

## 9种牧草对青海同德牧区土壤特性的影响

陈懂懂<sup>1,2</sup>, 李奇<sup>1,2</sup>, 刘哲<sup>1,2</sup>, 刘力华<sup>3</sup>, 翟文婷<sup>1,2,4</sup>, 徐世晓<sup>1,2</sup>,  
赵新全<sup>1,2,5</sup>, 赵亮<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 3. 青海省工程咨询中心, 青海 西宁 810000; 4. 中国科学院大学, 北京 100049; 5. 中国科学院成都生物研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:**通过对青海省高寒牧区常见的9种多年生牧草单播2年后耕层0~15 cm土壤理化(pH、容重(BD)、有机碳(SOC)、全氮(TN)、无机碳(C)及微生物学性质(微生物生物量碳(C<sub>mic</sub>)、氮(N<sub>mic</sub>)和群落代谢功能)等指标的测定分析,结果表明,研究区域只有在种植披碱草2年后土壤有机碳含量有所增加,说明与其他草种相比,种植披碱草利于有机质的积累;试验在每年施肥1次的情况下,土壤氮含量仍然偏低,说明此区氮素被过度利用,处于缺乏水平,因此每年增施氮肥数量、频率以及时间上应加强管理。通过对不同牧草种植区土壤各因子的聚类分析,发现贫花鹅观草、无芒雀麦、紫野麦草和扁穗冰草之间相似度较高,表明其对土壤养分及微生物群落功能的影响较为接近,故在大面积种植的时候可根据牧草地上生物量/质量的高低进行选择播种。从土壤质量方向考虑,种植杂花苜蓿、红豆草和西北羊茅不利于土地的改良。

**关键词:**牧草单播;土壤养分;微生物生物量;微生物群落功能多样性

**中图分类号:**S151.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-5500(2016)04-0041-07

**DOI:**10.13817/j.cnki.cyycp.2016.04.008

青海境内有草地 36.45 × 10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup>, 但长期受多种自然和人为因素影响, 草地环境受到严重破坏, 草原生产力大幅下降。为遏制草地生态环境恶化, 实现草地生产可持续发展, 2000年农业部开展了大规模的草地生态建设, 并将人工种草及草地改良作为一项基本措施<sup>[1]</sup>。人工草地不仅能给家畜提供饲草料, 还广泛用于防风固沙、水土保持等生态建设<sup>[2]</sup>。青海省草地类型复杂, 气候恶劣, 对其进行人工种草及改良并取得经济和社会效益, 首先要解决的问题是选择适应性强的

高产优质牧草品种<sup>[1]</sup>。青海草原工作者的工作多集中在基于适应性强<sup>[3-5]</sup>、高产优质<sup>[1,6-7]</sup>牧草品种的筛选、驯化等研究, 而忽略了牧草种植对土壤质量的影响。

土壤作为一个基本的环境要素, 与地上动植物和土壤生物三者共同构成了土壤生态系统, 它们之间不断地进行着物质和能量交换, 土壤成为生物生长所需养分物质的源和汇, 许多生物过程需要在土壤中完成<sup>[8]</sup>。植物的生长需要不断地通过根系从土壤中吸取水分和养分, 同时需要土壤作为基础支撑, 而地上部分植物生长及覆盖也不断地改变着土壤的理化性状和微生态环境; 此外, 植物根系不断地分泌有机物质, 同时也在不断地进行呼吸作用, 释放二氧化碳, 改变着根际土壤环境及根际微生物群落结构, 从而影响着土壤中的许多理化和生化过程<sup>[9]</sup>。不同植物种群对土壤化学元素特性的影响, 主要是通过作用于地上和地下凋落物的数量和质量以及土壤微生境进行<sup>[10]</sup>。

通过对青海省高寒牧区9种不同多年生人工牧草种植区土壤养分及微生物群落代谢功能的比较, 评价

收稿日期: 2015-11-06; 修回日期: 2016-04-12

基金项目: 青海省科技项目(2011-Z-734); 青海省自然科学基金青年项目(2013-Z-941Q); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05070200); 国家科技支撑计划(2012BAD13B01); 国家自然科学基金重点项目(41030105)资助

作者简介: 陈懂懂(1982-), 女, 山东广饶人, 助理研究员, 博士, 研究方向为土壤生态学。

E-mail: chendd@nwipb.cas.cn

赵亮为通讯作者。

不同种多年生牧草单播对土壤质量的影响,为牧草品种的筛选以及土壤改良提供数据支撑;以期将牧草种植与草地土壤固碳功能相结合,在后期的牧草筛选中将其固碳功能作为因子之一加以考虑。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区域概况

