

杨 启,吕光辉,何学敏,等. 不同利用方式下草地物种多样性及其土壤因子解释[J]. 江苏农业科学,2020,48(1):248-254.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.01.046

# 不同利用方式下草地物种多样性及其土壤因子解释

杨 启<sup>1,2</sup>, 吕光辉<sup>2,3</sup>, 何学敏<sup>2,3</sup>, 王金龙<sup>1,2</sup>, 刘安娜<sup>1,2</sup>, 陈 悦<sup>1,2</sup>, 郟亚栋<sup>1,2</sup>

(1. 新疆大学资源与环境科学学院,新疆乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室,新疆乌鲁木齐 830046;

3. 新疆大学干旱生态环境研究所,新疆乌鲁木齐 830046)

**摘要:**草地是干旱区重要的生态系统,了解不同利用方式下土壤因子(土壤含水量、有机碳含量、速效磷含量、pH 值、容重)对物种多样性的影响,可为该地区草地的恢复重建提供理论依据。在新疆阿勒泰富蕴县,对不同利用方式的草地(禁牧草地、季节草地、弃耕草地、对照草地)运用单因素方差分析探讨不同利用方式下的物种多样性、土壤因子的差异性;冗余分析讨论物种多样性与土壤因子间的相关性。结果表明,(1)相较于其他 3 种利用方式的草地,季节草地植物 Shannon - Wiener 多样性指数( $H$ )、Simpson 多样性指数( $D$ )、Margalef 丰富度指数( $R$ )、Pielou 均匀度指数( $J$ )均为最大,分别为 0.910、0.516、0.479、0.662,说明适度放牧有利于物种多样性的增加;(2)不同利用方式下各土壤因子之间差异较明显,说明不同的利用方式对土壤因子有显著影响,但不同利用方式下容重无显著性差异;(3)土壤有机碳含量、pH 值、含水量与多样性指数均呈正相关关系,与容重均呈负相关关系,丰富度指数  $R$  与速效磷含量呈正相关关系,与其余指数呈负相关关系。综上所述,季节性放牧有利于物种多样性的维持;速效磷含量与多样性相关性最大,且随着土壤含水量和 pH 值的增加,多样性指数增加。

**关键词:**干旱区;草地利用方式;物种多样性;土壤因子;冗余分析

**中图分类号:** S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)01-0248-06

草地是陆地生态系统中一种重要的自然资源<sup>[1]</sup>,世界草地面积达 24 亿  $\text{hm}^2$ ,约占全球陆地面积的 1/5。我国草地面积约为 4 亿  $\text{hm}^2$ ,占国土面积的 40% 以上,主要分布于环境恶劣的干旱、半干旱地区,发挥着重要的物质生产与生态屏障功能。作为生物多样性的载体和重要农业资源,草地具有较高的生产力及重要的环境调节功能,是草原畜牧业可持续发展的基础<sup>[2]</sup>,其本身还具有很高的景观价值<sup>[3]</sup>。

如今草地生态系统受多种因素干扰面积锐减,给人类的生产生活带来了很大的影响。越来越多的学者开始关注草地生态系统在多种因素干扰下土壤因子对生物多样性的影响。不同利用方式对物种多样性影响的研究结果也不尽相同,Xiong 等指出,封育后的草地表面凋落物覆盖的时间越长,对物种多样性的负效应越大<sup>[4]</sup>。吕世海等对我国

温带沙化草地的研究表明,随着围封年限的增加,草地的群落结构逐渐趋于合理,物种丰富度、群落均匀性和多样性均呈增加趋势<sup>[5]</sup>;朱丽等采用随机取样法分析了不同放牧方式下植物群落多样性的变化情况,结果表明,群落的物种丰富度、均匀度和物种多样性均显著低于适度利用的草地<sup>[6]</sup>。苗仁辉等对科尔沁沙化草地的研究表明,物种多样性指数随封育时间延长呈下降趋势,即封育不利于物种多样性的维持<sup>[7]</sup>。而关于土壤养分变化对物种多样性影响的研究中,Luo 等的研究表明,Shannon - Wiener 指数与土壤含水量显著正相关,而与土壤有效磷含量显著负相关<sup>[8]</sup>。而赵洋毅等对渝北不同模式水源涵养林的研究结构表明,Shannon - Wiener 指数、Simpson 指数与有机质、速效磷含量呈正相关关系<sup>[9]</sup>。因此,不同利用方式下多样性指数与土壤因子间相关关系也有所差异。

以往对不同利用方式的草地物种多样性和土壤因子关系的研究主要集中在东北草原<sup>[10]</sup>、内蒙古草原<sup>[11]</sup>、科尔沁沙地<sup>[12]</sup>和秦岭<sup>[13]</sup>等地区,且都从各自地理背景和生产实际出发,主要反映了单一生态系统的研究,对植物 - 土壤整体生态系统的研究较少。且土壤对不同利用方式的响应较慢,须要将

