

# 基于 Meta 分析的中国北方草地土壤 pH 对放牧的响应研究

杨雪龙<sup>1</sup>, 杜岩功<sup>2</sup>, 石丽娜<sup>3</sup>, 谢芹芹<sup>3</sup>, 赵旭东<sup>3</sup>

(1. 青海省海北州生态环境监测站, 青海 海晏县 812200; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁市 810008; 3. 青海观谷生态环境科学研究所有限公司, 青海 西宁市 810001)

**摘要:** 基于 Meta 分析, 通过对中国北方草地已开展的 24 个有关不同放牧强度对土壤 pH 影响的试验结果进行整合分析。结果表明: 放牧轻度增加我国北方草地土壤 pH 值, 平均效应值为  $0.009 \pm 0.006$ , 增幅 0.91%。放牧极显著增加温性草甸草原土壤 pH 值 ( $P < 0.01$ ), 但降低高寒草甸土壤 pH 值。不同放牧强度对 pH 平均效应值的影响无显著性差异, 从高到低为轻度放牧 > 重度放牧 > 中度放牧。土壤全磷对放牧草地平均效应值具有显著负效应 ( $P < 0.05$ ), 可以解释 14.56% 的效应值变异。土壤速效氮、速效磷、有机质、全钾和容重也是解释效应值变异的主要因素。放牧利用对北方草地土壤 pH 不会产生较大影响, 中度放牧利用为最适宜的草地利用方式。

**关键词:** 草地; pH; 放牧强度; 随机效应模型; 异质性分析

**中图分类号:** S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2021)05-0125-06

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyycp.2021.05.018

天然草地是我国牧区畜牧业发展的重要资源基础和绿色生态屏障<sup>[1-2]</sup>。我国天然草地包括 18 个类型, 目前约 90% 的天然草地处于不同程度的退化状态<sup>[3]</sup>。过度放牧是草地退化的重要原因<sup>[4]</sup>。不同强度放牧干扰对草地胁迫存在较大差异, 会对草地土壤性质、植被产生不同影响<sup>[1,5]</sup>。土壤 pH 值是表征酸碱性的指标, 其变化直接影响土壤营养元素的有效性和存在状态<sup>[3]</sup>, 对土壤肥力的形成和土壤质量演变过程起着重要作用<sup>[6]</sup>。

放牧家畜主要通过采食、践踏及排泄物影响土壤物理结构和理化性状<sup>[7]</sup>。放牧和围封草地土壤 pH 值分别为 8.94、8.50, 放牧可以明显增加草地生态系统

土壤 pH<sup>[2]</sup>。轻度放牧增加小叶章草甸土壤 pH, 土壤呈弱酸性特征、pH 值约为 5.81<sup>[8]</sup>。随着放牧强度增加, 内蒙古典型草原土壤 pH 值显著增加<sup>[6]</sup>, 而草甸草原土壤 pH 值呈现先增加后降低趋势<sup>[4]</sup>。重度放牧显著提高川西北亚高山草地土壤 pH 值<sup>[9]</sup>。西藏高寒草甸土壤呈酸性, pH 值低于 6.20, 放牧对高寒草甸 pH 无显著影响<sup>[10]</sup>。划区轮牧对荒漠草原速效钾含量和 pH 值无显著影响, 但有利于表层土壤 0~5 cm 粘粒的形成<sup>[1]</sup>。长期封育降低内蒙古草原和黄土高原土壤 pH 值<sup>[2,11]</sup>。围栏封育有效降低松嫩平原苏打盐渍土盐分表聚作用<sup>[12]</sup>。

草地 pH 改变土壤微环境, 一方面可以影响微生物生理代谢酶活性, 还可以影响细胞膜的稳定性, 进而影响微生物对环境营养物质的利用<sup>[13]</sup>。内蒙古草原土壤微生物碳和氮含量均与土壤 pH 值呈显著正相关关系<sup>[14]</sup>。家畜尿液进入草地后尿素很快转化为铵, 提高土壤铵态氮含量和 pH 值<sup>[15]</sup>。草地群落多样性与 pH 值呈负相关关系<sup>[7]</sup>, 硝化细菌更适应酸性环境<sup>[16]</sup>。氮沉降引起草地土壤细菌多样性的丧失主要归因于土壤 pH 值急剧降低<sup>[17]</sup>。短期内增加 pH 值会对羊草草

