

DOI: 10.5846/stxb201906111236

安玉亭<sup>1</sup>, 刘彬<sup>1</sup>, 王立波<sup>1</sup>, 解生彬<sup>1</sup>, 薛丹丹<sup>1</sup>, 吴永波<sup>2,\*</sup>. 不同麋鹿干扰强度对栖息地土壤理化特性的影响. 生态学报, 2020, 40(11): 3571-3578.

An Y T, Liu B, Wang L B, Xie S B, Xue D D, Wu Y B. Effects of Père David deer (*Elaphurus davidianus*) grazing on soil physicochemical properties. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(11): 3571-3578.

## 不同麋鹿干扰强度对栖息地土壤理化特性的影响

安玉亭<sup>1</sup>, 刘彬<sup>1</sup>, 王立波<sup>1</sup>, 解生彬<sup>1</sup>, 薛丹丹<sup>1</sup>, 吴永波<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> 江苏大丰麋鹿国家级自然保护区, 盐城 224136

<sup>2</sup> 南京林业大学生物与环境学院, 南京 210037

**摘要:** 动物对草地的采食和践踏直接影响着土壤的理化特性。以大丰麋鹿保护区半散养麋鹿为研究对象, 分析了不同麋鹿干扰强度下土壤含水率、容重、全盐量、有机质、全氮、全磷和全钾的差异, 探讨麋鹿放养对土壤理化性质的影响。结果表明: (1) 随着麋鹿干扰强度的增加, 土壤含水量和有机质呈现下降的趋势; 土壤盐分、容重和氮、磷、钾含量呈现上升的趋势。(2) 麋鹿放养对土壤理化指标的影响显著, 重度干扰样地与对照样地之间差异性达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )。(3) 土壤氮、磷、钾含量, 在重度干扰区域达到最大值, 分别为 1.56 g/kg、0.95 g/kg 和 13.43 g/kg, 全氮量的增长幅度最大。(4) 在麋鹿活动最为频繁的重度干扰区域, 土壤盐分含量达到 9.26 g/kg, 土壤盐碱化, 这是导致栖息地退化的主要原因。麋鹿干扰强度增加最终导致土壤盐渍化加重, 栖息地生境明显退化, 严重区域向光裸地的演化。

**关键词:** 麋鹿; 半散养; 干扰强度; 栖息地; 土壤理化性质

## Effects of Père David deer (*Elaphurus davidianus*) grazing on soil physicochemical properties

AN Yuting<sup>1</sup>, LIU Bin<sup>1</sup>, WANG Libo<sup>1</sup>, XIE Shengbin<sup>1</sup>, XUE Dandan<sup>1</sup>, WU Yongbo<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Jiangsu Dafeng Milu National Nature Reserve, Yancheng 224136, China

<sup>2</sup> College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

**Abstract:** The physicochemical properties of soil was directly affected by grazing and trampling of animal. In order to explore the main factors affecting soil physical and chemical properties by Père David deer grazing, parameters including water content, bulk density, salt content, organic matter, total N, P and K contents under different intensity of semi-free Père David deer disturbance were analyzed. The fieldwork was conducted in Dafeng Père David deer National Nature Reserve, Jiangsu province, China. The results indicated that (1) the contents of soil water and organic matter were negatively correlated with the increase of the grazing intensity. However, the contents of soil salt content, total N, P and K contents were positively correlated with the increase of grazing intensity. (2) The soil physicochemical properties parameters between the heavy grazing and the control plots showed significant differences ( $P < 0.01$ ). (3) The maximum value of total N, P and K contents was 1.56 g/kg, 0.95 g/kg and 13.43 g/kg in heavy grazing area, respectively. Especially, N content was the most remarkable parameter. (4) The soil salt content was up to 9.26 g/kg in heavy grazing area. Soil salinization was the main reason causing the habitat degradation in Dafeng nature reserve. The increasing of grazing intensity led to soil salinization and habitat degradation. The heavy salinized soil degenerated to bare land gradually.

**Key Words:** Père David deer; semi-free; disturbance intensity; habitat; soil physicochemical properties

**基金项目:** 江苏省科技创新与推广项目 (LYKJ[2019]24); 国家重点研发计划 (2016YFC0502704); 盐城市大丰区科技计划项目 (DFJH201917)

**收稿日期:** 2019-06-11; **网络出版日期:** 2020-04-02

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yongbowu0920@163.com

麋鹿(*Elaphurus davidinus*)属于偶蹄目、鹿科、麋鹿属,国家 I 级保护野生动物,原为我国特有种,十九世纪末在中国彻底绝迹。我国于 1985 年在大丰建立麋鹿保护区,开启麋鹿重新引种工作,经过 30 多年的繁殖扩群,截至 2018 年底,保护区内麋鹿数量达到 4556 头,形成了世界上最大的麋鹿繁殖种群。然而随着麋鹿数量的快速增加,种群密度不断增大,麋鹿与栖息地承载力之间的矛盾开始显现,圈养区生境开始出现向光裸地退化现象。