收稿日期:2018-10-12

基金项目:国家自然科学基金(编号:31560131)。

作者简介:杨 启(1996—),女,新疆博乐人,硕士研究生,主要从事生物多样性研究。E-mail:1599809234@qq.com。

通信作者:吕光辉,博士,教授,博士生导师,主要从事生态学教学和科研工作。E-mail:ler@xju.edu.cn。

植被-土壤系统作为一个整体来综合研究不同利用方式对植被和土壤的影响<sup>[14]</sup>。新疆阿勒泰地区是我国重要的牧区之一,畜牧业是该地区经济繁荣的重要保证,而草地生态系统是畜牧业可持续发展的关键<sup>[15]</sup>,生物多样性又是维持草地生态系统稳定和持续生产的物质基础<sup>[16]</sup>,随着近些年过度放牧以及对草地的不合理开发和利用,当地草地生态系统遭到了严重的破坏,牧草种类减少,适口性下降,盖度降低,有些地方逐渐退化为荒漠。基于此,本研究在阿勒泰地区选取了不同利用方式的草地来探讨其对植被和土壤的影响,以期为阿勒泰地区草地生态系统的恢复提供理论支持。

## 1 材料与方法

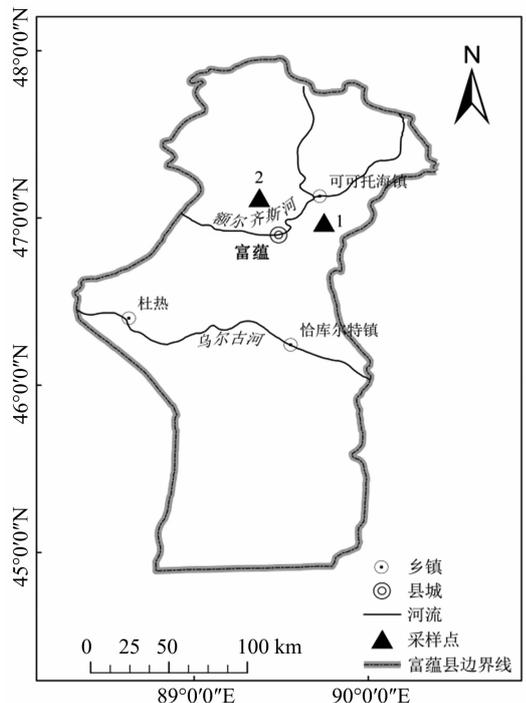
### 1.1 研究区概况

阿勒泰地区富蕴县(88°10'~91°31'N,45°00'~48°03'E)位于新疆维吾尔自治区北部,阿尔泰山中段南麓,面积为3.37万km<sup>2</sup>。富蕴县属大陆性寒温带气候,基本特点是春早多风、夏秋短暂、冬季寒冷而漫长、气温差异大。夏季最高气温38.7℃,冬季最低气温为-51.5℃,年平均气温为1.9℃,冬季日最低气温低于-20℃的寒冷日为90d,为全国高寒地区之一。年降水量为158.3mm,年蒸发量为1734mm,属于高蒸发地区。年日照时间为2869.8h。主要农区的无霜期达108d。常见的灾害性天气冬季为寒潮、大风雪等,其他季节主要有干旱、干热风、冰雹等。按其地貌特征可分为山区、丘陵、盆地、戈壁、河谷、沙漠等6大类。土壤以淡棕钙土和风沙土为主。草原植被以多年生草本密丛禾本科为主,草地资源丰富。植物主要有针茅(*Stipa capillata* Linn.)、沟叶羊茅(*Festuca rupicola* Heuff.)、白茎绢蒿[*Seriphidium terrae - albae* (Krasch.) Poljak.]、阿尔泰狗娃花[*Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr.]、羊草[*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel.]、戈壁藜[*Iljinia regelii* (Bunge) Korov.]、针裂叶绢蒿[*Seriphidium sublessingianum* (Kell.) Poljak.]、胀萼黄耆(*Astragalus ellipsoideus* Ledeb.)和苦马豆[*Sphaerophysa salsula* (Pall.) DC.]等。

### 1.2 试验设计

于2015年8月在阿勒泰富蕴县的退化草地示范基地和草原站内分别选取4种不同利用方式的干旱草地:禁牧草地(EG)、季节草地(SG)、弃耕草地

(ABG)和对照草地(NG)(图1)。EG为封育5年的草场(原为夏草场),SG为历年春秋放牧,ABG为弃耕2年做春秋牧场的草场(原为季节草地,20世纪70年代种植玉米),NG为夏季牧场。通过随机取样的方式在不同利用方式下的草地用样方绳布设1m×1m的样方,每种草地设置5次重复,在每一样方内取0~10、10~30、30~50cm深土样混匀,记录样方内植物种数、株数、高度、盖度;利用铝盒采集土样烘干后测定土壤含水量,利用环刀取原位土,现场测量容重并进行冷藏保存,带回室内进行理化性质的测定。