试验地设在青海省海南州的同德县,地理坐标 N 34°38′~35°39′,E 100°08′~101°09′,位于青藏高原东部,平均海拔 3 700 m。属大陆高原性气候,年日照时数 2 550~2 760 h,年均温-3.7~-6.1℃,年降水 427.2 mm,多集中于 6~9 月,雨热同季,冷暖两季分明。全县草地面积 47.16 万 hm<sup>2</sup>,草地类型主要为高寒草甸、高寒草地、山地干草原<sup>[11]</sup>。试验开展于同德牧场,位于青海省同德县东北部巴滩地区(距离同德县东约 5 km 处),土壤以暗栗钙土为主。牧场试验场多用于优质牧草选育等工作。

### 1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 选取同德牧场 3.5 m×6.5 m 的小区 9 个,并将每个小区分成面积 2 m×3 m 的样区,共 27 个小样区,相邻样区之间间隔 30 cm。于 2011 年 5 月播种,选取 9 个品种,行播,完全随机排列,重复 3 次。在播种之前整个小区内土地是匀质的,种植期间施肥量均一致(在播种前于每个小区采集一个样品共 9 个样品混成一个混合样,测定土壤背景值)。施有效 N 为 46.897 kg/hm<sup>2</sup>;P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 72.804 kg/hm<sup>2</sup>;频率为 1 年 1 次,时间为返青之前。播种之前的土壤背景值为土壤有机碳(SOC) 21.65±0.33 g/kg,全氮(TN) 2.38±0.02 g/kg,土壤无机碳(SIC) 69.75±1.24 g/kg,C/N 比 9.11±0.19,pH 7.65±0.03,土壤容重(BD)1.16±0.14 g/cm<sup>3</sup>。

种植的牧草品种分别为:西北羊茅(*Festuca kryloviana*),披碱草(*Elymus dahuricus*),贫花鹅观草(*Roegneria pauciflora*),草原看麦娘(*Alopecurus pratensis*),紫野麦草(*Hordeum violaceum*),扁穗冰草(*Agropyron cristatum*),无芒雀麦(*Bromus inermis*);杂花苜蓿(*Medicago varia*),红豆草(*Onobrychis viciaefolia*)。

1.2.2 土壤样品采集与测定 于 2013 年,即牧草种植 2 年后的 8 月(8 月底完成牧草收割)采集土壤 0~15 cm 耕层,随机取样,每个小区随机选取 3 个点,取

土后混合成一个样品,每种牧草取 3 个土样,混合,自封袋保存。立即带回实验室,过 2 mm 筛,去除根及其他杂物后,分成 2 部分。一部分风干,过 0.15 mm 筛,用于土壤养分等测定;一部分 4℃ 保鲜保存,用于水分、微生物生物量及群落功能测定。

SOC 用硫酸-重铬酸钾氧化法,TN 采用凯氏定氮法;SIC 用碳酸测定仪测定;BD 采用环刀法、土壤含水量采用烘干法,pH 用 PHS-3C 型 pH 计测定。土壤微生物量碳、氮(C<sub>mic</sub>,N<sub>mic</sub>)采用氯仿熏蒸浸提法<sup>[12]</sup>。

土壤微生物群落功能多样性应用 BIOLOG 法,取土壤 10 g,加 90 mL 灭菌生理盐水(0.85%)在摇床上振荡 30 min,然后将土壤样品稀释至 10<sup>-2</sup> 倍,再从中取 150 μL 该悬浮液接种到 BIOLOG 微平板中的每一个孔中,最后将接种好的板置于 25℃ 的恒温培养箱中培养,每隔 24 h 在 BIOLOG 读数仪上读数<sup>[13]</sup>。

平均每孔颜色变化率(AWCD)计算:

$$AWCD = \sum_{i=1}^n (C_i - R_i) / n$$

式中:C<sub>i</sub>为每个有培养基孔(590 nm~750 nm)的光密度值,R 为对照孔(590 nm~750 nm)的光密度值,n 为培养基数据,EcoPlate 板 n 值为 31。

