

休牧对锡林郭勒典型草原土壤养分和植物群落特征的影响

徐松鹤¹, 陈宇浩^{1,2}

(1. 集宁师范学院, 内蒙古 集宁 012000; 2. 内蒙古大学, 呼和浩特 010000)

摘要:以内蒙古锡林郭勒典型草原羊草群落为研究对象,以长期放牧样地为参照(CK),开展了短期休牧对典型群落土壤养分和植物群落特征的影响研究。结果表明:休牧后典型草原物种特征发生明显的变化,与对照相比,休牧后群落高度、盖度、密度、地上生物量、地下生物量和枯落物量均有所增加,并且随月份(8月、9月、10月)的变化呈递减趋势,休牧和对照样地地下生物量均随土层深度的增加而降低。不同物种多度均随着月份的增加而降低,相同月份植物物种数目均表现为休牧>对照,与对照相比,禾本科草的种群密度增加。休牧后典型草原丰富度指数、均匀度指数、多样性指数均有所增加。土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反,不同月份土壤容重表现为休牧<对照,土壤总孔隙度则表现为休牧<对照。休牧条件下,土壤养分(有机碳、全氮、全钾、速效磷、速效氮、速效钾)基本呈一致的变化规律,对照样地和休牧样地土壤养分均随着月份的增加呈递增趋势,不同月份之间土壤养分含量均表现为休牧>对照,其中全磷在休牧和对照之间差异不显著($p>0.05$)。冗余分析(RDA)的结果显示,沿着 RDA 的第 1 排序轴,随着显著性影响因子(土壤养分各指标)的增加,丰富度指数、多样性指数、优势度指数逐渐增加,并且丰富度指数、多样性指数、优势度指数与土壤容重呈负相关,排序轴可反映土壤因子的梯度变化特征,表明利用土壤养分作为表征土壤—植被关系的敏感性土壤指示因子是可行的。综合分析表明:休牧有利于锡林郭勒典型草原植被的恢复,本研究为锡林郭勒典型草原的合理管理利用及其可持续利用提供科学依据。

关键词:休牧; 典型草原; 土壤养分; 群落特征

中图分类号:S812

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)04-0015-07

Effect of Stop Grazing on Characteristics of Plant Community and Soil Nutrients of Typical Grassland in Xilinguole

XU Songhe¹, CHEN Yuhao^{1,2}

(1. Jining Normal University, Jining, Inner Mongolia 012000, China; 2. Inner Mongolia University, Hohhot 010000, China)

Abstract: Characteristics of plant community and soil nutrients of typical grassland in Xilinguole after stop grazing were studied. The results were as follows. Community height, density, above-ground biomass, below-ground biomass and litter biomass significantly increased after stop grazing, and these parameters decreased from August through October. The below-ground biomass gradually reduced with the increase of soil depth. Species richness decreased from August through October, and the number of plant species under stop grazing was greater than that of CK in the same month. Further, plant species richness, evenness, diversity, and dominance increased due to stop grazing. Soil bulk density increased and soil total porosity decreased due to stop grazing. Similarly, soil organic carbon, total nitrogen, total potassium, available phosphorus, available nitrogen and available potassium also decreased due to stop grazing, while there was no significant difference for soil total phosphorus ($p>0.05$). Redundancy analysis indicated that the change order of plant and soil was the same in grazing intensity, and plant diversity increased with the increase of soil nutrients, while

收稿日期:2018-01-09

修回日期:2018-03-02

资助项目:集宁师范学院科学研究项目“薰衣草在乌兰察布地区引种栽培适应性研究”(JSKY2017053);集宁师范学院科研创新团队建设项目(jtd1703);集宁师范学院校级重点实验室校级基金(jskypt1702)

第一作者:徐松鹤(1981—),男,内蒙古包头人,硕士,讲师,现主要从事草地生态研究。E-mail:xusonghe163@163.com

soil nutrients showed the negative correlation to soil bulk density, and the sorting shaft could reflect the characteristics of the gradient soil factors, which showed that using soil nutrients as the sensitivity of soil indicating factors of soil-vegetation relationship was feasible. In summary, stop grazing is beneficial for recovery of the vegetation on the typical grassland in Xilinguole.