1—草原站,在其中选择禁牧草地和季节草地;2—退化草地示范基地,在其中选择弃耕草地和对照草地

图1 研究区地理位置

### 1.3 试验方法

用烘干法测定土壤含水量(WC);重铬酸钾容量法测定土壤有机碳(SOC)含量;用环刀法测土壤容重(BD);用0.5mol/L NaHCO<sub>3</sub>浸提-钼锑抗比色法测定土壤样品中速效磷(AP)的含量;用电位法测量pH值。运用Excel 2010统计研究区草地植被的数据,建立数据库。采用R语言的vegan程序包和spaa程序包计算物种多样性指数。运用SPSS 17.0中的单因素方差分析对不同草地物种多样性和土壤因子进行差异性检验,采用Canoco 4.5对两者之间进行冗余分析(RDA)。物种多样性测度如下:

(1) 丰富度 ( $S$ ):

$S$  = 样地或样方内出现的植物种数。

## (2) 多样性指数

Shannon - Wiener 多样性指数 ( $H$ ):

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i。$$

Simpson 多样性指数 ( $D$ ):

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2。$$

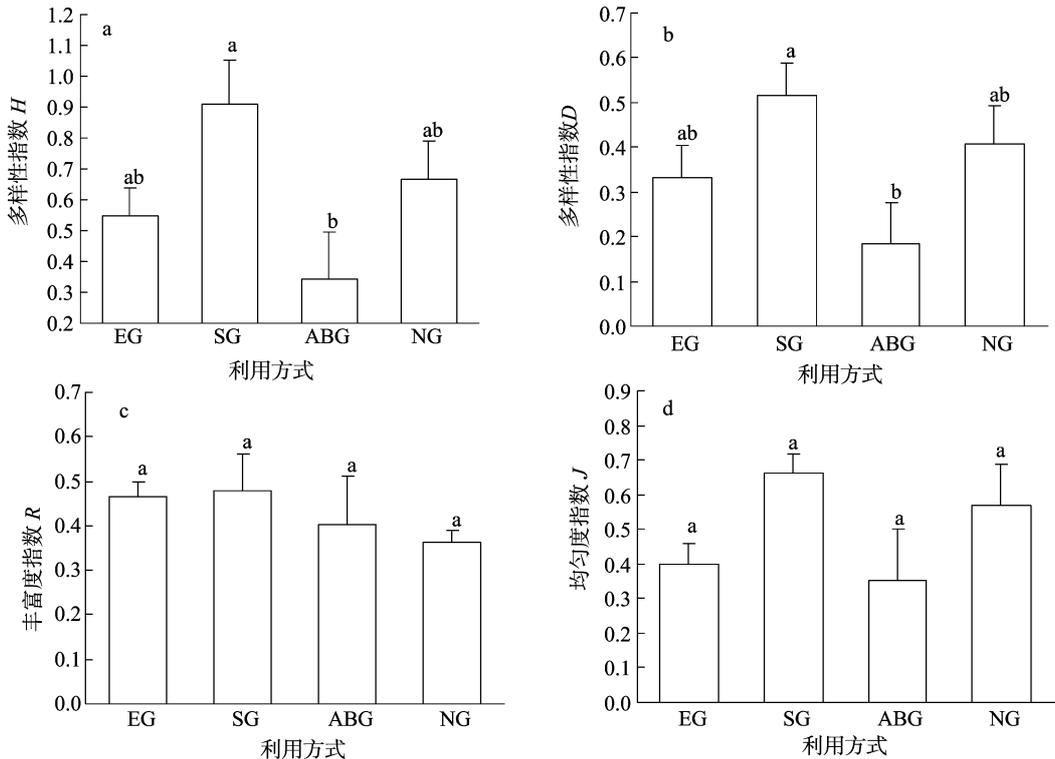
(3) Pielou 均匀度指数 ( $J$ ):

$$J = H / \ln S。$$

(4) Margalef 丰富度指数 ( $R$ ):

$$R = (S - 1) / \ln N。$$

式中:  $S$  表示调查样方内植物种数;  $N_i$  为调查样方中第  $i$  种物种的重要值;  $N$  表示调查样方内所有物种的重要值之和;  $p_i$  表示第  $i$  个物种的相对重要值,  $p_i = N_i / N$ 。



不同小写字母表示同一指标在不同利用方式下差异显著 ( $P < 0.05$ )。图 3 同

图2 不同利用方式对物种多样性的影响

## 2 结果与分析

## 2.1 不同利用方式下草地物种多样性差异分析

由图 2 可知, SG 与 ABG 的多样性指数  $H$  和  $D$  均差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同利用方式下, 4 种草地的丰富度指数  $R$  和均匀度指数  $J$  差异均不显著 ( $P > 0.05$ ), SG 和 EG 的丰富度指数  $R$  非常接近, 分别为 0.479、0.466; 其中, ABG 的多样性指数  $H$  和  $D$ 、均匀度指数  $J$  均最小, 分别为 0.343、0.184、0.353; 4 种不同利用方式下草地多样性指数  $H$ 、多样性指数  $D$ 、均匀度指数  $J$  变化规律均表现为  $SG > NG > EG > ABG$ , 丰富度指数  $R$  的变化规律表现为  $SG > EG > ABG > NG$ 。可以看出, SG 的各项指数均最大, 说明季节草地的利用方式可以提高物种多样性, 有利于干旱区草地物种多样性的增加。