收稿日期: 2020-12-14; 修回日期: 2021-03-08

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31770532); 中科院西部之光西部青年学者项目

作者简介: 杨雪龙(1976-), 男, 青海西宁人, 学士, 高工, 研究方向为草地土壤氮素循环及其环境效应。

E-mail: 403672585@qq.com

赵旭东为通讯作者。

E-mail: 76554902@qq.com

地土壤碳矿化速率产生激发效应<sup>[11]</sup>。

单个控制试验对于理解具体生态系统的响应非常关键,但陆地生态系统响应特征的普遍规律需要使用整合研究的手段<sup>[18]</sup>,可直接为陆面模型提供参数和理论依据。已有研究关注不同放牧强度对不同类型草地 pH 的影响,尚缺少我国北方草地 pH 对不同放牧强度响应特征的整合研究,本文基于 meta 分析,探索不同放牧强度对草地土壤 pH 的影响及主要调控因素,以期为草地适宜放牧强度的确立及适应性管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据收集

基于中国知网数据库,检索条件关键词“pH”且“放牧”,中英文论文共搜索到 36 篇。按照下列准则进

行论文筛选:以中国北方草地生态系统为研究对象,土壤 pH 值测定采用酸度计方法,均在生长季开展试验研究工作。最终 11 篇论文(表 1)、24 组研究数据被采用,进行数据统计分析。调查样点主要分布于内蒙古自治区、西藏自治区、宁夏回族自治区和青海省等。

采用 Web Plot Digitizer 软件提取原文图片数据。草地类型和放牧强度的划分,均采用原文的分类方法。同时提取年均气温、降水量、海拔、容重、有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾含量等数据。本研究引入了不同放牧强度作为分类变量,放牧强度因草地类型和家畜类型差异,轻度、中度和重度放牧梯度采用原有文章分类标准;提取的土壤理化性质和气候因素作为平均效应值的解释变量,探讨放牧干扰对效应值的影响幅度(围封为对照)。

表 1 本研究选用的 11 篇论文基本情况

Table 1 Basic information of selected 11 papers in this study

作者及年份	发表文献	研究区域	草地类型	家畜类型
张茹等,2020 <sup>[2]</sup>	生态科学	宁夏固原东北部	典型草原	滩羊
苏振声,2015 <sup>[21]</sup>	西北农林科技大学硕士学位论文	西藏林芝工布江达县	高寒草甸	藏牦牛
萨仁高娃等,2014 <sup>[6]</sup>	畜牧与饲料科学	内蒙古锡林郭勒盟	典型草原	西门塔尔牛
史印涛等,2013 <sup>[8]</sup>	中国草地学报	黑龙江省双鸭山市	草甸草原	当地肉牛
孙总玖等,2013 <sup>[4]</sup>	草地学报	新疆伊犁州昭苏马场	草甸草原	新疆褐牛
包秀霞等,2013 <sup>[7]</sup>	安徽农业科学	内蒙古呼和浩特	典型草原	当地肉牛
沈艳等,2011 <sup>[1]</sup>	水土保持学报	宁夏盐池县	荒漠草原	滩羊
赵兰坡等,2011 <sup>[12]</sup>	土壤学报	吉林省松嫩平原	草甸草原	当地肉牛
李强,2010 <sup>[10]</sup>	东北师范大学硕士学位论文	吉林省松嫩平原	草甸草原	当地肉牛
张芳等,2009 <sup>[29]</sup>	干旱区资源与环境	青海省果洛州玛多县	高寒草甸	藏牦牛
Steffens, et al, 2008 <sup>[23]</sup>	Geoderma	内蒙古锡林郭勒盟	典型草原	绵羊和山羊

