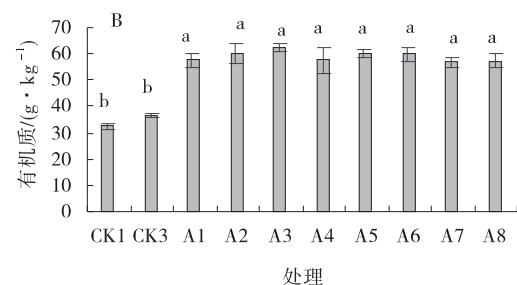


图2 秋播小黑麦对土壤pH值和有机质含量的影响

Fig. 2 Effects of autumn sowing triticale on the soil pH and organic matter content

注:不同字母表示处理间差异显著,下同。

与CK1相比,秋播小黑麦均能提高土壤全氮、全钾及全磷含量(图3)。全氮含量最高的是A4,其次为A2,A3处理的全氮含量居第3,秋播小黑麦处理间无差异(图3-A)。从全钾含量来看,秋播小黑麦后,土壤全钾含量显著提高($P<0.05$)。各处理间,A3的土壤全钾含量最高,为8.28 g/kg,与其他小黑麦种质间均无显著差异,但却显著高于CK1($P<0.05$),比CK1增加了16.67%(图3-B)。与CK1相比,秋播小黑麦种植后,土壤全磷含量有所提高(图3-C)。其中,A1的土壤全磷含量最高,其次为A3,2处理的土壤全磷含量

显著高于A5($P<0.05$),与其他处理均无显著差异。

秋播小黑麦能够增加土壤的速效氮含量,与CK1相比,除A6外,其余各处理均显著提高了土壤全磷含量($P<0.05$)(图3-D)。其中,土壤速效氮含量最高的是A2,其次为A1,A3的土壤速效氮含量也较高,且与A1无显著差异。与CK1相比,秋播小黑麦后,土壤速效钾及速效磷含量显著降低(图3-E,F)($P<0.05$);秋播小黑麦间,速效钾含量无显著差异,最高的是A6,为163.17 mg/kg,速效钾含量最低的是A3。与CK1相比,秋播小黑麦后,土壤速效磷含量显著降低($P<$

