

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

蔺芳^{1,2}, 刘晓静¹, 张家洋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. 新乡学院 生命科学技术学院, 河南 新乡 453003)

摘要:通过豫北地区连续6年定位试验,以沙化裸地为对照,研究了紫花苜蓿单播、多年生黑麦草单播、紫花苜蓿与多年生黑麦草混播3种植植模式下土壤碳、氮含量和相关土壤酶活性,并分析了其间的相互关系。结果表明:与沙化裸地相比,0~40 cm土层3种植植模式下土壤碳、氮含量均不同程度地增加。其中,土壤有机碳含量表现为紫花苜蓿与多年生黑麦草混播模式下最高,为9.17 g/kg;土壤全氮和碱解氮含量表现为紫花苜蓿/多年生黑麦草混播和紫花苜蓿单播模式下最高,且二者之间无显著性差异($P>0.05$);紫花苜蓿/多年生黑麦草混播模式下土壤脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、淀粉酶和纤维素酶活性最高,分别比沙化裸地增加266.80%、87.79%、49.96%、433.26%和232.38%;相关性分析表明,土壤有机碳分别与蔗糖酶和淀粉酶呈极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)正相关,土壤碱解氮与脲酶呈显著正相关($P<0.05$)。因此,试验中蔗糖酶、淀粉酶和脲酶可表征土壤碳、氮特征。由此认为,相对于沙化裸地,豫北地区经6年人工草地建植,土壤碳、氮含量以及相关土壤酶活性有效提高,以紫花苜蓿/多年生黑麦草混播为最佳的种植模式。

关键词:紫花苜蓿;多年生黑麦草;有机碳;全氮;碱解氮

中图分类号:S54 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)03-0043-07

土壤有机碳和全氮作为综合评价土壤质量或肥力的重要指标,是植物所需碳、氮的重要“源”或“库”,不仅影响着作物产量,还在整个土壤生态系统中占有重要地位^[1-2]。土壤酶是生态系统功能的基础,在土壤生态系统的物质循环和能量流动方面扮演着重要角色,可作为评价土壤质量的生物指标^[3]。其中,蔗糖酶,淀粉酶和纤维素酶是参与土壤碳转化最重要的酶,

其活性高低可表征土壤生物化学过程的方向和强度^[4]。脲酶和蛋白酶是参与土壤氮转化的关键酶,其酶促反应产物氮是植物氮源之一,其活性可以用来表征土壤氮素状况^[5]。土壤系统中,一切复杂的生物化学过程都是在土壤酶的参与下进行,土壤酶的活性反映了土壤生物化学过程的相对强度,也是判别土壤肥力与土壤质量的重要指标之一^[5]。对土壤碳、氮含量和酶活性的监测已引起了研究者的格外关注^[4-6]。

人工草地建设是保障我国粮食安全和生态安全的重要措施^[7]。目前,人工草地播种方式包括单播和混播2种形式^[8],其中豆科+禾本科混播草地是提高草地生产力的基本方法,研究表明,紫花苜蓿(*Medicago sativa*)与禾本科牧草混播是理想组合^[9]。紫花苜蓿作为现代畜牧业生产中重要的植物性蛋白饲草被誉为“牧草之王”^[10],是我国人工草地种植面积最大的豆科牧草。另外,紫花苜蓿的根瘤由于能够固定空气中的游离态氮,因而可以增加土壤有机质与氮素的含量。多年生黑麦草(*Lolium perenne*)是禾本科高产牧草,

收稿日期:2019-03-10; 修回日期:2019-03-24

基金项目:甘肃省草原技术推广总站项目(XMXZG-SNDXY201802);甘肃省现代农业产业技术体系-草食畜产业体系(GARS-CS-3);甘肃农业大学科技创新基金(GSAU-XKJS-2018-008)资助