### 1.2 基于均值的草地 pH 对放牧响应的效应值(响应比)计算

$$\ln R = \ln \frac{x_e}{x_c} = \ln(x_e) - \ln(x_c)$$

式中: $x_e$ 为我国北方放牧草地 pH 均值, $x_c$ 为围封样地均值, $\ln R$ 为效应值。

研究内方差:

$$V_{\ln R} = \frac{S_e^2}{N_e x_e^2} + \frac{S_c^2}{N_c x_c^2}$$

式中: $V$ 为方差, $S_e$ 为处理标准差, $S_c$ 围封标准差, $N_e$ 和 $N_c$ 为处理和对照(围封)样本量。

平均效应值及置信区间的计算方法:

单个试验样点研究结论的权重: $\omega_i^* = 1/(v_i + \tau^2)$

$$\text{平均效应值: } \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^k \omega_i^* y_i}{\sum_{i=1}^k \omega_i^*}$$

$$\text{总体标准误差: } SE = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^k \omega_i^*}}$$

放牧对草地 pH 影响平均效应值的 95% 置信区间: $CI = \bar{y} \pm 1.96 SE$

式中: $v_i$ 表示本论文的研究内方差, $\tau^2$ 表示研究间方差结果, $y_i$ 为单个研究的效应值。

pH 对放牧响应的效应值异质性检验( $Q_i$ )计算:

$$Q_i = \sum_{i=1}^k \omega_i^* (y_i - \bar{y})^2$$

土壤理化性质和气象因素等解释变量对效应值影

响程度检验 ( $Q_m$ ):

$$Q_m = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^m \omega_i^* (y_{ij} - \bar{y})^2$$

式中:  $p$ 、 $n_i$  分别表示解释变量异质性检验值和处理样本量;  $j$ 、 $i$  分别代表处理和对照;  $y_{ij}$  表示单个研究结论效应值。

### 1.3 数据统计分析方法

研究数据通过 R 语言 metafor1.9-8 程序包开展数据整合分析。我国北方草地土壤 pH 对放牧响应的平均效应值和单一效应值计算均采用随机效应模型。当研究结果效应值整体异质性较强且达到显著性检验水平时,表明放牧处理的效应存在较大差异。基于混合效应模型,引入解释变量对异质性进行分析。发表偏差通过对称性检验完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 放牧干扰对中国北方草地土壤 pH 的影响

放牧干扰轻微增加我国北方草地土壤 pH 值,平均效应值为  $0.009 \pm 0.006$  (95% 置信区间:  $-0.002 \sim 0.020$ ) (图 1), 增加幅度 0.91%。放牧对不同类草地土壤 pH 影响的顺序为: 温性草原 > 温性草甸草原 > 温性荒漠 > 高寒草甸 (图 2)。放牧活动极显著增加温性草甸草原土壤 pH, 平均效应值为  $0.012 \pm 0.004$  ( $P < 0.01$ )。放牧增加温性草原 ( $0.033 \pm 0.018$ ) 和温性荒漠 ( $0.003 \pm 0.007$ ) 土壤 pH 值, 降低高寒草甸 pH 值 ( $-0.002 \pm 0.006$ )。放牧干扰对 pH 影响的效应值异质性 ( $Q_e$ ) 检验表明异质性很强 ( $P < 0.0001$ )

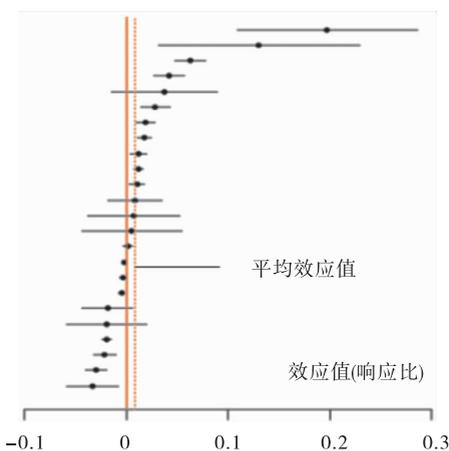


图 1 放牧影响中国北方草地土壤 pH 效应值森林图  
Fig. 1 Forest plots of effect size of grazing on soil pH of grasslands in northern China

