

# 高原鼠兔对高寒草甸冬季牧场中土壤C:N:P化学计量特征的影响

郑巧燕<sup>1</sup>, 陈昕<sup>2</sup>, 代智蓝<sup>1</sup>, 李先宝<sup>1</sup>, 李德欢<sup>1</sup>, 马涛<sup>3</sup>, 卫万荣<sup>1,4\*</sup>

(1. 西华师范大学生命科学学院, 四川 南充 637009; 2. 甘肃省甘南州草原工作站, 甘肃 合作 747000; 3. 宁夏师范学院, 宁夏 固原 756000; 4. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:**【目的】从小尺度的斑块状栖息地角度出发分析高原鼠兔干扰及不同干扰强度对植被覆盖区土壤有机碳(SOC)、全氮(STN)和全磷(STP)含量的影响,有助于全面理解小型食草动物对草地土壤化学计量特征的影响。【方法】以高原鼠兔为研究对象,测定高原鼠兔栖息地及栖息地不同植被覆盖区土壤的SOC、STN、STP含量及土壤C:N:P化学计量特征的变化。【结果】与未干扰植被覆盖区相比,高原鼠兔栖息地植被覆盖区的STN含量和N:P显著下降( $P < 0.05$ ),C:N显著增加( $P < 0.05$ ),但SOC和STP含量及C:P没有发生显著变化;STN和SOC含量、C:P和N:P在高原鼠兔干扰最大的核心区最低,干扰强度最小的边缘区最高;C:N在干扰强度适中的次核心区最高,边缘区最低;而STP含量在不同干扰强度的植被覆盖区没有显著差异。【结论】高原鼠兔干扰及干扰强度会对其领地内植被覆盖区的土壤化学计量特征产生影响。高原鼠兔斑块状栖息地中土壤化学计量特征的变化可能是影响植物丰富度的因素之一。

**关键词:**高原鼠兔;斑块状生境;冬季牧场;生态化学计量学

**中图分类号:**S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)03-0062-07

**DOI:**10.13817/j.cnki.cyycp.2023.03.008



土壤作为生态系统的重要组成部分,直接影响植物的生长发育,对植物群落的组成、结构和生产力起着重要作用<sup>[1-2]</sup>。土壤碳、氮、磷是土壤中的主要元素,是生物有机体最重要的生源元素,其含量与比值(土壤化学计量特征)不仅是反映土壤内部养分转换与循环的重要指标,还是衡量外界干扰对群落特性变

化的最佳指示指标<sup>[3]</sup>。土壤化学计量特征不仅可以了解土壤肥力、持水能力、抗侵蚀能力、生态系统中养分限制与循环,还对预测土壤植物间养分控制与转化具有重要意义<sup>[1,4]</sup>。土壤化学计量特征受各种生物和非生物因素的影响,如植被类型、放牧及放牧强度、草地退化程度和土地利用方式等<sup>[4-7]</sup>。

大型食草动物是草原生态系统中最常见的干扰因素,其采食、践踏和排泄等活动可以改变土壤中C、N和P含量<sup>[8-9]</sup>,因而是影响土壤C:N:P的主要因素。另外,小型食草动物也是对草地产生强烈干扰的重要因素<sup>[10-11]</sup>,且小型食草动物的干扰通常有别于大型食草动物,因为它们掘土造丘活动会产生很多呈离散镶嵌式分布的裸斑、土丘或裸地<sup>[12-15]</sup>。研究表明,高原鼠兔扰动下的裸斑区和未干扰植被覆盖区的土壤C、N、P含量及C:N:P存在差异<sup>[5,16-17]</sup>,且这种差异会改变植物生长所需土壤养分的供应能力<sup>[18]</sup>。现有的

收稿日期:2022-04-25;修回日期:2022-05-19

**基金项目:**中国博士后科学基金项目(2023M731471);四川省科技厅项目(2023NSFSC1193);甘肃省科技厅项目(23JRRA1094);宁夏回族自治区重点(重大)研发计划项目(2019BBF02010)

**作者简介:**郑巧燕(1989-),女,甘肃兰州人,助教,主要从事草地生态学研究。

E-mail:353711540@qq.com

\*通信作者。E-mail:weiwr18@126.com

研究大多关注于小型食草动物扰动下裸斑区土壤养分含量的变化<sup>[5,16-17,19]</sup>,而忽视小型食草动物对干扰区域植被覆盖区的土壤化学计量特征的影响。需要注意的是,小型食草动物扰动产生的土丘和裸地所占生境中草地的比重和面积有限<sup>[15,18]</sup>。因而,仅研究裸斑区土壤C:N:P对于确定小型食草动物对土壤化学计量特征影响提供的信息有限,不能完全阐明其对草地土壤化学计量特征的影响。