作为一种群居性草食动物,麋鹿活动范围以食物为中心向外延伸,其行为活动和生境影响研究与放牧理论有共同之处。国内在放牧干扰对草地土壤理化特征影响方面做了许多研究工作<sup>[1-4]</sup>,但研究对象都是饲养的家畜,探讨濒危野生动物放养对其土壤理化性质影响的研究较少;国内外对麋鹿的研究主要集中在行为、采食、血液及麋鹿活动地土壤理化指标的变化和空间分布方面<sup>[5-9]</sup>,而针对不同麋鹿干扰强度对土壤理化性质影响的研究,迄今鲜有报道。麋鹿对草地的采食和践踏直接影响着土壤的物理特性,而且其粪尿等排泄到土壤中能够使养分归还,进而使土壤的化学成分发生改变且二者相互作用,相互影响<sup>[10]</sup>。本论文就不同麋鹿干扰梯度下土壤主要理化特性的变化进行研究,揭示麋鹿放养对栖息地土壤理化性质影响的规律,对探讨麋鹿栖息地退化原因和提高保护区管理水平具有重要的理论和实践指导意义。

## 1 样地选择和研究方法

### 1.1 研究区域概况

大丰麋鹿自然保护区位于盐城市大丰区境内,地理位置为 120°46′44.66″—120°53′26.6″E,32°58′31.67″—33°03′27.6″N。保护区气候属海洋和季风气候的过渡类型,冬季受大陆季风影响,多西北风,干旱少雨,低温霜冻;夏季受海洋季风影响,多东南风,高温,雨量充沛。常年平均气温 14.1℃,1 月平均气温 0.8℃,7 月平均气温 27℃。年降雨量约为 1068 mm,63%的降雨集中在 6—9 月份,占全年降雨量的 68%;相对湿度 80%,年平均温度 14.1℃,最低温度零下 12℃,最高温度 36℃,无霜期 216 d,全年日照时数 2267 h,日照百分率 51%。

保护区总面积 2666.67 hm<sup>2</sup>,划分为三个区域,即第一、第二和第三放养区,面积分别为 1000 hm<sup>2</sup>、666.67 hm<sup>2</sup> 和 1000 hm<sup>2</sup>。其中第一放养区内有 343 hm<sup>2</sup> 用不锈钢围栏围封,围网内麋鹿种群实施网格化管理,全年定点投喂饲料。第三放养区为野生麋鹿活动区,无围网,属于开放性区域。

保护区内有植物 284 种,麋鹿可食植物 198 种。芦苇(*Phragmites australis*)、互花米草(*Spartina alterniflora*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)分布广泛,是盐城滨海湿地植物的优势种,对当地湿地生态系统起到重要的控制作用。

### 1.2 研究方法

在大丰麋鹿保护区第一放养区的圈养围栏内,选择 3 个麋鹿补饲点(分别为 1 号、2 号和 3 号),1—3 号补饲点周围依次有 200 头、400 头和 800 头余麋鹿觅食(图 1),在每个补饲点周围进行土样采集。干扰强度划分为:以补饲点为中心,将其周围 0—100 m 范围内定为重度干扰(heavy grazing, HG)样地,100—200 m 选定中度干扰(moderate grazing, MG)样地,200—400 m 选定轻度干扰(light grazing, LG)样地,400 m 以上选定弱度干扰(weak grazing, WG)样地,共计 12 个干扰样地;另外在围栏外区域(不受麋鹿的干扰)设置对照(ungrazed plots, CK)。

土壤样品采集于 2018 年 6 月进行,每个样地内根据不同方位随机选取 6 个 1 m×1 m 样方,在样方内按“S”形取样法选择 5 个样点,每个样点采集 0—15 cm 表层土壤,装入塑料密封袋中,运回实验室,风干后去掉土样中明显可见的根系、碎石和杂物,磨碎过孔径为 1 mm 的不锈钢筛,装袋室温存放备用。

### 1.3 土壤样品分析及盐土分级标准

采用烘干法测定土壤含水率,梅特勒 FE-38 电导率仪测定土壤全盐含量,重铬酸钾容量法-稀释热法测定土壤有机质;采用美国 Perkin Elmer 2400 II 全元素分析仪测定土壤全氮和全磷含量,采用氢氧化钠碱熔,英国 BWB-XP 火焰光度计测定土壤全钾含量。

通过土壤盐分总含量 (g/kg) 判断滨海盐土类型<sup>[11]</sup>,盐分含量 1.0—2.0 时,为轻度盐化土;2.0—4.0,为中度盐化土;4.0—6.0,为重度盐化土;>6.0,为盐土。

### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 程序进行数据整理,采用 SPSS 21.0 软件对数据进行处理,用 ANOVA 和 LSD 法对不同样地同一麋鹿数量的理化指标进行方差分析和多重比较,以  $P<0.05$  或  $P<0.01$  作为显著性和极显著性差异的标准。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干扰强度对含水率的影响

土壤水分是土壤的重要组成部分,是土壤物质、能量交换的基本条件。研究表明(表 1),土壤含水率随干扰强度和麋鹿数量增加而下降,1、2、3 号补饲点土壤含水率下降程度分别为 4.32%、9.39%、15.39%,主要原因是随着干扰强度和麋鹿数量的增加,麋鹿对栖息地的践踏强度增加,使得表层土壤紧实度相应增加,导致土壤孔隙度减少,土壤含水率也相应降低。1 号补饲点弱度干扰土壤含水率最高(25.97%),3 号补饲点重度干扰的土壤含水率最低(22.72%);1 号补饲点在轻度和弱度干扰时土壤含水率高于对照组,3 个补饲点重度干扰的土壤含水率均低于对照组,说明适度的麋鹿放养有助于土壤涵养水分,过度的放牧不利于土壤水分的保持。

1 号补饲点重度干扰样地与对照样地间土壤含水率差异显著( $P<0.05$ );2 号补饲点重度、中度干扰样地与对照样地间差异极显著( $P<0.01$ );3 号补饲点除弱度干扰样地与对照样地之间差异不显著外,其他各干扰样地与对照样地间的差异性均达到极显著水平( $P<0.01$ ),说明随着麋鹿数量的增多,不同干扰强度之间土壤含水率变化较大。

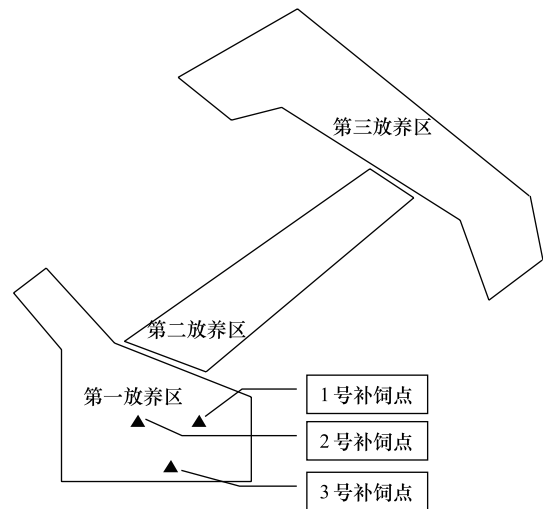


图 1 研究样地位置示意图

Fig.1 Location of research sample plots

表 1 不同干扰下的土壤含水率

Table 1 Soil moisture under different disturbance gradients

| 干扰强度<br>Disturbance intensity | 1 号补饲点<br>Number 1 feeding point | 2 号补饲点<br>Number 2 feeding point | 3 号补饲点<br>Number 3 feeding point |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 对照组 CK                        | 25.67±2.18a                      | 25.67±2.18Aa                     | 25.67±2.18Aa                     |
| 弱度干扰 WG                       | 25.97±1.54a                      | 25.59±2.12Aab                    | 25.45±1.61Aab                    |
| 轻度干扰 LG                       | 25.72±1.53a                      | 25.05±1.84Aab                    | 24.53±1.36Bb                     |
| 中度干扰 MG                       | 25.57±1.34a                      | 24.66±2.32Bb                     | 23.58±2.01BCc                    |
| 重度干扰 HG                       | 24.56±1.11b                      | 23.26±1.41Bc                     | 22.72±1.21Cc                     |

CK,不受麋鹿的干扰 Ungrazed plots;WG,弱度干扰 Weak grazing;LG,轻度干扰 Light grazing;MG,中度干扰 Moderate grazing;HG,重度干扰 Heavy grazing;表中数据均为平均值±标准差,同列不同大写字母表示有极显著性差异(LSD 检验, $P<0.01$ ),不同小写字母表示有显著性差异(LSD 检验, $P<0.05$ )

### 2.2 不同干扰强度对土壤容重的影响

土壤容重是土壤紧实度重要指标,与土壤的孔隙度和渗透率密切相关,可以作为土地退化的数量指标<sup>[12]</sup>。研究表明(表 2),受麋鹿活动的影响,土壤容重随干扰强度的增强而增大,随麋鹿数量的增多而增大。土壤容重在 3 号补饲点重度干扰时达到最大值为 1.54 g/cm<sup>3</sup>,1、2、3 号补饲点增加幅度分别为 4.48%、11.94%、16.42%。这是由于随着干扰强度的增加,麋鹿对土壤的压实作用愈来愈强烈,导致土壤容重逐渐增加。

