

休耕和种植作物对黑麻土壤肥力的影响

姜小凤^{1,2}, 郭凤霞¹, 陈垣³, 郭建国⁴, 董博², 曾骏²

(1.甘肃农业大学生命科学技术学院,兰州 730070;2.甘肃省农业科学院旱地农业研究所,兰州 730070;

3.甘肃农业大学农学院,甘肃省干旱生境作物学重点实验室,兰州 730070; 4.甘肃省农业科学院植物保护研究所,兰州 730070)

摘要: 为了明确不同茬口土壤养分的固持残留水平,建立高效合理的轮作顺序以解决连作再植障碍问题。2018 年在甘肃定西渭源县莲峰镇陡坡村随机区组设计,“S”形取样休耕 1 季、种植 1 季春小麦、马铃薯、蒙古黄芪和当归后 0—20 cm 层次的黑麻土壤,测定土壤全量、速效养分和阴阳离子含量。结果表明:休耕 1 季和种植 1 季蒙古黄芪增加了 0—20 cm 层次土壤的有机质、全氮、速效磷、速效钾、阴阳离子、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量,种植 1 季当归降低了 0—20 cm 层次土壤的有机质、全氮、速效磷、速效钾、阴阳离子、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量。方差分析显示,休耕 1 季和种植 1 季蒙古黄芪后 0—20 cm 层次黑麻土壤的有机质、全氮、速效磷、速效钾、阴阳离子、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量显著高于种植 1 季当归。主成分回归分析发现,休耕 1 季和种植 1 季蒙古黄芪后 0—20 cm 层次黑麻土壤肥力综合指数为 0.98 和 0.56,种植 1 季当归的综合指数得分仅为 0.07。休耕 1 季是黑麻土壤用养结合的简便有效方法,种植 1 季蒙古黄芪是培肥黑麻土壤肥力的适宜作物。

关键词: 1 季休耕; 1 季种植作物; 黄土高原; 土壤肥力

中图分类号: S334.13

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)01-0229-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2021.01.033

Effect of Fallowing and Planting Crops on Soil Fertility of Black Flax Soil

JIANG Xiaofeng^{1,2}, GUO Fengxia¹, CHEN Yuan³, GUO Jianguo⁴, DONG Bo², ZENG Jun²

(1.College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070;

2.Dry Land Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070;

3.Agronomy College, Provincial Key Lab of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University,

Lanzhou 730070; 4.Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070)

Abstract: A reasonable and efficient rotation sequences were established to solve the problem of replanting obstacles caused by continuous cropping of crops via determining the level of soil nutrient immobilization and residue under annually fallowing and seasonally planting different crops. The nutrients contents of 0—20 cm black flax soil under fallowing, and planting spring wheat, potato, Mongolian astragalus and Angelica sinensis were investigated. The field trial was followed by the single-factor randomized block design in Zhanpo village, Lianfeng town, Weiyuan, Gansu in 2018 and soils were sampled by “S” shape. The results showed that the contents of organic matter, total nitrogen, available phosphorus, available potassium, total anion and anion, Mg^{2+} , SO_4^{2-} and Cl^- in 0—20 cm soil layer respectively were increased for annually fallowing and seasonally planting Mongolian astragalus. however, the contents of organic matter, total nitrogen, available phosphorus, available potassium, total amount of ions and ions, Mg^{2+} , SO_4^{2-} and Cl^- in 0—20 cm soil layer were decreased for annually planting Angelica sinensis. The variance analysis showed that the contents of organic matter, total nitrogen, available phosphorus, available potassium, total anion, Mg^{2+} , SO_4^{2-} and Cl^- in 0—20 cm soil layer were significantly higher for annually fallowing and seasonally planting Mongolian astragalus than those for seasonally planting Angelica sinensis. The principal component regression analysis

收稿日期: 2020-06-14

资助项目: 国家自然科学基金项目(31560175, 31460547, 31360317); 甘肃省现代农业中药材产业体系首席专家项目(GARS-ZYC-1, ZYBZH-Y-GS-11); 省农科院科技创新专项(院地科技合作 2017GAAS63, 2017GAAS28); 甘肃省科技厅自然科学基金项目(1610RJZA081)

第一作者: 姜小凤(1974—), 女, 副研究员, 在读博士研究生, 主要从事土壤生态、植物营养及中草药栽培研究。E-mail: jxf_5188@163.com

通信作者: 郭凤霞(1963—), 女, 研究员, 主要从事植物生理生态研究。E-mail: guofx@gsau.edu.cn

陈垣(1963—), 男, 教授, 主要从事药用植物栽培研究。E-mail: cygex1963@163.com

showed that the soil fertility composite index scores respectively were up to 0.98 and 0.56 for annually fallowing and seasonally planting Mongolian astragalus, while the soil fertility composite index score was down to 0.07 for seasonally planting *Angelica sinensis*. This demonstrated that annually fallowing was a simple and effective method for combination of land utilization and maintenance in black flax soil, while seasonally planting Mongolian astragalus was an effective rotation sequence to improve soil fertility in black flax soil.

