

红豆草间作四翅滨藜对土壤微生物数量及酶活性的影响

李冰月,张馨馨,南丽丽,刘雪强,谭杰辉

(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:生物修复盐渍化土壤具有持效、稳定数量及酶活性且利于水土保持和生态平衡等优势。通过盆栽方法研究在甘肃盐渍土红豆草和四翅滨藜间作对土壤微生物的影响,结果表明:(1)1行红豆草间作1行四翅滨藜其土壤细菌、放线菌、速效磷含量均最高,分别为 14.75×10^3 cfu/g, 11.47×10^2 cfu/g,27.28 mg/kg;(2)2行红豆草间作2行四翅滨藜其土壤脱氢酶和碱性磷酸酶均值最小,分别为0.36 $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot 24 \text{ h})$,0.80 mg/(g·24 h);(3)单作四翅滨藜其细菌、速效磷、速效钾均值最小,分别为 9.76×10^3 cfu/g,19.77 mg/kg,54.42 mg/kg。经灰色关联度法综合评价得出1行红豆草间作1行四翅滨藜改土效果最佳,单作四翅滨藜次之,2行红豆草间作2行四翅滨藜效果最差。

关键词:红豆草;四翅滨藜;生物改良;盐渍土

中图分类号:S54 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)01-0085-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.01.013

土壤盐碱化是制约干旱地区农业发展的重要瓶颈。甘肃地处内陆,大部分地区干旱少雨,土壤盐化、次生盐化的现象普遍存在。据报道,甘肃省盐土(盐分含量 $\geq 1.0\%$)面积为102.38万 hm^2 ,大约占全省耕地面积的 $1/4 \sim 1/5$ ^[1],严重制约该地区土地的有效利用和经济的持续发展。盐渍土改良利用是一项艰巨且复杂的生态工程。目前,国内外盐碱地治理措施主要有水利工程措施、化学改良、物理覆土改良和生物改良等^[2]。利用生物修复盐渍化土壤,其改良效果持久、稳定且有利于水土保持和生态平衡,具有低成本、高效、可大规模推广的特点^[3]。

生物措施改良盐碱地,对土壤的物理、化学和生物特性均具有显著的影响^[4-6]。土壤微生物是土壤中物质转化和养分循环的驱动者^[7];土壤酶主要来源于土壤微生物,很大程度上可以反映土壤微生物的活性,其活性代表了土壤中物质代谢的旺盛程度^[8]。因此,研究盐渍化土壤微生物数量及土壤酶活性变化,揭示不同作物间作对生物改良的响应及其反馈作用具有重要意义。

红豆草(*Onobrychis viciaefolia*)属多年生深根型牧草,根系入土深度可达3 m,主根粗壮,根系纵横交错,密布成网,根系在生长过程中对土壤产生挤压、分割作用,使土粒团聚;侧根着生大量根瘤,可生物固氮;根系能分泌有机酸,把土壤难溶性磷提出来富集到表层,增加土壤耕作层磷的含量,种植红豆草其改土效应显著^[9]。四翅滨藜(*Atriplex canescens*)是藜科滨藜属优质抗逆种质资源,是一种典型的盐囊泡类盐生植物,对各种逆境环境(如高盐、干旱、重金属、极端温度等)均表现出很强的适应性,是防风固沙和盐碱地改良的重要物种^[10]。因红豆草在苗期不耐盐碱,单独种植时其出苗和生长均受到盐碱的抑制。红豆草与四翅滨藜间作套种,一方面可利用四翅滨藜在生长前期脱盐,为

收稿日期:2019-05-09; **修回日期:**2019-07-25

基金项目:国家自然科学基金(31460630);省部共建草业生态系统教育部重点实验室暨草学甘肃省优势特色学科建设(GAU-XKJS-2018-013)项目;现代农业产业技术体系建设专项(CARS-34)资助