## 2.2 不同利用方式下土壤因子差异分析

4 种不同利用方式下, 土壤因子测定结果见图 3, ABG 的 SOC 含量最低, 为 10.988 g/kg, NG 的最高, 为 17.238 g/kg, AP 含量正好相反, NG 的最低, ABG 的最高, 且差异显著; ABG 的 BD、pH 值、WC 均为最低。ABG 的 AP 含量最高, 为

20.246 mg/kg, EG 与 SG、NG 的 AP 含量差异显著, 与 ABG 的差异不显著; NG 的 BD 最高, 为 1.219 g/cm<sup>3</sup>, 但不同利用方式下 BD 差异均不显著; EG、SG 的 pH 值分别与 ABG、NG 的差异显著; EG 的 WC 最高, 为 3.535%, EG 的 WC 与 ABG、NG 的 WC 差异显著, SG 的 WC 与 ABG 的 WC 差异显著。

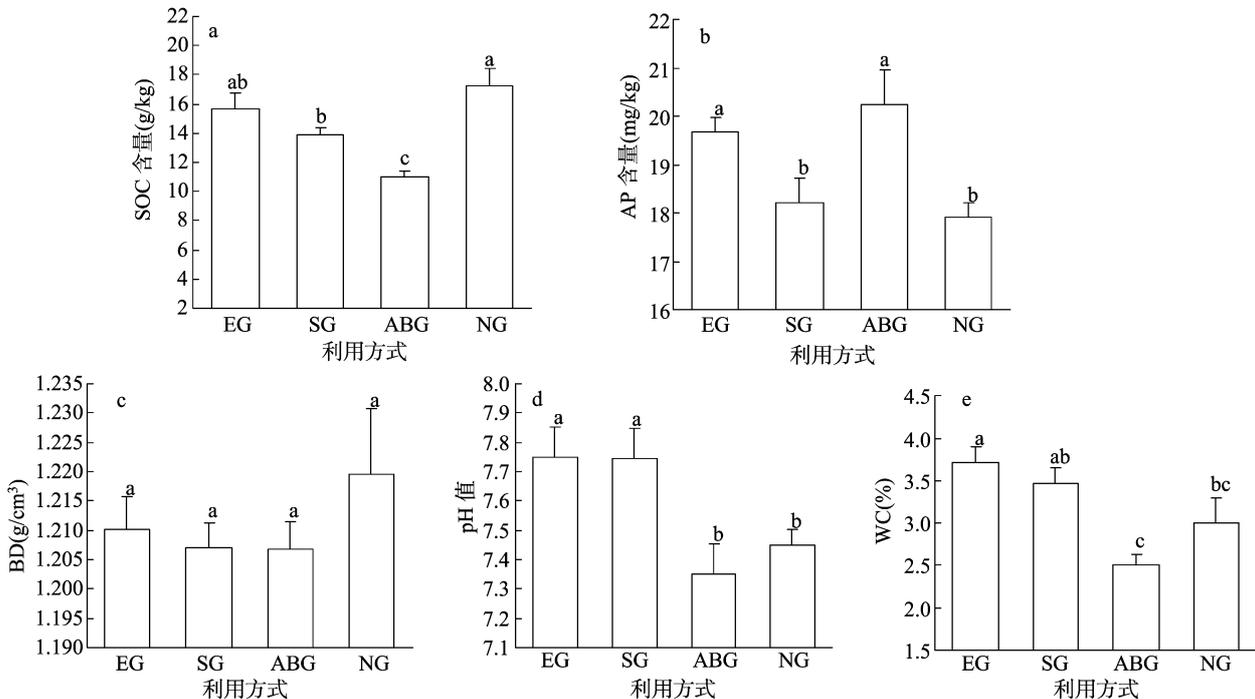


图3 不同利用方式下土壤因子的差异性

2.3 物种多样性和土壤因子的 RDA 排序图

由物种多样性与土壤因子的 RDA 排序结果 (表 1) 可知, 前 2 个排序轴特征值分别为 0.389、0.012, 物种多样性与土壤因子 2 个排序轴的相关系数分别为 0.656、0.405, 2 个排序轴的解释量达 99.7%, 说明前 2 轴能够很好地反映物种多样性和土壤因子的关系, 且主要由第 1 轴决定。由表 2 可知, 第 1 轴主要代表 SOC 含量, 第 2 轴主要代表 AP 含量; 第 1 轴从左到右, SOC 含量降低, 与第 1 轴的相关系数为 -0.657; 从第 2 轴的底端到顶部, AP 含量增加, 相关系数达 0.920。图 4 中的粗箭头代表土壤因子。粗箭头越长, 表示某一土壤因子对植被多样性的影响越大。箭头连线和排序轴夹角表示某一土壤因子与排序轴的相关性大小, 夹角越小, 相关性越高。不同利用方式下的草地土壤环境不同, 引起对植物生长环境的差异, 最终造成物种多样性也有所差异。从排序图 (图 4) 中可得, 多样性指数 *H* 和 *D*、丰富度指数 *R*、均匀度指数 *J* 均与 BD 呈负相关关系, 与 pH 值、SOC 含量、WC 呈正相关关系。沿 RDA 第 1 排序轴, 从左到右随着 pH 值、SOC 含量的增加, 物种多样性指数均增加, 且可以看出 SOC 与多样性 *D* 呈正相关关系, WC 与均匀度指数 *J* 呈正相关关系。AP 含量与多样性指数 *H*、*D* 和均匀度指数 *J* 均呈负相关关系, 与丰富度 *R* 呈正相关; 随着 WC 的增加, 物种多样性指数均增加, 两者呈正

表 1 RDA 排序结果

参数	轴 1	轴 2
特征值	0.389	0.012
物种数据	38.900	40.100
物种 - 环境关系	96.600	99.700
物种 - 环境相关系数	0.656	0.405
所有特征值之和	1.00	
所有典范特征值之和	0.402	
方差	1.00	

表 2 土壤因子与 RDA 排序轴的相关系数

土壤因子	相关系数	