多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数(H')

$$H' = \sum_{i=1}^n P_i \times \ln P_i$$

式中:P<sub>i</sub>为有培养基的孔与对照孔的光密度值差与整板总差的比值,即

$$P_i = (C_i - P_i) / \sum_{i=1}^n (C_i - P_i)$$

试验采用 BIOLOG 微平板培养第 72 h 的数据,来比较土壤微生物群落功能多样性。

### 1.3 统计分析

所有测定指标均采用单因素 ANOVA 分析;LSD 检验分析在 P<0.05 比较平均值;用层序聚类分析中的平均距离法分析 9 种牧草之间的相似性。所有统计分析都在 SPSS 18.0 和 Excel 2010 中进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同牧草单播土壤理化性质比较

土壤 SOC 和 TN 呈现极好的相关性(R<sup>2</sup>=0.777,P<0.01)。播种 2 年后,披碱草单播土壤 SOC 和 TN 含量最高,但只有 SOC 比对照(种草前裸地)稍高,并远远高于其他牧草种植区(P<0.01);其他种植区的

土壤 SOC 均低于对照区,而所有种植区的 TN 含量均低于种植前的水平(表 1)。牧草种植区土壤 SIC 与 SOC 和 TN 呈负相关,尤其与 SOC 极显著负相关( $R^2 = -0.541, P < 0.01$ ),且含量远高于 SOC 含量,在土壤总碳(TC = SOC + SIC)中含量可达 76.3%~

83.1%;种植 2 年后,整个种植区的无机碳均显著增加,增加幅度从 2.27%~32.17%。不同牧草种植区的土壤碳氮比(C/N)变化在 9.02~10.03,除豆科 2 个种和无芒雀麦外,而种植其他牧草 2 年后土壤 C/N 比较对照有不同程度的增加。

表 1 不同牧草单播人工草地土壤养分含量比较

Tbale1 Soil nutrients in 0~15 cm soil layer under different sowed grassland

物种	Cmic	Nmic	SOC	TN	C	SOC	Cmic/	Nmic/	含水量/%	pH(1:2.5 KCl)	BD/ (g·cm <sup>-3</sup> )
	/(mg·kg <sup>-1</sup> )		/(g·kg <sup>-1</sup> )			/TN	SOC/%	TN/%			
西北羊茅	96.20±5.13 <sup>e</sup>	14.29±0.92 <sup>e</sup>	20.61±0.16 <sup>b</sup>	2.15±0.01 <sup>c</sup>	71.33±0.65 <sup>e</sup>	9.61±0.11 <sup>b</sup>	0.47±0.02 <sup>e</sup>	0.67±0.04 <sup>c</sup>	8.81±0.08 <sup>c</sup>	7.58±0.02 <sup>c</sup>	1.14±0.02 <sup>a</sup>
披碱草	265.18±6.31 <sup>b</sup>	31.36±1.53 <sup>a</sup>	22.71±0.08 <sup>a</sup>	2.27±0.01 <sup>a</sup>	72.98±0.63 <sup>e</sup>	10.03±0.08 <sup>a</sup>	1.17±0.03 <sup>b</sup>	1.38±0.06 <sup>a</sup>	9.26±0.21 <sup>b</sup>	7.54±0.00 <sup>d</sup>	1.12±0.02 <sup>a</sup>
贫花鹅观草	284.65±3.13 <sup>ab</sup>	27.31±1.80 <sup>ab</sup>	19.03±0.06 <sup>c</sup>	2.06±0.01 <sup>e</sup>	76.65±0.73 <sup>d</sup>	9.23±0.03 <sup>def</sup>	1.50±0.01 <sup>a</sup>	1.33±0.09 <sup>a</sup>	8.34±0.08 <sup>de</sup>	7.60±0.01 <sup>c</sup>	1.13±0.04 <sup>a</sup>
草原看麦娘	223.90±6.31 <sup>c</sup>	18.54±2.53 <sup>de</sup>	20.76±0.09 <sup>b</sup>	2.09±0.01 <sup>de</sup>	82.34±0.99 <sup>b</sup>	9.96±0.04 <sup>a</sup>	1.08±0.03 <sup>bc</sup>	0.89±0.12 <sup>b</sup>	7.05±0.04 <sup>e</sup>	7.64±0.00 <sup>b</sup>	1.08±0.00 <sup>abc</sup>
紫野麦草	274.10±8.07 <sup>ab</sup>	26.60±1.06 <sup>b</sup>	19.60±0.21 <sup>d</sup>	2.11±0.01 <sup>d</sup>	81.37±0.58 <sup>bc</sup>	9.28±0.12 <sup>de</sup>	1.40±0.06 <sup>a</sup>	1.26±0.05 <sup>a</sup>	8.91±0.05 <sup>c</sup>	7.64±0.02 <sup>a</sup>	1.02±0.01 <sup>bc</sup>
扁穗冰草	290.04±8.00 <sup>a</sup>	29.94±0.96 <sup>ab</sup>	20.36±0.21 <sup>bc</sup>	2.19±0.01 <sup>b</sup>	79.96±0.94 <sup>c</sup>	9.32±0.06 <sup>d</sup>	1.42±0.03 <sup>a</sup>	1.37±0.05 <sup>a</sup>	7.95±0.09 <sup>f</sup>	7.60±0.00 <sup>c</sup>	1.09±0.04 <sup>ab</sup>
无芒雀麦	282.61±11.08 <sup>ab</sup>	25.68±0.63 <sup>bc</sup>	19.00±0.08 <sup>c</sup>	2.11±0.01 <sup>d</sup>	83.16±0.59 <sup>b</sup>	9.02±0.07 <sup>f</sup>	1.49±0.06 <sup>a</sup>	1.22±0.03 <sup>a</sup>	8.62±0.10 <sup>cd</sup>	7.59±0.01 <sup>c</sup>	1.07±0.01 <sup>abc</sup>
杂花苜蓿	180.21±3.25 <sup>d</sup>	26.10±0.64 <sup>b</sup>	18.80±0.07 <sup>c</sup>	2.07±0.01 <sup>e</sup>	92.19±1.01 <sup>a</sup>	9.09±0.05 <sup>ef</sup>	0.96±0.02 <sup>d</sup>	1.26±0.03 <sup>a</sup>	10.39±0.07 <sup>a</sup>	7.67±0.00 <sup>a</sup>	1.00±0.02 <sup>c</sup>
红豆草	196.75±4.87 <sup>d</sup>	21.47±1.93 <sup>cd</sup>	19.99±0.16 <sup>c</sup>	2.19±0.02 <sup>b</sup>	91.71±0.51 <sup>a</sup>	9.14±0.07 <sup>def</sup>	0.98±0.02 <sup>cd</sup>	0.98±0.08 <sup>b</sup>	8.13±0.06 <sup>e</sup>	7.58±0.00 <sup>c</sup>	1.01±0.04 <sup>c</sup>