作者简介:李冰月(1994-),女,河北廊坊人,在读硕士。

E-mail:1546008648@qq.com

南丽丽为通讯作者。

E-mail:nanll@gsau.edu.cn

红豆草的生长提供低盐环境;在生长后期,利用红豆草的根系固氮,为四翅滨藜的生长提供氮素。另一方面红豆草发达的根系,可穿透土壤板结层,为水分的深层下渗和气体的交换提供通道,从而促进土壤微生物的繁殖,最终达到生物改良板结盐渍土的目的,为盐碱地的改良研究提供参考。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试材料为甘肃红豆草和四翅滨藜,种子由甘肃农业大学草业学院提供。红豆草种子用双氧水浸种 5~15 min,四翅滨藜种子用磷酸二氢钾溶液浸种 12~24 h,以打破硬实(休眠)。供试草种播种于长:宽:高为 100 cm:40 cm:30 cm 的塑料花盆中,盆内装从景泰采来的盐渍干土 10 kg。设 4 个处理,分别为:单作红豆草(T_1),单作四翅滨藜(T_2),1 行红豆草间作 1 行四翅滨藜(T_3),2 行红豆草间作 2 行四翅滨藜(T_4)。红豆草和四翅滨藜的播种量分别为 6.0,2.0 kg/hm²,行距 10 cm,播种深度 3~4 cm。

1.2 测定项目及方法

于 2018 年 7,8 和 9 月分别测定不同处理的株高,每个处理随机测量 10 株株高,取平均值。采集 0~15 cm 土层土样,测定土壤化学和生物学指标。其中速效

$$\text{关联系数: } \zeta_k = \frac{\frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \frac{\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{i \cdot k}}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \frac{\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{i \cdot k}}}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \frac{\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{i \cdot k}} \quad (1)$$

式中: $|X_0(k) - X_i(k)|$ 为绝对差值,记作:

$$\Delta_i(k), \Delta_i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|, \rho = 0.5 \quad (2)$$

$$\text{关联度: } r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k) \quad (\text{其中, } n \text{ 为样本数}) \quad (3)$$

$$\text{权重系数: } W_i = \frac{r_i}{\sum R_i} \quad (4)$$

$$\text{加权关联度: } r'_i = \sum_{k=1}^n w_i(k) \zeta_i(k) \quad (5)$$

2 结果与分析

2.1 红豆草和四翅滨藜间作对株高的影响

株高是反映植株生长发育状况和产量潜力的重要指标之一。随生育时期的推移,株高逐渐升高,7,8 和 9 月各处理的株高分别在 19.4~25.6,20.8~33.3 和 25.3~39.0 cm,且 T_1 处理红豆草的株高显著低于其

氮采用碱解扩散法,速效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-分光光度法,速效钾采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定^[11],土壤脲酶采用靛酚蓝比色法,碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠(用硼酸缓冲液)比色法,脱氢酶采用三苯基四氮唑氯化物(TTC)比色法测定^[12]。

真菌数量采用马丁孟加拉红培养基,以平板表面涂抹法计数^[13]。即称取土壤样品 10 g,在无菌条件下用无菌水配成不同浓度梯度悬浮液,取稀释度为 10⁻² 的土壤悬浮液各 50 μL,接种于盛有灭菌的马丁-孟加拉红培养基的培养皿中,用无菌刮刀涂抹均匀,每个浓度 3 个重复,恒温(25℃)培养 7 d,选取每皿菌落数为 15~150 的 1 个稀释度统计菌落数。细菌数量采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,以平板表面涂抹法计数^[11]。取稀释度为 10⁻³ 恒温(28℃)培养 3 d,测定方法同上。放线菌数量采用改良高氏一号培养基^[14],以平板表面涂抹法计数,取稀释度为 10⁻³ 恒温(28℃)培养 10 d,测定方法同上。按公式计算真菌、细菌、放线菌数量。

菌数=(菌落平均数×稀释倍数)/干土重量

1.3 数据分析

用 Excel 2007 进行试验数据处理后,采用 SPSS 16.0 统计软件进行方差分析和 Duncan 新复极差检验,应用灰色关联度分析法对土壤养分进行综合分析,并计算关联系数^[12]。