1 号补饲点土壤容重在 5 个样地间的差异性不显著;2 号补饲点土壤容重在 5 个梯度间存在差异性,中度干扰样地与对照样地间差异显著( $P<0.01$ ),重度干扰样地与对照样地间差异极显著( $P<0.01$ );3 号补饲点重度和中度干扰样地与对照样地间差异极显著( $P<0.01$ ),说明随着麋鹿数量增加,土壤容重变化程度增大。

表 2 不同干扰下的土壤容重

Table 2 Soil bulk density under different disturbance gradients

| 干扰强度<br>Disturbance intensity | 1 号补饲点<br>Number 1 feeding point | 2 号补饲点<br>Number 2 feeding point | 3 号补饲点<br>Number 3 feeding point |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 对照组 CK                        | 1.34±0.05a                       | 1.34±0.05Bb                      | 1.34±0.05Bc                      |
| 弱度干扰 WG                       | 1.35±0.03a                       | 1.36±0.06ABb                     | 1.40±0.03Bc                      |
| 轻度干扰 LG                       | 1.36±0.07a                       | 1.39±0.04ABab                    | 1.42±0.02ABb                     |
| 中度干扰 MG                       | 1.39±0.02a                       | 1.44±0.02ABa                     | 1.50±0.04ABab                    |
| 重度干扰 HG                       | 1.40±0.06a                       | 1.5±0.03Aa                       | 1.56±0.07Aa                      |

表中数据均为平均值±标准差,同列不同大写字母表示有极显著性差异(LSD 检验, $P<0.01$ ),不同小写字母表示有显著性差异(LSD 检验, $P<0.05$ )

### 2.3 不同干扰强度对土壤全盐量的影响

土壤全盐量是指土壤中可溶性盐的总量,是判断土壤盐渍化及其程度的重要指标<sup>[11]</sup>。研究结果表明(图 2),土壤全盐量随放牧强度的增强而上升,麋鹿数量越多,涨幅越大。土壤全盐量在对照样地最低,数值为 2.29 g/kg,2 号和 3 号补饲点重度干扰样地盐分含量分别达到 5.58 g/kg、9.26 g/kg,土壤类型从中度盐化土转变为强度盐化土和盐土。

1 号补饲点仅重度干扰样地与对照样地间差异极显著( $P<0.01$ ),2 号补饲点中度和重度干扰样地与对照样地间差异极显著( $P<0.01$ ),3 号补饲点轻度、中度和重度干扰样地与对照样地间差异极显著( $P<0.01$ ),说明过高的麋鹿种群密度可能是土壤盐渍化程度加重的主要原因。

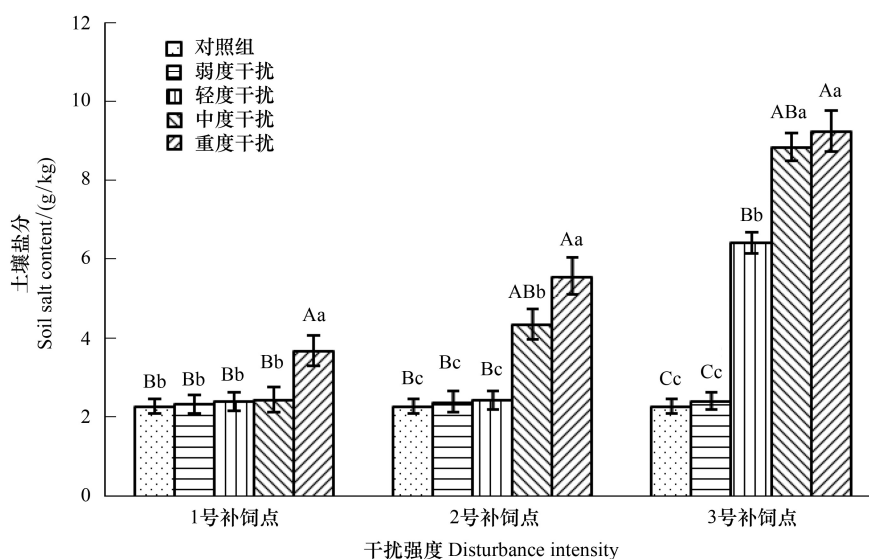


图 2 不同干扰下的土壤盐分

Fig.2 Soil salt content under different disturbance gradients

CK, 不受麋鹿的干扰 Ungrazed plots; WG, 弱度干扰 Weak grazing; LG, 轻度干扰 Light grazing; MG, 中度干扰 Moderate grazing; HG, 重度干扰 Heavy grazing; 不同大写字母表示有极显著性差异(LSD 检验, $P<0.01$ ),不同小写字母表示有显著性差异(LSD 检验, $P<0.05$ )