注:数值为均值±标准误,同列不同小写字母表示显著差异( $P < 0.05$ ),下表同

种植牧草后,整个种植区与对照相比,容重有所降低,尤其是种植豆科(2个种)和紫野麦草的土壤 BD 与其他种相比更低,整个种植区 BD 变化为 1.00~1.14 g/cm<sup>3</sup>。pH 结果表明,虽然不同牧草种植区之间存在差异,根据中国土壤的划分标准<sup>[14]</sup>,整个种植区土壤质地为中性偏碱,pH 变化为 7.54~7.67。

## 2.2 土壤生物学性状

2.2.1 土壤微生物生物量 扁穗冰草、贫花鹅观草、紫野麦草和无芒雀麦之间土壤 C<sub>mic</sub> 无显著差异;西北羊茅、草原看麦娘和杂花苜蓿红豆草的土壤 C<sub>mic</sub> 含量远远低于其他牧草品种。种植披碱草、扁穗冰草与贫花鹅观草之间的土壤 N<sub>mic</sub> 无显著差异,与草原看麦娘、西北羊茅和红豆草之间差异显著。土壤 N<sub>mic</sub> 与 C<sub>mic</sub> 之

间相关显著( $R^2 = 0.695, P < 0.01$ )。

微生物熵[C<sub>mic</sub>/SOC(%)]是微生物对碳累积潜力的一项指标,它充分反映了土壤中活性有机碳所占的比例,从微生物学角度揭示土壤肥力的差异<sup>[15]</sup>。种植区内 C<sub>mic</sub>/SOC(%)在不同牧草种植区内的变化与 C<sub>mic</sub> 和 N<sub>mic</sub> 的变化基本一致,C<sub>mic</sub>/SOC(%)变化范围为(0.58~1.50)%,其中,豆科 2 个种和禾本科的西北羊茅土壤中微生物对碳的固定较低(表 1)。

2.2.2 土壤微生物群落活性及功能多样性 BI-OLOG 试验结果(AWCD)显示出不同牧草单播的土壤微生物群落对不同碳源的代谢强度的差异性(图 1,表 2)。随着培养时间延长,土壤微生物对不同碳源利用程度增大,到 192 h 基本趋于平稳。9 种单播牧草土