Keywords: annually fallowing; seasonally planting crops; the Loess Plateau; soil fertility

土地利用方式是人类干预土壤自然活动、影响土壤肥力变化最普遍、最直接和最深刻的客观因素。休耕和轮作是黄土高原脆弱生态区土壤生物修复和中低产田改良的 2 种主要种植模式,该方法具有改善土壤质量、实现土地用养结合之功效,是中国坚守粮食安全生产红线、实现“藏粮于地、藏粮于技”战略的重要抓手。黄土高原脆弱生态区或中低产田实施休耕有利于增加土壤有机质含量^[1-2],增强黄绵土和厚层红油土对施入铵态氮的生物固持能力^[3],促使土壤化学计量比呈现波动上升趋势^[4],土壤理化性状向着有益方向发展^[5];黄土高原偏旱区 5~6 年紫花苜蓿+24 年粮食作物^[6]、干旱区 7 年紫花苜蓿+13 年粮食作物^[7]与半湿润区 10 年紫花苜蓿+8 年以上粮食作物^[8]轮作有利于恢复土壤水分和保持土壤肥力^[9];绿洲灌溉区 15 年棉花连作+1 年冬小麦轮作模式土壤有机碳含量最高、土壤质量最佳^[10];旱作雨养农业区 2 年连作冬小麦+2~4 年连作红豆草轮作模式可以增加土壤剖面的硝态氮含量,提高冬小麦经济产量,改善籽粒营养品质^[11];高寒阴湿区 1 年马铃薯+1 年大豆轮作模式^[12]或 1 年当归+1 年大豆/蚕豆/黄芪/青稞/秦艽轮作模式^[13-16]分别可以缓解马铃薯和当归等作物的连作再植障碍问题。然而,有关不同茬口对黄土高原土壤肥力影响研究多集中于粮食作物种植茬口的轮作上,而种植 1 季黄芪或当归对土壤肥力变化的研究鲜见报道。因此,本文以甘肃定西渭源县黑麻土壤类型为研究对象,通过休耕 1 季、种植 1 季黄芪、当归、春小麦、马铃薯作物茬口下 0—20 cm 层次土壤全量和速效养分与阴阳离子含量测定分析评价研究,旨在建立高效的轮作顺序、培肥地力,保障甘肃省道地中药材产业健康可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点位于甘肃定西渭源县莲峰镇绽坡村,地理坐标北纬 35°05′35.98″,东经 104°23′2.68″,海拔 2 080 m,年平均气温 5.8 ℃,年平均降水量 507 mm 左右,无霜期 157 天,属温寒湿润地区,寒冷阴湿、雨量充沛,夏季集中了全年降水量 50% 左右,光能资源充足,热量资源不足。土壤类型为黑麻土,腐殖质含量较高,适宜马铃薯和中药材生长。

1.2 试验设计

2017 年 4 月 20 日播种 1 季“陇豌 2 号”豌豆均一化平衡土壤肥力,2018 年播种不同类型作物前,按“S”形取样法,管型土钻随机钻取 0—20 cm 层次土壤样品,混匀测定土壤基础养分有机质含量为 20.01 g/kg,全氮含量为 1.30 g/kg,全磷含量为 0.90 g/kg,全钾含量为 22.88 g/kg,碱解氮含量为 69.58 mg/kg,速效磷含量为 25.08 mg/kg,速效钾含量为 181.45 mg/kg,离子总量为 0.82 g/kg,CEC 为 12.05 cmol/kg, Ca^{2+} 含量为 0.146 g/kg, Mg^{2+} 含量为 0.026 7 g/kg, K^{+} 含量为 0.014 8 g/kg, Na^{+} 含量为 0.025 6 g/kg, HCO_3^{-} 含量为 0.316 g/kg, Cl^{-} 含量为 0.048 1 g/kg, SO_4^{2-} 含量为 0.245 g/kg。单因素随机区组设计,分别于 3 月 25 日撒播春小麦,4 月 25 穴播马铃薯,4 月 4 日移栽蒙古黄芪和当归,休耕 1 季为空白对照。播种量:蒙古黄芪 30 万株/hm²,当归 24 万株/hm²,春小麦 450 kg/hm²,马铃薯 67.5 万株/hm²。播种前试验田一次性均匀施入甘肃绿能农业科技股份有限公司出品的复合微生物肥料,总养分(N+P₂O₅+K₂O=15%),全生育期所有作物处理不施任何肥料,不同作物种植时依次按照常规耕作方式耕种,所有作物都不中耕,在作物生长季降雨量为 520 mm 左右,作物成熟后将各小区作物及时收获,维持小区自然状态越冬,备用次年不同茬口移栽当归试验。试验区组长宽 3.0 m×2.0 m,面积 6.0 m²,区组间距 0.5 m,重复 3 次,共 15 个处理。

