

不同覆盖模式对陇中干旱区扁蓿豆草地土壤酶活性的影响

王玉霞¹,刘耀峰^{2,3},鱼小军^{1,2}

(1. 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;2. 定西市黄土高原旱区人工草地建植技术创新中心,甘肃 陇西 748100;3. 陇西县畜牧兽医技术服务中心,甘肃 陇西 748100)

摘要:研究不同覆盖模式对陇中干旱区扁蓿豆(*Medicago ruthenica*)土壤酶活性的影响,以期为该地区扁蓿豆种子生产提供理论依据。于定西市安定区进行了为期3年(2017—2019年)的田间试验,以平作处理为对照,设置垄沟覆膜、地膜平覆、垄沟覆秸、平作覆秸和垄沟5种处理,研究了扁蓿豆草地土壤酶活性的变化特征。结果表明:扁蓿豆生长第2年、第3年垄沟覆秸和平作覆秸处理的土壤脲酶活性、蔗糖酶活性、碱性磷酸酶活性、纤维素酶活性和过氧化氢酶活性均显著高于其他处理。0~10 cm土层,垄沟覆膜、地膜平覆、垄沟覆秸、平作覆秸和垄沟处理与平作处理相比,生长第2年、第3年平均土壤脲酶活性分别提高了24.4%、22.6%、33.9%、26.4%和3.4%;生长第2年、第3年平均土壤纤维素酶活性分别提高了19.2%、4.9%、108.3%、105.0%和0.9%。总体来说,各处理对扁蓿豆生长第2年和第3年草地0~10 cm土层土壤酶活性影响较大,且秸秆覆盖种植的土壤酶活性最高。

关键词:陇中干旱区;土壤酶活性;扁蓿豆

中图分类号:S541.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)01-0102-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2022.01.014



扁蓿豆(*Medicago ruthenica*)是一种多年生优质牧草,在人工草地建植及生态修复等方面起着重要作用,其主要分布于西伯利亚、蒙古以及我国的内蒙古、宁夏、甘肃等地^[1],且扁蓿豆具有抗寒、抗旱、耐瘠薄、适应性广等优良特点,营养价值高,各种家畜均喜采食,是我国北方地区重要的豆科饲草资源。但由于扁蓿豆花期较长、种子成熟期不一致、荚果成熟后极易开裂,严重影响了我国扁蓿豆种子大面积生产。近年来,对于扁蓿豆种子生产的研究报道较少^[2-3]。

土壤为植物根系保温保湿,且为植物生长提供所需的水、肥、气、热,是植物根系生长的基础环境。因

此,良好的土壤环境是植物生长发育的关键因素。土壤酶活性的强弱可以在一定程度上反映土壤养分的转化能力,是生态系统中的催化剂,土壤微生物活动、植物根系分泌物以及动植物残体腐解释放的酶类物质是土壤酶的主要来源,可作为评价土壤肥力的重要指标^[4]。有研究表明地膜覆盖不仅可以提墒保温,还可以激发土壤酶活性,提高土壤养分及利用率,这有利于提高作物产量^[5,9];地表覆盖秸秆有利于提高土壤水分利用率和调节土壤温度,同时秸秆自身富含各种营养元素,可通过自然降雨淋溶作用,增加土壤有机质含量,还可以有效改善土壤结构^[10];而垄沟种植通过改善土壤墒情和延长土壤水分利用有效期,有效促进土壤酶活性,进而有利于提高土壤养分^[11]。陇中是典型的干旱区,常年降水不足且分布不均,土壤肥力较低^[12],在土壤贫瘠的地区利用地表覆盖和起垄沟栽培技术对增强土壤酶活性和改善土壤环境具有重要作用。

收稿日期:2021-01-25; **修回日期:**2021-04-23

基金项目:国家自然科学基金项目(31760695)

作者简介:王玉霞(1993-),女,甘肃甘谷人,硕士研究生。

E-mail:1911340132@qq.com

鱼小军为通讯作者。

E-mail:yuxj@gsau.edu.cn

目前,众多学者针对覆盖种植已做了大量研究,其中覆盖种植对作物的影响的研究主要集中在农艺形态指标、产量及其构成因素和土壤水热状况等的影响^[13-15],陇中干旱地区不同覆盖模式对扁蓊豆种子产量的影响已有报道^[16],但对扁蓊豆草地土壤酶活性的变化状况报道较少。而土壤酶活性的高低可直接或间接反映出表观土壤肥力,土壤酶活性越高,越有利于促进作物生长发育,所以本试验通过分析不同覆盖模式对扁蓊豆草地土壤酶活性的影响,以期为陇中干旱地区以及类似区域扁蓊豆种子的生产提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试原材料扁蓊豆于 2012 年在甘肃宁县采集,2014 年在甘肃省武威市黄羊镇牧草站进行扩繁后收

集用于本试验。

1.2 试验地概况

试验地设在甘肃省定西市安定区凤翔镇安家坡六社(N 35°33′02″~35°35′29″,E 104°38′13″~104°40′25″),海拔 1 900~2 250 m,主要土壤类型为黄绵土,光照充足,年日照时数 2 408.6 h,年均气温 6.3 ℃,≥5 ℃的年均活动积温 2 782.5 ℃,≥10 ℃的年均活动积温 2 239.1 ℃,极端温度为-27.1~34.3 ℃,年均降水量 427 mm,降水分布极不均匀,年平均蒸发量 1 510 mm,年均无霜期 141 d。土壤 pH 值 7.0~8.2。土壤有机质 47.81 g/kg、土壤全氮 1.38 g/kg、土壤全磷 1.10 g/kg、土壤全钾 8.36 g/kg。土壤碱解氮 36.32 mg/kg、土壤速效磷 7.37 mg/kg、土壤速效钾 159.89 mg/kg。2017—2019 年的月平均温度和降水情况如图 1 所示。