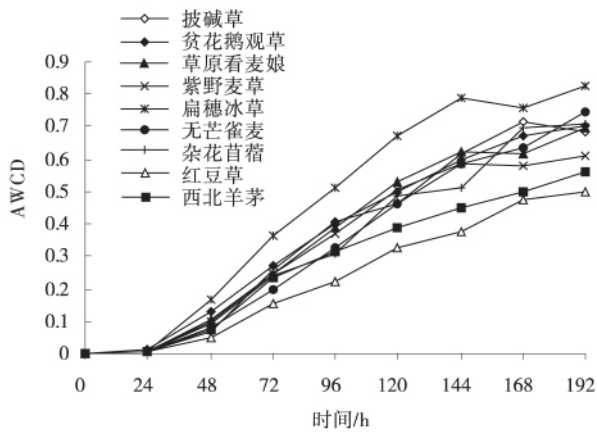


图1 不同牧草单播人工草地土壤微生物群落 AWCD 值的时间变化

Fig. 1 Kinetic changes in AWCD of microbial communities within the incubation time (192 h) in 0~15 cm soil layer under different sowed grassland

表2 不同牧草单播人工草地土壤微生物代谢活性及多样性指数

Table 2 Soil microbial metabolic activity and diversity indexes in 0~15 cm soil layer under different sowed grassland

	西北羊茅	披碱草	贫花鹅观草	草原看麦娘	紫野麦草	扁穗冰草	无芒雀麦	杂花苜蓿	红豆草
AWCD(192 h)	0.56±0.01 <sup>de</sup>	0.69±0.05 <sup>bc</sup>	0.70±0.01 <sup>bc</sup>	0.70±0.04 <sup>bc</sup>	0.61±0.04 <sup>cd</sup>	0.82±0.04 <sup>a</sup>	0.75±0.03 <sup>ab</sup>	0.71±0.02 <sup>b</sup>	0.50±0.02 <sup>e</sup>
$H'$	2.64±0.02 <sup>d</sup>	2.92±0.05 <sup>bc</sup>	2.96±0.02 <sup>ab</sup>	2.92±0.03 <sup>bc</sup>	2.81±0.06 <sup>c</sup>	3.06±0.01 <sup>a</sup>	2.79±0.04 <sup>c</sup>	2.92±0.02 <sup>bc</sup>	2.61±0.09 <sup>d</sup>

种植前的水平。说明播种2年后,在该研究区域,与其他草种相比,披碱草对土壤有机质有更大的贡献;同时说明该区多数牧草对氮元素存在过度利用,在每年施加氮肥一次的情况下,氮素仍处于缺乏水平。

土壤 SIC 主要是指土壤风化成土过程中形成的发生性碳酸盐矿物态碳(主要以  $\text{CaCO}_3$  的形式),其在全球碳循环中起重要作用<sup>[16]</sup>。在试验区,牧草种植2年后,整个种植区的无机碳均显著增加。可能是 SOC 分解后释放的  $\text{CO}_2$  经过沉淀,最终增加了土壤碳酸盐含量;同时,在一定程度干旱、 $\text{CO}_2$  分压较小以及 pH 较高的土壤环境中,含钙矿物质的风化以及外部环境提供的  $\text{Ca}^{2+}$  都能促进  $\text{CaCO}_3$  的形成<sup>[17]</sup>,而根据测定结果显示该研究区域土壤干旱(含水量在 10%),且  $\text{pH}>7.5$ 。

在研究区,不同牧草种植区的土壤碳氮比(C/N)变化在 9.02~10.03,除豆科2个种和无芒雀麦外,种植其他牧草2年后土壤 C/N 比较对照有不同程度的增加。一般而言,当土壤 C/N 比在 15~25,C/N 比较

壤中微生物活性有基本类似的变化趋势。种植扁穗冰草的土壤中微生物对碳的利用变化最快;而红豆草单播土壤微生物活性最弱。种植扁穗冰草的土壤微生物对碳源的利用强度与无芒雀麦之间无显著差异;无芒雀麦,禾本科披碱草,贫花鹅观草,草原看麦娘,紫野麦草,杂花苜蓿之间差异不显著;它们均与西北羊茅和红豆草之间差异显著( $P<0.01$ )。土壤微生物群落代谢功能多样性指数( $H'$ )与 AWCD 显著正相关( $R^2=0.774, P<0.01$ ),两者耦合性较好。

### 3 讨论

土壤 SOC 和 TN 是土壤质量的重要指标之一,播种披碱草2年后土壤 SOC 和 TN 含量最高,但只有 SOC 比对照(种草前裸地)稍高,其他种植区的土壤 SOC 均低于对照区,而所有种植区的 TN 含量均低于