## 2.4 不同干扰强度对土壤有机质的影响

土壤有机质是土壤结构中一个关键因子,影响水分关系和土壤被侵蚀的潜力<sup>[13]</sup>。研究结果表明(图3),土壤有机质含量随放牧强度的增强而下降,麋鹿数量越多,下降幅度越大。3号补饲点重度干扰样地的土壤有机质最小值达到13.68 g/kg,最大降幅为45.56%,土壤侵蚀最为严重,补饲点0—100 m范围内已形成光裸地。

3个补饲点的弱度、轻度干扰与对照间差异均不显著,中度、重度干扰与对照间差异显著,并且2号和3号补饲点重度干扰与对照间差异性达到极显著水平( $P < 0.01$ ),说明只有麋鹿干扰达到一定强度时,土壤有机质下降程度才会明显。

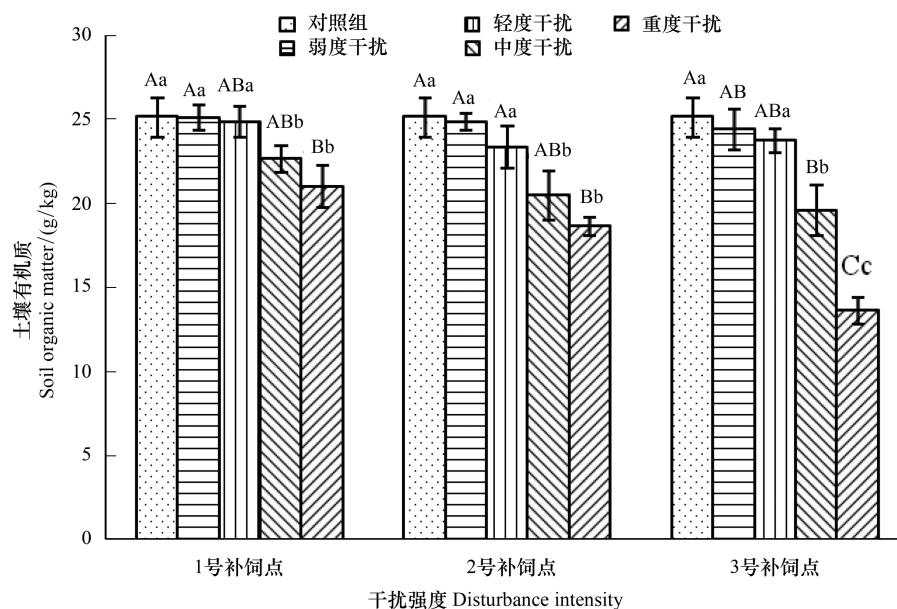


图3 不同干扰下土壤有机质变化

Fig.3 Soil organic matter content under different disturbance gradients

## 2.5 不同干扰强度对土壤氮、磷、钾含量的影响

土壤全氮、全磷和全钾是指土壤中各种形态氮素、磷素和钾素的总和,是反应土壤肥力的重要指标。研究结果表明(表3),土壤全氮、全磷和全钾含量随着放牧强度的增加而增加,随麋鹿数量的增多而增加。土壤全氮、全磷和全钾的含量在对照组中最低,分别为0.84 g/kg、0.56 g/kg和7.73 g/kg,在3号补饲点重度干扰样地中达到最大值,分别为1.56 g/kg、0.95 g/kg和13.43 g/kg,最大涨幅分别为85.71%、69.64%和73.74%,全氮的增长幅度最大。麋鹿饲料中,蛋白质含量较高,通过粪尿的排泄,增加了土壤中氮素的含量。土壤氮、磷、钾含量增长,一方面是因为麋鹿的采食和践踏导致干扰区域植物覆盖率降低,土壤中被植物吸收的营养减少,另一方面是因为麋鹿饲料中含有粪便的排泄增加了土壤中养分含量,这是由植物吸收减少和粪便排泄增加两者共同作用的结果。

3号补饲点重度干扰样地的全氮含量与对照样地间差异极显著( $P < 0.01$ ),2号和3号补饲点重度干扰样地全磷含量与对照样地间差异极显著( $P < 0.01$ ),1号、2号和3号补饲点重度干扰样地全钾含量与对照样地间差异极显著( $P < 0.01$ ),说明麋鹿干扰对栖息地全钾含量的影响最为明显。

## 3 讨论

土壤水分的数量和运动变化,不仅影响土壤的形成、气热状况,还影响土壤内部许多物质的转化过程<sup>[14]</sup>。石永红等<sup>[15]</sup>认为,表明随干扰强度的增加,草地土壤紧实度相应增加,孔隙度减少,导致水分含量降低。也有