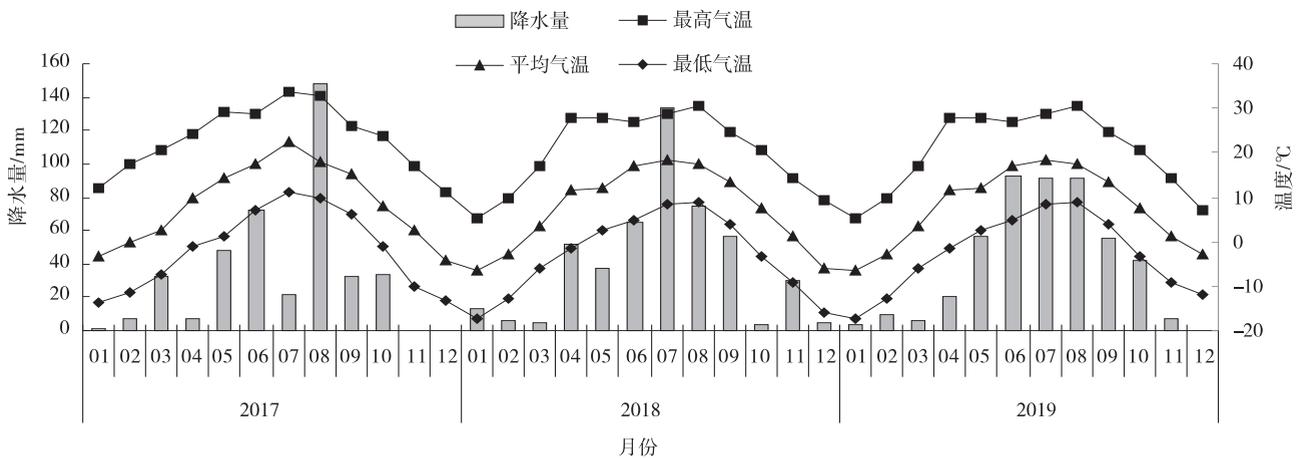


图 1 试验区 2017—2019 年温度和降水情况

Fig. 1 Temperature and rainfall in the research site from 2017 to 2019

1.3 试验设计

本试验以平作为对照,设置垄沟覆膜、地膜平覆、垄沟覆秸、平作覆秸和垄沟 5 个处理(选用幅宽 1.2 m、厚度为 0.008 mm 的白色地膜,秸秆选用长 20 cm 的燕麦秸秆,覆盖量为 4 500 kg/hm²)(图 2)。垄为集雨区,沟为种植区,垄宽 30 cm,垄高 10 cm,垄坡 45°,于 2017 年 5 月 2 日播种,每个小区面积 2 m×5 m,小区间隔 0.5 m,重复 3 次,随机区组排列。试验均为穴播,每穴播种 5~10 粒,播种深度 2~3 cm,株距 10 cm,行距 30 cm,出苗后酌情补苗和减苗,确保每穴植株成活 3~5 株。播种前,种子用 98% 浓硫酸浸泡 15 min 后,用大量流水冲洗干净。

1.4 测定指标及方法

于扁蓊豆生长第 2 年、第 3 年(2018、2019 年)的 10 月上旬在各小区用直径为 3.5 cm 的土钻取样,分别采集 0~10、10~20、20~30 和 30~40 cm 土层土样,小区内采用 S 形 5 点取样法,每个样方每层土样混合为一个重复。挑出土样中石块和植物根系后装入自封袋,带回实验室,每个样品经过自然阴干后分别过 0.25 mm 和 1 mm 筛,用于测定土壤酶活性。

土壤脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法;蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法;纤维素酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法;碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法。

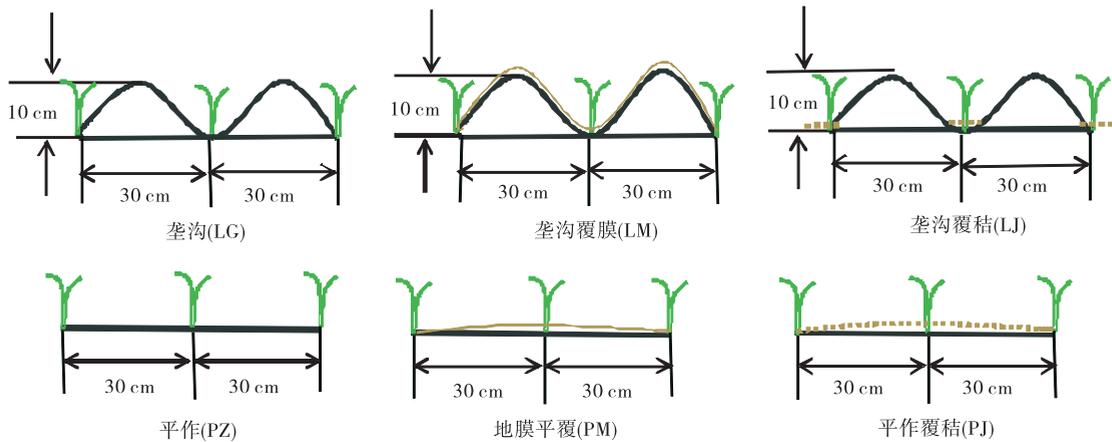


图2 扁蓊豆种植示意图

Fig. 2 Schematic diagram of *M. ruthenica* planting

试验过程中,为排除土样中原有物质对试验结果造成影响并使试验结果精准可靠,对每种土壤酶活性设置无基质对照,整个试验设置无土对照,每个土样重复3次^[17-18]。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 进行各指标数据整理和制图,文中数据均用“平均值±标准误”表示;利用 SPSS version 22 中 Compare Means 对不同覆盖模式下扁蓊豆各指标进行单因素方差分析,采用 GLM 分析扁蓊豆种植年份和不同处理以及二者的交互作用对土壤酶活性的影响,差异显著性($P < 0.05$)采用 Duncan 法进行。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖模式对土壤脲酶活性的影响