他处理($P < 0.05$) (表 1)。

2.2 红豆草和四翅滨藜间作对土壤化学性质的影响

土壤速效氮,磷和钾含量对植物生长起关键作用,是反映土壤供应养分能力的重要指标。7,8 和 9 月,速效氮的变化分别为 139.51~153.62,125.86~132.89 和 118.99~132.81 mg/kg,7 月 T_2 处理和 9 月 T_4 处理显著高于($P < 0.05$)其他处理,8 月 T_2 处理显著低于($P < 0.05$)其他处理。速效磷分别在 24.37~25.68,18.96~26.67 和 14.52~24.65 mg/kg 变化,7,8 和 9 月 T_3 处理均显著高于($P < 0.05$)其他处理,平均值为 27.28 mg/kg, T_2 处理最低,均值为 19.77 mg/kg。速效钾 7,8 和 9 月分别在 69.60~80.90,49.68~69.60 和 43.97~66.70 mg/kg,7,8 和 9 月 T_1 处理显著高于($P < 0.05$)其他处理, T_2 处理最小,均值为 54.42 mg/kg (表 2)。

2.3 红豆草和四翅滨藜间作对土壤酶活性的影响

从7~9月,脲酶活性呈下降趋势,且T₁处理在7月显著低于其他处理($P<0.05$),其余月份各处理间差异不显著。不同月份,脱氢酶活性变化趋势不明显,但7月和9月T₂处理脱氢酶活性显著高于其他处理

($P<0.05$),分别为0.45、0.54 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot 24\text{h})$,8月T₁和T₃处理显著高于其他处理($P<0.05$)。碱性磷酸酶活性8月最高,9月最低,且不同月份T₁、T₂的碱性磷酸酶活性均显著高于T₃、T₄($P<0.05$)(表3)。

表1 红豆草和四翅滨藜间作下各处理株高

Table 1 Variation of plant height of sainfoin and *Atriplex canescens* (mean±SD)

cm

时间/月	T ₁	T ₂	T ₃		T ₄	
			红豆草	四翅滨藜	红豆草	四翅滨藜
07	19.4±2.93 ^d	23.3±3.40 ^b	24.3±3.59 ^a	25.6±3.41 ^a	22.6±3.13 ^c	23.9±3.42 ^b
08	20.8±5.48 ^d	28.0±2.70 ^b	29.2±4.60 ^b	32.8±3.30 ^a	24.9±4.01 ^c	33.3±3.51 ^a
09	25.3±8.18 ^c	34.4±2.75 ^{bc}	32.6±2.94 ^c	39.0±3.57 ^a	27.4±2.67 ^d	36.9±2.90 ^b

注:同行不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著,下同

表2 红豆草和四翅滨藜间作下土壤的化学性质

Table 2 Effects of sainfoin and *Atriplex canescens* intercropping on soil chemical properties (mean±SD)

处理	碱解氮/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$			速效磷/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$			速效钾/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$		
	7月	8月	9月	7月	8月	9月	7月	8月	9月
T ₁	139.90±0.74 ^b	132.89±0.51 ^a	125.53±0.38 ^b	25.68±1.77 ^b	21.54±1.50 ^b	14.52±1.85 ^c	80.90±0.27 ^a	69.60±0.53 ^a	66.70±0.57 ^a
T ₂	153.62±0.62 ^a	125.86±0.76 ^b	125.62±0.46 ^b	25.58±1.67 ^b	18.96±1.62 ^d	14.76±1.39 ^c	69.60±0.53 ^d	49.68±0.64 ^c	43.97±0.84 ^d
T ₃	139.83±0.35 ^b	132.97±0.48 ^a	118.99±0.65 ^c	30.53±0.38 ^a	26.67±1.71 ^a	24.65±1.27 ^a	78.07±0.45 ^b	61.00±0.48 ^b	58.22±0.37 ^b
T ₄	139.51±0.41 ^b	132.84±0.39 ^a	132.81±0.79 ^a	24.37±1.47 ^c	20.79±1.57 ^c	15.56±0.44 ^b	75.25±0.52 ^c	61.01±0.35 ^b	53.97±0.28 ^c

表3 红豆草和四翅滨藜间作下土壤酶的活性

Table 3 Effects of sainfoin and *Atriplex canescens* intercropping on soil enzyme activities (mean±SD)