作者简介:蔺芳(1983-),女,河南新乡人,在读博士。

E-mail:fanglin2035@126.com

刘晓静为通讯作者。

E-mail:liuxj@gsau.edu.cn

适口性好,消化率高^[11],并具有一年建植多年受益的优点,是豫北平原的战略保障饲草之一。近年来,许多学者对土壤碳、氮含量和酶活性开展了广泛研究,但大多数的研究对象是林地或农田土壤^[12-13],且多集中于不同母质^[14-15]、施肥模式^[16-17]和施肥量^[18]等,而对不同种植模式草地土壤碳、氮含量和酶活性的研究较少。为此,研究探讨了豫北地区紫花苜蓿与多年生黑麦草不同种植模式对土壤碳、氮含量和酶活性的影响,以及它们之间的相互关系,旨在为该地区人工草地建植及土壤环境改善提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验地位于河南省新乡市红旗区原堤村,地理位置 N 35°16'12",E 113°58'12",地处豫北地区,北临余河通道,南临黄河,属黄河冲积平原,由于黄河多年的频繁泛滥改道,地表多含有一定比例的主流沉沙,因而土壤沙化较为严重^[19-20]。该地区属暖温带大陆性季风气候,年平均气温 14.2℃,年均日照时数 2 400 h,年平均相对湿度 68.0%,无霜期 220 d。年平均降水量 573.4 mm,年际间降雨分配不均,主要集中在 7~8 月。供试土壤类别为砂壤土,全氮 0.88 g/kg,全磷

0.70 g/kg,全钾 13.06 g/kg,碱解氮 38.44 mg/kg,速效磷 16.27 mg/kg,速效钾 88.64 mg/kg,有机质含量 8.45 g/kg,pH 7.86。

1.2 试验设计

2013~2018 年连续 6 年实施紫花苜蓿、多年生黑麦草单播和混播种植,随机区组设计,设 4 个处理,以沙化裸地为对照,设紫花苜蓿单播,多年生黑麦草单播和紫花苜蓿/多年生黑麦草混播 3 种不同的种植模式(图 1),每个处理 3 次重复,共 12 个小区,小区面积 5 m×5 m,总面积 300 m²。紫花苜蓿和多年生黑麦草的品种分别为三得利和 Mathilde,购自河南世纪天缘生态科技有限公司。2013 年 10 月播种,单播紫花苜蓿的播量为 15 kg/hm²,单播多年生黑麦草的播量为 18 kg/hm²,播种方式为条播,行距 25 cm。紫花苜蓿/多年生黑麦草混播体系的种植比例为 1:1,异行种植,混播下紫花苜蓿、多年生黑麦草的播量和行距同单播。紫花苜蓿和多年生黑麦草每年均刈割 5 次,分别是每年的 5 月初、6 月中上旬、7 月中旬、8 月下旬和 10 月初。试验期间免耕处理,不施用任何肥料,每年于 1、3、5、9、11 月定期灌水,共 5 次,灌水方法为机泵抽取井水进行田面畦灌,水质符合国家灌溉标准,灌水量约为 900 m³/hm²。

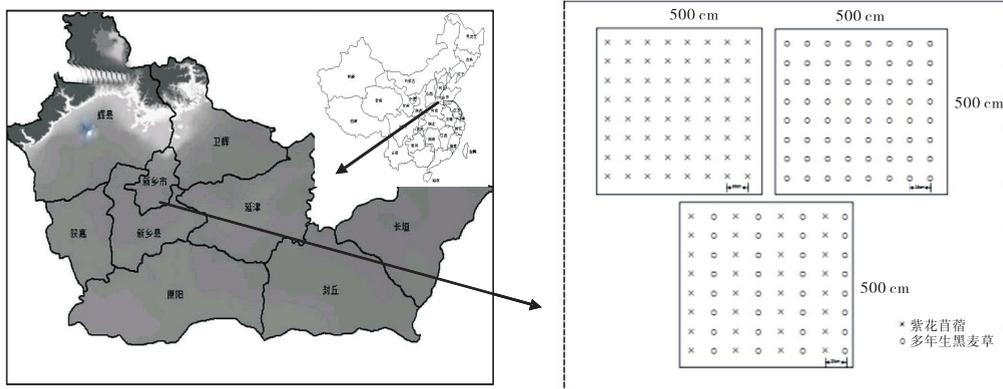


图 1 研究区域及样方布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of study area and sample layout

1.3 样品采集及测定

土壤样品采集与测定:2018 年 10 月,采用五点取样法,在各小区用土钻进行分层取样,采用方法为:将土样中杂草等明显的有机物及小石块剔除后,装入自封袋带回实验室,自然风干,研磨,过筛,用于土壤各指标的测定^[21]。多年生黑麦草没有发达的主根,为须根系,其根系主要集中在 40 cm 以内,故试验用土取 0~