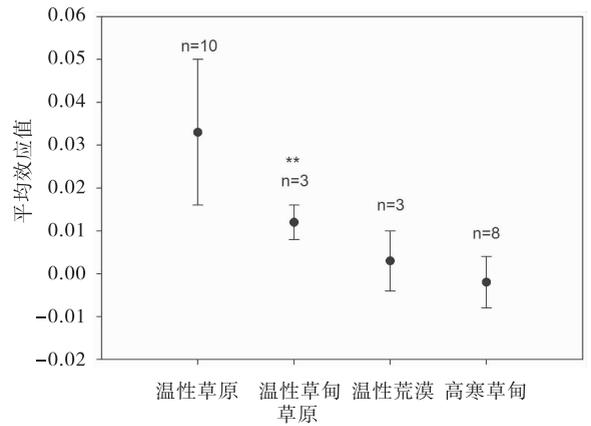


图 2 放牧对不同类草地 pH 平均效应值的影响结果对比分析

Fig. 2 Comparison of effect sizes of grazing on soil pH among different types of grassland in China (\* \* meant  $P < 0.01$ )

表 2 放牧对 pH 影响的效应值异质性检验

Table 2 Effects of grazing on residual heterogeneity ( $Q_e$ ) of soil pH

因素	异质性检验	自由度	P 值
放牧	305.77	21	$P < 0.0001$

(表 2), 需要引入解释变量 (分类变量和连续变量) 对异质性的来源进行进一步探讨。

### 2.2 放牧强度对中国北方草地土壤 pH 影响及平均效应值异质性检验

不同放牧强度的平均效应值之间无显著性差异。平均效应值从高到低顺序, 依次为轻度放牧 > 重度放牧 > 中度放牧。轻度、重度和中度放牧对 pH 值增幅分别为 1.02%、1.01% 和 0.61%。异质性检验结果表明平均效应值残差仍具有异质性 ( $P < 0.0001$ ) (表 3), 需要引入其他解释变量。

表 3 不同放牧强度对 pH 平均效应值的影响及 95% 置信区间

Table 3 Effects of grazing density on effect sizes and confidence interval

因素	平均效应值	95% 置信区间
放牧干扰	$0.009 \pm 0.006$	$-0.002 \sim 0.020$
轻度放牧	$0.011 \pm 0.012$	$-0.012 \sim 0.034$
中度放牧	$0.006 \pm 0.011$	$-0.016 \sim 0.028$
重度放牧	$0.010 \pm 0.010$	$-0.010 \sim 0.030$

### 2.3 平均效应值对气候因子及土壤理化性质等变量的响应特征

本研究引入解释变量包括海拔、年均气温、土壤全氮、全磷含量等因素。北方草地土壤全磷含量对平均效应值具有显著影响( $P < 0.05$ ) (表 3), 可以解释 14.56% 的效应值变异。土壤速效氮、速效磷、有机质、全钾含量和容重也是解释效应值变异的主要因素。基于拟合方程结果, 可以发现平均效应值与全钾、全氮含量间之间存在正相关关系, 与其余因素均存在负相关关系。

表 4 放牧影响 pH 的平均效应值对气象因子和土壤理化性质的响应

Table 4 Response of average effect sizes of grazing on soil pH to meteorological factors and soil physical and chemical properties

解释变量( $x$ )	异质性检验	$P$	拟合方程	效应值变异 $R^2$
全磷	3.85	$<0.05$	$Y=0.09-0.105x$	14.56
速效磷	3.10	0.06	$Y=0.07+0.002x$	13.18
速效氮	2.14	0.14	$Y=0.12-0.004x$	11.75
有机质	1.78	0.18	$Y=0.02-0.002x$	9.13
全钾	1.24	0.26	$Y=-0.01+0.0002x$	7.57
容重	0.90	0.34	$Y=0.03-0.031x$	6.12
降水量	0.56	0.45	$Y=0.21-0.0001x$	0.00
全氮	0.12	0.73	$Y=-0.02+0.001x$	0.00
海拔	0.10	0.75	$Y=0.01-0.0002x$	0.00
速效钾	0.07	0.79	$Y=0.03-0.0001x$	0.00
年均气温	0.04	0.85	$Y=0.01-0.0003x$	0.00