高,有机质供肥状况优越;而 C/N 比较低时,说明微生物分解活动能力增强,从而加快了土壤中有机的分解,使有机碳含量下降,不利于有机质的积累。所以 C/N 比的下降也是反映土壤肥力退化的一个重要指标<sup>[18]</sup>。试验结果表明,在研究区种植豆科和禾本科牧草促进了有机质的分解,这可以结合无机碳的结果加以验证。

土壤 BD 是衡量土壤孔隙度的重要指标,同时还可以说明土壤对水分的渗透度和渗透速率的大小<sup>[19]</sup>。种植牧草后,整个种植区与对照相比,容重有所降低,尤其是种植豆科(2个种)和紫野麦草的土壤 BD 与其他种相比更低,可能跟这3种植物的根系对土壤的疏松有关<sup>[20]</sup>,说明种植这3种牧草对改善土壤孔隙度和水分渗透等有一定的作用;但从整个种植区 BD 变化分析,整个区域土壤容重正常(1.05~1.20  $\text{g}/\text{cm}^3$ )<sup>[21]</sup>。

土壤微生物量是活的土壤有机质部分,又是土壤

养分的储存库和植物生长养分的重要来源<sup>[22]</sup>,是有机质动态的敏感指标。当环境发生变化时土壤微生物量比有机质变化更加敏感,因此,微生物量又是反映土壤干扰的灵敏的生物学指标<sup>[23-24]</sup>,故土壤微生物量的测定对理解和预测土地利用变化的长期作用以及相关的土壤状况是有积极意义。研究结果显示扁穗冰草、贫花鹅观草、紫野麦草和无芒雀麦之间土壤  $C_{mic}$  无显著差异,其值远高于西北羊茅,草原看麦娘和杂花苜蓿红豆草( $P < 0.01$ )。土壤  $N_{mic}$  与  $C_{mic}$  有相似的变化。多数研究发现土壤微生物量与土壤有机质之间关系密切<sup>[25-27]</sup>,而在研究中没有发现它们之间的相关性,这与不同研究区域的生态系统差异有关<sup>[28]</sup>。

微生物熵( $C_{mic}/SOC$ )比单一的生物量和/或有机质更能反映土壤生态系统受到人为干扰后的效果,能监测土地退化及恢复过程<sup>[29]</sup>。种植区内  $C_{mic}/SOC$  (%)变化为 0.58%~1.50%。王长庭等<sup>[30]</sup>对三江源区高寒草甸退化草地土壤  $C_{mic}/SOC$  (%)的研究结果为 0.26%~0.49%,任佐华等<sup>[31]</sup>对三江源区高寒草原土壤的研究结果为 0.27~0.73%,李世卿等<sup>[27]</sup>得出的

放牧影响下土壤  $C_{mic}/SOC$  (%)的值为 0.35%~0.77%,诸多对比分析,说明牧草种植对天然/退化草地恢复有一定的效果。

土壤微生物在 BIOLOG 微平板上的 AWCD 是反映土壤微生物活性,即对碳源利用能力的一个重要指标<sup>[13,32]</sup>。研究土壤微生物群落对不同碳源利用能力的差异,有助于全面了解微生物群落代谢功能特征。培养基多样性指数表明的是土壤微生物群落利用碳源类型的多与少,即功能多样性。研究表明,扁穗冰草 AWCD 和 ( $H'$ ) 较高说明与其他牧草相比,其对碳源利用能力较强且利用碳源类型也较多。

通过对不同牧草种植区土壤各因子的聚类分析(包括土壤理化性质以及微生物学特性),发现贫花鹅观草、无芒雀麦、紫野麦草和扁穗冰草之间相似度较高,表明它们对土壤养分及微生物群落功能的影响较为接近,故在牧草种植的时候可根据地上生物量及牧草品质的高低进行选择播种(图 2)。种植杂花苜蓿,红豆草(均为引进种)和西北羊茅后土壤整体质量相对较差,不利于土地改良。