10、10~20、20~30 和 30~40 cm 土层。

土壤碳、氮含量的测定:采用有机碳分析仪(Elementar,德国)测定土壤有机碳质量分数(g/kg),分别采用半微量凯氏定氮法和碱解扩散法测定土壤全氮和碱解氮含量^[22]。

土壤酶活性测定:采用常规分析方法^[15]测定土壤酶活性。其中,脲酶采用靛酚蓝比色法测定,以 24 h

后 1.0 g 土壤中氨态氮质量分数(mg/g)表示;蛋白酶用茚三酮比色法测定,以 1.0 g 土壤中 24 h 后氨基氮的质量分数(mg/g)表示;蔗糖酶、淀粉酶和纤维素酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,其中,蔗糖酶和淀粉酶以 24 h 后 1.0 g 土壤中葡萄糖质量分数(mg/g)表示,纤维素酶以 72 h 后 1.0 g 土壤中葡萄糖质量分数(mg/g)表示。

1.4 数据处理与分析

数据经过 Excel 2007 整理和作图后,采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析和回归分析。其中,不同种植模式间各指标的差异采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)进行分析比较,各因子间的相关关系采用 Pearson 相关系数法进行评价,所有数据均以 3 次重复的平均值±标准误来表示。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式下土壤有机碳含量

沙化裸地和 3 种植模式土壤有机碳(0~40 cm 土层的平均值)高低排序为紫花苜蓿/多年生黑麦草混播(9.17 g/kg) > 紫花苜蓿单播(7.91 g/kg) > 多年生黑麦草单播(6.63 g/kg) > 沙化裸地(6.04 g/kg)。其中,土壤表层(0~20 cm)多年生黑麦草单播、紫花苜蓿单播和紫花苜蓿/多年生黑麦草混播土壤有机碳含量均较沙化裸地显著增加($P < 0.05$),且多年生黑麦草单播,紫花苜蓿单播和紫花苜蓿/多年生黑麦草混播 3 种植模式之间也呈显著性差异($P < 0.05$);土壤亚

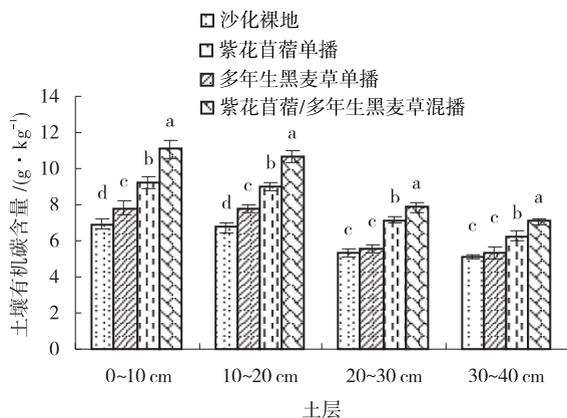


图 2 不同种植模式下土壤各土层有机碳含量

Fig. 2 Soil organic carbon content in each soil layer under different planting patterns

注:不同小写字母表示同一土层不同种植模式间差异

显著($P < 0.05$)

表层(20~40 cm)紫花苜蓿单播和紫花苜蓿/多年生黑麦草混播土壤有机碳含量较沙化裸地显著增加($P < 0.05$),而多年生黑麦草单播与沙化裸地相比未呈现显著差异($P > 0.05$)。此外,从土壤剖面分析,沙化裸地和 3 种植模式下土壤有机碳含量呈现出表聚性特征,即土壤表层含量最高,其次是亚表层(图 2)。

2.2 不同种植模式下土壤全氮和碱解氮含量

紫花苜蓿单播和紫花苜蓿/多年生黑麦草混播模式下土壤全氮和碱解氮含量最高,且 2 种植模式之间无显著性差异($P > 0.05$)。土壤全氮含量的表现情况与沙化裸地相比,紫花苜蓿单播和紫花苜蓿/多年生黑麦草混播模式下土壤全氮含量在 0~40 cm 土层均显著增加($P < 0.05$),分别比对照增加 22.6% 和 20.8%,而多年生黑麦草单播与沙化裸地相比则未呈现显著性差异($P > 0.05$)。土壤碱解氮含量的表现为:土壤表层(0~20 cm)多年生黑麦草单播、紫花苜蓿单播和紫花苜蓿/多年生黑麦草混播模式下土壤碱解氮含量均较沙化裸地显著增加($P < 0.05$),分别比对照增加 32.8%,76.7% 和 71.8%;土壤亚表层(20~40 cm)紫花苜蓿单播和紫花苜蓿/多年生黑麦草混播模式下土壤碱解氮含量较沙化裸地呈显著性增加($P < 0.05$),分别比对照增加 55.7% 和 47.4%。此外,从土壤剖面分析,沙化裸地和 3 种植模式下土壤全氮和碱解氮含量也呈现出表聚性特征(表 1)。