注:  $Y$  是平均效应值

### 2.4 放牧对我国草地生态系统 pH 影响效应值漏斗图的对称性检验

Meta 分析是对平均效应值的定量化评价, 数据来源于已发表的研究论文, 这可能会受选择性偏倚的影响。通过对漏斗图的对称性进行检验分析( $z=0.96$ ,  $P=0.39$ ), 发现  $P$  值大于 0.05, 说明本研究所采用数据检验结果基本对称。本研究并无研究论文发表偏爱性(图 3), 研究结果具有充分可信度。

## 3 讨论

北方草地是我国重要的生态屏障, 对于提升生态系统服务功能和生态系统稳定性均具有极其重要作用<sup>[3,5]</sup>。由于人口数量及其对畜产品需求的不断增长, 造成草地长期超载放牧、同时受气候变化影响, 草地已

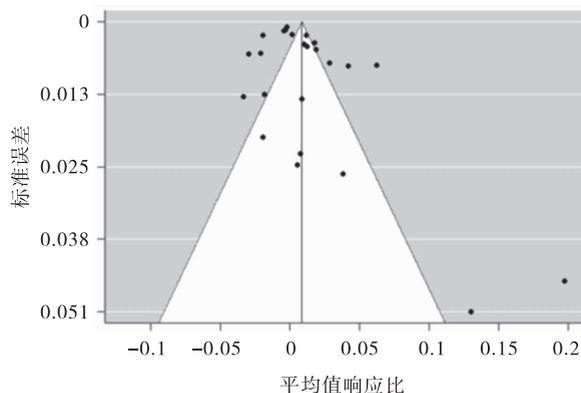


图 3 放牧对我国北方草地土壤 pH 影响的发表偏爱性检验

Figure 3 Egger's test for funnel plot asymmetry on effects size of grazing on soil pH of grasslands

发生大面积退化<sup>[19-20]</sup>。重度放牧草地土壤 pH 明显高于轻度放牧草地, 主要与放牧家畜排泄物含有大量钾元素有关<sup>[21-22]</sup>。土壤 pH 直接影响草地植被对土壤养分的吸收效率, 酸化可能导致放牧草地微生物群落结构多样性发生显著的变化<sup>[2,23]</sup>。土壤 pH 是反映土壤盐碱化程度的主要指标, 它可以通过影响微生物代谢的酶活性及细胞膜的稳定性, 进而影响微生物对环境中的营养物质的吸收<sup>[12,24]</sup>。

本研究发现放牧干扰轻度增加我国北方草地土壤 pH 值, 增幅 0.91%。重度放牧草地受家畜连续践踏作用影响, 草场植被盖度明显地下降, 土壤水分蒸发量和盐分含量逐渐增加, 从而提高土壤 pH 值<sup>[7]</sup>。但是也有研究发现随着放牧强度的增加, 土壤所接受的家畜尿量也增加, 家畜尿量的增加导致了土壤离子循环速度的加快, 从而提高了土壤氢离子的浓度, 降低土壤 pH 值<sup>[25]</sup>。本研究也表明放牧对草地 pH 影响, 可能受到草地类型或者放牧强度的共同影响, 温性草原 pH 对放牧干扰反应幅度明显高于高寒草甸。温性草原土壤 pH 值为 8.54~9.26<sup>[2]</sup>, 明显高于高寒草甸和小叶章草甸<sup>[8,10]</sup>。草地生态系统土壤 pH 值与土壤微生物量通常呈现负相关关系, pH 值偏低影响土壤有机碳溶解, 提高土壤溶液交换性铝离子的生物毒性, 降低土壤微生物量<sup>[26]</sup>。随 pH 值增加, 草地土壤微生物群落胁迫压力降低, 可提高土壤微生物量<sup>[27]</sup>。封育时间越久, 植物生长的枯黄落叶的程度也越大, 对土壤的覆盖度也越大, 土壤空气与大气的通气性减弱, 氧含量减少, CO<sub>2</sub> 的含量增多, 土壤 pH 值降低<sup>[2]</sup>。