0.05)。其中,A5的速效磷含量最高,显著高于A3、A6、A7和A8,但与A1、A2和A4间无显著差异;A6的

土壤速效磷含量最低与A3、A7和A8间无显著差异,但显著低于其他覆盖作物($P<0.05$)。

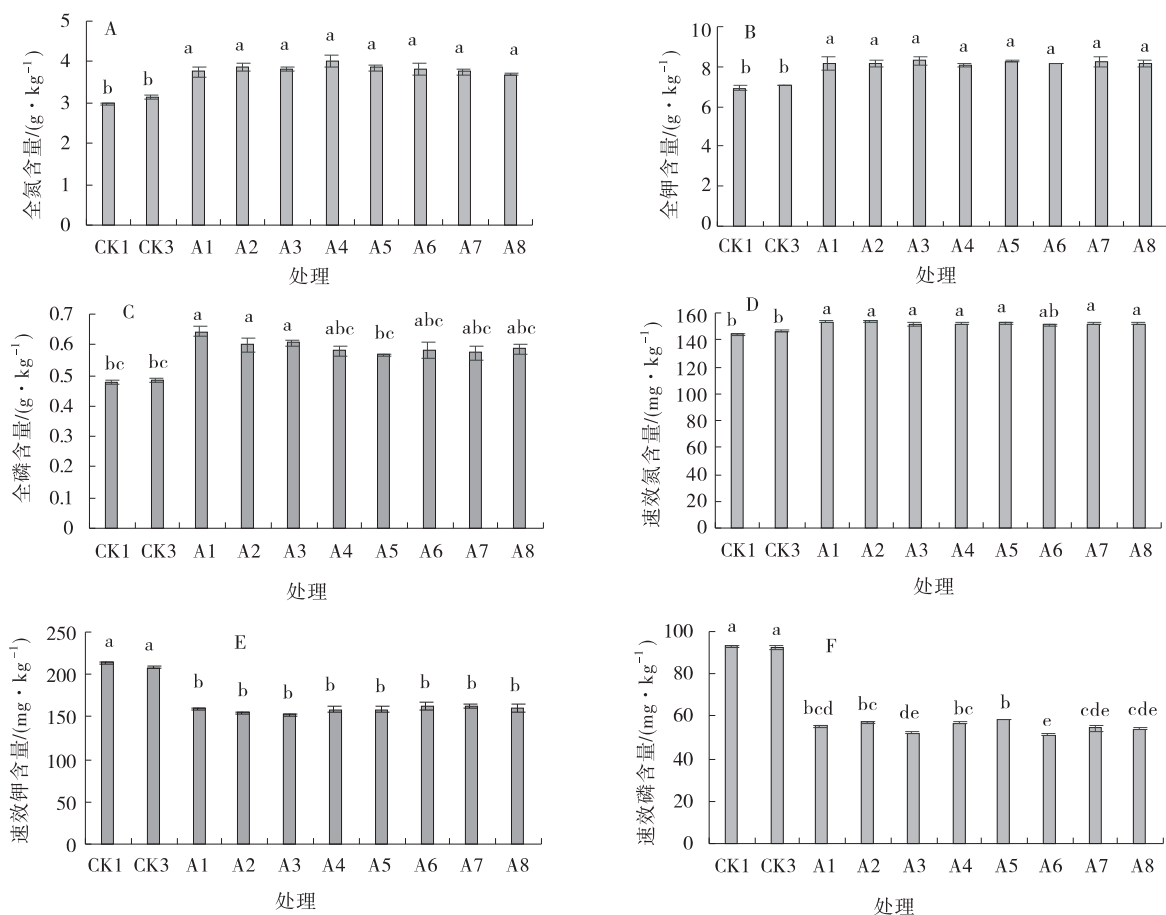


图3 秋播小黑麦对土壤养分含量的影响

Fig. 3 Effects of autumn sowing triticale on the soil nutrient content

2.2 复种作物间土壤理化性质的差异

与CK2相比,种植不同复种作物后,土壤的pH值有所降低(图4-A)。不同复种作物处理间,B1处理的土壤的pH值最低,为7.45,其显著低于对照土样($P<0.05$),但与B2、B3和B4处理间无显著差异;B2处理的土壤pH值最高,为7.49,虽相比于CK2有所降低,

但差异不显著。从土壤有机质含量来看,种植不同的复种作物后,与CK2相比,不同复种作物处理间,土壤的有机质含量均有所增加,且差异显著($P<0.05$)(图4-B)。不同复种作物处理间,B3处理的土壤有机质含量最高,B1次之,复种作物处理间均无显著差异,但均显著高于CK1。

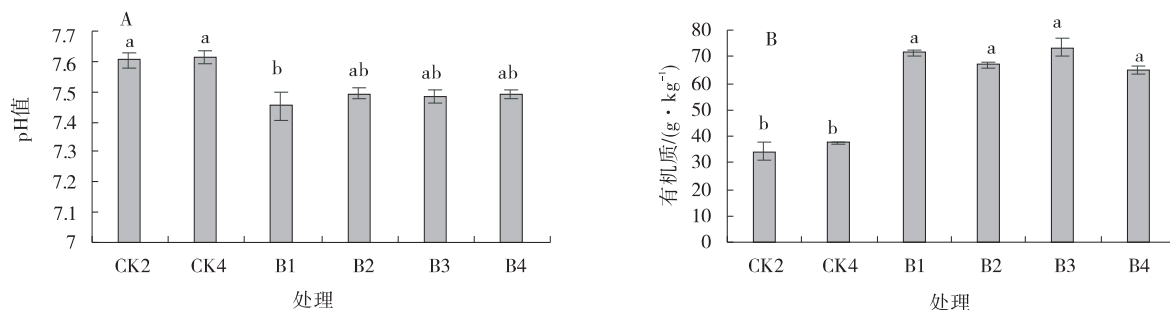


图4 复种作物对土壤pH值和有机质含量的影响

Fig. 4 Effects of double cropping on soil pH value and organic matter content

与CK2(3.10 g/kg)相比,种植不同的复种作物后,土壤的全氮、全钾及全磷含量均有所增加,显著高于对照土样($P<0.05$)。各复种处理间,B1处理的土壤全氮含量最高,为4.70 g/kg;B4处理的土壤全氮含量最低,为4.54 g/kg(图5-A)。与CK2相比,种植不同的复种作物后,B1处理的土壤全钾含量最高,为8.65 g/kg;B4处理的土壤全钾含量最低,为8.52 g/kg(图5-B)。种植不同的复种作物后,土壤的全磷含量均有所增加,各复种处理间,B1处理的土壤全磷含量最高,为0.70 g/kg;B4处理的土壤全磷含量最低,为0.65 g/kg(图5-C)。

与CK2相比,种植不同的复种作物后,土壤的速效氮含量均有一定程度增加,并且显著高于基础土样($P<0.05$)(图5-D)。不同复种作物处理间,B1处理的土壤速效氮含量最高,为169.00 mg/kg,与B3处理间无差异,但却显著高于B2和B4处理($P<0.05$)。