1.3 取样方法

2018 年主栽作物收获后,按“S”形取样法,管型土钻 5 点钻取 0—20 cm 层次的土壤样品,混匀装入自封袋运回实验室,自然风干后测定土壤养分。

1.4 测定方法

土壤有机质含量采用重铬酸钾外加热法,全氮和全磷含量采用酸液消煮、AMS Smartchem200 全自动化学分析法,全钾含量采用 NaOH 熔融、SherwoodM410 型火焰光度计法,碱解氮采用碱解扩散法,速效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提、TU-1901 双光束可见紫外分光光度计比色法,速效钾采用 NH₄OAc 浸提、SherwoodM 410 型火焰光度计法进行测定。土壤 CEC 采用石灰性土壤阳离子交换量

(乙酸钠—火焰光度法)的测定;土壤 HCO_3^- 采用酚酞和甲基橙双指示剂中和滴定法, Cl^- 和 SO_4^{2-} 采用 EDTA 络合滴定法; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 采用土壤水溶性盐分、TAS-990 原子吸收分光光度计进行测定, K^+ 和 Na^+ 采用土壤水溶性盐分、SherwoodM410 型火焰光度计法^[17] 进行测定。

1.5 数据统计分析

试验数据以平均值±标准差(Mean±SD)形式进行表示,DPS 7.5 软件的 Duncan’s 氏新复极差检验法检验休耕、春小麦、马铃薯、蒙古黄芪和当归种植下土壤不同养分含量之间的差异显著性, $P<0.05$ 表示不同处理养分含量之间具有差异显著性;IBM SPSS 19.0 软件归一化处理休耕、春小麦、马铃薯、蒙古黄芪和当归种植下的 16 个营养指标数据、主成分分析法(principal component analysis,PCA)综合评判休耕和作物种植对黄土高原土壤肥力的影响。

2 结果与分析

2.1 休耕和种植作物对土壤肥力的影响

2.1.1 休耕和种植作物对土壤有机质和全量养分含量的影响 由表 1 可知,休耕 1 季(LL)与种植 1 季蒙古黄芪(MA)、春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)后,0—20 cm 层次的土壤有机质含量为 $\text{LL}>\text{MA}>\text{SW}>\text{ST}>\text{AS}$,休耕 1 季后 0—20 cm 层次土壤有机质含量为 20.45 g/kg,种植 1 季当归后 0—20 cm 层次土壤有机质含量为 17.94 g/kg;0—20 cm 层次土壤全氮含量为 $\text{LL}>\text{MA}>\text{ST}>\text{SW}>\text{AS}$,休耕 1 季后 0—20 cm 层次土壤全氮含量为 1.43 g/kg,种植 1 季当归后 0—20 cm 层次土壤全氮含量为 1.19 g/kg;0—20 cm 层次土壤全磷含量为 $\text{LL}>\text{MA}>\text{SW}>\text{AS}>\text{ST}$,休耕 1 季和种植 1 季黄芪后 0—20 cm 层次土壤全磷含量均为 0.91 g/kg,而种植 1 季马铃薯后 0—20 cm 层次土壤全磷含量仅为 0.87 g/kg;0—20 cm 层次的土壤全钾含量为 $\text{LL}>\text{MA}>\text{SW}>\text{AS}>\text{ST}$,休耕 1 季后 0—20 cm 层次土壤全钾含量为 23.03 g/kg,种植 1 季马铃薯后 0—20 cm 层次土壤全钾含量 22.37 g/kg。方差分析表明,休耕 1 季(LL)和种植 1 季蒙古黄芪(MA)后 0—20 cm 层次土壤有机质和全氮含量显著高于种植 1 季马铃薯(ST)和种植 1 季当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤有机质与全氮含量($P<0.05$),而休耕 1 季(LL)、种植 1 季蒙古黄芪(MA)、当归(AS)、春小麦(SW)、马铃薯(ST)后 0—20 cm 层次土壤全磷和全钾含量差异不显著($P>0.05$)。

2.1.2 休耕和种植作物对土壤速效养分含量的影响 由表 2 可知,休耕 1 季(LL)与种植 1 季蒙古黄芪

(MA)、春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)后,0—20 cm 层次土壤速效氮含量为 $\text{MA}>\text{LL}>\text{ST}>\text{SW}=\text{AS}$,种植 1 季蒙古黄芪后 0—20 cm 层次土壤速效氮含量为 81.30 mg/kg,种植 1 季春小麦和种植 1 季当归后 0—20 cm 层次土壤速效氮含量均为 66.50 mg/kg;0—20 cm 层次土壤速效磷含量为 $\text{LL}>\text{MA}>\text{SW}>\text{ST}>\text{AS}$,休耕 1 季和种植 1 季蒙古黄芪后 0—20 cm 层次土壤速效磷含量分别为 26.10, 24.47 mg/kg,种植 1 季当归后 0—20 cm 层次土壤速效磷含量为 20.90 mg/kg;0—20 cm 层次土壤速效钾含量为 $\text{LL}>\text{MA}>\text{SW}>\text{AS}>\text{ST}$,休耕 1 季后 0—20 cm 层次土壤速效钾含量为 187.00 mg/kg,种植 1 季马铃薯后 0—20 cm 层次土壤速效钾含量为 153.00 mg/kg。方差分析表明,休耕 1 季(LL)后 0—20 cm 层次土壤速效磷和速效钾含量显著高于种植 1 季春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤速效磷和速效钾含量($P<0.05$),种植 1 季蒙古黄芪(MA)后 0—20 cm 层次土壤速效氮、速效磷和速效钾含量也显著高于种植 1 季当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤速效氮、速效磷、速效钾含量($P<0.05$)。