处理	脲酶/ $(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1})$			脱氢酶/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1})$			碱性磷酸酶/ $(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1})$		
	7月	8月	9月	7月	8月	9月	7月	8月	9月
T ₁	0.425±0.02 ^b	0.115±0.02 ^a	0.093±0.03 ^a	0.30±0.01 ^b	0.44±0.02 ^a	0.46±0.01 ^b	1.10±0.01 ^a	1.23±0.01 ^a	0.95±0.01 ^a
T ₂	0.544±0.01 ^a	0.107±0.01 ^a	0.095±0.03 ^a	0.45±0.06 ^a	0.35±0.02 ^b	0.54±0.01 ^a	1.08±0.01 ^a	1.20±0.02 ^a	0.94±0.02 ^a
T ₃	0.544±0.04 ^a	0.098±0.02 ^a	0.094±0.02 ^a	0.32±0.04 ^b	0.47±0.01 ^a	0.36±0.01 ^c	0.73±0.01 ^b	1.12±0.01 ^b	0.69±0.03 ^b
T ₄	0.551±0.02 ^a	0.106±0.03 ^a	0.092±0.01 ^a	0.32±0.03 ^b	0.38±0.02 ^b	0.39±0.01 ^c	0.86±0.01 ^b	0.89±0.03 ^b	0.66±0.02 ^b

2.4 红豆草和四翅滨藜间作对可培养土壤微生物数量的影响

细菌和放线菌数量均8月最大,9月最小,而真菌数量8月最高,7月最低,且各处理间均细菌数量最多,放线菌数量次之,真菌数量最少。细菌、真菌、放线菌数量分别在9.60~16.28,12.64~21.98和4.53~

12.94×10^3 cfu/g 范围内变化;1.23~1.59、2.51~3.78和 $2.18\sim 2.43\times 10^2$ cfu/g;7.51~12.36、12.82~15.75和 $6.87\sim 8.71\times 10^3$ cfu/g。各处理间T₃的细菌、放线菌数量均值最高、真菌数量均值最低,均值分别为 14.75×10^3 cfu/g, 11.47×10^3 cfu/g、 2.06×10^2 cfu/g(表4)。

表 4 红豆草和四翅滨藜间作下土壤微生物的数量

Table 4 Effects of sainfoin and *Atriplex canescens* intercropping on soil microbial biomass (mean±SD)

处理	细菌/(10 ³ cfu·g ⁻¹)			真菌/(10 ² cfu·g ⁻¹)			放线菌/(10 ³ cfu·g ⁻¹)		
	7月	8月	9月	7月	8月	9月	7月	8月	9月
T ₁	14.32±0.32 ^b	17.24±0.24 ^b	12.94±0.14 ^a	1.58±0.42 ^a	3.78±0.21 ^a	2.30±0.15 ^a	7.51±0.21 ^d	13.66±0.15 ^c	7.34±0.32 ^b
T ₂	9.60±0.12 ^c	12.64±0.23 ^c	7.05±0.13 ^c	1.40±0.15 ^{ab}	3.11±0.15 ^a	2.18±0.14 ^a	9.25±0.24 ^c	15.75±0.14 ^a	7.22±0.21 ^b
T ₃	16.28±0.15 ^a	17.54±0.21 ^b	10.42±0.21 ^b	1.23±0.31 ^b	2.51±0.17 ^b	2.43±0.21 ^a	11.60±0.32 ^b	14.10±0.17 ^b	8.71±0.18 ^a
T ₄	14.67±0.14 ^b	21.98±0.14 ^a	4.53±0.23 ^d	1.59±0.18 ^a	3.11±0.31 ^a	2.22±0.23 ^a	12.36±0.18 ^a	12.82±0.26 ^d	6.87±0.16 ^c

2.5 土壤化学、生物学指标相关分析

速效钾与脲酶呈极显著正相关,相关系数为0.746;碱解氮与速效钾、脲酶分别呈显著、极显著正相关,相关系数分别为0.622、0.810;速效磷与速效钾、

脲酶分别呈显著正相关,相关系数分别为0.666、0.659;细菌与放线菌呈显著正相关,相关系数为0.660;真菌与脲酶呈极显著负相关,相关系数为-0.780(表5)。

表 5 土壤化学、生物学指标相关分析

Table 5 The correlation analysis of chemical and biological properties of soil

指标	细菌	真菌	放线菌	碱解氮	速效磷	速效钾	脲酶	脱氢酶	碱性磷酸酶
细菌	1.000								
真菌	0.309	1.000							
放线菌	0.660*	0.481	1.000						
碱解氮	0.110	-0.546	0.026	1.000					
速效磷	0.454	-0.412	0.342	0.516	1.000				
速效钾	0.451	-0.455	0.019	0.622*	0.666*	1.000			
脲酶	0.082	-0.780**	-0.027	0.810**	0.659*	0.746**	1.000		
脱氢酶	-0.258	0.264	-0.185	-0.174	-0.497	-0.535	-0.476	1.000	
碱性磷酸酶	0.324	0.403	0.474	0.182	0.014	0.058	-0.066	0.253	1.000