F 检验表明(表 1),年份对 0~10 cm 土层土壤脲酶活性的影响达到显著水平($P < 0.05$),对其他土层均无显著影响。处理对 0~10 cm 土层土壤脲酶活性达到极显著水平($P < 0.01$),对其他土层均无显著影响。年份和处理二者交互作用对各土层土壤脲酶活性均无显著影响($P > 0.05$)。

2018、2019 年(扁蓊豆生长第 2 年、第 3 年,下同),各土层不同处理间土壤脲酶活性均表现为:垄沟覆秸>平作覆秸>垄沟覆膜>地膜平覆>垄沟>平作处理,且土层越深土壤脲酶活性越弱。0~10 cm 土层,土壤脲酶活性在覆盖地膜和秸秆处理下均显著高于垄沟和平作处理($P < 0.05$)。10~30 cm 土

层,不同处理间土壤脲酶活性差异均不显著($P > 0.05$)(图 3)。

表 1 两个生长年份和覆盖模式交互作用下土壤脲酶活性的方差分析

Table 1 Analysis of variance (F value) for soil urease activity under the interaction of two growing years and treatments

变异来源	DF	F 值		
		0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
年份	1	6.266*	0.457	1.176
覆盖模式	5	16.857**	0.904	1.676
年份×覆盖模式	5	0.130	0.024	0.205

注:**表示在 0.01 水平上差异显著,*表示在 0.05 水平上差异显著。下同

2018 年 0~10 cm 土层,垄沟覆秸、平作覆秸、垄沟覆膜、地膜平覆和垄沟处理平作处理相比,土壤脲酶活性分别增加了 22.8%、21.1%、14.0%、14.0%、3.5%。

2019 年 0~10 cm 土层,垄沟覆秸、平作覆秸、垄沟覆膜、地膜平覆和垄沟处理与平作处理相比,土壤脲酶活性分别增加 21.1%、20.4%、17.1%、14.3%、4.8%。

2.2 不同覆盖模式对土壤蔗糖酶活性的影响

F 检验表明(表 2),年份对各土层土壤蔗糖酶活性均无显著影响($P > 0.05$)。各处理对 0~10、10~20 cm 土层土壤蔗糖酶活性均达到极显著水平($P < 0.01$)。年份和处理二者交互作用对各土层土壤蔗糖酶活性均无显著影响($P > 0.05$)。

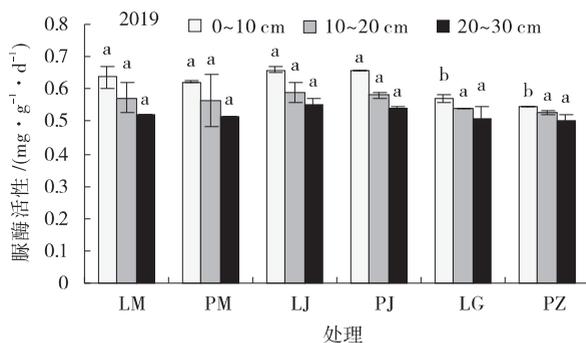
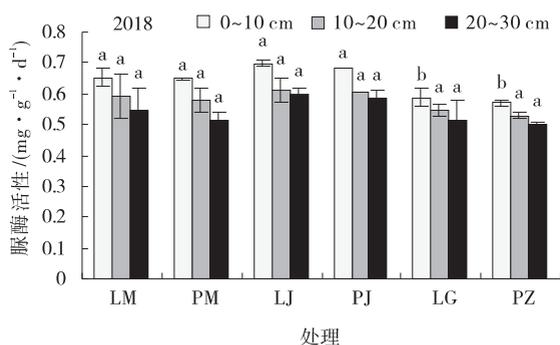


图 3 覆盖模式下扁蓿豆草地土壤脲酶活性

Fig. 3 Effects of mulching patterns on soil urease activity of *M. ruthenica* grassland

表 2 两个生长年份和覆盖模式交互作用下土壤蔗糖酶活性的方差分析

Table 2 Analysis of variance (F value) for soil sucrase activity under the interaction of two growing years and treatments

变异来源	DF	F 值		
		0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
年份	1	0.137	2.238	0.005
覆盖模式	5	184.613**	7.881**	2.487
年份×覆盖模式	5	0.003	0.790	0.002

2018、2019 年,各土层不同处理间土壤脲酶活性均表现为:垄沟覆秸>平作覆秸>垄沟覆膜>地膜平

覆>垄沟>平作处理,且土层越深土壤脲酶活性越弱。0~10 cm 土层,土壤脲酶活性在覆盖地膜和秸秆处理下均显著高于垄沟和平作处理($P<0.05$)。10~30 cm 土层,不同处理间土壤脲酶活性差异均不显著($P>0.05$)(图 4)。