复种不同作物后,土壤速效钾及速效磷含量表现出下降的趋势,CK2的土壤速效钾及速效磷含量显著高于复种作物各处理($P<0.05$)。不同作物各处理间,速效钾含量最高的是B3处理,为168.87 mg/kg,但复种不同作物各处理间,均无显著差异(图5-E);不同复种作物处理间,速效磷含量最高的是B3处理,为64.04 mg/kg,土壤速效磷含量最低的是B1处理,为61.78 mg/kg(图5-F)。

综上所述,复种不同作物对土壤全效养分含量和速效养分含量均有较大影响,试验发现,复种后土壤全效养分均呈现出增加的趋势,而土壤速效养分中,只有速效氮含量有所增加,而速效钾和速效磷含量均显著降低。不同复种作物处理间,B1处理,即50%藏饲1号小黑麦×50%饲用豌豆混播,对土壤理化的影响最大,有助于降低土壤pH值,提高土壤养分含量。

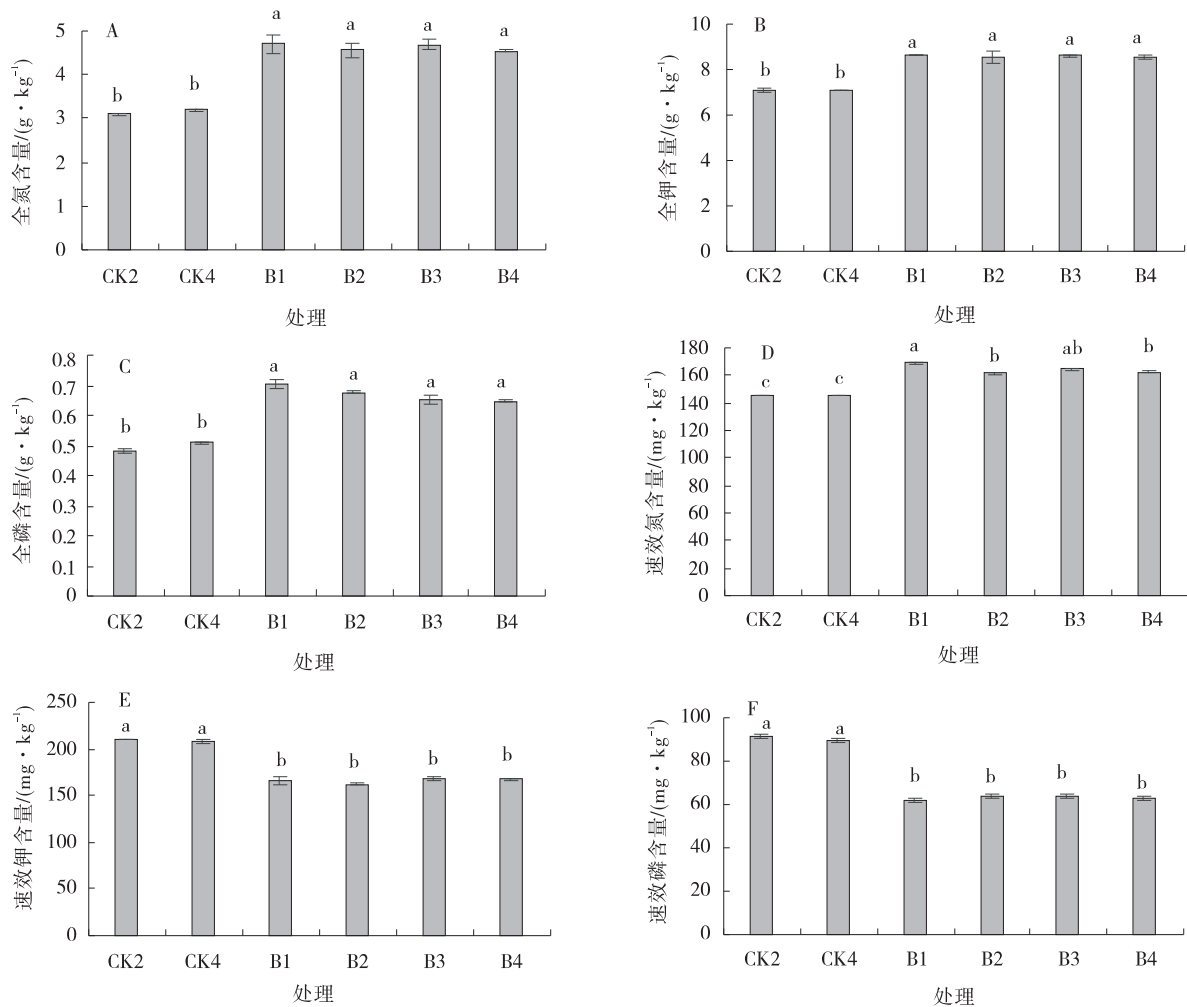


图5 复种作物对土壤养分含量的影响

Fig. 5 Effects of double cropping crops on the soil nutrient content

2.3 秋播小黑麦种质间土壤酶活性的差异

与CK1相比,秋播小黑麦显著提高了土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶、脲酶和蔗糖酶活性($P<0.05$)。从过氧化氢酶活性来看,A3的过氧化氢酶活性最高,为1.26 mL/(g·h);A8的过氧化氢酶活性最低,为1.22 mL/(g·h)(图6-A)。秋播小黑麦种植后,土壤碱性磷酸酶活性显著提高,秋播小黑麦各处理间,土壤碱性磷酸酶活性差异不显著,但均显著高于CK1($P<0.05$)。其中,A2的土壤碱性磷酸酶活性最高(0.69 mL/(g·h))