注:表中*表示 $P<0.05$; **表示 $P<0.01$

2.6 灰色关联度分析

采用灰色关联度法,对不同处理的株高、脲酶、脱氢酶、碱性磷酸酶、细菌、真菌、放线菌、碱解氮、速效磷、速效钾共10项指标进行综合分析,对每个处理的加权关联度值进行比较(表6),得出 $T_3 > T_2 > T_1 > T_4$,即1行红豆草间作1行四翅滨藜改土效果最佳,单作四翅滨藜次之,2行红豆草间作2行四翅滨藜效果最差。

3 讨论

土壤酶在土壤新陈代谢中起着重要作用,其活性能反映土壤生物活性和土壤生化反应强度,且土壤酶对外界环境变化敏感,是评价土壤肥力、土壤质量及土壤健康的重要生化指标^[15]。因此,可以将土壤酶的活

性作为量化指标,用于研究其对不同作物间作的响应。诸多报道^[16-17],合理的间作模式能不同程度地提高土壤酶活性,有利于土壤养分的积累和转化。此次研究表明,红豆草单作、四翅滨藜单作及二者间作对脲酶、脱氢酶和碱性磷酸酶活性的影响差异不显著,这可能与生物改良时间过短有关(2019年5月初种植)。

土壤微生物以真菌,细菌和放线菌为主,是土壤最具有活性的成分,其菌群比例的变化可作为衡量土壤肥力状况的重要指标^[18]。刘亚军等^[19]研究表明,马铃薯-荞麦间作、马铃薯-蚕豆间作后的细菌、放线菌数量较马铃薯单作均有所提高。黄晓钢等^[20]研究表明,玉米-大豆间作增加了根系细菌,真菌和放线菌数量。吴娜等^[21]研究发现,马铃薯-燕麦间作的土壤微生物总量及细菌所占比例均高于单作。此次研究表明,1行红

表6 灰色关联度对红豆草产量及品质进行综合分析

Table 6 Comprehensive analysis of soil physical, chemical, and biological traits of sainfoin and *Atriplex canescens* by grey relational degree

处理	关联系数										得分	月份 平均	排序	
	株高	脲酶	脱氢酶	磷酸酶	速效氮	速效磷	速效钾	细菌	真菌	放线菌				
7月	T ₁	0.489	0.644	0.479	0.798	0.823	0.724	1.000	0.544	0.417	0.443	0.649	0.645	3
	T ₂	0.564	0.970	0.720	0.779	1.000	0.720	0.749	0.425	0.398	0.502	0.693	0.650	2
	T ₃	0.587	0.967	0.506	0.506	0.823	1.000	0.923	0.616	0.382	0.613	0.695	0.655	1
	T ₄	0.564	1.000	0.502	0.585	0.819	0.674	0.856	0.556	0.419	0.659	0.666	0.621	4
8月	T ₁	0.513	0.345	0.679	1.000	0.755	0.586	0.749	0.659	1.000	0.759	0.710		
	T ₂	0.691	0.341	0.538	0.944	0.697	0.524	0.519	0.495	0.704	1.000	0.653		
	T ₃	0.734	0.336	0.752	0.823	0.756	0.767	0.629	0.673	0.555	0.799	0.692		
	T ₄	0.712	0.340	0.587	0.604	0.755	0.566	0.629	1.000	0.702	0.691	0.661		
9月	T ₁	0.612	0.334	0.738	0.651	0.695	0.443	0.704	0.503	0.516	0.438	0.575		
	T ₂	1.000	0.335	1.000	0.641	0.696	0.446	0.477	0.380	0.496	0.435	0.604		
	T ₃	0.888	0.335	0.559	0.490	0.649	0.684	0.598	0.442	0.539	0.482	0.577		
	T ₄	0.795	0.333	0.594	0.475	0.755	0.459	0.556	0.344	0.503	0.425	0.537		
关联度		0.679	0.523	0.638	0.691	0.769	0.633	0.699	0.553	0.553	0.604			
权重		0.107	0.083	0.101	0.109	0.121	0.100	0.110	0.087	0.087	0.095			