表 1 休耕和种植作物后 0—20 cm 土层土壤有机质和全量养分含量 单位:g/kg

处理	有机质	全氮	全磷	全钾
LL	20.45±1.01a	1.43±0.10a	0.91±0.02a	23.03±1.04a
MA	19.31±0.79ab	1.33±0.08ab	0.91±0.05a	22.93±0.25a
SW	19.09±0.32ab	1.22±0.05bc	0.89±0.03a	22.87±0.29a
ST	18.85±0.80b	1.25±0.05bc	0.87±0.03a	22.37±0.29a
AS	17.94±0.22b	1.19±0.01c	0.89±0.06a	22.70±1.32a

备注:LL 为休耕;MA 为黄芪;SW 为春小麦;ST 为马铃薯,AS 为当归;表中数据为平均值±标准差;同列数据后的不同小写字母表示 $P<0.05$ 的显著水平。下同。

表 2 休耕和种植作物后 0—20 cm 土层土壤速效养分含量 单位:mg/kg

处理	碱解氮	速效磷	速效钾
LL	70.82±0.23ab	26.10±0.82a	187±0.01a
MA	81.30±12.82a	24.47±1.22ab	177±8.66b
SW	66.50±3.70b	23.93±0.90bc	161±3.21c
ST	70.20±7.40ab	22.57±0.99cd	153±2.65c
AS	66.50±0.01b	20.90±0.30d	160±4.04c

2.2 休耕和种植作物对土壤离子含量的影响

2.2.1 休耕和种植作物对土壤离子总量和代换量的影响 由表 3 可知,休耕 1 季(LL)与种植 1 季蒙古黄芪(MA)、春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)、后,0—20 cm 层次的土壤阴阳离子总量为 $\text{LL}>\text{MA}>\text{SW}>\text{ST}>\text{AS}$,休耕 1 季后 0—20 cm 层次土壤阴阳离子总量为 0.87 g/kg,种植 1 季当归后 0—20 cm 层次土壤阴阳离子总量为 0.67 g/kg;0—20 cm 层次土壤阳离子代换量为 $\text{LL}>\text{MA}>\text{ST}>\text{SW}=\text{AS}$,休耕 1

季后 0—20 cm 层次土壤阳离子代换量为 12.17 g/kg,种植 1 季当归后 0—20 cm 层次土壤阳离子代换量分别为 11.90 g/kg。方差分析表明,休耕 1 季(LL)后 0—20 cm 层次土壤阴阳离子总量显著高于种植 1 季蒙古黄芪(MA)后 0—20 cm 层次土壤阴阳离子总量($P<0.05$),且休耕 1 季(LL)与种植 1 季蒙古黄芪(MA)后 0—20 cm 层次土壤阴阳离子总量均显著高于种植 1 季春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤阴阳离子总量($P<0.05$),种植 1 季春小麦(SW)和种植 1 季马铃薯(ST)后 0—20 cm 层次土壤阴阳离子总量也显著高于种植 1 季当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤阴阳离子总量($P<0.05$),但休耕 1 季(LL)、种植 1 季蒙古黄芪(MA)、当归(AS)、春小麦(SW)和马铃薯(ST)后 0—20 cm 层次土壤阳离子代换量彼此差异不显著($P>0.05$)。

表 3 休耕和种植作物后 0—20 cm 土层土壤的离子总量和阳离子代换量

处理	离子总量/ (g·kg ⁻¹)	阳离子代换量/ (cmol·kg ⁻¹)
LL	0.87±0.0015a	12.17±0.4163a
MA	0.82±0.0135b	12.07±0.2517a
SW	0.75±0.0095c	11.90±0.3464a
ST	0.75±0.0160c	12.03±0.3055a
AS	0.67±0.0283d	11.90±0.3464a

2.2.2 休耕和种植作物对土壤阳离子含量的影响
土壤阳离子含量代表土壤结合能的强弱,阳离子含量越高,土壤结合能越强^[18]。由表 4 可知,休耕 1 季(LL)与种植 1 季蒙古黄芪(MA)、春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)后,0—20 cm 层次土壤 Ca²⁺ 含量为 LL>MA>SW>ST>AS,休耕 1 季后 0—20 cm 层次土壤 Ca²⁺ 含量为 0.15 g/kg,较基础值增加了 0.76%,种植 1 季当归后 0—20 cm 层次土壤 Ca²⁺ 含量为 0.14 g/kg,较基础值减少了 6.11%;0—20 cm