	轴 1	轴 2
SOC 含量	-0.657	-0.147
AP 含量	0.346	0.920
BD	0.443	-0.137
WC	-0.224	-0.238
pH 值	-0.389	0.174

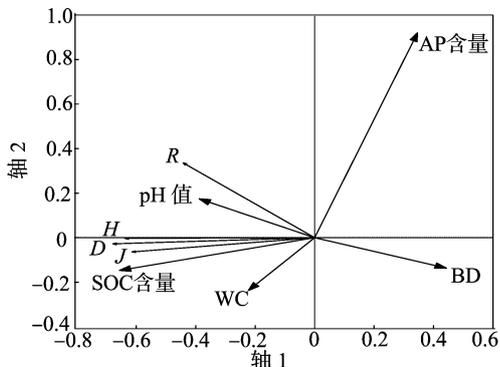


图4 不同利用方式物种多样性指数和土壤因子 RDA 排序

相关关系。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 不同利用方式对物种多样性的影响

物种多样性是维持草地生态系统功能的基础,是直接反映群落结构、功能特征的有效指标,是生态系统复杂性和稳定性的量度<sup>[17]</sup>。物种多样性的变化可以反映出草地生态系统的健康状况。同时,不同利用方式下的生境也会造成物种多样性的差异,从对研究区物种多样性的分析结果可知,干旱区草场物种多样性指数整体较低,其中 SG 的多样性指数大于其他 3 种利用方式的草地。SG 的多样性指数  $H$  是 ABG 的 2.65 倍,SG 的多样性指数  $D$  是 ABG 的 2.80 倍,丰富度指数  $R$  是 NG 的 1.32 倍,SG 的均匀度指数  $J$  是 ABG 的 1.88 倍,这说明季节性放牧有利于增加物种多样性的增加,即适度的干扰和利用可以维持较高的多样性,这与鲁庆彬等的研究结果<sup>[18]</sup>一致。相较之下,完全封育不利于物种多样性,因此多样性指数也不是很高。且 SG 与 ABG 的多样性指数  $H$ 、 $D$  差异显著,说明耕作后的草地植被破坏程度较高,且土壤恢复能力较差,不适合植被的生长;相较之下,NG 的物种多样性指数  $H$ 、 $D$  和均匀度指数  $J$  均大于 EG,说明在该地区一定程度的放牧相较完全封育更有利于多样性的增加,这与周华坤等对金露梅灌丛的研究结论<sup>[19]</sup>相同;刘刚等对宁夏盐池县不同封育年限的植被研究也表明,连续封育多年的草场多样性指数逐年降低<sup>[20]</sup>,本研究结果与之相似。4 种不同利用方式草地的均匀度指数  $J$  和丰富度指数  $R$  差异都不显著,这可能与干旱区脆弱的生境有关,干旱区的生境较脆弱,且荒漠植物种类较单一、盖度较低,决定了均匀度  $J$  和丰富度指数  $R$  具有较强的一致性<sup>[21]</sup>。

#### 3.2 不同利用方式对草地土壤因子的影响

草地的不同利用方式不仅影响植物群落的多样性,对草地生态系统的土壤物理结构与化学性状也产生了影响<sup>[22]</sup>。从图 3 可以看出,不同利用方式草地之间的 BD 差异均不显著,可能是由于干旱区草地土壤含水量较低,放牧对 BD 造成的影响小于土壤本身的特性,因此 BD 差异不显著。SG 和 ABG 中土壤 SOC 含量、AP 含量、WC、pH 值差异均显著,ABG 的 AP 含量最高,可能由于磷素是作物生长所必需的大量元素之一<sup>[23]</sup>,为了提高作物的产量,耕地时添加了大量的磷肥,磷富集在土壤中,固定力