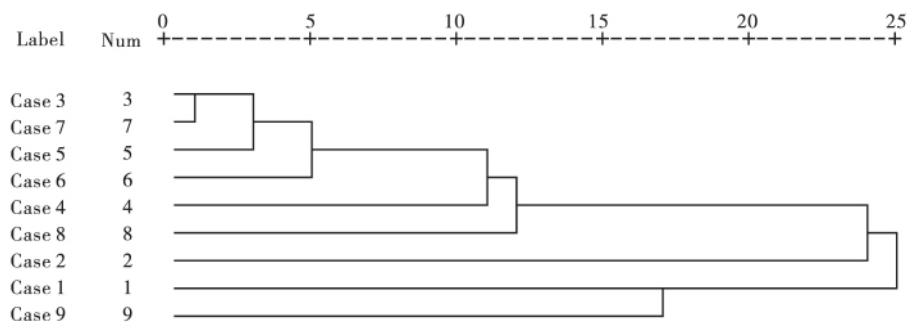


图 2 聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of soil factors under different sowed grassland

注:图中 Case 1-西北羊茅;Case 2-披碱草;Case 3-贫花鹅观草;Case 4-草原看麦娘;Case 5-紫野麦草;Case 6-扁穗冰草;Case 7-无芒雀麦;Case 8-杂花苜蓿;Case 9-红豆草

## 4 结论

在研究区域内,种植披碱草更利于有机质的积累。

研究区每年施肥一次时,土壤氮含量仍然偏低,说明此区氮素被过度利用,处于缺乏水平,故在每年增施氮肥数量、频率以及时间上应加强管理。

贫花鹅观草、无芒雀麦、紫野麦草和扁穗冰草之间相似度较高,表明它们对土壤养分及微生物群落功能的影响较为接近,故在牧草种植的时候可根据地上生物量及牧草品质的高低进行选择播种。

从土壤质量方向考虑,种植杂花苜蓿、红豆草和西北羊茅不利于土地的改良。

参考文献:

- [1] 纪亚君. 青海省牧草育种研究进展[J]. 草业科学, 2009, 26(11): 86-92.
- [2] 赵永富. 几种优良牧草的种植试验[J]. 草原与草坪, 2014, 26(1): 57-59.
- [3] 施建军, 王柳英, 马玉寿, 等. “黑土型”退化草地人工植被披碱草属三种牧草的适应性评价[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2006, 36(1): 4-6.
- [4] 施建军, 王柳英, 马玉寿, 等. “黑土型”退化草地人工植被

- 早熟禾属 10 种牧草的适应性评价[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2006, 36(4): 14—16.
- [5] 秦爱琼, 朱勇, 马金英, 等. 藏北地区 9 种牧草栽培试验初报[J]. 草业与畜牧, 2012, 33(04): 27—29.
- [6] 施建军, 马玉寿, 董全民, 等. “黑土型”退化草地优良牧草筛选试验[J]. 草地学报, 2007, 15(6): 543—555.
- [7] 陈鸿洋, 傅华, 黄德君, 等. 高寒地区垂穗披碱草优异种质资源筛选[J]. 中国农业科学, 2013, 46(4): 841—848.
- [8] 郭艳玲. 多年生禾草对土壤理化性质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2005: 10.
- [9] 赵钰. 四种牧草对土壤生化性质的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2013: 8—9.
- [10] 吴建国, 艾丽, 祁连山 3 种典型生态系统土壤微生物活性和微生物量碳氮含量[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 465—476.
- [11] 周华坤, 赵新全, 王启基, 等. 青海省同德县草地现状及畜牧业可持续发展策略[J]. 草原与草坪, 2007, 27(04): 7—12.
- [12] 柴晓虹, 姚拓, 王理德, 等. 围栏封育对高寒草地土壤微生物特性的影响[J]. 草原与草坪, 2014, 34(5): 26—31.
- [13] 马驿, 陈杖榴, 曾振灵. 恩诺沙星对土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3400—3406.
- [14] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 171—179.
- [15] Sparling G P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of change in soil organic matter[J]. Australia Journal of Soil Research, 1992, 30(2): 195—207.
- [16] 杨黎芳, 李贵桐. 土壤无机碳研究进展[J]. 土壤通报, 2011, 42(4): 986—990.
- [17] 王海荣, 杨忠芳. 土壤无机碳研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(35): 21735—21739.
- [18] 高寒, 王宏燕, 李传宝, 等. 玉米秸秆不同腐解处理还田对黑土碳氮比的影响研究[J]. 土壤通报, 2013, 44(6): 1392—1397.
- [19] 李笃仁, 高绪科, 汪德水. 土壤紧实度对作物根系生长的影响[J]. 土壤通报, 1982, 14(3): 20—22.
- [20] 李志洪, 王淑华. 土壤容重对土壤物理性状和小麦生长的影响[J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 55—57.
- [21] 王金贵, 王益权, 徐海, 等. 农田土壤紧实度和容重空间变异性研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(3): 594—598.
- [22] Singh J S, Raghubanshi A S, Singh R S, *et al.* Microbial biomass act as a source of Plant nutrients in dry tropical forest and savanna[J]. Nature, 1989, 338: 499—500.
- [23] Ocio J A, Brookes P C. An evaluation of methods for measuring microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass that develops[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1990, 22(5): 685—694.
- [24] 单贵莲, 初晓辉, 罗富成, 等. 围封年限对典型草原土壤微生物及酶活性的影响[J]. 草原与草坪, 2012, 32(1): 1—6.
- [25] Sun G, Luo P, Wu N, *et al.* *Stellera chamaejasme* L. increases soil N availability, turnover rates and microbial biomass in an alpine meadow ecosystem on the eastern Tibetan plateau of China[J]. Soil Biology Biochemistry, 2009, 41(1): 86—91.
- [26] 徐丽君, 王波, 辛晓平. 紫花苜蓿人工草地土壤养分及土壤微生物特性[J]. 草地学报, 2011, 19(3): 406—411.
- [27] 李世卿, 王先之, 郭正刚, 等. 短期放牧对青藏高原东北边缘高寒草甸土壤及微生物碳氮含量的影响[J]. 中国草地学报, 2013, 35(1): 55—66.
- [28] 陈懂懂, 孙大帅, 张世虎, 等. 放牧对青藏高原东缘高寒草甸土壤微生物特征的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2011, 47(1): 73—77.
- [29] 唐玉姝, 魏朝富, 颜廷梅, 等. 土壤质量生物学指标研究进展[J]. 土壤, 2007, 39(2): 157—163.
- [30] 王长庭, 龙瑞军, 王启兰, 等. 三江源区高寒草甸不同退化演替阶段土壤有机碳和微生物量碳的变化[J]. 应用与环境微生物学报, 2008, 14(2): 225—230.
- [31] 任佐华, 张于光, 李迪强, 等. 三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量[J]. 生态学报, 2011, 31(11): 3232—3238.
- [32] 郑华, 欧阳志云, 方治国, 等. BIOLOG 在土壤微生物群落功能多样性研究中的应用[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 456—461.