2.3 不同种植模式下土壤酶活性

与沙化裸地相比,3 种植模式下 5 种土壤酶(脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、淀粉酶和纤维素酶)活性在各土层均显著性增加($P < 0.05$)。3 种植模式下 5 种土壤酶活性高低均表现为紫花苜蓿/多年生黑麦草混播 > 紫花苜蓿单播 > 多年生黑麦草单播。具体来说,从土壤酶活性的各土层平均值来看,紫花苜蓿/多年生黑麦草混播下脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、淀粉酶和纤维素酶活性分别比沙化裸地增加 266.80%、87.79%、49.96%、433.26% 和 232.38%,紫花苜蓿单播下脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、淀粉酶和纤维素酶活性分别比沙化裸地增加 197.36%、59.60%、43.38%、269.02% 和 190.91%,多年生黑麦草单播下脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、淀粉酶和纤维素酶活性分别比沙化裸地增加 76.89%、32.30%、20.33%、190.66% 和 72.01%。试验得出,与沙化裸地相比,3 种植模式下 5 种土壤酶活性的增幅由大到小依次是:淀粉酶、脲酶、纤维素酶、蛋白

酶、蔗糖酶。此外,从土壤垂直分布来看,沙化裸地和3种植模式下5种土壤酶活性也呈现出表聚性特征,即土壤表层含量较高(表2)。

2.4 相关性分析

对各土层土壤有机碳、全氮、碱解氮与5种土壤酶

的相关性分析可知(表3),土壤有机碳与蔗糖酶呈极显著正相关($P < 0.01$),与淀粉酶呈显著正相关($P < 0.05$);土壤全氮与碱解氮之间呈极显著正相关($P < 0.01$);土壤碱解氮与脲酶呈显著正相关($P < 0.05$)。

土壤脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、淀粉酶和纤维素酶彼此之

表1 不同种植模式下土壤各土层全氮和碱解氮含量

Table 1 The contents of soil total nitrogen and available nitrogen in each soil layer under different planting patterns

种植方式	全氮/(g · kg ⁻¹)				碱解氮/(mg · kg ⁻¹)			
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm
沙化裸地	0.771 ^b	0.717 ^b	0.633 ^b	0.610 ^b	30.443 ^c	26.533 ^c	22.316 ^b	16.437 ^b
多年生黑麦草单播	0.790 ^b	0.744 ^b	0.658 ^b	0.622 ^b	40.521 ^b	35.145 ^b	24.065 ^b	18.114 ^b
紫花苜蓿单播	0.934 ^a	0.916 ^a	0.772 ^a	0.727 ^a	56.337 ^a	44.364 ^a	32.972 ^a	27.364 ^a
紫花苜蓿/多年生黑麦草混播	0.926 ^a	0.903 ^a	0.755 ^a	0.716 ^a	54.42 ^{1 a}	43.470 ^a	30.984 ^a	26.147 ^a

注:不同小写字母表示同一土层不同种植模式之间差异显著($P < 0.05$),下同

表2 不同种植模式下各土层土壤酶活性

Table 2 Soil enzyme activities in each soil layer under different planting patterns