强<sup>[24]</sup>,并且草地在维持和改善土壤速效磷含量方面较耕地效果显著<sup>[25]</sup>,但 AGG 的 SOC 含量最低,可能是因为耕地常年翻耕,减弱了表层土壤的水土保持能力,增加了土壤的通透性,使得土壤表面的水土流失严重,导致 SOC 流失严重和 SOC 的矿化程度增加<sup>[26]</sup>;并且由于作物的收获,致使植物中的碳不能还田,减少了 SOC 含量的累积。Gao 等研究认为,随着放牧强度的增加,不同程度地增加了土壤有机碳的贮量<sup>[27]</sup>,本研究结果与之基本一致;Frank 等的研究表明,重牧后没有土壤侵蚀发生,而植物组成却发生了很大的变化<sup>[28]</sup>,且放牧时牲畜产生的粪便可以为微生物提供能量,有助于微生物对有机碳的分解<sup>[29]</sup>,因此 NG 的土壤有机碳含量较高,而禁牧草地和季节草地土壤有机碳含量较高可能是由枯落物引起,表层覆盖的凋落物逐渐被分解为有机碳。ABG 的 WC 最低,可能是由于耕地会降低土壤含水量,这与韩永伟等的研究结果<sup>[30]</sup>相同。ABG、NG 的 pH 值显著小于 EG、SG,说明耕地与放牧将降低土壤 pH 值,安慧等在对宁夏荒漠草原的研究中也表明,pH 值在过度利用的草地之间与禁牧和季节性草地之间差异显著<sup>[31]</sup>。

#### 3.3 土壤因子对物种多样性的影响

自然条件下,植物的生长不仅受到气候条件等的影响,而且也受土壤因子的影响<sup>[32]</sup>。但 4 种不同利用方式的草地中土壤因子差异的显著性并未体现在物种多样性上,这可能是因为人为的干扰对植物产生了一定的影响,加上干旱区本身恶劣的生态环境造成植物的单一性。气候、土壤、地貌等环境因子和植被是相互影响和制约的<sup>[33]</sup>,植被的分布受土壤因子的影响,土壤因子也受其他环境因素的影响,土壤因子间也相互影响<sup>[34]</sup>。一般认为,土壤有机碳含量是影响群落多样性的重要因子,与多样性指数间会表现出较高的关联性<sup>[35]</sup>,可能是因为土壤有机碳主要来源于凋落物,相应凋落物种类越丰富,有机碳含量也就越高,因此与多样性指数之间表现为较高的关联性。土壤的物理性质 BD、pH 值、WC 将直接决定植被的生存状况,对物种多样性也有着决定性的作用。

王长庭等认为,不同类型草地群落的多样性指数、物种数随土壤有机碳含量的增加而降低<sup>[36]</sup>。李平等的研究表明,物种多样性与有机碳含量呈正相关关系<sup>[37]</sup>。这可能是由于地域的不同造成植被限制因素的不同,并且土质的差异也会使植被对速效磷和

土壤有机碳含量的反应产生一定滞后性<sup>[38]</sup>。土壤有机碳是土壤养分循环转化的核心,影响着植物生理过程和生长状况,是植物必需的营养元素<sup>[39]</sup>。本研究中,SOC含量与物种多样性呈正相关关系,SOC含量为植被的生长提供更多的养分,且在干旱区养分贫瘠的土壤中,有机质对保存和吸持土壤养分有着极其重要的作用。因此,SOC含量的增加可以使土壤具有较高的养分,进一步增加物种多样性。

AP含量与多样性指数 $H$ 和 $D$ 、均匀度指数 $J$ 呈负相关关系,与丰富度指数 $R$ 呈正相关关系。速效磷也是植被生长的限制因素之一,干旱区土壤中贫瘠的养分将导致植被根据土壤养分含量来调节自身对养分的需求,AP含量的增加可以供更多种植物生长。Liu等的研究表明,速效磷是植被恢复的主要限制因素<sup>[40]</sup>。本研究的结果与之有所差异,主要是研究区的不同,具体机制需进一步研究发现。WC和pH值与多样性指数呈正相关关系,水是干旱区的限制因子,含水量的增加必然为植被的生长提供更多的水分,这符合干旱区特点,这与尚占环等的研究结果<sup>[41]</sup>一致。

从对阿勒泰地区4种不同利用方式草地物种多样性的分析结果可得,适度地利用草地有利于植物多样性的维持,完全封育对阿勒泰地区物种多样性的增加和植被的恢复并没有很大的益处,当地可适当展开季节性放牧增大对草地生态系统的利用效率。从对不同利用方式草地土壤因子的分析可知,不同利用方式下土壤因子之间的差异较显著。冗余分析结果显示,土壤有机碳含量、pH值、含水量与多样性指数均呈正相关关系,均与土壤容重呈负相关关系,Margalef丰富度指数 $R$ 与土壤速效磷含量呈正相关关系,土壤效磷含量与其余指数呈负相关关系。