土壤酸碱度是土壤在其形成过程中受生物、气候、地质、水文等因素综合作用所产生的重要属性<sup>[2]</sup>。本

研究表明全磷对北方放牧草地土壤 pH 平均效应值具有显著负效应,随着全磷含量降低,我国北方放牧干扰对草地土壤 pH 影响的平均效应值呈现增加趋势。土壤全磷大部分以有机态形式存在,全磷含量较低时表征草地土壤磷素供应不足<sup>[14,28]</sup>。高寒草甸磷素年净损失量为 1.58 kg/hm<sup>2</sup>,土壤速效磷素缺乏已成为限制草地生产力提升的重要营养元素<sup>[28]</sup>。

## 4 结论

放牧干扰轻度增加我国北方草地土壤 pH 值。放牧对不同类型草地 pH 影响的平均效应值顺序为:温性草原>温性草甸草原>温性荒漠>高寒草甸。放牧降低高寒草甸土壤 pH 值,增加温性草原、温性草甸草原和温性荒漠土壤 pH 值。不同放牧强度的平均效应值之间无显著性差异,中度放牧对北方草地 pH 影响程度最低。土壤全磷是北方草地 pH 对放牧响应的主要调控因素。随着全磷含量降低,我国北方草地土壤 pH 值呈现增加趋势。

### 参考文献:

[1] 沈艳,谢应忠,马红彬,不同轮牧方式下的宁夏荒漠草原土壤性质分异特征[J]. 水土保持学报,2011,25(2):153-156.

[2] 张茹,李建平,张翼,等,封育对黄土高原草地深层土壤 pH 的影响[J]. 生态科学,2020,39(1):72-77.

[3] 白永飞,赵玉金,王扬,等,中国北方草地生态系统服务评估和功能区分助力生态安全屏障建设[J]. 中国科学院院刊,2020,35(6):675-689.

[4] 孙宗玖,朱进忠,张鲜花,等,短期放牧强度对昭苏草甸草原土壤全量氮磷钾的影响[J]. 草地学报,2013,21(5):895-901.

[5] Du Y,Ke X,Guo X,*et al*,Soil and plant community characteristics under long-term continuous grazing of different intensities in an alpine meadow on the Tibetan Plateau [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*,2019,85:72-75.

[6] 萨仁高娃,曹芙,敖特根,等,短期放牧强度对典型草原土壤有机碳及 pH 值的影响[J]. 畜牧与饲料科学,2014,35(3):5-7.

[7] 包秀霞,廉勇,易津,等,不同放牧方式对中蒙典型草原土壤理化特性的影响[J]. 安徽农业科学,2013,41(22):9263-9265.

[8] 史印涛,关宇,张丞宇,等,放牧强度对小叶章草甸土壤理化性状的影响[J]. 中国草地学报,2013,35(2):83-88.

[9] 干友民,李志丹,王钦,等,川西北亚高山草甸放牧退化演替研究[J]. 草地学报,2005.

[10] 李强. 不同恢复措施对松嫩平原退化草地的作用[D]. 哈尔滨:东北师范大学,2010.

[11] 代景忠. 放牧和封育对羊草草地土壤碳矿化及其温度敏感性的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.

[12] 赵兰坡,冯君,王宇,等,不同利用方式的苏打盐渍土剖面盐分组成及分布特征[J]. 土壤学报,2011,48(5):904-911.

[13] Siciliano P D,Schmitt S. Effect of Restricted Grazing on Hindgut pH and Fluid Balance [J]. *Journal of Equine Veterinary Science*,2012,32(9):558-561.

[14] 万宏伟. 内蒙古高原成熟和退化羊草草原群落物种功能特性与土壤微生物量 C、N、P 对氮素添加响应[D]. 北京:中国科学院研究生院,2006.

[15] Luo J,Tillman R W,Ball P R. Grazing effects on denitrification in a soil under pasture during two contrasting seasons[J]. *Soil Biology & Biochemistry*,1999,31(6):903-912.

[16] 刘天增,南志标. 草地硝化微生物与硝化作用研究进展[J]. 草业科学,2011,28(6):951-958.

[17] Liu W,Jiang L,Yang S,*et al*. Critical transition of soil bacterial diversity and composition triggered by nitrogen enrichment[J]. *Ecology*,2020,101(8):e03053.