土层/cm	种植方式	脲酶	蛋白酶	蔗糖酶	淀粉酶	纤维素酶
0~10	沙化裸地	0.331±0.026 ^d	9.346±0.165 ^d	6.446±0.315 ^d	0.156±0.012 ^d	0.463±0.047 ^c
	多年生黑麦草单播	0.735±0.044 ^c	13.133±0.615 ^c	7.780±0.215 ^c	0.413±0.022 ^c	0.687±0.043 ^b
	紫花苜蓿单播	1.003±0.124 ^b	16.364±0.604 ^b	8.534±0.34 ^{1 b}	0.592±0.021 ^b	1.174±0.101 ^a
	紫花苜蓿/多年生黑麦草混播	1.266±0.045 ^a	17.568±1.148 ^a	9.124±0.189 ^a	0.774±0.020 ^a	1.327±0.064 ^a
10~20	沙化裸地	0.308±0.030 ^d	8.257±0.255 ^d	5.754±0.165 ^d	0.122±0.006 ^c	0.325±0.024 ^c
	多年生黑麦草单播	0.477±0.032 ^c	10.197±0.623 ^c	7.044±0.251 ^c	0.382±0.035 ^b	0.572±0.033 ^b
	紫花苜蓿单播	0.866±0.061 ^b	12.134±0.835 ^b	8.189±0.194 ^b	0.412±0.047 ^b	1.075±0.102 ^a
	紫花苜蓿/多年生黑麦草混播	0.927±0.028 ^a	15.275±0.606 ^a	8.561±0.212 ^a	0.662±0.050 ^a	1.114±0.068 ^a
20~30	沙化裸地	0.217±0.027 ^d	7.487±0.190 ^d	4.847±0.141 ^d	0.090±0.015 ^d	0.262±0.027 ^d
	多年生黑麦草单播	0.311±0.052 ^c	9.743±0.256 ^c	5.624±0.257 ^c	0.297±0.036 ^c	0.487±0.015 ^c
	紫花苜蓿单播	0.643±0.067 ^b	11.456±0.440 ^b	7.365±0.319 ^b	0.390±0.018 ^b	0.778±0.067 ^b
	紫花苜蓿/多年生黑麦草混播	0.788±0.053 ^a	14.617±1.512 ^a	7.506±0.174 ^a	0.519±0.036 ^a	0.904±0.061 ^a
30~40	沙化裸地	0.165±0.023 ^d	6.082±0.278 ^d	4.276±0.150 ^d	0.071±0.012 ^d	0.204±0.026 ^d
	多年生黑麦草单播	0.283±0.035 ^c	8.167±0.252 ^c	5.209±0.537 ^c	0.184±0.036 ^c	0.411±0.035 ^c
	紫花苜蓿单播	0.524±0.044 ^b	9.795±0.590 ^b	6.485±0.365 ^b	0.226±0.015 ^b	0.621±0.066 ^b
	紫花苜蓿/多年生黑麦草混播	0.764±0.027 ^a	11.079±0.670 ^a	7.352±0.210 ^a	0.386±0.010 ^a	0.823±0.043 ^a

表3 土壤碳、氮和土壤酶的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of soil carbon, nitrogen and enzymes

参数	<i>r</i>							
	有机碳	全氮	碱解氮	脲酶	蛋白酶	蔗糖酶	淀粉酶	纤维素酶
有机碳	1	0.271	0.312	0.401	0.125	0.912 ^{**}	0.838 [*]	0.677
全氮		1	0.900 ^{**}	0.522	0.384	0.505	0.363	0.529
碱解氮			1	0.860 [*]	0.547	0.497	0.279	0.410
脲酶				1	0.910 ^{**}	0.871 [*]	0.850 [*]	0.836 [*]
蛋白酶					1	0.779 [*]	0.823 [*]	0.773 [*]
蔗糖酶						1	0.861 [*]	0.871 [*]
淀粉酶							1	0.723 [*]
纤维素酶								1