2018 年 0~10 cm 土层,垄沟覆秸、平作覆秸、垄沟覆膜、地膜平覆和垄沟处理下平作处理相比,土壤脲酶活性分别增加 22.8%、21.1%、14.0%、14.0%、3.5%。

2019 年 0~10 cm 土层,垄沟覆秸、平作覆秸、垄沟覆膜、地膜平覆和垄沟与平作处理相比,土壤脲酶活性分别增加 21.1%、20.4%、17.1%、14.3%、4.8%。

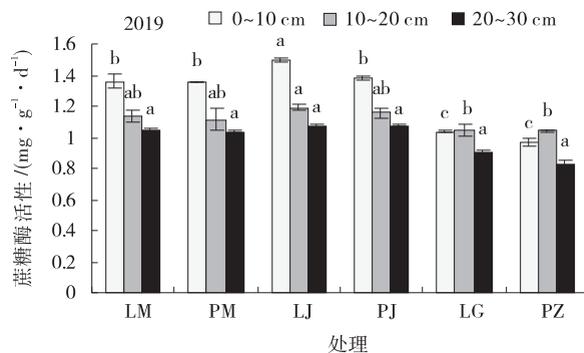
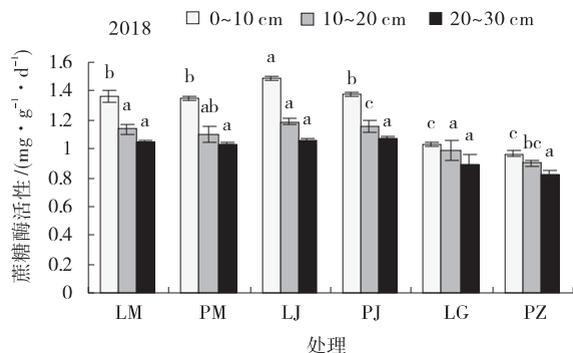


图 4 覆盖模式下扁蓿豆草地土壤蔗糖酶活性

Fig. 4 Effects of mulching patterns on soil sucrase activity of *M. ruthenica* grassland

2.3 不同覆盖模式对土壤碱性磷酸酶活性的影响

F 检验表明(表 3),年份对各土层土壤碱性磷酸酶活性均无显著影响,各处理对 0~10 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性达到极显著水平($P<0.01$),对其他土层土壤碱性磷酸酶活性均无显著影响。年份和处理二者交互作用对各土层土壤碱性磷酸酶活性均无显著影响($P>0.05$)。

2018、2019 年各土层土壤碱性磷酸酶活性均表现为:垄沟覆秸>平作覆秸>垄沟覆膜>地膜平覆>垄

表 3 两个生长年份和覆盖模式交互作用下土壤碱性磷酸酶活性的方差分析

Table 3 Analysis of variance (F value) for soil alkaline phosphatase activity under the interaction of two growing years and treatments

变异来源	DF	F 值		
		0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
年份	1	0.966	0.854	0.489
覆盖模式	5	11.063**	1.351	1.435
年份×覆盖模式	5	0.002	0.033	0.041

沟>平作处理,且各处理土壤碱性磷酸酶活性在2018年略高于2019年。

0~10 cm 土层,垄沟覆秸和平作覆秸处理的土壤碱性磷酸酶活性均显著高于垄沟和平作处理,垄沟覆

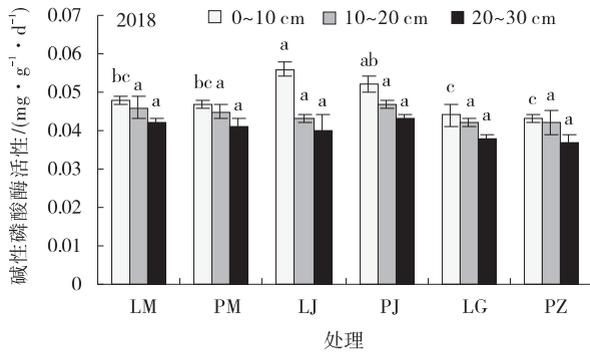


图5 覆盖模式下扁蓿豆草地土壤碱性磷酸酶活性

Fig. 5 Effects of mulching patterns on soil alkaline phosphatase activity of *M. ruthenica* grassland

2.4 不同覆盖模式对土壤纤维素酶活性的影响

F 检验表明(表4),年份对各土层土壤纤维素酶活性均无显著影响,覆盖模式对0~10 cm 土层土壤纤维素酶活性达到极显著水平($P < 0.01$)。不同覆盖模式对10~20 cm 土层土壤纤维素酶活性达到显著水平($P < 0.05$),年份和覆盖模式二者交互作用对各土层土壤纤维素酶活性均无显著影响($P > 0.05$)。

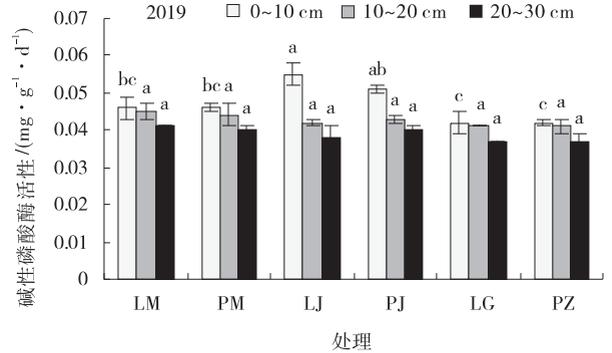
表4 两个生长年份和覆盖模式交互作用下土壤纤维素酶活性的方差分析

Table 4 Analysis of variance (*F* value) for soil cellulase activity under the interaction of two growing years and treatments