Keywords: stop grazing; typical grassland; characteristics of plant community; soil nutrients

在全球陆地上,草原具有重要的地位,总面积达到了四成之多,是植被分布最为广泛的类型,面积大约在 $5.0 \times 10^9 \text{ hm}^2$ ^[1-2];而在我广袤的国土面积中,在我国高达 41% 的国土总面积中,草原总面积占了其中的 8%。并且我国草原大约分为 3 种类型,即:温带草原、典型草原和高寒草原,在世界范围内,草原总面积位居第二^[3-4]。如内蒙古大草原是我国重要的畜牧生产基地,属于典型的草原分布区,对于我国环境保护来说,内蒙古大草原更是具有重要的作用。其为我国西北区的绿色生态起到了很大的防护作用,不但能够有效地保持水土、调节气温,还极大地阻挡了沙尘暴等自然灾害^[5]。

在我国畜牧生产中,羊草(*Leymus chinensis*)草原具有重要的作用,是温带草甸草原的代表类型之一,也是亚洲中部草原区所特有的草原群系^[6]。近些年来,草原呈现出退化严重的状态,这是由于全球性气候干旱、牧区人口增加、草原人为活动破坏等因素所造成的。2003 年,为了恢复草地,我国政府开始实施“退牧还草”工程,规定在一年一定时期之中,实施草地休牧利用制度,短期内禁止在草原地区放牧^[7]。如:为了使天然草场得到修养生息,每年的 3 月 20 日呼伦贝尔草原进入休牧期,休牧期长达 3 个月。自实行休牧制度起,其实现了草原植被自然恢复,并利用生态系统的自我修复能力,实现了草地资源的可持续利用^[8]。总之,截至 2011 年,我国草原休牧面积达到了 $2.85 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。

目前,对于长期放牧退化草地恢复来说,国内外学术界虽然获得了许多规律性的认识,但是大多都是从群落生产力种的形态、物种多样性、化学和生物学性状、群落数量和分布格局、土壤物理等方面入手,很少有将土壤养分与群落动态相互结合在一起,对放牧退化和围封恢复演替过程进行研究^[9]。在自然生态系统生产力中,对于土壤有限资源来说,植物个体和植物种间具有竞争的关系,而土壤养分成了主导因素,土壤养分制约着生态系统的演替过程,从而对植物群落物种组成和群落动态产生了巨大的影响,也对环境变化产生了响应^[10]。

群落演替过程中,除了争夺光资源外,物种更替

和群落变化受种间竞争会对土壤养分吸收利用能力差异产生影响,并变化很大,土壤养分的变化与群落结构动态相对应。并且在此过程中,土壤资源获得了增加,对于物种间关系、种的分布格局来说,土壤养分的资源具有重要的作用,能够维持干扰下的群落物种多样性。因此,从家畜—土壤—群落系统的角度出发,将群落动态与土壤养分资源状况结合在一起,来研究草原对休牧的反应及其恢复演替规律,能够为内蒙古草地补偿政策的制定提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本文选取地势平坦,位于内蒙古锡林河中游北岸二级台地,北边的一条宽约 10 km 的固定沙带。其位于 $43^{\circ}26' - 44^{\circ}08' \text{ N}$, $116^{\circ}04' - 117^{\circ}05' \text{ E}$ 。此地区冬季干燥,夏季因季风影响温暖湿润,内流淌着锡林郭勒盟锡林河,距离 1.5 m 处就是中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站。该地区具有超过一米的土层厚度,土壤类型以暗栗钙土为主,植被以羊草草原为主,近 30 a 来平均气温为 0.4°C ,年降水量为 337 mm。其中,1 月份的气温达到 -21.4°C ,是全年中最冷的月份;7 月份的气温达到 20.0°C ,是全年中最热的月份。另外,该地区一年之中平均约有近 100 d 的无霜期,降水量的年际变化大,6—8 月集中了全年近八成的降雨量^[11]。

1.2 试验设计

2004 年夏季,本试验采用轮牧的方式,以绵羊为试验动物($4.00/\text{hm}^2$),以冷蒿及小禾草为主的退化草原为放牧前样地,开始放牧试验。试验采用不完全拉丁方设计,轮牧周期为 45 b,重复 6 次,小区面积 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 。截至 2014 年,各种生态系统的结构和功能都发生了明显的变化,如植物群落、土壤理化性状、土壤微生物等,连续不同放牧率下放牧达 10 a,草原生态系统处于不同的退化阶段。2014 年 5 月,休牧样地停止放牧试验,但为了探讨在“围封禁牧”后,本试验仍旧按照 4.00 hm^2 的放牧强度持续对对照样地进行放牧,来探讨系统的稳定性,研究不同退化阶段草原生态系统的恢复进程。2015—2017 年

的 8—10 月,本试验采用用 15 m×15 m 的网格法,选择 1 m×1 m 的取样面积,在选择每个样地的原放牧羊地和牛牧样地,取样间隔 15 m,并且围栏小区面积为 100 m×100 m,土壤和植物样的取土,选择在每个 100 m×100 m 的围栏样地内协同取土的方式;采用 3 点取样法进行土壤样品取样,取样深度为 20 cm,土钻直径为 3.5 cm。在土壤容重的测定上,利用环刀法,并在每个样方中挖取土壤坡面。同时,对样方内的植被构成及其相应的盖度、高度等数据也进行调查。

1.3 数据处理

在物种指数的测定中,多样性指数越高,植被的物种多样性越丰富。均匀度是植物分布均匀程度的反映,均匀度值越低,各物种的个体数越远,在一个植被中,各个种的相对密度是由均匀度所决定的;丰富度能够反映出植被物种多样性的丰富程度,物种数随着个体数量的变化而变化,当个体数量一定时,物种数越多。其计算公式如下^[12]:

Patrick 丰富度指数(S)
Shannon-Wiener 多样性指数(H): $H=-\sum P_i \ln P_i$
Gleason 优势度指数(D): $D=1-\sum (P_i)^2$
Pielou 均匀度指数(JP): $JP=-\sum P_i \ln P_i / \ln S$

相对重要值(P_i)=(相对覆盖度+相对高度+相对多度)/3;用 P_i 代表样方内种的相对重要值;式中样方内用 S 代表物种数目。另外,本试验对方差和多重进行分析,比较不同类型植被多样性指数间的关系,检验不

同类型植被多样性指数之间的差异显著性。

测定土壤有机碳(SOC)时,本试验采用重铬酸钾氧化外加热的方法;采用 NaOH 碱溶—钼锑抗比色法测定全磷(TN)和速效(AP);采用开氏消煮法测定土壤全氮(TN)和速效氮(AN);采用乙酸铵浸提—火焰光度计的方法测定全钾(AK)和速效钾。

数据统计和方差检验采用 Excel 2007 和 SPSS 18.0,并且(Mean±SE)采用平均值±标准误差来表示,分析(One-wey ANOVA)采用单因素方差。

2 结果与分析

2.1 休牧对典型草原物种特征的影响

由表 1 可知,休牧后典型草原物种特征发生明显的变化,与对照相比,休牧后群落高度、盖度、密度、地上生物量、地下生物量和枯落物量均有所增加,并且随月份的变化呈递减趋势。对照样地群落高度变化范围为 42.1~64.7 cm,盖度变化范围 90.7%~102.3%,密度变化范围 94.1~132.5 株/m²,地上生物量变化范围 223.3~314.9 g/m²,枯落物量变化范围 152.4~201.4 g/m²;休牧样地群落高度变化范围 48.7~65.2 cm,盖度变化范围 95.4%~105.6%,密度变化范围 102.4~156.9 株/m²,地上生物量变化范围 265.7~365.2 g/m²,枯落物量变化范围 152.4~201.4 g/m²;其中不同月份群落高度、盖度、密度、地上生物量、地下生物量和枯落物量均表现出休牧>对照;休牧和对照地下生物量均随土层深度的增加而降低。

表 1 休牧对典型草原群落特征的影响

| 项目 | | 高度/ cm | 盖度/ % | 密度/ (株·m ⁻²) | 地上生物量/ (g·m ⁻²) | 地下生物量/(g·m ⁻²) | | | 枯落物量/ (g·m ⁻²) |
|------|----|-----------|------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-------------------------------|
| | | | | | | 0—20 cm | 20—40 cm | 40—60 cm | |
| 8 月 | 休牧 | 65.2±3.6a | 105.6±3.9a | 156.9±12.3a | 365.2±23.6a | 165.8±13.2a | 56.7±5.2a | 15.8±3.5a | 163.8±13.6a |
| | 对照 | 64.8±2.4a | 102.3±5.2b | 132.5±16.5b | 314.9±35.6b | 156.2±15.4b | 51.4±3.6b | 12.3±2.1b | 152.4±12.4b |
| 9 月 | 休牧 | 61.4±3.7a | 95.4±4.2a | 125.7±15.8a | 302.5±38.9a | 143.8±10.8a | 46.3±3.4a | 9.5±2.4a | 175.3±9.8a |
| | 对照 | 62.3±2.1a | 90.7±6.1b | 115.9±9.8b | 285.4±26.7b | 135.2±9.8a | 42.1±5.1b | 5.1±1.8b | 168.9±16.7b |
| 10 月 | 休牧 | 48.7±2.7a | 96.3±2.7a | 102.4±5.6a | 265.7±25.8a | 120.5±7.5a | 32.5±4.9a | — | 235.8±14.7a |
| | 对照 | 42.1±2.5b | 91.7±3.8b | 94.1±7.4b | 223.3±24.5b | 98.7±6.9b | 28.7±2.3b | — | 201.4±16.9b |

注:不同字母表示不同休牧处理间差异显著($p<0.05$),下同。

由表 2 可知,休牧后植物群落及其主要植物种群的数量特征发生明显的变化。其中,不同物种多度均随着月份的增加而降低,相同月份植物物种数目均表现为休牧>对照,与对照相比,禾本科草的种群密度增加。综上所述,天然草原在休牧条件下,植物生态适应对策是多样的,这种多样性是由植物自身生物生态学特性决定的。天然草原群落正是由于多样的植物生态适应对策,对放牧干扰产生明显的缓冲作用,表现为一定