研究表明<sup>[16]</sup>,干扰强度增强导致土壤水分渗透率和土壤饱和导水率均呈下降趋势。本研究结果表明,在麋鹿活动最频繁的0—100 m范围内土壤含水量最低,土壤保水能力较小;并且随着麋鹿数量的增多,含水量下降越明显,这与以上的研究结果一致。强干扰样地的植物长期受到麋鹿的频繁啃食和践踏干扰,植被稀疏、矮小,土壤水分蒸散较多,而其他样地植被相对稠密、高大,地表凋落物层较厚,有效地减少土壤水分的损失。

表3 不同干扰下土壤全氮、磷、钾变化

Table 3 Contents of soil total N P K under different disturbance gradients

| 干扰强度<br>Disturbance intensity | 全氮 Soil total N/(g/kg)           |                                  |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                               | 1 号补饲点<br>Number 1 feeding point | 2 号补饲点<br>Number 2 feeding point | 3 号补饲点<br>Number 3 feeding point |
| 对照组 CK                        | 0.84±0.05a                       | 0.84±0.05b                       | 0.84±0.05Bb                      |
| 弱度干扰 WG                       | 0.86±0.08a                       | 0.91±0.06a                       | 0.94±0.04ABb                     |
| 轻度干扰 LG                       | 0.9±0.04a                        | 1.02±0.04a                       | 1.12±0.06ABab                    |
| 中度干扰 MG                       | 0.95±0.07a                       | 1.16±0.07a                       | 1.36±0.03ABa                     |
| 重度干扰 HG                       | 1.02±0.04a                       | 1.23±0.03a                       | 1.56±0.08Aa                      |
| 干扰强度<br>Disturbance intensity | 全磷 Soil total P/(g/kg)           |                                  |                                  |
|                               | 1 号补饲点<br>Number 1 feeding point | 2 号补饲点<br>Number 2 feeding point | 3 号补饲点<br>Number 3 feeding point |
| 对照组 CK                        | 0.56±0.04b                       | 0.56±0.04Bb                      | 0.56±0.04Cc                      |
| 弱度干扰 WG                       | 0.58±0.03a                       | 0.6±0.06Bb                       | 0.71±0.05Bb                      |
| 轻度干扰 LG                       | 0.62±0.07a                       | 0.62±0.04ABb                     | 0.72±0.07ABab                    |
| 中度干扰 MG                       | 0.64±0.04a                       | 0.71±0.03ABab                    | 0.84±0.04ABb                     |
| 重度干扰 HG                       | 0.69±0.06a                       | 0.78±0.06Aa                      | 0.95±0.02Aa                      |
| 干扰强度<br>Disturbance intensity | 全钾 Soil total K/(g/kg)           |                                  |                                  |
|                               | 1 号补饲点<br>Number 1 feeding point | 2 号补饲点<br>Number 2 feeding point | 3 号补饲点<br>Number 3 feeding point |
| 对照组 CK                        | 7.73±1.29Bb                      | 7.73±1.29Bb                      | 7.73±1.29Cc                      |
| 弱度干扰 WG                       | 8.02±1.36Bb                      | 7.85±2.23Bb                      | 10.46±1.42Bb                     |
| 轻度干扰 LG                       | 8.41±2.09ABab                    | 7.91±1.61Bb                      | 11.23±1.85Bb                     |
| 中度干扰 MG                       | 9.34±1.52Aa                      | 9.86±1.48ABab                    | 13.27±2.17ABa                    |
| 重度干扰 HG                       | 9.94±1.23Aa                      | 11.73±3.53Aa                     | 13.43±2.06Aa                     |

表中数据均为平均值±标准差,同列不同大写字母表示有极显著性差异(LSD 检验,  $P<0.01$ ),不同小写字母表示有显著性差异(LSD 检验,  $P<0.05$ )

土壤容重是土壤紧实度的指标之一,与土壤的孔隙度和渗透率密切相关,主要受土壤有机质含量、土壤质地及践踏程度的影响<sup>[17]</sup>。孙飞达等<sup>[18]</sup>认为,随着放牧强度的增加,土壤容重逐渐增大,且随土壤深度的增加,土壤容重逐渐增大。Holt 等<sup>[19]</sup>研究表明,土壤容重在高的放牧强度显著高于低的放牧强度。本研究结果表明:随着放牧强度的增大,麋鹿对土壤的践踏作用增强,土壤的总孔隙减少,导致土壤容重增加;麋鹿放养对土壤容重的影响在距离补饲点0—100 m时最明显,这种影响主要表现在麋鹿数量较多的情况下,这与以上的研究结果一致。也有人认为强干扰的土壤容重反而最低<sup>[20]</sup>,这是因为土壤容重与土壤质地有关,在沙质土壤中,过度放牧导致土壤有机质含量降低,土壤团粒结构减少,土壤结构遭到破坏,使得土壤容重降低<sup>[21]</sup>;而在粘质土壤中,土壤团粒机构较多,土壤容重随放牧强度增强而增加。