变异来源	DF	<i>F</i> 值		
		0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
年份	1	0.071	0.058	0.0571
覆盖模式	5	39.637**	3.216*	1.747
年份×覆盖模式	5	0.001	0.003	0.003

秸处理的土壤碱性磷酸酶活性显著高于垄沟覆膜和地膜平覆处理($P < 0.05$)(图5)。

10~20、20~30 cm 土层,不同覆盖模式间土壤碱性磷酸酶活性差异均不显著($P > 0.05$)。



2018、2019 年各土层土壤纤维素酶活性均表现为:垄沟覆秸>平作覆秸>垄沟覆膜>地膜平覆>垄沟>平作处理。土层深度越深,各覆盖模式对土壤纤维素酶活性的影响越小(图6)。

2018、2019 年0~10 cm 土层,垄沟覆秸和平作覆秸处理的土壤纤维素酶活性均显著高于其他处理($P < 0.05$);10~20 cm 土层,垄沟覆秸处理的土壤纤维素酶活性显著高于平作处理($P < 0.05$),其他不同处理间土壤纤维素酶活性均无显著性差异;20~30 cm 土层不同处理间土壤纤维素酶活性差异均不显著($P > 0.05$)。

0~10 cm 土层,垄沟覆秸、平作覆秸、垄沟覆膜、地膜平覆和垄沟处理与平作处理相比,2018 年土壤纤维素酶活性分别增高 106.5%、102.6%、18.2%、3.9%、0; 2019 年土壤纤维素酶活性分别增高 109.3%、106.7%、20.0%、5.3%、1.3%。

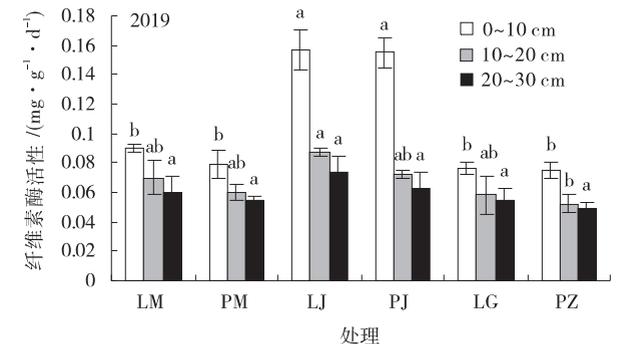
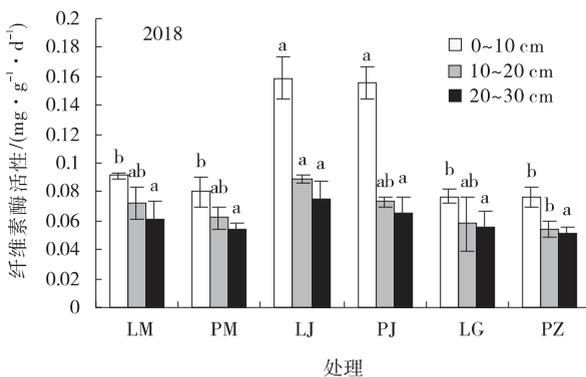


图6 覆盖模式下扁蓿豆草地土壤纤维素酶活性

Fig. 6 Effects of mulching patterns on soil cellulase activity of *M. ruthenica* grassland

2.5 不同覆盖模式对土壤过氧化氢酶活性的影响

F 检验表明(表 5),年份对各土层土壤过氧化氢酶活性均无显著影响。各覆盖模式对 0~10 cm 土层土壤过氧化氢酶活性达到极显著水平($P < 0.01$),对其他土层土壤过氧化氢酶活性均无显著影响。年份和覆盖模式二者交互作用对各土层土壤过氧化氢酶活性均无显著影响($P > 0.05$)。

2018 年不同覆盖模式下土壤过氧化氢酶活性变化趋势与 2019 年基本相同(图 7),2018、2019 年土壤过氧化氢酶活性均表现为:垄沟覆秸 > 平作覆秸 > 垄沟覆膜 > 地膜平覆 > 垄沟 > 平作处理。10~20、20~30 cm 土层,不同覆盖模式间土壤过氧化氢酶活性均无显著性差异($P > 0.05$)。

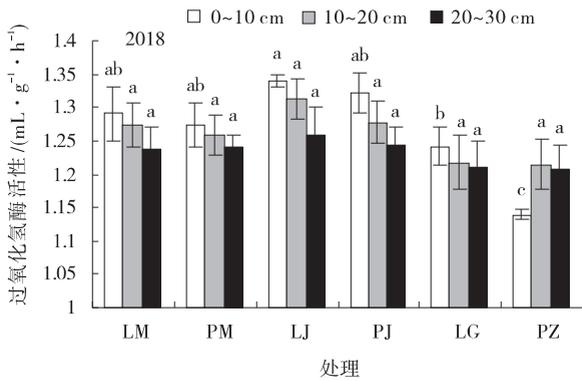


图 7 覆盖模式下扁蓿豆草地土壤过氧化氢酶活性

Fig. 7 Effects of mulching patterns on soil catalase activity of *M. ruthenica* grassland