范围内的草原群落抗干扰能力和系统稳定性。

2.2 休牧对典型草原物种多样性的影响

多样性指数是植被和生态系统恢复过程最重要的特征之一,是群落生物组成结构的重要指标,不仅能够反映植被群落组织化水平,而且通过结构与功能的关系可间接反映群落功能的稳定性和发育阶段。由表 3 可知,典型草原植被丰富度指数、均匀度指数、多样性指数、优势度指数均随月份的增加而逐渐降低,相同月份

植被丰富度指数、均匀度指数、多样性指数、优势度指数均表现为休牧>对照。这反映了较低水平的利用程度使群落内物种重要值的差异逐渐变大,优势种的优势程度被增强,群落的均匀程度降低,而休牧降低了物种创造低竞争压力的生存机会,从而群落内各种的重要值和群落地位差异并未充分显露和稳定,使得群落的均匀度呈现较高水平。

表 2 休牧对典型草原物种特征的影响

| 项目 | 休牧/(株·m ⁻²) | | | 对照/(株·m ⁻²) | | |
|-------|-------------------------|------|------|-------------------------|------|------|
| | 8月 | 9月 | 10月 | 8月 | 9月 | 10月 |
| 羊草 | 85.6 | 74.3 | 54.2 | 81.3 | 70.8 | 46.2 |
| 大针茅 | 13.5 | 12.7 | 9.8 | 12.8 | 9.7 | 8.3 |
| 羽茅 | 28.9 | 23.4 | 18.9 | 23.4 | 24.5 | 16.4 |
| 苔草 | 9.8 | 5.6 | 7.2 | 8.3 | 43 | 5.1 |
| 冰草 | 23.4 | 15.4 | 13.2 | 26.5 | 12.9 | 16.7 |
| 轴藜 | 8.5 | 7.2 | 3.4 | 7.2 | 5.1 | 3.4 |
| 冷蒿 | 6.5 | 5.2 | 7.3 | 3.4 | 5.7 | 1.2 |
| 糙隐子草 | 5.3 | 3.2 | 1.4 | 3.4 | 0.8 | 0.9 |
| 阿尔泰治草 | 3.5 | 0.7 | 1.9 | 2.7 | 0.4 | 1.3 |
| 野韭 | 2.4 | 2.1 | 0.8 | 1.8 | 1.1 | 0.7 |
| 灰绿藜 | 1.9 | 0.8 | 0.5 | 3.2 | 2.4 | 2.6 |
| 早熟禾 | 1.6 | 1.5 | 1.1 | 2.8 | 3.7 | 2.4 |
| 唐松草 | 2.1 | 1.1 | 0.3 | 3.9 | 2.4 | 1.3 |

2.3 休牧对典型草原土壤粒径的影响

不同放牧强度下土壤机械组成如表 4 所示,对照

表 4 休牧对典型草原土壤粒径的影响

| 项目 | | 机械组成/% | | | 容重/ (g·cm ⁻³) | 总孔隙度/% |
|------|----|-----------|---------------|-----------|------------------------------|------------|
| | | 1~0.05 mm | 0.05~0.002 mm | <0.002 mm | | |
| 8 月 | 休牧 | 18.3±2.6a | 59.1±5.9b | 22.6±2.4a | 0.89±0.09b | 52.47±5.1a |
| | 对照 | 15.2±1.5b | 63.5±6.2a | 21.3±3.6a | 1.45±0.16a | 43.25±5.3b |
| 9 月 | 休牧 | 19.5±2.9a | 59.1±4.2b | 21.4±1.6a | 0.92±0.15b | 53.48±2.6a |
| | 对照 | 16.3±2.4b | 63.0±4.7a | 20.7±1.8a | 1.51±0.23a | 44.71±4.8b |
| 10 月 | 休牧 | 20.7±1.5a | 59.8±5.1b | 19.5±2.0a | 0.91±0.14b | 54.95±3.5a |
| | 对照 | 19.4±1.8a | 63.4±3.7a | 17.2±1.7b | 1.62±0.18a | 41.48±4.1b |

2.4 休牧对典型草原土壤养分的影响

由表 5 可知,休牧条件下,土壤养分基本呈一致的变化规律。对照样地和休牧样地土壤养分均随着月份的增加呈递增趋势;对照样地土壤有机碳变化范围 11.57~12.04 g/kg,全氮变化范围 0.97~1.01 g/kg,全磷变化范围 0.98~1.03 g/kg,全钾变化范围 29.98~31.41 g/kg,速效磷变化范围 11.25~12.07 mg/kg,速效氮变化范围 25.17~26.74 mg/kg,速效钾变化范围 45.13~52.04 mg/kg;休牧样地土壤有机碳变化范围 13.26~14.03 g/kg,全氮变化范围 1.23~1.27 g/kg,全磷变化范围 1.01~1.04 g/kg,全钾变化范围