h);其次为A3,1.09 mL/(g·h)(图6-B)。与CK1相比,秋播小黑麦后,A3的土壤脲酶活性最高,为2.12 mL/(g·h);A6的脲酶活性最低,为2.05 mL/(g·h)(图3-C)。土壤蔗糖酶活性与其他酶活性的变化相似,秋播小黑麦各处理间,A3的土壤蔗糖酶活性最高,为23.46 mL/(g·h);A2的蔗糖酶活性最低,为20.07 mL/(g·h)(图6-D)。结果表明,与CK1相比,秋播后4种土壤酶活性均显著提高,说明秋播小黑麦提高土壤酶活性。

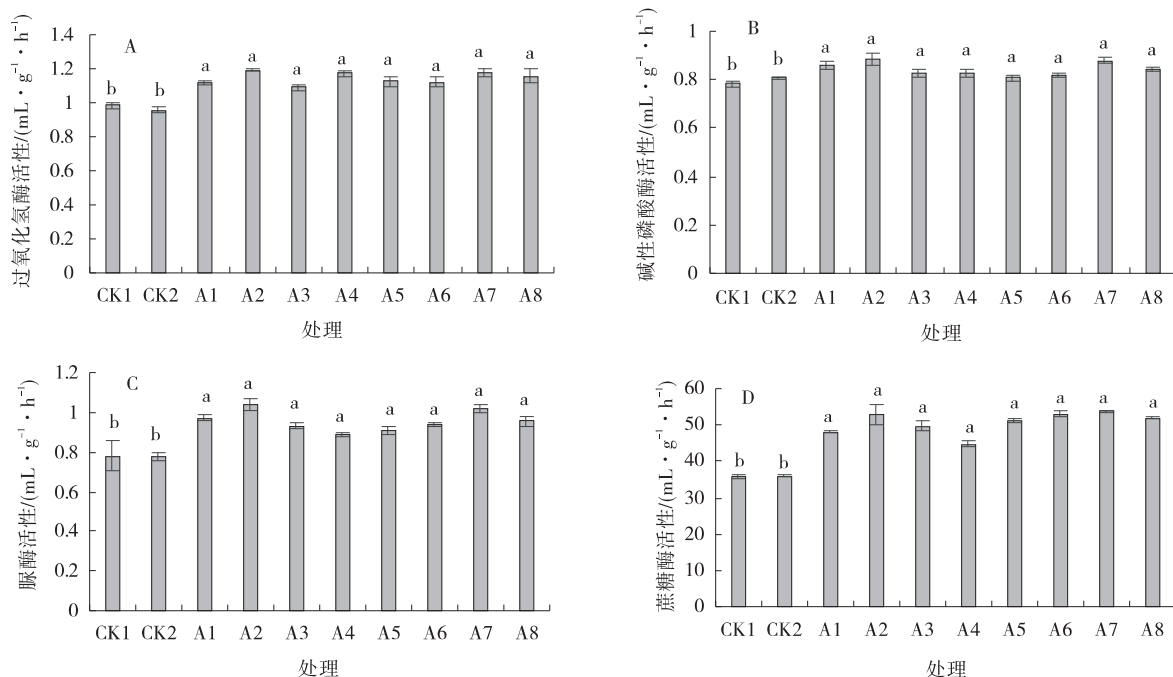


图6 秋播小黑麦对土壤酶活性的影响

Fig. 6 Effects of autumn sowing triticale on soil enzyme activities

综上所述,秋播不同种植小黑麦中,A3,即甘农4号小黑麦对土壤酶活性的影响最大,其有助于提高土壤酶活性,从而改善土壤环境。

2.4 复种作物间土壤酶活性的差异

不同复种作物种植后,土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶、脲酶及蔗糖酶活性均显著提高($P<0.05$)。与CK2相比,不同复种作物处理显著提高了土壤过氧化氢酶活性($P<0.05$),但不同复种作物各处理间,差异不显著。复种作物各处理间,B1处理的过氧化氢酶活性最高,为1.87 mL/(g·h);B4处理的过氧化氢酶活性最低,为1.77 mL/(g·h)(图7-A)。复种不同作物后,土壤的碱性磷酸酶活性显著提高,不同复种作物处理间的土壤碱性磷酸酶活性存在差异($P<0.05$),且均显著高于CK2($P<0.05$),其中,B1处理的土壤碱性