土壤全盐量是判断滨海湿地土壤盐渍化及其程度的重要指标,也是影响植物的生长状况的主要制约因素<sup>[22]</sup>。霍光伟等<sup>[23]</sup>认为,过度放牧加重土壤的盐渍化,草场植被减少,生物多样性锐减,生态系统功能减弱,生境逐渐退化。本研究结果表明,麋鹿干扰使得土壤盐分含量呈现逐渐上升的趋势,随着麋鹿数量的增加,盐分含量越高,重度干扰区域的土壤已经变为盐土。主要原因可能是麋鹿粪尿中含有大量的盐分,重度干扰区域麋鹿种群密度最高,粪尿排泄量最大,因而导致土壤中的盐分含量升高,加重土壤盐渍化程度。

土壤有机质是植物养分元素循环的中心,能够促使土壤结构形成,改善土壤理化性质,是衡量土壤健康水平和肥力高低的重要指标之一<sup>[24]</sup>。有研究表明,草地生态系统对放牧有相当的弹性,放牧对土壤有机质没有影响<sup>[13]</sup>;有的研究表明放牧增加土壤有机质含量<sup>[25]</sup>;亦有研究认为放牧降低土壤有机质含量<sup>[26]</sup>。本研究表明,随着麋鹿干扰强度的增加,土壤有机质逐渐降低,在补饲点 0—100 m 范围内,土壤有机质下降最为明显。随着土壤水分和容重的下降,土壤的水土保持能力逐渐降低,有机质含量呈现下降趋势。一方面是由于麋鹿对草地的啃食和践踏致使植被覆盖率降低,使得枯枝落叶归还土壤的数量减少,有机质含量相应降低。另一方面滨海湿地土壤本身含有较低的有机质,土壤的缓冲性能较弱,麋鹿放养加重土壤侵蚀,最终导致土壤有机质降低。

土壤氮、磷、钾含量与土壤肥力水平是密切相关的,麋鹿活动通过采食、践踏、排泄等行为直接或间接地影响土壤中氮、磷、钾的含量。戎郁萍等<sup>[27]</sup>研究表明,随放牧强度增加,全氮含量增加,全磷含量降低,全钾含量增加。杨树晶等<sup>[28]</sup>研究表明,随着放牧强度的增加,土壤中全氮、全磷、全钾的含量均呈下降趋势。笔者研究表明,随着麋鹿干扰强度的增加,土壤全氮、全磷、全钾的含量变化趋势相同,均呈现上升趋势,全氮含量增加最明显,这与以上的研究结果不同。产生这样的结果首先是麋鹿长期在补饲点 0—100 m 范围活动,其采食、践踏和翻拱使得植被覆盖率降低,重度干扰区域甚至成为光裸地,致使被植物吸收的土壤养分减少;其次麋鹿的饲料中含有较多盐分,经消化吸收后,部分盐分随粪尿一起排出体外,土壤中盐分含量上升,进一步增加了土壤中氮、磷、钾的含量,这是由植物吸收量减少和土壤盐分增加两者共同作用的结果。

#### 4 结论与建议

在大丰麋鹿自然保护区半散养人工补饲区域,麋鹿放养对土壤主要理化指标的影响比较明显,重度干扰区域甚至出现土壤退化现象。随着麋鹿干扰强度的增加,土壤水分含量和有机质呈现下降的趋势;土壤盐分、容重和氮、磷、钾含量呈现升高的趋势。在补饲点 0—100 m 范围,土壤盐渍化程度较重,土壤转变为盐土,这是限制植被生长,导致栖息地退化的主要原因。

保护区应进一步增加补饲点数量,改变补饲点位置,缓解现有补饲点周围土壤退化趋势;对麋鹿种群进行内部调节,将半散养区内的麋鹿向第三放养区输送,降低围栏内麋鹿干扰强度;在半散养区域内对麋鹿进行划区轮牧放养,让栖息地间隔性休牧,对退化土壤进行改良和修复,为麋鹿活动提供可持续的栖息环境。