样地 1~0.05 mm 土壤所占比例范围为 15.2%~19.4%,0.05~0.002 mm 土壤所占比例范围为 63.0%~63.5%,<0.002 mm 土壤所占比例范围为 17.2%~21.3%,土壤容重变化范围 1.45~1.62 g/cm³,土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反,变化范围 41.48%~44.71%;休牧样地 1~0.05 mm 土壤所占比例范围为 18.3%~20.7%,0.05~0.002 mm 土壤所占比例范围为 59.1%~59.8%,<0.002 mm 土壤所占比例范围为 17.2%~21.3%,土壤容重变化范围 0.89~0.92 g/cm³,土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反,变化范围 52.47%~54.95%。不同月份 1~0.05 mm 和<0.002 mm 土壤所占比例均表现为休牧>对照,0.05~0.002 mm 土壤所占比例表现为休牧<对照;不同月份土壤容重则表现为休牧<对照。

表 3 休牧对典型草原物种多样性的影响

| 项目 | Patrick 丰富度指数(S) | Shannon-Wiener 多样性指数(H) | Gleason 优势度指数(D) | Pielou 均匀度指数(JP) |
|-----|------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| 8月 | 休牧 18.6±2.3a | 0.98±0.16a | 0.68±0.05a | 0.73±0.07b |
| | 对照 16.3±2.6b | 0.91±0.25b | 0.61±0.03b | 0.78±0.05a |
| 9月 | 休牧 15.2±1.8a | 0.86±0.16a | 0.54±0.08a | 0.65±0.05b |
| | 对照 12.4±1.4b | 0.82±0.14b | 0.55±0.07a | 0.69±0.03a |
| 10月 | 休牧 11.3±0.9a | 0.63±0.18a | 0.47±0.04a | 0.51±0.04b |
| | 对照 8.7±1.1b | 0.51±0.09b | 0.43±0.03b | 0.59±0.06a |

35.62~38.94 g/kg,速效磷变化范围 15.78~19.45 mg/kg,速效氮变化范围 35.78~39.54 mg/kg,速效钾变化范围 56.71~68.71 mg/kg。不同月份之间土壤养分含量均表现为休牧>对照,其中全磷在休牧和对照之间差异不显著($p>0.05$)。

2.5 典型草原植被多样性和土壤因子的 RDA 排序分析

冗余分析方法能够更好地揭示典型草原土壤因子与植被之间的相互关系,受环境因子变化的影响,植物分布会具有差异性,也就是说,植被多样性也具有差异性。

表 5 休牧对典型草原土壤养分的影响

| 项目 | | 有机碳/ (g · kg ⁻¹) | 全氮/ (g · kg ⁻¹) | 全磷/ (g · kg ⁻¹) | 全钾/ (g · kg ⁻¹) | 速效磷/ (mg · kg ⁻¹) | 速效氮/ (mg · kg ⁻¹) | 速效钾/ (mg · kg ⁻¹) |
|------|----|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 8 月 | 休牧 | 13.26±2.3a | 1.23±0.16a | 1.02±0.08a | 35.62±3.5a | 15.78±1.3a | 35.78±3.6a | 56.71±5.1a |
| | 对照 | 11.78±1.5b | 0.98±0.25b | 0.98±0.06a | 31.41±2.6b | 12.04±1.6b | 26.74±3.2b | 45.13±5.3b |
| 9 月 | 休牧 | 13.98±2.4a | 1.26±0.14a | 1.01±0.12a | 38.94±3.4a | 18.79±0.9a | 39.25±1.8a | 62.05±2.6a |
| | 对照 | 12.04±2.8b | 0.97±0.19b | 0.99±0.07a | 30.25±1.9b | 11.25±1.7b | 25.17±2.5b | 52.04±3.8b |
| 10 月 | 休牧 | 14.03±1.6a | 1.27±0.18a | 1.04±0.12a | 37.14±2.7a | 19.45±2.4a | 39.54±2.6a | 68.71±4.7a |
| | 对照 | 11.57±1.9b | 1.01±0.24b | 1.03±0.16a | 29.98±2.3b | 12.07±1.6b | 26.03±3.7b | 49.78±3.9b |

冗余分析方法广泛地应用于植被与环境因子复杂关系的研究中,采用冗余分析方法,将尽可能多的土壤因子指标结合在一起,利用多元统计分析手段,将土壤养分因子作为解释变量,将植被丰富指数、多样性指数、均匀度指数、优势度指数作为响应变量,提取能够明显解释影响植被变化的指标,可以得出:环境因子是影响植物分布差异的主要原因。RDA 将它们表示在一个图上,来直观地显示出研究对象(质心表示)排序和环境因子(箭头表示)排序之间的关系,环境因子与研究对象分布程度由箭头的连线长度代表,环境因子与排序轴之间的正负相关性由箭头所处的象限表示,某个环境因子与排序轴的相关性大小由箭头之间与排序轴的夹角代表,受环境因子的影响,连线越短,研究对象的分布越小;而箭头之间的夹角越大,环境因子的相关性越小;夹角越大,相关性越小,夹角大于 90°,则呈负相关。由 RDA 排序图(表 6)可见,第一排序轴反映出了不同植被多样性与土壤因子的梯度变化特征,前 2 个排序轴特征值分别为 0.742,0.187(休牧样地),并且前 2 个排序轴的特征值(变量解释率)占到了 95.78%,不同植被多样性与环境因子 2 个排序轴的相关性均为 1.000。另外,在检验环境因子对植被多样性的影响上,本试验采用蒙特卡罗检验分析方法,获得 RDA 排序图能够很好地解释环境因子对植被多样性的影响,其主要是土壤养分各指标,第一、第二轴分别为 $p<0.000$, F 分别等于 8.79,6.24。同时,对对照样地的排序结果也能反映植被多样性和土壤因子关系,排序轴可以用于解释变异程度,特征值均小于真实的特征值。