高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)是青藏高原高寒草甸中常见的小型食草动物,营家群式生活,偏好植被稀疏、视野开阔的生境<sup>[11]</sup>。研究表明,高原鼠兔的栖息地在冬季牧场中呈不规则的斑块状分布<sup>[11-12]</sup>,并且根据有效洞口密度将高原鼠兔的斑块状栖息地划分为核心区、次核心区和边缘区,从核心区到边缘区干扰强度呈递减趋势<sup>[11]</sup>。基于此,本研究通过对高寒草甸生态系统中高原鼠兔斑块状栖息地及栖息地中不同位置区域(核心区、次核心区和边缘区)的植被覆盖区的有机碳(SOC)、全氮(STN)、全磷(STP)含量进行分析,从小尺度(斑块状栖息地)角度出发揭示高原鼠兔干扰及不同干扰强度对植被覆盖区土壤C:N:P化学计量特征的影响。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究地概况

研究地位于甘南藏族自治州玛曲县大水渔场。从地理位置而言,研究地处于青藏高原的东部边缘(N 33°34' N; E 102°15' E; 海拔3 440 m)。该地区是典型的高山大陆性气候,年均气温为-2.3℃。年均降水量643.9 mm,降水主要集中于6—9月;土壤类型为亚高山草甸土壤;植被均为亚高山草甸,主要物种有垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)、金莲花(*Trollius chinensis*)、火绒草(*Leontopodium alpinum*)、洽草(*Koeleria glauca*)和秦艽(*Gentiana dahurica Fisch*)等。

### 1.2 样地设置与样品采集

研究地为10 hm<sup>2</sup>的冬季牧场,草地类型属于高寒草甸,仅在冬季(10月至次年4月中旬)放牧,放牧家畜为当地的欧拉羊,放牧率20羊单位/hm<sup>2</sup>。研究样地内有19个半径超过10 m的高原鼠兔斑块状栖息地。与其他研究结果一致<sup>[11,20]</sup>,高原鼠兔斑块状生境中的植

被稀疏低矮、洞口密集,洞口之间有鼠道连接,有明显的活动痕迹。相反,无高原鼠兔活动的区域植被高大,植被均一度高。

2020年8月,选取研究地8个半径在12~15 m的高原鼠兔斑块状生境。依据干扰强度不同<sup>[11]</sup>,将每个斑块状生境划分为3个面积相等的干扰区域(192.2±22.2)m<sup>2</sup>,依次为核心区,次核心区和边缘区,高原鼠兔干扰强度从核心区到边缘区呈递减趋势(有效洞口数:核心区,(23.4±2.6)个;核心区(15.8±1.3)个;边缘区(5.5±1.1)个)。在每个高原鼠兔斑块状生境中不同干扰强度的植被覆盖区随机设置4个50 cm×50 cm的样方;另外,在没有高原鼠兔洞穴、洞道和足迹,且距斑块状生境10 m外的草甸中随机选择的4个同样大小的样方作为对照。每个样方齐地面剪去地上植株,利用内径为5 cm的土钻在每个样方内随机取土样,土层深度为15 cm。去除土样中含有的植物根系、石粒和凋落物等杂质后于室内自然风干,充分研磨过0.25 mm尼龙筛后密封保存,进行养分测定。

SOC含量采用重铬酸钾—外加热法测定,STN采用凯氏定氮法测定,STP含量采用钼锑抗比色法测定<sup>[21]</sup>。

### 1.3 数据分析

SOC、STN、STP采用质量含量,C:N、N:P及C:P均采用质量比,所有统计数据以平均值±标准差表示。所有数据用Kolmogorov-Smirnov检验是否符合正态分布。Kolmogorov-Smirnov检验表明高原鼠兔干扰区域和未干扰区域的土壤SOC、STN、STP含量、C:N、N:P、C:P符合正态分布,用独立样本T检验;高原鼠兔斑块状生境中不同干扰区域的SOC、STP含量、C:N、C:P符合正态分布,采用One-way ANOVA和LSD最小显著性差异法比较;斑块状生境中不同干扰区域的STN含量和N:P经各种转换不符合正态分布,利用非参数检验(Kruskal-Wallis)进行差异显著性分析。采用Excel2013和SPSS24统计分析软件对测定数据进行整理和分析,图的绘制在Sigmaplot12.5中完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 高原鼠兔干扰对生态化学计量特征的影响