注:**表示在0.01水平(双侧)上显著相关;*表示在0.05水平(双侧)上显著相关

间呈极显著($P < 0.01$)或显著正相关($P < 0.05$)。

3 讨论

土壤碳、氮含量的高低是表征土壤质量状况的重要因子^[23]。与沙化裸地相比,3 种植模式下土壤有机碳,全氮和碱解氮含量均不同程度地增加,这是因为人工草地建植后地表枯落物和地下根系增多,因而土壤中天然有机质的来源增加,有利于土壤养分的累积。3 种植模式下土壤有机碳含量高低排序为紫花苜蓿/多年生黑麦草混播>紫花苜蓿单播>多年生黑麦草单播。3 种植模式下土壤全氮和碱解氮含量表现为紫花苜蓿/多年生黑麦草混播和紫花苜蓿单播土壤含量最高,且二者之间无显著差异($P > 0.05$)。多年生黑麦草单播土壤的有机碳,全氮和碱解氮含量较低,一方面是因为该模式下长期向外输出生物量而输入不足(试验期间牧草定期刈割且未施肥);另一方面是因为经过连续多年种植,多年生黑麦草单播土壤养分输出较多,因而导致土壤养分的缺乏。由于紫花苜蓿的生物固氮作用,紫花苜蓿单播和混播可提高土壤生物活性,改善土壤养分状况。试验中混播土壤有机碳,全氮和碱解氮含量较高,分析原因是紫花苜蓿的生物固氮作用为禾本科牧草提供了充足的氮源^[24],根系活力增强,光合能力提高,土壤微生物活性增强,植物体碳、氮积累能力增加^[25],因而混播模式下回归土壤的养分较多。试验表明,从土壤垂直分布来看,沙化裸地和 3 种植模式下土壤有机碳,全氮和碱解氮含量均呈现出表聚性特征,即土壤表层含量最高,其次是亚表层,究其原因,一方面可能是土壤可溶性有机物在土壤剖面做垂直水分运动,然后逐渐被各层土壤矿质吸附累积^[26];另一方面可能是植物残体主要积累在土壤表层^[27],可供微生物维系生命活动的能量充足,从而导致土壤表层养分含量较高。

土壤酶作为土壤生态系统的组分,是生态系统的生物催化剂,也是土壤有机体的代谢动力^[3]。土壤蔗糖酶,淀粉酶和纤维素酶是参与碳代谢不可缺少的酶,其活性的提高能促进土壤中的水溶性有机碳的积累^[28]。试验中 3 种植模式下土壤蔗糖酶,淀粉酶和纤维素酶活性均表现为紫花苜蓿/多年生黑麦草混播优于单播,这与研究中土壤有机碳的变化表现出一致的趋势,究其原因是在混播模式下,紫花苜蓿和多年生黑麦草共生调节了其根系分泌物和根茬腐解物的作

用^[18],促进了根系的碳代谢生理活动,从而使土壤蔗糖酶,淀粉酶和纤维素酶活性处于较高水平。土壤脲酶和蛋白酶是表征土壤有机氮及其转化状况的重要因子,其活性的提高能促进土壤中的有机氮向有效氮的转化,二者是参与土壤氮代谢的重要酶^[29]。其中,脲酶作为专性酶,它能水解土壤中的尿素形成碱解氮养分-铵态氮,因此,土壤脲酶活性可表征土壤氮素状况^[3]。土壤脲酶和蛋白酶也表现为紫花苜蓿/多年生黑麦草混播土壤较高,与研究中土壤全氮和碱解氮的表现相似,这可能是因为紫花苜蓿/多年生黑麦草混播模式下根系的氮代谢增强,因而土壤脲酶和蛋白酶活性也较高。从土壤垂直分布分析,5 种土壤酶活性均表现为表层(0~20 cm)较高,呈现出表聚性,其他研究也证实了这一点^[30-31],这主要是因为表层土壤与大气相连,其水热条件和通气状况较好^[22],微生物生长旺盛,代谢活跃,呼吸强度加大从而使土壤表层的酶活性较高。

土壤碳、氮含量和酶活性密切相关^[3]。土壤酶在催化有机质分解和养分循环过程中起着关键作用,能够将土壤中复杂的大分子有机化合物分解成糖类、氨基酸、 NH_4^+ 等小分子化合物^[32],供土壤微生物和植物吸收利用,是反映土壤肥力和质量变化的预警及敏感指标^[33]。刘文辉等^[34]对燕麦/箭筈豌豆混播土壤酶活性的研究发现脲酶与碱解氮含量呈极显著正相关,惠竹梅等^[35]研究表明紫花苜蓿草地中土壤蔗糖酶、脲酶和纤维素酶与土壤有机质呈显著正相关。试验相关性分析表明,土壤有机碳分别与蔗糖酶和淀粉酶呈极显著($P < 0.01$)和显著正相关($P < 0.05$),土壤碱解氮与脲酶呈显著正相关($P < 0.05$)。因此,蔗糖酶,淀粉酶和脲酶可表征土壤碳、氮特征,在研究中可通过它们的活性变化反映出土壤碳、氮及其转化状况。