由表 7 可知,对于休牧样地,轴 1 土壤容重与植被多样性呈极显著的负相关,土壤总孔隙度、有机碳、全氮和速效氮与植被多样性呈显著的正相关,轴 2 土壤有机碳、全氮、全钾、速效磷、速效氮和速效钾与植被多样性呈显著的正相关;对对照样地,轴 1 土壤容重与植被多样性呈极显著的负相关,土壤有机碳、全氮、全钾、速效磷、速效氮和速效钾与植被多样性呈显著

的正相关,轴 2 土壤总孔隙度、有机碳、全氮、速效磷与植被多样性呈极显著的正相关。

表 6 RDA 排序结果

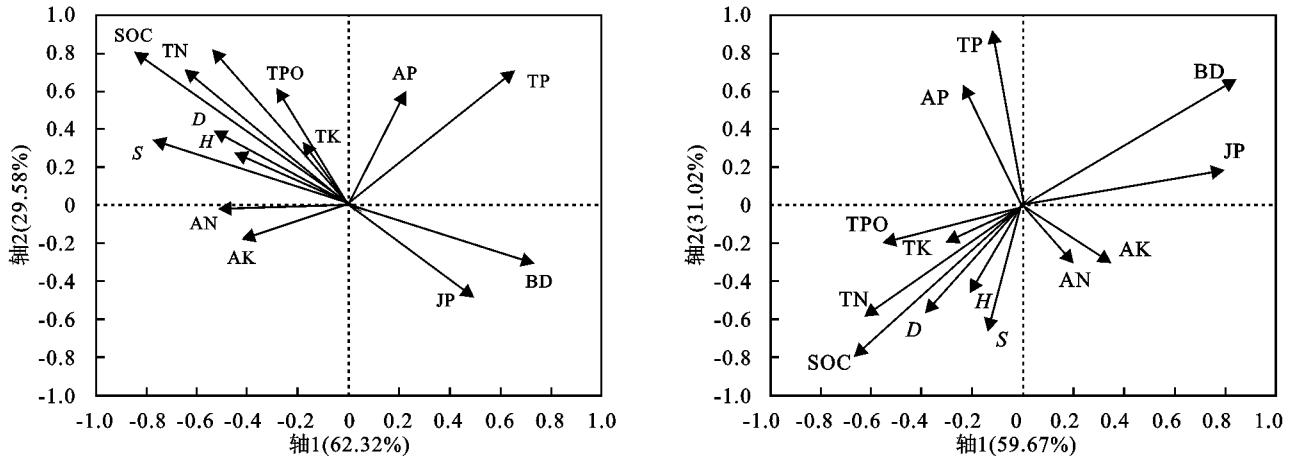
| 排序轴 | 休牧 | | 对照 | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 轴 1 | 轴 2 | 轴 1 | 轴 2 |
| 特征值 | 0.742 | 0.187 | 0.789 | 0.124 |
| 变量累积百分比/% | 74.2 | 92.9 | 78.9 | 91.3 |
| 物种数据/% | 74.2 | 92.9 | 78.9 | 91.3 |
| 蒙卡罗检验/次 | 499 | 499 | 499 | 499 |
| p 值 | <0.000 ** | <0.000 ** | <0.000 ** | <0.000 ** |
| F 值 | 8.79 | 6.24 | 8.12 | 5.78 |
| 物种—环境相关性 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 变量解释 | 95.78 | 99.12 | 96.98 | 99.34 |
| 所有特征值之和 | 1.000 | — | 1.000 | — |
| 所有典范特征值之和 | 1.000 | — | 1.000 | — |

注: * 表示 $p<0.01$, * 表示 $p<0.05$ 。

表 7 土壤因子与 RDA 排序轴相关系数

| 土壤参数 | 休牧 | | 对照 | |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | 轴 1 | 轴 2 | 轴 1 | 轴 2 |
| 容重 BD | -0.814 ** | 0.128 | -0.798 ** | 0.321 |
| 总孔隙度 TPO | 0.639 * | 0.085 | 0.214 | 0.612 * |
| 有机碳 SOC | 0.869 ** | 0.563 * | 0.645 * | 0.547 * |
| 全氮 TN | 0.873 ** | 0.614 * | 0.569 * | 0.768 ** |
| 全磷 TP | 0.321 | 0.258 | -0.125 | 0.354 |
| 全钾 TK | 0.158 | 0.674 * | 0.523 * | 0.127 |
| 速效磷 AP | 0.153 | 0.745 ** | 0.618 * | 0.524 * |
| 速效氮 AN | 0.654 * | 0.527 * | 0.587 * | 0.201 |
| 速效钾 AK | 0.321 | 0.641 * | 0.643 * | 0.215 |