#### 参考文献:

- [1]张晶晶,王蕾,许冬梅. 荒漠草原自然恢复中植物群落组成及物种多样性[J]. 草业科学,2011,28(6):1091-1094.
- [2]肖金玉,蒲小鹏,徐长林. 禁牧对退化草地恢复的作用[J]. 草业科学,2015,32(1):138-145.
- [3]夏贵菊,何彤慧,于骥,等. 银川平原草甸湿地土壤盐分对植物群落的影响[C]//2015年全国河湖污染治理与生态修复论坛论文集. 武汉:全国河湖污染治理与生态修复论坛,2015.
- [4]Xiong S J, Nilsson C. The effects of plant litter on vegetation: a meta-analysis[J]. Journal of Ecology,2010,87(6):984-994.
- [5]吕世海,冯长松,高吉喜,等. 呼伦贝尔沙化草地围封效应及生物多样性变化研究[J]. 草地学报,2008,16(5):442-447.
- [6]朱丽,李广宇,王芳,等. 围栏封育对草地生物多样性的影响[J]. 草业与畜牧,2012(5):1-3,29.
- [7]苗仁辉,蒋德明,押田敏雄,等. 封育对科尔沁沙地植被恢复和土壤特性的影响[J]. 生态环境学报,2013,22(1):40-46.
- [8]Luo Y, Su D R, Ji B M, et al. Vegetation community characteristics of different meadows and their relationship with soil factors in Huihe wetland[J]. Acta Prataculturae Sinica,2018.
- [9]赵洋毅,王玉杰,王云琦,等. 渝北不同模式水源涵养林植物多样性及其与土壤特征的关系[J]. 生态环境学报,2009,18(6):2260-2266.
- [10]杨利民,韩梅,李建东. 中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化[J]. 植物生态学报,2001,25(1):110-114.
- [11]Bai Y F, Li L H, et al. The influence of plant diversity and functional composition on ecosystem stability of four Stipa communities in the inner Mongolia Plateau[J]. Acta Botanica Sinica,2001,43(3):280-287.
- [12]李新荣,张景光,刘立超,等. 我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究[J]. 植物生态学报,2000,24(3):257-261.
- [13]高贤明,黄建辉,万师强,等. 秦岭太白山弃耕地植物群落演替的生态学研究Ⅱ演替系列的群落 $\alpha$ 多样性特征[J]. 生态学报,1997,17(6):619-625.
- [14]杨勇,刘爱军,李兰花,等. 围封对内蒙古典型草原群落特征及土壤性状的影响[J]. 草业学报,2016,25(5):21-29.
- [15]郭正刚,梁天刚,刘兴元,等. 新疆阿勒泰地区草地类型及植物多样性的研究[J]. 西北植物学报,2003,23(10):1719-1724.
- [16]康相武,吴绍宏,杨勤业,等. 新疆阿勒泰地区的生态环境问题及解决对策[J]. 地理科学进展,2004,23(4):19-27.
- [17]马红彬,谢应忠,魏巧花. 宁夏南部黄土丘陵区不同整地方式对草地植物群落物种多样性的影响[J]. 农业科学研究,2006,27(4):1-4.
- [18]鲁庆彬,游卫云,赵昌杰,等. 旅游干扰对青山湖风景区物种多样性的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(2):295-302.
- [19]周华坤,周立,赵新全,等. 围栏封育对轻牧与重牧金露梅灌丛的影响[J]. 草地学报,2004,12(2):140-144.
- [20]刘刚,张克斌,李瑞,等. 人工封育草场管理研究——以宁夏盐池县为例[J]. 水土保持研究,2007,14(2):252-254.
- [21]傅德平. 艾比湖湿地典型植物群落物种多样性及其优势种群生态位研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2008:36-38.
- [22]王长庭,龙瑞军,王启兰,等. 放牧扰动下高寒草甸植物多样性、生产力对土壤养分条件变化的响应[J]. 生态学报,2008,28(9):4144-4152.
- [23]孔庆波,白由路,杨俐苹,等. 黄淮海平原农田土壤磷素空间分布特征及影响因素研究[J]. 中国土壤与肥料,2009(5):10-14.
- [24]Zhan Q, Zhang L, Zhou B, et al. Spatial variation in phosphorus accumulation and the driving factors in cultivated lands in Fujian Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2018,26(2):274-283.
- [25]韩永伟,韩建国,王堃,等. 农牧交错带退耕还草对耕作层土壤磷、钾含量的影响[J]. 草地学报,2003,11(3):228-233.
- [26]祝滔. 缙云山不同土地利用方式对土壤碳、氮组分的影响[D]. 重庆:西南大学,2013.