#### 参考文献(References):

- [1] 王明君, 韩国栋, 赵萌莉, 陈海军, 王珍, 郝晓莉, 薄涛. 草甸草原不同放牧强度对土壤有机碳含量的影响. 草业科学, 2007, 24(10): 6-10.
- [2] 张肖林, 李勇, 于寒青, 刘文祥. 黄土区退耕草地合理放牧可减少土壤 CO<sub>2</sub> 排放和土壤侵蚀. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(4): 988-997.
- [3] 江源, 章异平, 杨艳刚, 徐军亮, 李俞萍. 放牧对五台山高山、亚高山草甸植被——土壤系统耦合的影响. 生态学报, 2014, 30(4): 837-846.
- [4] 闫玉春, 宋长春, 常瑞英, 刘亮. 长期开垦与放牧对内蒙古典型草原地下碳截存的影响. 环境科学, 2008, 29(5): 1388-1393.
- [5] 朱明误, 刘艳菊, 张婷婷, 程志斌, 杨峥. 不同栖息环境下麋鹿活动对土壤理化特性的影响. 环境化学, 2016, 35(1): 208-217.
- [6] 卢霞, 林雅丽, 吴亚楠, 顾杨, 赵倩. 滨海湿地麋鹿野牧区土壤理化指标的空间分布特征. 海洋湖沼通报, 2018, (4): 74-81.
- [7] Yuan B D, Wang L B, Xie S B, Ren Y J, Liu B, Jia Y Y, Shen H, Sun D M, Ruan H H. Density dependence effects on demographic parameters—A case study of Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) in captive and wild habitats. Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy, 2017, 117B(3): 139-144.
- [8] Yuan B D, Xie S B, Liu B, Xue D D, Sun D M. Differential movement pattern of Pere David's deer associated with the temporal rhythm using GPS collar fix. Global Ecology and Conservation, 2019, 18: e00641.
- [9] 贾媛媛, 安玉亭, 孙大明, 沈华, 陆立林, 原宝东. 麋鹿采食与非采食区群落重要值和狼尾草种群的差异. 野生动物学报, 2018, 39(1): 49-53.
- [10] 李凤霞, 李晓东, 周秉荣, 祁栋林, 王力, 傅华. 放牧强度对三江源典型高寒草甸生物量和土壤理化特征的影响. 草业科学, 2015, 32

- (1): 11-18.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [12] 安慧, 徐坤. 放牧干扰对荒漠草原土壤性状的影响. 草业学报, 2013, 22(4): 35-42.
- [13] 兰瑞君, 郭建英, 尹忠东, 李锦荣, 张铁钢. 不同放牧强度下土壤侵蚀对典型草原土壤有机碳的影响. 水土保持学报, 2017, 31(4): 172-177.
- [14] 王玉英, 阎长虹, 陈明珠, 郭军辉, 詹启伟, 郑军, 陈喜. 贵州普定陈旗堡地区土体主要理化性质与持水量相关性研究. 地质评论, 2008, 54(4): 550-556.
- [15] 石永红, 韩建国, 邵新庆, 刘贵河. 奶牛放牧对人工草地土壤理化特性的影响. 中国草地学报, 2007, 29(1): 24-30.
- [16] María Bonita V, Nilda Mabel A, Norman P. Soil degradation related to overgrazing in the semi-arid southern Caldenal area of Argentina. Soil Science, 2001, 166(7): 441-452.
- [17] 红梅, 韩国栋, 赵萌莉, 索培芬, 潘林瑞. 放牧强度对浑善达克沙地土壤物理性质的影响. 草业科学, 2004, 21(12): 108-111.
- [18] 孙飞达, 龙瑞军, 蒋文兰, 郭正刚, 聂学敏. 三江源区不同鼠洞密度下高寒草甸植物群落生物量和土壤容重特性研究. 草业学报, 2008, 17(5): 111-116.
- [19] Holt J A, Bristow K L, Mcivor J G. The effects of grazing pressure on soil animals and hydraulic properties of two soils in semi-arid tropical Queensland. Australian Journal of Soil Research, 1996, 34(1): 69-79.
- [20] 周存宇, 费永俊, 吴雷, 杨朝东. 麋鹿放养对天鹅洲草地土壤理化性质的影响. 草业学报, 2010, 19(4): 115-121.
- [21] 高英志, 韩兴国, 汪诗平. 放牧对草原土壤的影响. 生态学报, 2004, 24(4): 790-797.
- [22] 丁建丽, 姚远, 王飞. 干旱区土壤盐渍化特征空间建模. 生态学报, 2014, 34(16): 4620-4631.
- [23] 霍光伟, 乌云娜, 宋彦涛, 张凤杰. 典型草原退化梯度上土壤水溶性盐分的变化特征. 大连民族学院学报, 2015, 17(5): 445-448.
- [24] 张成霞, 南志标. 放牧对草地土壤理化特性影响的研究进展. 草业学报, 2010, 19(4): 204-211.
- [25] Reeder J D, Schuman G E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. Environmental Pollution, 2002, 116(3): 457-463.
- [26] Han G D, Hao X Y, Zhao M L, Wang M J, Ellert B H, Willms W, Wang M J. Effect of grazing intensity on carbon and nitrogen in soil and vegetation in a meadow steppe in Inner Mongolia. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2008, 125(1/4): 21-32.
- [27] 戎郁萍, 韩建国, 王培, 毛培胜. 放牧强度对草地土壤理化性质的影响. 中国草地, 2001, 23(4): 41-47.
- [28] 杨树晶, 唐祯勇, 赵磊, 如学. 放牧强度对川西北高寒草甸土壤理化性质的影响. 草学, 2019, (1): 57-61.