图 1 的结果显示植被多样性与土壤养分含量均呈正相关;沿着 RDA 的第 1 排序轴,随着显著性影响因子(土壤养分各指标)的增加,丰富度指数、多样性指数、优势度指数逐渐增加,并且丰富度指数、多样性指数、优势度指数与土壤容重呈负相关,排序轴可反映土壤因子的梯度变化特征,表明利用土壤养分作为表征土壤—植被关系的敏感性土壤指示因子是可行的。



注:JP 为 Pielou 均匀度指数;H 为 Shannon-Wiener 多样性指数;D 为 Simpson 优势度指数;S 为 Patrick 丰富度指数;BD 为土壤容重;TPO 为总孔隙度;SOC 为有机碳;TN 为全氮;TP 为全磷;TK 为全钾;AP 为速效磷;AN 为速效氮;AK 为速效钾。

图 1 植被多样性与土壤养分的 RDA 排序图

3 讨论与结论

休牧后,本试验中的植物群落及其主要植物种群的数量特征发生明显的变化,其中相同月份植物物种数目均表现为休牧>对照,随着月份的增加,不同物种多度均会降低,禾本科草的种群密度与对照组相比得到了增加。由此可见,在休牧条件下,天然草原中植物生态的多样性是由植物自身生物生态学特性所决定的,植物生态适应对策是多样的^[13]。对于放牧干扰来说,在一定范围内,受植物生态适应对策的影响,天然草原群落表现为草原群落抗干扰能力和系统稳定性,具有明显的缓冲作用^[14-15]。通过自然力的作用,休牧可以提升群落生产力,改善退化草地植被和土壤状况,是退化草地恢复治理的手段之一^[16]。随着休牧进行的不断发展,植物竞争、生产和植物群落结构,受土壤有效养分的影响很大,退化植物种显著减少,如:星毛委陵菜,羊草等家畜喜欢的禾草比例上升^[17]。在休牧过程中,植物种本身的生物学特性、植物群落结构与不同植物种的变化趋势特征相关。但根本机制在于不同植物种间对资源的竞争。休牧时间过长,植被构成食用化程度降低,植被灌丛化趋势明显,因此,休牧到一定时期后,就要适度利用,才能提高草地的可食性^[17]。为了使弱势物种获取足够的生长空间,对照样地家畜对优势植物的不断采食、才能对其竞争能力具有明显的抑制作用,但同时也会导致杂类草、毒草类数量明显增加,这些都是家畜不喜食甚至不采食的植物,从而出现了较为复杂的物质、群落分布。也就是说,适度的干扰能够促进物种多样性,从侧面印证了“中度干扰假说”,干扰超越一定的限度,就会使物种的多样性降低^[18-19]。

生物多样性是指一个区域内所有的植物以及植物与环境相互作用形成的生态系统,是生命系统的基本特征,是维持草地生态系统稳定发展和生产力的基础,是诊断草地生态系统是否健康的依据。研究结果显示休牧后草地现有物种数得到了提高,多样性指数增加,草地植物群落与环境的关系得到了改善,这与前人的研究结果一致^[14-15]。生物多样性受休牧时期的影响比较大,具体表现在 10 月,从休牧的总体影响看,休牧使草地生态系统趋于稳定。草原的植被生产能力是有限的,草原生态环境能够直接体现出地上生物量的多少。而放牧能够不断地减少草原植被,短期内放牧也会导致植被难以恢复,从而导致土壤退化^[20-22]。通过研究发现,休牧后,由于在短期内,放牧对植被的生长、繁殖会带来不利的影响,导致草原的生物量难以恢复,但植被多样性指数呈现增加的趋势,样地的地上和地下生物量呈现明显的增加趋势^[23];另一方面,休牧以后,土壤养分含量逐渐增加,土壤孔隙度加大,容重增强,被羊群多次踩踏、破坏的植被会进入自然恢复阶段^[24-25]。为了研究土壤因子与植被间的关系,本试验采用了 RDA 分析法,在直观分析土壤因子之间关系的同时,对植被受不同土壤因子的影响进行了区分。图 1 充分地反映出了该区生态环境的敏感性,土壤养分反映较敏感的是多样性指标,但二者之间的内在联系还有待进一步研究。另外,在以后的研究中,由于本试验区域范围较小,在探究放牧对草原生态的影响上,需要在更多环境因子的影响下进行研究。