豆草与1行四翅滨藜间作,其土壤细菌和放线菌数量均高于其他处理,而真菌数量低于其他处理,细菌、放线菌数量升高反映出间作1行红豆草和1行四翅滨藜改善了土壤微环境、提高了土壤肥力,其真菌数量的降低进一步表明土壤性状的改良,有利于减少病害的发生。

土壤肥力是土壤物理、化学性质和生物特性等综合作用的结果,可以反映土壤为植物生长供应和协调营养条件以及环境条件的能力^[22],且土壤物理、化学性质和生物特性之间紧密关联^[23]。试验运用灰色系统关联度理论,以各因素的样本数据为依据,用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序,其基本思想是根据曲线几何形状的相似程度来判断关联度程度^[24]。该方法定量考虑多个因子的作用,得出具有可比性的综合性指标,从而提高综合评估的准确性和有效性,避免了人为评判的主观性^[25],灰色关联度在土壤肥力综合评价上得到广泛应用^[22,24-25]。试验表明,1行红豆草间作1行四翅滨藜改土效果最佳。

4 结论

红豆草和四翅滨藜间作对土壤化学和生物学性质有不同的影响。其中,1行红豆草间作1行四翅滨藜处理的土壤细菌、放线菌、速效磷含量均最高,2行红

豆草间作2行四翅滨藜的土壤脱氢酶和碱性磷酸酶均最小,单作四翅滨藜其细菌、速效磷、速效钾最小。经灰色关联度法进行总体评价,表明1行红豆草间作1行四翅滨藜改土效果最佳,单作四翅滨藜次之,2行红豆草间作2行四翅滨藜效果最差。

参考文献:

- [1] 甘肃省土壤普查办公室. 甘肃土壤[M]. 北京:农业出版社,1993.
- [2] 张谦,陈凤丹,冯国艺,等. 盐碱土改良利用措施综述[J]. 天津农业科学,2016,22(8):35-39.
- [3] 郭全恩,王益权,马忠明,等. 植被类型对土壤剖面盐分离子迁移与累积的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(13):2711-2720.
- [4] 史久英,吴永华,许宏刚,等. 兰州市郊园林绿化土壤改良培肥效果试验初报[J]. 草原与草坪,2015,35(1):73-77.
- [5] 王界平,田长彦. 不同氮磷水平下盐角草生长及盐分累积特征分析[J]. 草业学报,2011,20(2):234-243.
- [6] 于闯,南丽丽,魏永鹏,等. 甘肃省盐碱地主要植物群落土壤理化性质及酶活性研究[J]. 草原与草坪,2016,36(3):72-77.
- [7] 薛菁芳,高艳梅,汪景宽,等. 土壤微生物量碳氮作为土壤肥力指标的探讨[J]. 土壤通报,2007,38(2):247-250.
- [8] 张道勇,李会科,郭宏,等. 间作白三叶对苹果/白三叶复合系统土壤微生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. 水土保持研究,2015,22(5):39-45.