[18] 牛书丽,王松,汪金松,等. 大数据时代的整合生态学研究一从观测到预测[J]. 中国科学:地球科学,2020,50(10):1323-1338.

[19] 杜岩功,周耕,郭小伟,等. 青藏高原高寒草甸土壤 N<sub>2</sub>O 排放通量对温度和湿度的响应[J]. 草原与草坪,2016,36(1):55-59.

[20] 舒锴,柯浔,辛莹,等,青藏高原多稳态高寒草甸生态系统蒸散特征对比研究[J]. 草原与草坪,2019,39(6):83-88.

[21] 苏振声,不同放牧强度对西藏高寒草甸植被群落及土壤养分的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.

[22] Oldén A,Raatikainen K J,Tervonen K,*et al*. Grazing and soil pH are biodiversity drivers of vascular plants and bryophytes in boreal wood-pastures[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*,2016,222:171-184.

[23] Martins A P,Denardin L G,Tiecher T,*et al*. Nine-year impact of grazing management on soil acidity and aluminum speciation and fractionation in a long-term no-till integrated crop-livestock system in the subtropics[J/OL]. *Geoderma*,2020,[2020-02-01]http://doi.org/10.1016/

- j. geoderma, 2019, 113986.
- [24] Falk M, Munger A, Zbinden R S, *et al.* Effects of concentrate supplementation in early lactation on nutrient efficiency, ruminal fermentation and reticular pH of zero - grazing dairy cows with differing milk production potentials[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2018, 102(6): 1043–1045.
- [25] Woodbridge J, Davies H J, Blake W H, *et al.* Recent environmental change in an upland reservoir catchment: a palaeoecological perspective[J]. *Journal of Paleolimnology*, 2014, 52(3): 55–62.
- [26] 杜艺, 翟鹏辉, 贾镇宁, 等. 天然草地土壤化学性质对氮磷添加响应的 Meta 分析[J]. *草原与草坪*, 2021, 41(1): 76–82.
- [27] Wardle D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global-scale synthesis[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1998, 30(4): 89–96.
- [28] 曹广民, 张金霞, 鲍新奎, 等. 高寒草甸生态系统磷素循环[J]. *生态学报*, 1999, 19(4): 514–518.
- [29] 张芳, 王涛, 薛娴, 等. 不同沙漠化程度高寒草甸的土壤理化性质特征[J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(8): 155–159.

## Effects of grazing on soil pH of grassland in northern China based on meta-analysis

YANG Xue-long<sup>1</sup>, DU Yan-gong<sup>2</sup>, SHI Li-na<sup>3</sup>, XIE Qin-qin<sup>3</sup>, ZHAO Xu-dong<sup>3</sup>

(1. *Environment Protection Monitor Center of Haibei in Qinghai Province, Haiyan 812200, China;*

*2. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xining 810008, China;*

*3. Qinghai Guangu Ecological Environment Science Research Company, Xining 810001, China)*

**Abstract:** The grasslands in northern China are important ecological security barriers. Soil pH directly affects soil microbial activity and the form of carbon and nitrogen nutrient. Previous studies have paid little attention to the effects of grazing disturbance on soil pH and its driving factors. A meta-analysis based on the data from 24 experiments was undertaken to study the effects of different grazing intensities on soil pH. Our results showed that grazing disturbance slightly increased soil pH of grassland (by 0.91%), with an average effect size of  $0.009 \pm 0.006$ . Grazing significantly increased soil pH of temperate meadow steppe ( $P < 0.01$ ), but decreased effect size of alpine meadow. There was no significant difference in the average effect sizes among the different grazing intensities, following an order of light grazing > heavy grazing > moderate grazing. Soil total phosphorus had a significant and negative correlation with the average effect size of grassland soil pH ( $P < 0.05$ ), which could explain 14.56% variation. Soil available nitrogen, available phosphorus, organic matter, total potassium and bulk density were all main factors to explain the variation of response value. Grazing did not have significant effects on soil pH, and moderate grazing was the most suitable.

**Key words:** grasslands; pH; grazing intensity; random effects models; heterogeneity analysis