2.6 不同覆盖模式下连续 2 年扁蓿豆种子产量及土壤酶活性相关性分析

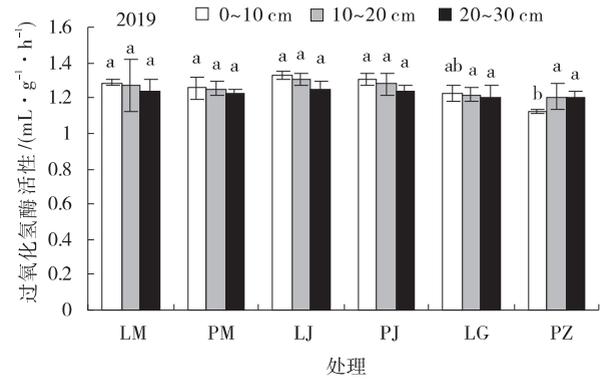
不同覆盖模式下,土壤脲酶活性、蔗糖酶活性、碱性磷酸酶活性、纤维素酶活性、过氧化氢酶活性与扁蓿豆种子产量均极显著正相关($P < 0.01$),相关系数分别为 0.952、0.953、0.944、0.909 和 0.737,其中土壤脲酶和蔗糖酶活性与种子产量相关性最高。同时,土壤脲酶活性与蔗糖酶活性、碱性磷酸酶活性、纤维素酶

表 5 两个生长年份和覆盖模式交互作用下土壤过氧化氢酶活性的方差分析

Table 5 Analysis of variance (*F* value) for soil catalase activities under the interaction of two growing years and treatments

变异来源	DF	<i>F</i> 值		
		0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
年份	1	0.696	0.017	0.103
覆盖模式	5	9.958**	0.725	0.318
年份×覆盖模式	5	0.009	0.003	0.006

2018 年 0~10 cm 土层,垄沟覆秸处理的土壤过氧化氢酶活性显著高于平作处理($P < 0.05$),与其他处理间差异不显著($P > 0.05$)。2019 年 0~10 cm 土层土壤过氧化氢酶活性,垄沟覆膜、地膜平覆、垄沟覆秸和平作覆秸处理均显著高于平作处理($P < 0.05$)。



活性、过氧化氢酶活性达极显著正相关,相关系数分别为 0.966、0.978、0.922 和 0.748;土壤蔗糖酶活性与碱性磷酸酶活性、纤维素酶活性和过氧化氢酶活性极显著正相关,相关系数分别为 0.931、0.898 和 0.769;土壤碱性磷酸酶活性与纤维素酶和过氧化氢酶活性均达极显著正相关,相关系数分别是 0.936 和 0.725;土壤碱性磷酸酶与过氧化氢酶活性达到极显著正相关($P < 0.01$)(表 6)。

表 6 不同覆盖模式下生长第 2 年和第 3 年扁蓿豆种子产量及土壤酶活性相关性分析

Table 6 Correlation analysis of seed yield and soil enzyme activity of *M. ruthenica* in the second and third years of growth under different planting methods

	脲酶活性	蔗糖酶活性	碱性磷酸酶活性	纤维素酶活性	过氧化氢酶活性	种子产量
脲酶活性	1					
蔗糖酶活性	0.966**	1				
碱性磷酸酶活性	0.978**	0.931**	1			
纤维素酶活性	0.922**	0.898**	0.936**	1		
过氧化氢酶活性	0.748**	0.769**	0.725**	0.728**	1	
种子产量	0.952**	0.953**	0.944**	0.909**	0.737**	1

3 讨论

土壤酶是维持土壤肥力的潜在指标,其活性的高低可间接反映出表观土壤肥力,土壤酶活性越强土壤肥力越高,起垄覆膜有助于提高土壤酶活性^[19]。有研究表明,地表覆盖地膜和秸秆种植的土壤含水量显著高于无覆盖处理,且覆盖种植土壤酶活性和扁蓊豆种子产量及构成因素均显著高于垄沟和平作处理^[16],这是由于覆盖栽培可以改善土壤水热环境,适宜的土壤环境有利于提高土壤酶活性,进而促进土壤养分循环和转化速率,对提高扁蓊豆种子产量有积极作用^[20-21]。这也说明地膜和秸秆覆盖种植均有利于提高土壤酶活性,尤其以秸秆覆盖种植下土壤酶活性最强。

本研究结果表明,土壤碱性磷酸酶、纤维素和过氧化氢酶在垄沟覆秸和平作覆秸处理下其活性均最大,且不同处理对0~10 cm土层酶活性影响效果最明显,酶活性最强,说明地表覆盖秸秆有利于提高土壤酶活性^[22]。地表秸秆覆盖和垄沟种植后,浅层土壤水热环境得以改善,秸秆腐烂分解速度加快,进而增加了土壤有机质含量,使得原来土壤中碳氮比得以改变,增强了酶促反应,且土壤酶活性相应增强,有利于促进扁蓊豆生长和种子产量提高^[21,23-24]。本研究发现,地膜覆盖处理对土壤碱性磷酸酶、纤维素酶和过氧化氢酶活性的影响较小,这与陈和平等^[25]研究结果相反,可能原因是土壤酶活性受土壤管理影响外,还与扁蓊豆地下根系分泌物、土壤微生物活动及气候条件有关。本研究中土壤酶活性表现为扁蓊豆生长第2年高于生长第3年,但各种酶活性在不同处理下2年变化趋势基本一致,这可能是因为扁蓊豆土壤理化性质及气候发生改变,且随着扁蓊豆的生长发育使得土壤养分减少以及土壤微生物活动减缓,从而导致土壤酶活性减弱^[26]。