陈 诚,李中宝,邓楠鑫,等. 植物对镉污染土壤的修复作用[J]. 江苏农业科学,2020,48(1):254-258.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.01.047

# 植物对镉污染土壤的修复作用

陈 诚,李中宝,邓楠鑫,李升锦

(长江大学化学与环境工程学院,湖北荆州 434000)

**摘要:**通过对黑麦草、玉米草、苏丹草、狼尾草、紫花苜蓿、白三叶草 6 种植物在不同浓度镉离子溶液中发芽率的测定,以及 6 种草生长状况的观察,选择发芽率较高、生长良好的黑麦草、玉米草、苏丹草、狼尾草作为修复重金属镉离子污染土壤的植物。通过比较 4 种植物在不同浓度镉离子污染土壤中的生长状况及去除率发现,当土壤中的镉离子含量为 25 mg/kg 时,黑麦草对镉离子的去除率最高,达到 79%,但是随着土壤中镉离子浓度的升高,去除率逐渐下降,最后不到 20%。玉米草对镉离子的去除率先升后降;苏丹草对镉离子的去除率大致稳定在 60% 左右;当土壤中镉离子含量为 75~100 mg/kg 时,狼尾草对镉离子的去除率较高,并且一直稳定在 75% 左右。因此,目前认为狼尾草、苏丹草对镉离子有很好的耐受能力,可以用于镉离子污染土壤的修复。

**关键词:**土壤;镉污染;植物修复;狼尾草;苏丹草;去除率;发芽率;生长状况

**中图分类号:** X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)01-0254-05

随着社会和经济的快速发展,我国境内大部分土壤受到了不同程度的重金属污染。重金属污染

是指由重金属及其相应的化合物所造成的环境污染,主要由广泛使用矿产资源、电子垃圾、污水污泥以及化肥、除草剂、杀虫剂和工业污水排放、废气与一些金属制品等人为因素所致<sup>[1-2]</sup>,重金属污染的危害程度取决于重金属在环境、食品和生物体中存在的浓度和化学形态,主要出现在水、大气固体废物中<sup>[3]</sup>。

土壤中的重金属进入植物体内的方式是通过根系吸收,重金属会在一定程度上改变与植物光合作用

收稿日期:2018-10-24

基金项目:国家重大科技专项(编号:2016ZX05040)。

作者简介:陈 诚(1994—),男,湖北荆州人,硕士研究生,主要研究方向为环境工程。E-mail:chencheng123465@163.com。

通信作者:梅 平,博士,教授,主要研究方向为油气田应用化学。E-mail:meipinghb@126.com。

[27] Gao Y H, Schumann M, Chen H, et al. Impacts of grazing intensity on soil carbon and nitrogen in an alpine meadow on the eastern Tibetan Plateau[J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2009, 7(2): 749-754.

[28] Frank A B, Tanaka D L, Hofhmann L, et al. Soil carbon and nitrogen of northern great plains grasslands as influenced by long-term grazing[J]. Journal of Range Management, 1995, 48(5): 470-474.

[29] 王 蓓, 孙 庚, 罗 鹏, 等. 模拟升温 and 放牧对高寒草甸土壤有机碳氮组分和微生物生物量的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(6): 1506-1514.

[30] 韩永伟, 韩建国, 王 堃, 等. 利用年限对农牧交错带退耕还草地土壤化学性质的影响[J]. 草业科学, 2005, 13(3): 50-53.

[31] 安 慧, 徐 坤. 放牧干扰对荒漠草原土壤性状的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 35-42.

[32] 罗 琰, 苏德荣, 纪宝明, 等. 辉河湿地不同草甸植被群落特征及其与土壤因子的关系[J]. 草业学报, 2018, 27(3): 33-43.

[33] Baskin Y. Ecosystem function of biodiversity [J]. Bioscience, 1994, 44(10): 657-660.

[34] Yimer F, Ledin S, Abdelkadir A. Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in the south -

eastern highlands of Ethiopia [J]. Forest Ecology & Management, 2006, 232(1/2/3): 90-99.

[35] 江 源, 章异平, 杨艳刚, 等. 放牧对五台山高山、亚高山草甸植被-土壤系统耦合的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 837-846.

[36] 王长庭, 龙瑞军, 刘 伟, 等. 高寒草甸不同群落类型土壤碳分布与物种多样性、生物量关系[J]. 资源科学, 2010, 32(10): 2022-2029.

[37] 李 平, 李凤汀, 范 川, 等. 川中丘陵区柏木低效林改造模式物种多样性对土壤有机碳的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2667-2675.

[38] 刘 楠, 张英俊. 放牧对典型草原土壤有机碳及全氮的影响[J]. 草业科学, 2010, 27(4): 11-14.

[39] 赵自超, 夏振尧, 熊诗源, 等. 扰动边坡植被恢复过程中的土壤性质演变[J]. 水土保持通报, 2013, 33(5): 82-86.

[40] Liu G, Zha X, Zhou W, et al. Soil nutrient restriction factors in serious eroded and degraded pinus massoniana woodland [J]. Bulletin of Soil & Water Conservation, 2016, 36(5): 34-39.

[41] 尚占环, 姚爱兴, 龙瑞军, 等. 山地荒漠草原植物群落多样性与环境因子动态关系研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(2): 163-168.