参考文献:

- [1] Jin Y, Yang X, Qiu J, et al. Remote sensing-based biomass estimation and its spatio-temporal variations in

- temperate grassland, Northern China[J]. Remote Sensing, 2014,6(2):1496-1513.
- [2] Sun B, Wang H. Moisture sources of semiarid grassland in China using the Lagrangian particle model FLEXPART[J]. Journal of Climate, 2014,27(6):2457-2474.
- [3] Shen X, Liu B, Li G, et al. Impacts of grassland types and vegetation cover changes on surface air temperature in the regions of temperate grassland of China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2016,126(1/2):141-150.
- [4] Jin Y X, Xu B, Yang X C, et al. Grassland aboveground biomass retrieval from remote sensing data by using artificial neural network in temperate grassland, northern China [C] // Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics 2014), Third International Conference on. Ieee,2014.
- [5] Luo Y, Zhao X, Li Y, et al. Effects of foliage litter of a pioneer shrub (*Artemisia halodendron*) on germination from the soil seedbank in a semi-arid sandy grassland in China[J]. Journal of Plant Research, 2017, 130(6): 1013-1021.
- [6] Zhang J, Zuo X, Zhou X, et al. Long-term grazing effects on vegetation characteristics and soil properties in a semiarid grassland, northern China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2017,189(5):1-13.
- [7] Ma Q, Zhang J, Sun C, et al. Drought characteristics and prediction during pasture growing season in Xilingol grassland, northern China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2017,6(1):1-14.
- [8] Jixiang L I N, Zhuolin L I, Yingnan W, et al. Effects of various mixed salt-alkaline stress conditions on seed germination and early seedling growth of *Leymus chinensis* from Songnen Grassland of China[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2014, 42(1):154-159.
- [9] Xiangyang H. The development theory and key supporting science and technologies of grasslands and animal husbandry in China[J]. Pratacultural Science, 2015,32(5):823-827.
- [10] Guo Z, Fang W, Tan J, et al. A time-dependent stochastic grassland fire ignition probability model for Hulun Buir Grassland of China[J]. Chinese Geographical Science, 2013,23(4):445-459.
- [11] Xu Z, Shimizu H, Ito S, et al. Effects of elevated CO₂, warming and precipitation change on plant growth, photosynthesis and peroxidation in dominant species from North China grassland[J]. Planta, 2014,239(2): 421-435.
- [12] Tang J, Lin H L. Analysis of characteristics of the circular economy of grassland farming[J]. Acta Pratacultural Sinica, 2013,22(1):167-175.
- [13] 胡俊奇,陈先江,侯扶江. 高寒草原群落特征对甘肃马鹿冬季放牧的响应[J]. 草业科学,2016,33(6):1028-1034.
- [14] 黄晓霞,张勇,和克俭,等. 高寒草甸对旅游踩踏的抗干扰响应能力[J]. 草业学报,2014,23(2):333-339.
- [15] 黄琛,张宇,赵萌萌,等. 放牧强度对荒漠草原植被特征的影响[J]. 草业科学,2013,30(11):1814-1818.
- [16] 杨婧,褚鹏飞,陈迪马,等. 放牧对内蒙古典型草原 α 、 β 和 γ 多样性的影响机制[J]. 植物生态学报,2014,38(2):188-200.
- [17] 武崎,吴鹏飞,王群,等. 放牧强度对高寒草地不同类群土壤动物的群落结构和多样性的影响[J]. 中国农业科学,2016,49(9):1826-1834.
- [18] 卢翔,南志标. 放牧对草地植物群落多样性和草地病害的影响[J]. 草业科学,2015,32(9):1423-1431.
- [19] 刘文亨,卫智军,吕世杰,等. 放牧对短花针茅荒漠草原植物多样性的影响[J]. 生态学报,2017,37(10):3394-3402.
- [20] 刘晓妮,李刚,赵祥,等. 放牧对赖草群落生物量及植物多样性的影响[J]. 草地学报,2014,22(5):942-948.
- [21] 刘玉,刘振恒,邓蕾,等. 季节性放牧对草地植物多样性与功能群特征的影响[J]. 草业科学,2016,33(7):1403-1409.
- [22] 韩路,潘伯荣,王绍明,等. 适度放牧对林间草原植物形态特征及生物多样性的影响[J]. 草业科学,2015,32(9):1405-1412.
- [23] 崔树娟,布仁,巴音,等. 不同季节适度放牧对高寒草甸植物群落特征的影响[J]. 西北植物学报,2014,34(2): 349-357.
- [24] 刘振国,李镇清. 退化草原冷蒿群落 13 年不同放牧强度后的植物多样性[J]. 生态学报,2015(2):170-177.
- [25] 臧晓琳,张洪芹,王鑫朝,等. 放牧对冷蒿根际土壤微生物数量和群落功能多样性的影响[J]. 浙江农林大学学报,2017,34(1):86-95.