- [9] 肖占文,张俐,刘金荣. 人工种植红豆草对灰棕荒漠土改土效应的研究[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(3):199—202.
- [10] Yu G,Li J T,Sun X H,*et al.* Overexpression of Ac-NIP5;1,a novel nodulin-like intrinsic protein from halophyte *Atriplex canescens*,enhances sensitivity to salinity and improves drought tolerance in *Arabidopsis*[J]. *Plant Molecular Biology Reporter*,2015,33(6):1—12.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [12] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1987.
- [13] 李华. 平板菌落计数的改进方法[J]. 生物学通报,2006(1):51—63.
- [14] 李秀红. 基于灰色关联度的多目标决策模型与应用[J]. 山东大学学报(理学版),2007(12):33—36,41.
- [15] Paz Jimenez M D,Horra A M,Peuzzo L. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters [J]. *Biology and Fertility of Soils*,2002,35(4):302—306.
- [16] 张向前,黄国勤,卞新民,等. 间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 生态学报,2012,32(22):7082—7090.
- [17] 王庆宇,李立军,阮慧,等. 旱地燕麦间作对土壤酶活性、微生物含量及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2019,37(2):179—184.
- [18] 孟自力,叶美金,闫延梅,等. 间作大蒜对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. 农业资源与环境学报,2018,35(5):430—438.
- [19] 刘亚军,马琨,李越,等. 马铃薯间作栽培对土壤微生物群落结构与功能的影响[J]. 核农学报,2018,32(6):1186—1194.
- [20] 董晓钢,汤利,郑毅,等. 不同玉米大豆间作处理根系互作对根际微生物数量的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2015,30(4):624—628.
- [21] 吴娜,刘吉利,鲁文. 马铃薯/燕麦间作对根际土壤微生物数量的影响[J]. 西北农业学报,2015,24(5):163—167.
- [22] 李茜倩,张元明. 荒漠藓吗结皮边缘效应下土壤肥力的灰色关联度分析[J]. 中国沙漠,2019,39(3):17—24.
- [23] Ndour Ndèye Yacine Badiane,Chotte J L,Pate E,*et al.* Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions[J]. *Applied Soil Ecology*,2001,18(3):0—238.
- [24] Lili Nan,Quanen Guo. Soil properties of *Alhagi sparsifolia* community in saline-sodic badlands in west China[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2018,38:339—344.
- [25] Lili Nan,Quanen Guo. Soil properties under major halophytic vegetation communities in arid regions[J]. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*,2018,23(5):376—386.

Effects of *Atriplex canescens* and *Onobrychis viciaefolia* intercropping on soil microbial quantity and enzyme activity

LI Bing-yue,ZHANG Xin-xin,NAN Li-li,LIU Xue-qiang,TAN Jie-hui

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

Abstract: Bioremediation of saline soil has a persistent and stable effect,it is also beneficial to the conservation of water and soil and ecological balance. The effects of intercropping of legume and chenopodiaceae on soil biological characteristics were studied in saline soil in order to reveal the dominant mechanism of *Onobrychis viciaefolia* and *Atriplex canescens* on soil enzyme activity and microbial biomass. The results showed that the soil

bacteria and actinomycetes quantities, and available phosphorus content of T₃ treatment (1:1, line) were the highest, i. e., 14.75×10^3 cfu/g, 11.47×10^2 cfu/g and 27.28 mg/kg, respectively on average. Soil enzyme activities of dehydrogenase and alkaline phosphatase of T₄ treatment (2:2, line) were the lowest, i. e., 0.36 g/(g · 24 h), and 0.80 mg/(g · 24 h), respectively on average. However, bacteria quantity, available phosphorus and potassium contents of T₂ treatment (*Atriplex canescens* only) were the lowest, i. e., $9.76 (\times 10^3)$ cfu/g, 19.77 mg/kg and 54.42 mg/kg, respectively on average. The grey relation analysis showed that the soil improvement of T₃ treatment was the best, followed by T₂ treatment.

Key words: *Onobrychis viciaefolia*; *Atriplex canescens*; biological improvement; saline soil

(上接 84 页)

Study on the selection and characteristics of CDS-10 for degradation of corn straw

TANG Yu, FAN Yu-hang, ZHU Xi-dong, HU Hong-jiao,
LI Hai-yun, YAO Tuo

(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)

Abstract: In order to screen out the microflora for rapidly decomposing the agricultural solid wastes such as maize straw, 5 types of initial bacterial flora separated from livestock manure and fermented straw were used to collocate with each other for finding out the highly efficient and stable microflora. In which, CDS-10 was screened out by subculture and its degradation ability and enzymatic vigour were tested. The results showed that along with the increment of culture algebra the degradation ability of CDS-10 was gradually increasing and stabilizing, and decomposition rate was 63.09% when it reproduce to the 30th generation; The enzymic vigour of exoglucanase, endoglucanase and filter paper enzyme tended to be stable since the 30th generation. The exoglucanase vigour significantly increased to 11.63 U/mL; the content of the cellulose, hemicellulose and lignin in maize straw was decreased to certain degrees, among them, the degradation rate of hemicellulose was the highest (92%). This suggested that CDS-10 performed a stable and efficient ability to decompose ingredient of maize straw especially hemicellulose under the favorable conditions, and exoglucanase was the main enzyme to influence the degradation effect. CDS-10 showed a promising future in terms of straw resource utilization.

Key words: corn straw; microflora; decomposition rate; enzyme activity; straw composition