4 结论

豫北地区人工草地建植 6 年后,与沙化裸地相比,土壤有机碳含量和 5 种土壤酶均表现为紫花苜蓿/多年生黑麦草混播模式下最高;土壤全氮和碱解氮含量表现为紫花苜蓿/多年生黑麦草混播和紫花苜蓿单播模式下最高;土壤有机碳分别与蔗糖酶和淀粉酶呈极显著和显著正相关,土壤碱解氮与脲酶呈显著正相关。以上说明豫北地区沙化裸地经人工草地建植多年后土壤主要性状得到了有效改善,总体来看,以混播模式为

最佳。因此,在该地区进行紫花苜蓿/多年生黑麦草混播可以有效改良土壤沙漠化现状,是当地一种值得推广的种植模式。

参考文献:

- [1] Huang R, Lan M L, Liu J, *et al.* Soil aggregate and organic carbon distribution at dry land soil and paddy soil; the role of different straws returning[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24 (36): 27942 – 27952.
- [2] 崔星, 师尚礼. 绿洲灌溉区与旱作区多龄苜蓿地土壤有机碳、氮及物理特性分析[J]. *草原与草坪*, 2015, 35(1): 68 – 72.
- [3] 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.
- [4] 王少昆, 赵学勇, 张铜会, 等. 造林对沙地土壤微生物的数量、生物量碳及酶活性的影响[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(2): 529 – 535.
- [5] Innangi M, Niro E, D'Ascoli R, *et al.* Effects of olive pom-ace amendment on soil enzyme activities[J]. *Applied Soil Ecology*, 2017, 15(6): 242 – 249.
- [6] 郇继承, 杨恒山, 张庆国, 等. 种植年限对紫花苜蓿人工草地土壤碳、氮含量及根际土壤固氮力的影响[J]. *土壤通报*, 2010, 41(3): 603 – 607.
- [7] 王堃, 张玉娟, 刘克思, 等. 加强人工草地建设推进我国畜牧业健康发展[J]. *草原与草业*, 2014, 26(2): 1 – 4.
- [8] 谢开云, 赵云, 李向林, 等. 豆-禾混播草地种间关系研究进展[J]. *草业学报*, 2013, 22(3): 284 – 296.
- [9] 张永亮, 张丽娟. 苜蓿, 无芒雀麦混播及单播草地草产量动态研究[J]. *中国草地学报*, 2006, 28(5): 23 – 28.
- [10] 于铁峰, 刘晓静, 张晓玲, 等. 氮素对紫花苜蓿根茎叶氮含量及硝酸还原酶活性的影响[J]. *草原与草坪*, 2017, 37(5): 14 – 19.
- [11] 刘春英, 孙学映, 朱体超, 等. 不同黑麦草品种生产性能比较与优势品种筛选[J]. *草业学报*, 2014, 23(4): 39 – 48.
- [12] 沈芳芳, 袁颖红, 樊后保, 等. 氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响[J]. *生态学报*, 2012, 32(2): 517 – 527.
- [13] 柳开楼, 韩天富, 黄庆海, 等. 鄱阳湖流域长期施肥下双季稻田的土壤基础地力[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(1): 209 – 216.
- [14] 张星星, 杨柳明, 陈忠, 等. 中亚热带不同母质和森林类型土壤生态酶化学计量特征[J]. *生态学报*, 2018, 38(16): 5828 – 5836.
- [15] 于天一, 逢焕成, 唐海明, 等. 不同母质类型水稻土酶活性及其与理化性质的关系[J]. *土壤学报*, 2013, 50(5): 1043 – 1047.
- [16] 刘雷, 王梦亮, 王俊红, 等. 不同施肥方式对玉米生育期内根际土壤酶活性的影响[J]. *华北农学报*, 2018, 33(6): 199 – 204.
- [17] 李俊强, 林利华, 张帆, 等. 施肥模式对茶树根际土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(3): 22 – 28.
- [18] 张鹏, 贾志宽, 路文涛, 等. 不同有机肥施用量对宁南旱区土壤养分、酶活性及作物生产力的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(5): 1122 – 1130.
- [19] 段争虎, 刘发民. 黄淮海平原豫北土地风沙化对土壤肥力的影响[J]. *中国沙漠*, 2000, 20(S): 176 – 178.
- [20] 蔺芳, 刘晓静, 张家洋. 人工草地种植模式对沙化土壤团聚体及有机质含量的影响[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(6): 1219 – 1229.
- [21] 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.
- [22] 李西开. *土壤农业化学常规分析方法*[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [23] 王淑兰, 王浩, 李娟, 等. 不同耕作方式下长期秸秆还田对旱作春玉米田土壤碳、氮、水含量及产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(5): 1530 – 1540.
- [24] 郑伟, 朱进忠, 库尔班, 等. 不同混播方式下豆禾混播草地种间竞争动态研究[J]. *草地学报*, 2010, 18(4): 568 – 575.
- [25] Malhi S S, Zentner R P, Heier K. Effectiveness of alfalfa in reducing fertilizer N input for optimum forage yield, protein concentration, returns and energy performance of bromegrass-alfalfa mixtures[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, 62(3): 219 – 227.
- [26] Nebbioso A, Piccolo A. Molecular characterization of dissolved organic matter(DOM): A critical review[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2013, 405(1): 109 – 124.
- [27] 王轶浩, 耿养会, 黄仲华. 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征[J]. *生态学报*, 2013, 33(18): 5493 – 5499.
- [28] 曹慧, 孙辉, 杨浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(1): 105 – 109.
- [29] Chen H, Li D J, Zhao J, *et al.* Effects of nitrogen addition