表 4 休耕和种植作物后 0—20 cm 土层的土壤阳离子含量

处理	单位:g/kg			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
LL	0.1467±0.0021a	0.0300±0.0010a	0.015±0.0017a	0.0273±0.0035a
MA	0.1433±0.0153a	0.0240±0.0030b	0.014±0.0017ab	0.0247±0.0003ab
SW	0.1400±0.001a	0.0147±0.0006cd	0.012±0.0017ab	0.0240±0.002ab
ST	0.1400±0.002a	0.0163±0.0006c	0.010±0.0001b	0.0220±0.0026b
AS	0.1367±0.0031a	0.0123±0.0006d	0.012±0.0035ab	0.0223±0.0015b

2.2.3 休耕和种植作物对土壤阴离子含量的影响
由表 5 可知,休耕(LL)1 季与种植 1 季蒙古黄芪(MA)、当归(AS)、春小麦(SW)和马铃薯(ST)后,0—20 cm 层次土壤 HCO₃⁻ 含量为 MA>LL>SW>ST>AS,种植 1 季蒙古黄芪(MA)后 0—20 cm 层次土壤 HCO₃⁻ 含量为 0.33 g/kg,较基础值增加了 3.71%;种植 1 季当归后 0—20 cm 层次土壤 HCO₃⁻ 含量为 0.31

层次土壤 Mg²⁺ 含量为 LL>MA>ST>SW>AS,休耕 1 季后 0—20 cm 层次土壤 Mg²⁺ 含量为 0.03 g/kg,较基础值增加了 12.36%,种植 1 季当归后 0—20 cm 层次土壤 Mg²⁺ 含量为 0.01 g/kg,较基础值减少了 53.93%;0—20 cm 层次土壤 K⁺ 含量为 LL>MA>SW>AS>ST,休耕 1 季后 0—20 cm 层次土壤 K⁺ 含量为 0.02 g/kg,较基础值增加了 1.35%,种植 1 季马铃薯后 0—20 cm 层次土壤 K⁺ 含量为 0.01 g/kg,较基础值减少了 32.43%;0—20 cm 层次土壤 Na⁺ 含量为 LL>MA>SW>AS>ST,休耕 1 季后 0—20 cm 层次土壤 Na⁺ 含量为 0.03 g/kg,较基础值增加了 6.64%,种植 1 季马铃薯后 0—20 cm 层次土壤 Na⁺ 含量为 0.02 g/kg,较基础值减少了 14.06%。方差分析表明,休耕 1 季(LL)后 0—20 cm 层次土壤 K⁺、Na⁺、Mg²⁺ 含量显著高于种植 1 季马铃薯(ST)和种植 1 季当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤 K⁺、Na⁺、Mg²⁺ 含量($P<0.05$),而休耕 1 季(LL)后 0—20 cm 层次土壤 Ca²⁺ 含量与种植 1 季蒙古黄芪(MA)、春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤 Ca²⁺ 含量差异不显著($P>0.05$);种植 1 季蒙古黄芪后 0—20 cm 层次土壤 Mg²⁺ 含量虽显著低于休耕 1 季(LL)后 0—20 cm 层次土壤 Mg²⁺ 含量,但却显著高于种植 1 季马铃薯(ST)和种植 1 季当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤 Mg²⁺ 含量($P<0.05$),而种植 1 季蒙古黄芪(MA)后 0—20 cm 层次土壤 K⁺、Na⁺、Ca²⁺ 含量与休耕 1 季(LL)、种植 1 季春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤 Ca²⁺、K⁺ 和 Na⁺ 含量差异不显著($P>0.05$)。休耕 1 季较种植 1 季蒙古黄芪更加有利于增加 0—20 cm 层次土壤 Mg²⁺、K⁺ 和 Na⁺ 含量,种植 1 季蒙古黄芪较种植 1 季马铃薯或种植 1 季当归仅增加了 0—20 cm 层次土壤的 Mg²⁺ 含量^[19]。

g/kg,较基础值减少了 1.36%;0—20 cm 层次土壤 Cl⁻ 含量为 LL>MA>SW>ST>AS,休耕 1 季后 0—20 cm 层次土壤 Cl⁻ 含量为 0.05 g/kg,较基础值增加了 3.95%,种植 1 季当归后 0—20 cm 层次土壤 Cl⁻ 含量为 0.04 g/kg,较基础值减少了 25.78%;0—20 cm 层次土壤 SO₄²⁻ 含量为 LL>MA>ST>SW>AS,休耕 1 季后 0—20 cm 层次土壤 SO₄²⁻ 含量为 0.29

g/kg,较基础值增加了 17.55%,种植 1 季当归后 0—20 cm 层次土壤 SO_4^{2-} 含量为 0.14 g/kg,较基础值减少了 41.22%。方差分析表明,休耕 1 季(LL)后 0—20 cm 层次土壤 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量显著高于种植 1 季蒙古黄芪(MA)、春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)0—20 cm 层次土壤 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量($P<0.05$),种植 1 季蒙古黄芪(MA)后 0—20 cm 层次土壤 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量也显著高于种植 1 季马铃薯(ST)和种植 1 季当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量($P<0.05$),种植 1 季春小麦(SW)后 0—20 cm 层次土壤 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量也显著高于种植 1 季当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量($P<0.05$),但休耕 1 季(LL)、种植 1 季蒙古黄芪(MA)、春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤 HCO_3^- 含量之间差异不显著($P>0.05$)。表明休耕 1 季(LL)较种植 1 季蒙古黄芪(MA)更加有利于增加 0—20 cm 层次土壤的 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量,而休耕 1 季(LL)和种植 1 季蒙古黄芪(MA)、春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)对 0—20 cm 层次土壤 HCO_3^- 含量没有显著影响。