磷酸酶活性最高,为0.95 mL/(g·h),显著高于B2、B3和B4处理;B4处理的碱性磷酸酶活性最低,为0.73 mL/gh(图7-B)。

复种不同作物后,与复种前的基础土样CK2相比,土壤脲酶活性显著提高($P<0.05$),复种作物处理间的土壤脲酶活性差异不显著。其中,B1处理的土壤脲酶活性最高,为2.70 mL/(g·h);B4处理的脲酶活性最低,为2.46 mL/(g·h)(图7-C)。土壤蔗糖酶活性趋势与其它酶活性相似,复种不同作物后,土壤蔗糖酶活性显著提高,其中,B1处理的土壤蔗糖酶活性最高,为55.97 mL/(g·h),显著高于B4处理和复种前的基础土样CK2($P<0.05$)(图7-D)。

综合来看,B1处理,即50%藏饲1号小黑麦混播50%饲用豌豆,对土壤酶活性的影响最大,该处理下,

4 种土壤酶活性均显著提高。

3 讨论

3.1 秋播小黑麦种质间土壤理化性质的差异分析

土壤 pH 对作物的生长发育具有显著影响,有研究表明指出,种植冬季覆盖作物能够降低土壤的 pH 值^[15]。本试验发现,在川西北高寒牧区秋播小黑麦后,土壤 pH 值均有所降低,说明小黑麦作物冬季覆盖作物对改善当地的土壤 pH 值有一定的效果。研究表明,种植冬季覆盖作物能够增加土壤的有机质含量,改善土壤环境和肥力状况^[16]。本试验发现,秋播小黑麦种植后,土壤有机质含量均显著提高,这是由于种植小黑麦后,增加了地表覆盖物,减少了土壤养分的流失,同时,增加了地表凋落物和地下根系,增加了有机物质的来源。氮对于提高作物的生殖生长和产量具有至关重要的作用^[17]。在实际生产中,氮是继碳、氢和氧元素之后的主要限制性营养元素,主要用于作物的光合作用、植物激素、蛋白质组学和植物生长发育等过程,以保证作物能够完成其生命周期^[18]。磷是作物确保最佳生长发育所必需的养分之一,也是作物产量的主要限制因素之一。钾是土壤中含量最高的营养元素,也是植物生长必需的营养元素之一。在农业生产中,常因土壤钾的供应不足而影响作物的产

量^[19]。研究表明,冬季覆盖作物能够有效地改善土壤环境,提高土壤中全氮、全磷和全钾的含量^[20]。本试验中,秋播小黑麦种植后,土壤的全氮、全磷和全钾含量也显著提高,说明秋播小黑麦有助于改善土壤环境。从土壤速效养分含量来看,秋播小黑麦种植后,土壤的速效氮含量升高,而土壤速效钾和速效磷含量降低,这主要是因为前期施的基肥为羊粪,其中氮含量较高,而钾和磷含量较低,而作物在生长过程中对速效养分的需求较大,因此,导致了土壤速效钾和速效磷含量的降低。

3.2 复种作物间土壤理化性质的差异分析

相比于其它牧草,豆科牧草能够长时间的保持其营养价值,在干旱季节,当其他牧草干枯,营养价值较低时,豆科牧草仍然保持较高的营养品质,是优质的家畜饲料^[21]。研究指出,种植豆科作物可以提高土壤的肥力和土壤的生物活性,因其可以进行生物固氮,从而可以减少氮肥的施用量^[22]。在本试验中,我们选取 2 种一年生豆科牧草(饲用豌豆、箭筈豌豆)与 2 种禾本科牧草(藏饲 1 号小黑麦、燕麦)按照 1:1 的比例混播作为复种作物进行了复种模式研究。试验发现,复种作物种植后土壤的 pH 值均有所降低,这是由于复种后土壤中的植物根系数量增多,其生理活动中释放的有机质酸含量增加,从而使得土壤 pH 值下降。