本研究中,不同覆盖模式下5种土壤酶活性在垂直空间内有相似的变化规律,即随着土壤深度的增加,土壤酶活性总体呈现递减趋势,这可能是因为农耕地土壤肥力较差,微生物只能通过分解土壤表层扁蓊豆的枯落物使其生长繁殖,但随着土层深度增加,土壤水分、温度及养分限制了土壤生物的生存,且土壤微生物也相应减少,使得土壤表层酶活性强于土壤深层^[27-30]。同时,由于植物(扁蓊豆)根系主要分布于土

壤表层,植物根系越多酶类物质分泌也相应增加,从而增强了表层土壤酶活性^[31]。土壤酶活性的变化比较复杂,枯落物分解程度、植物根系分泌物、土壤温度、湿度及不同栽培方式等均对土壤酶活性造成不同程度的影响,且对每一种酶的具体影响因素也有所不同^[32]。本研究中,秸秆和地膜覆盖处理的5种土壤活性均显著高于无覆盖处理,且随着土壤深度加深酶活性逐渐变弱,这可能因为地表覆盖作物秸秆和地膜处理,改变了土壤水分和温度,为土壤中各种生物化学反应过程创造了良好环境,在一定程度上激发了酶活性,进而促进扁蓊豆生长^[33-34]。地表覆盖地膜有利于增墒保温,但雨季时地膜覆盖不利于降水入渗,从而导致土壤含水量降低使得土壤尿素浓度增加,进而土壤脲酶活性增强。而秸秆覆盖和垄沟处理由于其保墒和调温的作用,以及秸秆本身腐烂分解产生的有机物颗粒,有利于增强土壤脲酶活性^[35-36],这充分说明地表覆盖可以有效增强土壤脲酶活性。总体而言,在陇中干旱地区短期内采用地膜和秸秆覆盖种植有利于增强土壤酶活性,尤其以秸秆覆盖种植土壤酶活性最高,越有利于提高土壤肥力和扁蓊豆种子产量。

4 结论

地表覆盖种植对土壤酶活性产生了不同程度的影响,土壤酶活性总体表现为:秸秆覆盖>地膜覆盖>无覆盖处理,且随着土层深度的增加,土壤酶活性呈逐渐减小趋势。不同覆盖模式下土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、纤维素酶、过氧化氢酶活性在生长第2年均高于生长第3年。垄沟覆秸和平作覆秸处理下土壤蔗糖酶和纤维素酶活性最高,秸秆覆盖种植可显著增强土壤蔗糖酶和纤维素酶活性。各覆盖模式的土壤酶活性均在0~10 cm土层最强,土壤肥力也相应较高,因此在陇中干旱地区,采用秸秆覆盖种植更有利于增强土壤酶活性。

参考文献:

- [1] 李鸿雁,李志勇,辛霞,等.野生扁蓊豆种质资源 AFLP 遗传多样性的分析[J].植物遗传资源学报,2016,17(1):78-83.
- [2] 李海贤,石凤翎,王明君,等.扁蓊豆种子产量构成因子的分析[J].种子,2006,25(12):1-7.
- [3] 李海贤,石凤翎.我国扁蓊豆种子生产研究现状及提高产量的途径[J].草原与草坪,2006,26(3):14-16.