2.3 休耕和种植作物后土壤肥力的主成分回归分析

由表 6 可知,0—20 cm 层次土壤养分主因子

PC_1 由有机质、全氮、速效磷、离子总量、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 和 SO_4^{2-} 组成,初始特征值为 12.41,载荷因子为 0.94 以上,方差贡献率为 77.57%;0—20 cm 层次土壤养分主因子 PC_2 由全磷、全钾和 K^+ 组成,初始特征值为 1.53,载荷因子为 0.50 以上,方差贡献率为 9.53%;0—20 cm 层次土壤养分主因子 PC_3 为综合因子,方差累积贡献率为 95.72%。休耕 1 季(LL)、种植 1 季蒙古黄芪(MA)、春小麦(SW)、马铃薯(ST)和当归(AS)后 0—20 cm 层次土壤养分指标特征向量值综合评价指数为 $\text{LL}>\text{MA}>\text{SW}>\text{ST}>\text{AS}$,休耕 1 季和种植 1 季蒙古黄芪的综合评价指数为 0.98 和 0.56,种植 1 季当归的综合评价指数仅为 0.07。休耕 1 季是黑麻土壤用养结合的简便有效方法,种植 1 季蒙古黄芪是培肥黑麻土壤肥力的适宜作物。

表 5 休耕和种植作物后 0—20 cm 土层土壤阴离子含量
单位:g/kg

处理	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
SW	0.3167±0.0092a	0.0473±0.0015b	0.2000±0.002c
MA	0.3273±0.0092a	0.0473±0.0015b	0.2400±0.010b
ST	0.3147±0.0142a	0.0417±0.0015c	0.2080±0.001c
AS	0.3113±0.0244a	0.0357±0.0009d	0.1440±0.002d
LL	0.3173±0.0081a	0.0500±0.0010a	0.2880±0.002a

表 6 休耕和种植作物后 0—20 cm 土层土壤肥力综合评价指数

营养指标	主成分分析矩阵 a			权重值	综合指数				
	PCA_1	PCA_2	PCA_3		LL	MA	SW	ST	AS
有机质	0.94	0.20	0.25	0.07	0.07	0.04	0.03	0.02	0
全氮 TN	0.96	0.16	0.11	0.07	0.07	0.04	0.01	0.02	0
全磷 TP	0.81	0.57	0.05	0.06	0.06	0.06	0.03	0	0.03
全钾 TK	0.76	0.63	0	0.06	0.06	0.05	0.04	0	0.03
碱解氮 AN	0.55	0.17	0.81	0.04	0.04	0.01	0	0.01	0
速效磷 AP	0.95	0.10	0.12	0.07	0.07	0.05	0.04	0.02	0
速效钾 AK	0.95	0.26	0.01	0.07	0.07	0.05	0.02	0	0.01
离子总量 TI	0.97	0.22	0.10	0.07	0.07	0.05	0.03	0.03	0
阳离子代换量	0.84	0.41	0.03	0.06	0.06	0.04	0	0.03	0
钙离子含量	0.98	0.18	0.07	0.07	0.07	0	0	0	0
镁离子含量	0.97	0.12	0.01	0.07	0.07	0.03	0	0.03	0
钾离子含量	0.87	0.47	0.05	0.06	0.06	0	0	0	0
钠离子含量	0.95	0.21	0.23	0.07	0.07	0	0	0	0
碳酸氢根含量	0.63	0.04	0.74	0.05	0.02	0.05	0.02	0	0
氯离子含量	0.87	0.12	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0	0
硫酸根含量	0.95	0.30	0.09	0.07	0.07	0.05	0.03	0.03	0
主成份初始特征值	12.41	1.53	1.38						
主成份方差贡献率	77.57	9.53	8.61						
主成份累计贡献率	77.57	87.10	95.72						
综合评价指数					0.98	0.56	0.3	0.19	0.07
综合排序					1	2	3	4	5

注:a 表示此矩阵不是正定矩阵。

3 讨论

连作土壤理化性质变劣和化感物质累积、自毒作用加强是作物再植障碍问题的客观原因。春小麦、马铃薯和中药材是甘肃省渭源县黑麻土壤的主栽作物,种植马铃薯、蒙古黄芪和当归的经济效益十分显著,已成为当地脱贫攻坚工程的主导产业。然而,由于适宜马铃薯和中药材栽培的区域狭窄,可供种植的耕地面积非常有限,致使马铃薯和中药材连作现象十分普遍,长期连作对黑麻土壤的全量、速效养分、阴阳离子含量及阳离子代换量产生了很大的影响。