# Effects of 9 forage species on soil properties in the alpine pastoral region of Qinghai Province

CHEN Dong-dong<sup>1,2</sup>, LI Qi<sup>1,2</sup>, LIU Zhe<sup>1,2</sup>, LIU Li-hua<sup>3</sup>, ZHAI Wen-ting<sup>1,2,4</sup>,  
XU Shi-xiao<sup>1,2</sup>, ZHAO Xin-quan<sup>1,2,5</sup>, ZHAO Liang<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai Province 810008, China; 2. Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai Province 810008, China; 3. Qinghai Engineering Consulting Center, Xining, Qinghai Province 810000, China; 4. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 5. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** The soil physiochemical properties (including soil pH, bulk density, organic carbon, total nitrogen and inorganic carbon), microbial biomass carbon and nitrogen, community functional diversity and their metabolic activity were all measured in the arable layer (0~15 cm soil) after planting 9 perennial grasses for 2 years in the alpine pastoral areas located in north-eastern Tibet Plateau. The results showed that, compared to other grasses, *Elymus dahuricus* was conducive to the accumulation of organic matter in the soil. The soil N was used excessively result in its insufficiency in this region, Therefore, it is necessary to strengthen the management in term of nitrogen application amount, frequency, and application time. Based on the clustering analysis of soil factors, we found that *Roegneria pauciflora*, *Bromus inermis*, *Hordeum violaceum* and *Agropyron cristatum* had higher similarity, which implied that they had similar effects on soil nutrients and microbial community. Based on the aboveground biomass or forage quality, these forages should be considered preferentially. Considering the soil quality, *Medicago varia*, *Onobrychis viciaefolia*, *Festuca kryloviana* were not good forages for land improvement.

**Key words:** grass unicast; soil nutrients; microbial biomass; microbial community functional diversity

---

## 版权声明

为扩大本刊及作者知识信息交流渠道,加强知识信息推广力度,本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在 CNKI 中国知网及其系列数据库产品中,以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该著作权使用费及相关稿酬,本刊均用作为作者文章发表、出版、推广交流(含信息网络)以及赠送样刊之用途,即不再另行向作者支付。凡作者向本刊提交文章发表之行为即视为同意编辑部上述声明。