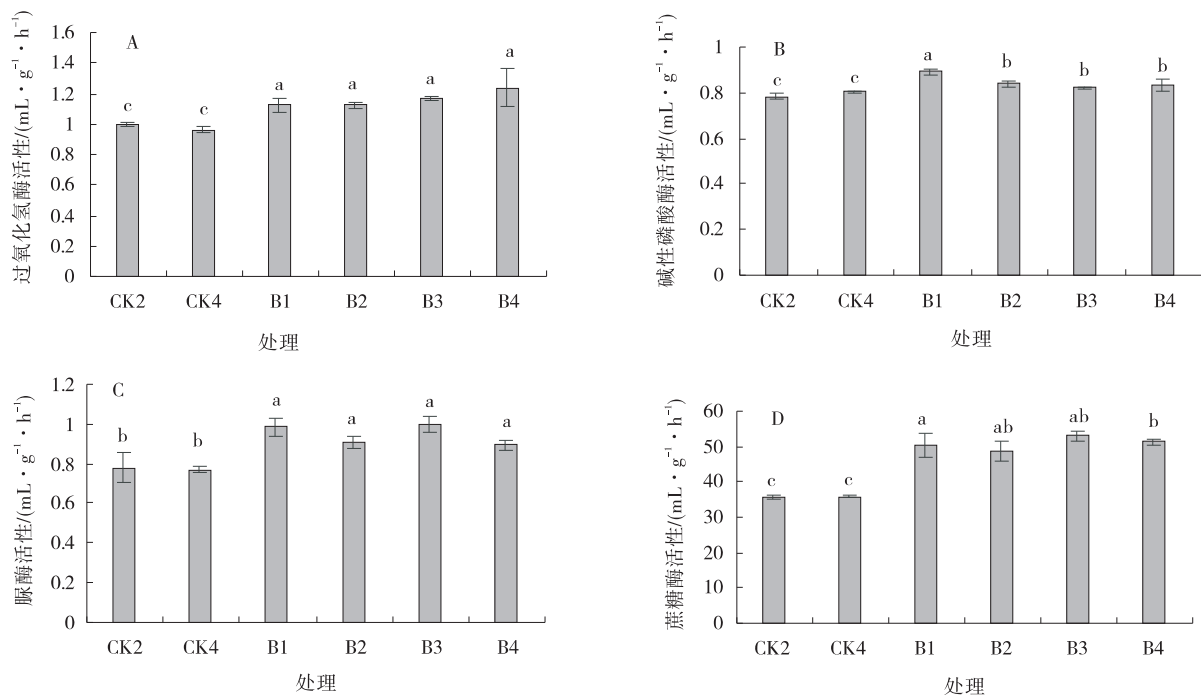


图 7 复种作物对土壤酶活性的影响

Fig. 7 Effects of double cropping crops on soil enzyme activities

郑伟等^[23]研究发现,禾—豆混播种类较少时,能够提高土壤有机质、全氮、速效氮、全磷和全钾的含量。本研究发现,复种作物种植后,土壤的有机质含量均显著提高,其中饲用豌豆和2种禾本科牧草混播处理下的土壤有机质含量较高。土壤全氮、全磷和全钾含量均显著提高,主要是因为复种作物中的豆科牧草可以通过固氮作用利用土壤缝隙中游离的氮素,增加土壤全氮含量,减少对土壤中原有氮素的吸收,因此该模式下的土壤全氮含量增加;禾—豆混播时,由于种间竞争从而导致混播中豆科牧草的生物固氮能力及有机酸分泌增强,在根际形成了磷素空间优势,从而提高了土壤中的磷含量,这与之前的研究结果一致^[24]。金星娜等^[6]在甘南高寒牧区秋播小黑麦与复种作物耦合对土壤养分影响的研究中指出,燕麦和箭筈豌豆混播后,土壤的速效钾含量降低。本研究发现,复种作物种植后,土壤的速效氮含量增加,而土壤速效磷和速效钾含量均降低,其主要是由于豆科植物可以自主固氮,相对减少了对氮素的吸收,但其生长过程还需吸收钾和磷,加之禾本科作物生长过程吸收,因此,土壤速效氮含量有所增加,而速效磷和速效钾含量降低。

土壤养分含量的高低直接影响着牧草的产量,试验发现,川西北高寒牧区复种作物种植后,地上植被增多,增加了地表覆盖和进入土壤的凋落物,减少了土壤中养分的淋失,能够有效地改善土壤理化环境和提高土壤养分含量,使得土壤中的养分含量增加,而土壤中养分含量的增加使得可供牧草吸收和利用的养分含量也相对增多,从而提高了牧草高产及其产量的稳定性。

3.3 秋播小黑麦种质间土壤酶活性的差异分析

作为土壤的组成成分之一,土壤酶在土壤物质循环和能量转化过程中起着重要作用,其活性反映土壤中多种生物化学过程的强度^[25]。对土壤酶活性进行研究,有助于人们了解土壤肥力状况,并可进行土壤质量性状的评价^[26]。赛吉日呼^[27]研究表明,与休闲地相比,牧草不同种植模式均能提高土壤酶活性,其中混播模式土壤酶活性较高。已有研究表明,秋播小黑麦能够提高土壤酶活性^[28]。本研究发现,由于秋播材料均为小黑麦,不同小黑麦种质间的土壤酶活性并无显著差异,但与对照(CK1、CK3)相比,秋播不同小黑