3.1 休耕对土壤肥力的影响

本文在前期工作基础上进一步证实,黄土高原高寒阴湿区的黑麻土壤实施休耕,能够有效保持 0—20 cm 层次土壤的有机质含量,具有养地之功效,这一研究结论与吴祥云等^[19]和徐鹏等^[20]有关固沙林采伐迹地实施休耕对风沙土壤活性有机质和酸性黄壤土壤碳库指数影响的研究结果颇为相似,其原因是黑麻土壤为养分亏缺类型土壤^[21],休耕后不仅没有作物直接对土壤养分进行吸收利用,避免了作物对土壤养分的消耗,而且原来耕种的土地逐渐会自然生长出一些乡土草本植被,这些草被植物生长周期短暂,枯死腐烂分解后可以较早地向土壤归还凋落物,增加或富集土壤活性有机质,增强土壤碳的截存或汇集功能,促进土壤质量向着良性方向发展,是改善黑麻土壤质量的一种简便有效方法,但是有关休耕后乡土草被植物生物量大小、腐烂分解过程、土壤微生物的作用动态和最佳休耕周期有待于进一步研究。

3.2 种植 1 季蒙古黄芪对土壤肥力的影响

蒙古黄芪为双子叶药豆科植物。本研究首次发现,高寒阴湿区种植 1 季蒙古黄芪能够显著增加黑麻土壤 0—20 cm 层次土壤的有机质、全氮、速效磷、速效钾、阴阳离子总量、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量,具有改良黑麻土壤肥力水平,肥田养地之功效。这一研究结果与宇万太等^[22]和秦舒浩等^[23]有关豆科作物夏大豆—春玉米轮作与绿肥作物箭筈豌豆—马铃薯轮作系统保持潮棕土壤或黄绵土壤养分动态平衡,提高春玉米和马铃薯等主栽作物经济产量的结论颇为相似。其原因因为豆科作物如大豆或毛叶苕子是已知高效的肥田养地作物,不仅根系富含具有高效固氮作用的根瘤菌,而且植株残体富含大量营养元素,收获后土壤残体在微生物作用下,一部分营养物质可以直接被下茬作物直接吸收利用,另一部分营养物质则可以分解形成腐殖质,进一步在土壤酶作用下缓慢矿化,不断向下茬作物提供养分。蒙古黄芪虽贵为药豆科

植物,但其根系难以存活具有高效固氮作用的根瘤菌,独特的肥田养地功能有别于同类的豆科作物^[24]。本研究仅发现,种植 1 季黄芪具有改善黑麻土壤肥力水平之功效,未能在种植 1 季蒙古黄芪提高黑麻土壤肥力的机理方面展开深入研究。因此,下一步计划在种植蒙古黄芪提高土壤肥力机制的方向开展相关研究工作。

3.3 种植 1 季春小麦和种植 1 季马铃薯对耕层土壤肥力的影响

黄土高原高寒阴湿区种植 1 季春小麦或马铃薯对 0—20 cm 层次土壤养分的消耗较大,耕作层土壤的有机质、全氮、速效磷、速效钾、阴阳离子总量、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量降低,这一研究结果与李隆等^[25]有关种植春小麦和张文明等^[26]有关栽培马铃薯后灰钙土壤耕作层土壤养分吸收利用特点较为吻合,其原因是春小麦和马铃薯都是浅根类须根系作物,对土壤养分的吸收利用具有空间上的顶层优势,即消耗的土壤养分主要集中于 0—20 cm 耕作层水平,并且整个生长季节内持续不断地从耕作层吸收利用土壤中的营养元素,因而耕作层中的土壤养分消耗损失巨大,含量显著下降。

3.4 种植 1 季当归对土壤肥力的影响

黄土高原高寒阴湿区种植 1 季当归后土壤养分消耗巨大,0—20 cm 层次土壤的有机质、全氮、速效磷、速效钾含量、阴阳离子总量、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量最低,这一研究结果与巩晓芳等^[27]有关种植当归对土壤养分残留固持水平相悖,其原因在于本研究的前茬作物是能够均衡土地力的绿肥作物“陇豌 2 号”,种植当归之前土壤肥力几乎处于同一级别水平,并且种植当归之前施入土壤中的是复合微生物肥料,未再添加任何化学肥料,而巩晓芳等^[27]的试验过程是在翻地之前向土壤中分别施入了复合肥和氮肥,土壤养分固持残留水平较高与施入化学肥料具有很大相关性;另外,由于当归是浅根类须根系发达作物,种植 1 季当归消耗耕作层土壤养分含量最多。因此,0—20 cm 层次土壤的养分含量显著下降是必然趋势。

4 结论

黄土高原高寒阴湿区的黑麻土壤休耕 1 季或种植 1 季蒙古黄芪后,显著增加了 0—20 cm 层次土壤的有机质、全氮、速效磷、速效钾、阴阳离子总量、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量。休耕 1 季是黑麻土壤用养结合的简便有效方法,种植 1 季蒙古黄芪是培肥黑麻土壤肥力的适宜作物。

参考文献:

[1] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J].应用生态学报,2004,15(12):2292-2296.