- on activities of soil nitrogen acquisition enzymes: A meta-analysis[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2018, 252: 126–131.
- [30] Tu C, Teng Y, Luo Y M, *et al.* PCB removal, soil enzyme activities, and microbial community structures during the phytoremediation by alfalfa in field soils[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2011, 11(4): 649–656.
- [31] 南丽丽, 郭全恩, 曹诗瑜, 等. 疏勒河流域不同植被类型土壤酶活性动态变化[J]. *干旱地区农业研究*, 2014, 32(1): 134–139.
- [32] Aon M A, Colaneri A C. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18(3): 255–270.
- [33] 王文锋, 李春花, 黄绍文, 等. 不同施肥模式对设施菜田土壤酶活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(3): 873–882.
- [34] 刘文辉, 张英俊, 师尚礼, 等. 高寒区施肥和豆科混播水平对燕麦人工草地土壤酶活性的影响[J]. *草业学报*, 2017, 26(1): 23–33.
- [35] 惠竹梅, 岳泰新, 张瑾, 等. 西北半干旱区葡萄园生草体系中土壤生物学特性与土壤养分的关系[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(11): 2310–2317.

Study on the contents of carbon, nitrogen and enzymes activities of sandy soil grown alfalfa and perennial ryegrass with different planting patterns

LIN Fang^{1,2}, LIU Xiao-jing¹, ZHANG Jia-yang²

(1. *College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China*; 2. *College of Life Science and Technology, Xinxiang University, Xinxiang 453003, China*)

Abstract: The effect of three planting patterns (alfalfa single-sowing, perennial ryegrass single-sowing, alfalfa and perennial ryegrass mixed-sowing) on the contents of carbon, nitrogen and enzymes activities of sandy soil was studied through 6 years' fixed test in northern Henan province. And the relationship among tested indexes was analyzed. The results showed that compared with sandy bare land, the contents of carbon and nitrogen in 0~40 cm soil layer increased at different degrees under three planting patterns. Among them, the highest value of soil organic carbon was occurred in alfalfa and perennial ryegrass mixed-sowing (9.17 g/kg). The highest values of total nitrogen and available nitrogen were appeared in alfalfa and perennial ryegrass mixed-sowing and alfalfa single-sowing, and there was no significant difference between them ($P > 0.05$). The highest values of soil enzymes activities were obtained in alfalfa and perennial ryegrass mixed-sowing. Compared with sandy bare land, the activities of urease, protease, sucrase, amylase and cellulase increased by 266.80%, 87.79%, 49.96%, 433.26% and 232.38%, respectively. Correlation analysis showed that soil organic carbon was positively correlated with sucrase ($P < 0.01$) and amylase ($P < 0.05$), and soil available nitrogen was positively correlated with urease ($P < 0.05$). The contents of carbon, nitrogen and related enzymes activities were effectively increased after six years of forage growing, and alfalfa and perennial ryegrass mixed-sowing was the best.

Key words: alfalfa; perennial ryegrass; organic carbon; total nitrogen; available nitrogen