- [4] 王理德,王方琳,郭春秀,等.土壤酶学研究进展[J].土壤,2016,48(1):12-21.
- [5] 于亚军,张浩,张子豪,等.渭北旱塬不同覆膜农田土壤微生物群落和酶活性的差异[J].农业环境科学学报,2020,39(11):2578-2586.
- [6] 李世朋,蔡祖聪,杨浩,等.长期定位施肥与地膜覆盖对土壤肥力和生物学性质的影响[J].生态学报,2009,29(5):2489-2498.
- [7] 徐锴,张少瑜,袁继存,等.地膜和秸秆覆盖对梨园土壤养分的影响[J].浙江农业学报,2017,29(3):421-427.
- [8] Oelbermann M, Voroney R P, Schlnvoigt A M, *et al.* Decomposition of Erythrinapoeppigianaleaves in 3-, 9-, and 18-year-old alley cropping systems in Costa Rica [J]. *Agroforestry Systems*, 2004, 63: 27-32.
- [9] Sommer R, Vlek P L G, DE Abreu S T D, *et al.* Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon evidence for subsoil nutrient accumulation[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2004, 68: 257-271.
- [10] 梅四卫,朱涵珍,王术,等.不同覆盖方式对土壤水肥热状况以及玉米产量影响[J].灌溉排水学报,2020,39(4):68-73.
- [11] 马育军,李小雁,伊万娟,等.沟垄集雨结合砾石覆盖对沙棘生长的影响[J].农业工程学报,2010,26(S2):188-194.
- [12] 王根旺,宋曦.陇东黄土高原地区杏园土壤综合肥力对人工生草模式的响应及其环境解释[J].干旱地区农业研究,2018,36(4):29-39.
- [13] 邓浩亮,张恒嘉,肖让,等.陇中半干旱区不同覆盖种植方式对土壤水热效应和玉米产量的影响[J].中国农业科学,2020,53(2):273-287.
- [14] 谢成俊,王平,陈娟.不同覆盖方式对农田土壤水热状况及马铃薯产量的影响[J].土壤通报,2019,50(5):1151-1158.
- [15] 常磊,韩凡香,柴雨葳,等.秸秆带状覆盖对半干旱雨养区冬小麦耗水特征和产量的影响[J].应用生态学报,2019,30(12):4150-4158.
- [16] 王玉霞,柴锦隆,周洋洋,等.种植方式对陇中干旱区扁蓿豆种子产量及构成因素的影响[J].草业学报,2021,20(8):1-14.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室.土壤物理性质测定方法[M],北京:科学出版社,1978:140-148.
- [18] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [19] 宋婷婷,刘斌,寇燕燕,等.起垄覆膜方式对旱作马铃薯栽培土壤酶活性的影响[J].甘肃农业科技,2019(4):52-56.
- [20] 赵德英.梨园树盘覆盖的土壤生态效应及树体生理响应研究[D].北京:中国农业科学院,2013:8-68.
- [21] 罗玲,钟奇,刘伟,等.地面覆盖对避雨葡萄园土壤水分、温度及酶活性的影响[J].核农学报,2020,34(12):2839-2849.
- [22] 徐凌飞,韩清芳,吴中营,等.清耕和生草梨园土壤酶活性的空间变化[J].中国农业科学,2010,43(23):4977-4982.
- [23] 王艳.养分管理与耕作措施对旱地土壤碳消长过程影响的研究[D].北京:中国农业科学院,2008:8-22.
- [24] 张登奎,王琦.垄沟集雨覆盖种植对土壤水分特征及红豆草生长特性的影响[J].草原与草坪,2019,39(3):26-34.
- [25] 陈和平,窦俊焕,郭天顺,等.甘肃中部高寒区覆盖栽培对马铃薯土壤酶活性及产量变化影响[J].中国马铃薯,2019,33(1):21-27.
- [26] 韩国君,何明珠,黄海霞,等.黄土高原不同种植年限苜蓿地土壤酶活性的季节性变化研究[J].草原与草坪,2018,38(5):59-64.
- [27] 崔雯雯,宋全昊,高小丽,等.糜子不同种植方式对土壤酶活性及养分的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(1):234-240.
- [28] Taylor J P, Wilson B, Mills M S, *et al.* Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34(3): 387-401.
- [29] 王理德,姚拓,王方琳,等.石羊河下游退耕地土壤微生物变化及土壤酶活性[J].生态学报,2016,36(15):4769-4779.
- [30] Sillen W M A, Thijs S, Abbamondi G R, *et al.* Effects of silver nanoparticles on soil microorganisms and maize biomass are linked in the rhizosphere[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2015, 91(12): 14-22.
- [31] 宁沐蕾,高唤唤,黄天颖,等.崇明岛土地利用方式对土壤酶活性的影响[J].生态学报,2017,36(7):1949-1956.
- [32] 关松荫,沈桂琴,孟昭鹏,等.我国主要土壤剖面酶活性状况[J].土壤学报,1984,21(4):368-381.
- [33] 罗影,王立光,陈军,等.不同种植模式对甘肃中部高寒区胡麻田土壤酶活性及土壤养分的影响[J].核农学报,2017,31(6):1185-1191.

- [34] 孙建,刘苗,李立军,等. 免耕与留茬对土壤微生物量 C、N 及酶活性的影响[J]. 生态学报,2009,29(10):5508—5513.
- [35] Luo Y J,Wang Z F,Gao M,*et al.* Effects of conservation tillage on organic carbon,nitrogen and enzyme activities in a hydricragicanthrosol of Chongqing,China[J]. Energy Procedia,2011,5:30—36.
- [36] 张英英,蔡立群,武均,等. 不同耕作措施下陇中黄土高原旱作农田土壤活性有机碳组分及其与酶活性间的关系[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(1):1—7.

Effects of different mulching patterns on soil enzyme activities of *Medicago ruthenica* grassland in arid area of central Gansu

WANG Yu-xia¹, LIU Yao-feng^{2,3}, YU Xiao-jun^{1,2}

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University / Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education/Sino-U. S. Center for Grassland Ecosystem Sustainability / Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Lanzhou 730070, China; 2. Technology Innovation Center for Artificial Grassland Planting in Arid Areas of the Loess Plateau, Ding-xi City, Long-xi 748100, China; 3. Longxi County Animal Husbandry and Veterinary Technical Service Center, Longxi 748100, China)

Abstract: The aim of this research was to understand the effects of different planting methods on soil enzyme activities of *Medicago ruthenica* to provide a theoretical basis for the production of *M. ruthenica* in the arid area of central Gansu. A three-year (2017—2019) field experiment was conducted in Anding District of Xishi City. The experiments included: parallel to the ground treatment as the control, film mulching on ridge and furrow, film mulching parallel to the ground, film straw on ridge and furrow, film straw parallel to the ground, ridge and furrow, in total of six treatments. The soil enzyme activity was characterized under each mulching condition. The results showed that the activities of urease, sucrase, alkaline phosphatase, cellulase and catalase in the second and third years of *M. ruthenica* growth were significantly higher with the film straw on ridge and furrow and film straw parallel to the ground than those with other mulching treatments. In the 0~10 cm soil layer, compared to the parallel to the ground control treatment, with film mulching on ridge and furrow, film mulching parallel to the ground, film straw on ridge and furrow, film straw parallel to the ground and ridge and furrow with parallel to the ground treatment, the average soil urease activity in the second and third year increased by 24.4%, 22.6%, 33.9%, 26.4% and 3.4%, respectively. The average soil cellulase activity in the second and third years of growth increased by 19.2%, 4.9%, 108.3%, 105.0% and 0.9% respectively. In general, each treatment had a greater impact on the soil enzyme activity in the 0~10 cm soil layer of *M. ruthenica* grassland in the second and third years, and the soil enzyme activity with the straw mulch planting was the highest.

Key words: arid area in central Gansu; soil enzyme activity; *Medicago ruthenica*