麦种质对土壤酶活性有较大影响,秋播各处理的土壤酶活性均显著提高($P<0.05$)。因此,秋播小黑麦能够改善土壤环境,提高土壤酶活性。

3.4 复种作物间土壤酶活性的差异

禾本科与豆科作物间作是一种常见的种植方式,且研究重点正由地上部向地下部转移^[29],与单作相比,豆类作物与谷类作物间作可以提高产量和产量稳定性,并且作物多样性的增加能够提高不同作物间的竞争力,更加有效地利用资源^[5]。小黑麦和燕麦为禾本科一年生草本植物,能够适应中国西北地区的寒冷气候,是当地的重要饲草来源。饲用豌豆和箭筈豌豆为豆科一年生草本植物,是饲喂家畜的优质饲料^[30]。土壤酶作为土壤有机和矿物成分生物分解代谢的直接介质,在维持土壤健康方面发挥着重要作用^[7]。Curtright等^[31]对来自世界各地的1000项研究中的969项观察结果进行了荟萃分析,发现间作平均增加酶活性13%($P<0.001$)。本研究发现,与复种前相比,复种后4种土壤酶活性均显著提高($P<0.05$)。复种各处理间,B1处理的4种土壤酶活性均最高,其中过氧化氢酶和脲酶活性与其它处理无显著差异,而碱性磷酸酶显著高于其他各处理($P<0.05$),蔗糖酶活性显著高于B4处理($P<0.05$)。

4 结论

秋播小黑麦和其他作物复种,不仅能够提高土壤养分含量及土壤酶活性,而且还能保护草原冬季裸露的土壤,防止水土流失,对高寒牧区的土壤有固定,防沙化的作用,是一种具有经济价值和生态价值的饲草种植方式,值得进一步研究。综合来看,A3B1处理,即秋播甘农4号小黑麦与50%青甜1号燕麦和50%箭筈豌豆混播的种植模式有助于提高土壤养分含量和酶活性,改善土壤环境,进而提高牧草产量。

参考文献:

- [1] González-Alcántara F de J, Estrada-Flores J G, Morales-Almaraz E, *et al.* Whole-crop triticale silage for dairy cows grazing perennial ryegrass (*Lolium perenne*) or tall fescue (*Lolium arundinaceum*) pastures in small-scale dairy systems during the dry season in the highlands of Mexico[J]. Tropical Animal Health and Production, 2020, 52 (4): 1903—1910.