[2] 艾娜,周建斌,杨学云,等.长期施肥及撂荒对土壤氮素矿化特性及外源硝态氮转化的影响[J].应用生态学报,2008,19(9):1937-1943.

[3] 艾娜,周建斌,杨学云,等.长期施肥及撂荒土壤对不同外源氮素固持及转化的影响[J].中国农业科学,2008,41(12):4109-4118.

[4] 乔文静,戴银月,张伟,等.黄土丘陵区撂荒恢复过程中植物群落组成与土壤养分及酶活性变化的关系[J].环境科学,2018,39(12):5687-5698.

[5] 李小炜,卜耀军.黄土高原撂荒川地植被演替及土壤性质分析[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2018,46(4):83-90.

[6] 孙剑,李军,王美艳,等.黄土高原半干旱偏旱区苜蓿-粮食轮作土壤水分恢复效应[J].农业工程学报,2005,25(6):33-39.

[7] 王美艳,李军,孙剑,等.黄土高原半干旱区苜蓿草地土壤干燥化特征与粮草轮作土壤水分恢复效应[J].生态学报,2009,29(8):4526-4534.

[8] 方新宇,李军,王学春,等.黄土高原半湿润区苜蓿草地土壤干燥化与草粮轮作水分恢复效应[J].中国农业科学,2010,43(16):3348-3356.

[9] 王俊,李凤民,贡宇,等.半干旱黄土区苜蓿草地轮作农田土壤氮、磷和有机质变化[J].应用生态学报,2005,16(3):439-444.

[10] 张鹏鹏,濮晓珍,张旺锋.干旱区绿洲农田不同种植模式和秸秆管理下土壤质量评价[J].应用生态学报,2018,29(3):839-849.

[11] 蔡艳,郝明德.轮作模式与周期对黄土高原旱地小麦产量、养分吸收和土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):864-872.

[12] 谭雪莲,郭天文,马明生,等.马铃薯根系分泌物组分对不同种植模式的响应[J].干旱地区农业研究,2018,36(4):80-87.

[13] 张新慧,张恩和,王永捷,等.不同前茬对当归药材产量及品质的影响[J].中药材,2010,33(11):1678-1680.

[14] 张真,刘学周,包亚军,等.基于生物量、活性物质积累和抗氧化能力的当归种植茬口选择[J].甘肃农业大学学报,2018,53(6):82-89.

[15] 袁洪超,郭凤霞,陈垣,等.高寒区轮作模式对当归田土壤特性及药材产量的影响[J].草业学报,2018,27(10):183-193.

[16] 贾松伟,贺秀斌,陈云明.黄土丘陵区退耕撂荒对土壤有机碳的积累及其活性的影响[J].水土保持学报,2004,18(3):78-80.

[17] 李成保,王玉军,周东美.基于悬液 Wien 效应我国主要土壤与阳离子间能量关系的研究[C]//中国科学院南京土壤研究所土壤和农业可持续发展国家重点实验室.中国土壤学会第十一届全国会员代表大会暨第七届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会论文集(上).北京:中国土壤学会,2008:68-78.

[18] 王永东,冯娜娜,李廷轩,等.不同尺度下低山茶园土壤阳离子交换量空间变异性研究[J].中国农业科学,2007,40(9):1980-1988.

[19] 吴祥云,卢慧,王晓娇.固沙林采伐迹地撂荒后自然恢复的植物多样性、生物量与土壤养分含量的变化[J].生态学杂志,2007,26(7):978-982.

[20] 徐鹏,江长胜,郝庆菊,等.缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响[J].环境科学,2013,34(10):4009-4016.

[21] 崔云玲,郭天文,李娟,等.甘肃高寒阴湿区几种土壤养分限制因子研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(2):58-62.

[22] 宇万太,马强,张璐,等.不同施肥制度下茬口对作物产量增益、土壤养分状况及施肥贡献率的影响[J].生态学杂志,2007,26(11):1798-1803.

[23] 秦舒浩,曹莉,张俊莲,等.轮作豆科植物对马铃薯连作田土壤速效养分及理化性质的影响[J].作物学报,2014,40(8):1452-1458.

[24] 薛智权,唐中伟,李浩,等.山西黄芪根际固氮菌的分离与应用[J].山西农业大学学报(自然科学版),2016,36(7):483-488.

[25] 李隆,杨思存,孙建好,等.春小麦大豆间作条件下作物养分吸收积累动态的研究[J].植物营养与肥料学报,1999,5(2):163-171.

[26] 张文明,邱慧珍,刘星,等.连作对马铃薯根系形态及吸收能力的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(1):34-37.

[27] 巩晓芳,祝英,彭铁楠,等.当归不同生长期根际丛枝真菌分布及土壤养分和酶活性的动态变化[J].微生物学通报,2017,44(11):2596-2605.