- [2] 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.
- [3] Xiao J, Yin X, Ren J, *et al.* Complementation drives higher growth rate and yield of wheat and saves nitrogen fertilizer in wheat and faba bean intercropping[J]. Field Crops Research,2018,221:119—129.
- [4] Lithourgidis A S, Vlachostergios D N, Dordas C A, *et al.* Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea—cereal intercropping systems[J]. European Journal of Agronomy,2011,34(4):287—294.
- [5] Feng G, Sharratt B, Young F. Soil properties governing soil erosion affected by cropping systems in the U. S. Pacific Northwest [J]. Soil & Tillage Research, 2011, 111 (2):168—174.
- [6] 金星娜,裴亚斌,田新会,等. 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[J]. 草原与草坪,2021, 41(4):89—95.
- [7] Farooq T H, Kumar U, Mo J, *et al.* Intercropping of peanut—tea enhances soil enzymatic activity and soil nutrient status at different soil profiles in subtropical Southern China[J]. Plants,2021,10(5):881.
- [8] Yao X H, Min H, Zhen H L, *et al.* Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration [J]. European Journal of Soil Biology,2006,42(2):120—126.
- [9] Rezaei—Chiyaneh E, Amirmia R, Chiyaneh S F, *et al.* Improvement of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) yield quality through a coupled intercropping system and vermicompost application along with maintenance of soil microbial activity [J]. Land Degradation & Development. 2021,32(9):2833—2848.
- [10] Ma Y H, Fu S L, Zhang X P, *et al.* Intercropping improves soil nutrient availability, soil enzyme activity and tea quantity and quality[J]. Applied Soil Ecology,2017, 119:171—178.
- [11] 王心星,荣湘民,张玉平,等. 以玉米为主的作物间套作模式效果研究进展[J]. 中国农学通报,2015,31(9): 13—19.
- [12] 丁维婷,武雪萍,张继宗,等. 长期有机无机配施对暗棕壤土壤酶活性及春麦产量品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2020,18(6):1—8.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社, 1986.
- [15] 赵秋,高贤彪,宁晓光,等. 华北地区几种冬闲覆盖作物碳氮蓄积及其对土壤理化性质的影响[J]. 生态环境学报,2011,20(4):750—753.
- [16] Teague R, Delaune P B, Dowhower S L. Impacts of over—seeding bermudagrass pasture with multispecies cover crops on soil water availability, microbiology, and nutrient status in North Texas [J]. Agriculture Ecosystems & Environment,2019,273:117—129.
- [17] Kiran K T, Rana D S, Nain L. Legume residue and N management for improving productivity and N economy and soil fertility in wheat (*Triticum aestivum*) based cropping systems [J]. National Academy Science Letters, 2019,42(4):297—307.
- [18] Anas M, Liao F, Verma K K, *et al.* Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco—physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency[J]. Biological Research,2021,53(1):47.
- [19] 彭一平,刘振华,王璐,等. 华南地区土壤全钾含量高光谱反演模型研究[J]. 西南农业学报,2019,32(10):7.
- [20] 魏静. 不同冬季覆盖作物对土壤养分及雨养玉米生长特征的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [21] Simbaya J, Chibinga O, Salem A Z M. Nutritional evaluation of selected fodder trees: Mulberry (*Morus alba* Lam.), Leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam de Wit.) and Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) as dry season protein supplements for grazing animals. Agroforestry Systems,2020,94(4):1189—1197.
- [22] Diniz W, Santos M, ASC Verás, *et al.* Morphological, productive, and nutritional characterization of *Desmanthus* spp. accessions under different cutting intensities [J]. Agroforestry Systems,2021,95(3):1—11.
- [23] 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.
- [24] 来幸樾,梁尚礼,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.
- [25] Paul E. A. Soil microbiology and biochemistry[M]. Academic Press,2015.
- [26] 陈丹梅,陈晓明,梁永江,等. 种植模式对土壤酶活性和真菌群落的影响[J]. 草业学报,2015,24(2):77—84.
- [27] 赛吉日呼. 牧草不同种植方式对土壤酶活性和土壤微生物

- 物量及多样性的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古大学, 2019.
- [28] 裴亚斌. 甘南高寒牧区秋播小黑麦与复种作物的耦合效应及耦合机制[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2020.
- [29] 姜莉,陈源泉,隋鹏,等. 不同间作形式对玉米根际土壤酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(9): 326—330.
- [30] 王旭,曾昭海,胡跃高,等. 燕麦间作箭筈豌豆效应对后作产量的影响[J]. 草地学报, 2009, 17(1):63—67.
- [31] Curtright A J, & Tiemann L K. Intercropping increases soil extracellular enzyme activity: a meta-analysis[J]. Agriculture Ecosystems & Environment. 2021, 319:107489.

Effects of planting techniques for two-season forage grass per year on soil enzyme activities in the alpine pasturing area of Northwestern Sichuan in Qinghai-Tibet Plateau

YANG Yong-qiang, YIN Yu-lin, 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】 The alpine pastoral area of Northwestern China experiences cold climates, resulting in a short forage growing season. Selecting triticale varieties with strong cold resistance for autumn sowing and rotating crops the following year can effectively enhance land-use efficiency and forage yield. 【Method】 Eight triticale lines (Gannong No. 2 triticale, Gannong No. 3 triticale, Gannong No. 4 triticale, Gannong No. 7 triticale, Tibetan feed No. 1 triticale, and triticale lines C16, C23, C25,) were autumn sown and replanted with different crops: B1 (Tibetan feed No. 1 triticale $\times$ 50% feed pea), B2 (50% Tibetan feed No. 1 triticale $\times$ 50% *Vicia sativa*), B3 (50% Qingtian No. 1 oats $\times$ 50% forage pea), B4 (50% Qingtian No. 1 oats $\times$ 50% *Vicia sativa*). The study investigated the effects of autumn-sown triticale and multiple cropping on soil physics and chemistry (pH, organic matter, total nitrogen, total potassium, total phosphorus, available nitrogen, available phosphorus and available potassium), as well as enzyme activities (catalase, alkaline phosphatase, urease and sucrase). 【Result】 The results showed that soil enzyme activities improved after autumn-sown triticale and multiple cropping. 【Conclusion】 Overall, autumn-sown Gannong No. 4 triticale intercropped with 50% Zangsi No. 1 triticale $\times$ 50% forage pea had a significant impact on soil physicochemical and enzyme activities. This approach enhanced soil physicochemical environments, improved enzyme activities, and contributed to increased forage yield.

Key words: autumn sowing triticale; multiple cropping; alpine pastoral area; soil physicochemical; soil enzyme activity

(责任编辑 刘建荣)