与对照相比,高原鼠兔干扰显著降低了土壤全氮

(STN)含量( $P < 0.05$ )(图1-A),降低至20.93 g/kg;但对土壤有机碳(SOC)和全磷(STP)含量没有显著影响( $P > 0.05$ )(图1-B,C)。

与对照相比,土壤生态化学计量特征对高原鼠兔的干扰有不同的响应(图2-A,B,C),具体表现为高原鼠兔干扰显著增加了C:N( $P < 0.05$ )(图2),显著降低了N:P( $P < 0.05$ )(图2-C),但对C:P没有显著影响( $P > 0.05$ )(图2-B)。

## 2.2 高原鼠兔斑块状生境内不同位置的生态化学计量特征

在高原鼠兔斑块状生境中,边缘区、次核心区和核心区的STN含量分别为28.68 g/kg、17.98 g/kg和16.13 g/kg,边缘区的STN含量显著高于次核心区和

核心区的STN含量(图3-A);SOC在高原鼠兔斑块状生境中的不同位置的含量分别是:边缘区64.05 g/kg,次核心区57.43 g/kg,核心区46.55 g/kg,表现为边缘区>次核心区>核心区(图3-B),随高原鼠兔干扰强度的增加呈递减趋势;而STP在高原鼠兔斑块状生境中的不同位置的含量分别是:边缘区2.21 g/kg,次核心区2.20 g/kg,核心区2.18 g/kg,不同位置的STP含量没有显著差异(图3-C)。

在高原鼠兔斑块状生境的不同位置,C:N、C:P和N:P的变化趋势不一致(图4-A,B,C)。C:N在斑块状生境中不同位置表现为次核心区>核心区>边缘区(图4-A);斑块状生境中边缘区的C:P和N:P最大,次核心区次之、核心区最小(图4-B,C)。

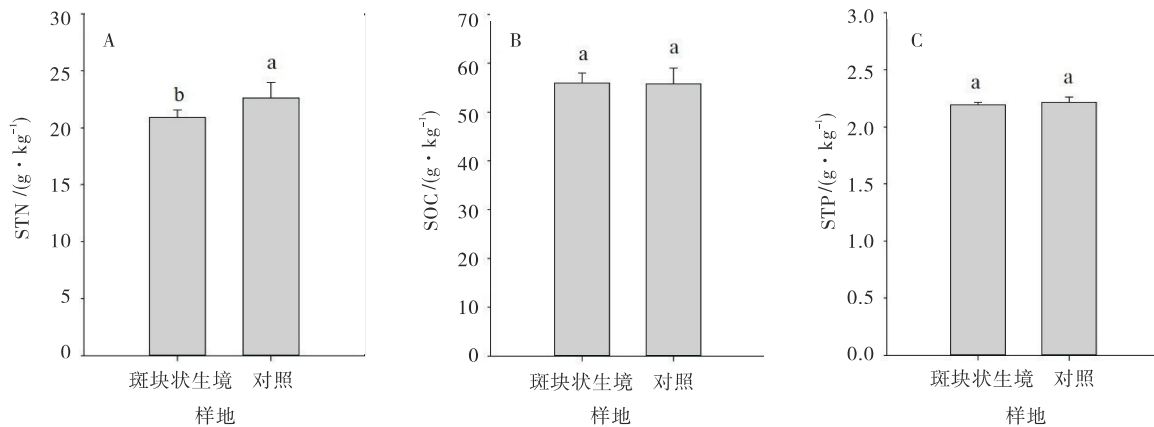


图1 高原鼠兔斑块状生境和对照样地中的土壤STN(A)、SOC(B)、STP(C)含量

Fig. 1 Soil total nitrogen, organic carbon and total phosphorus content in plateau pika patchy habitat and control

注:不同的小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

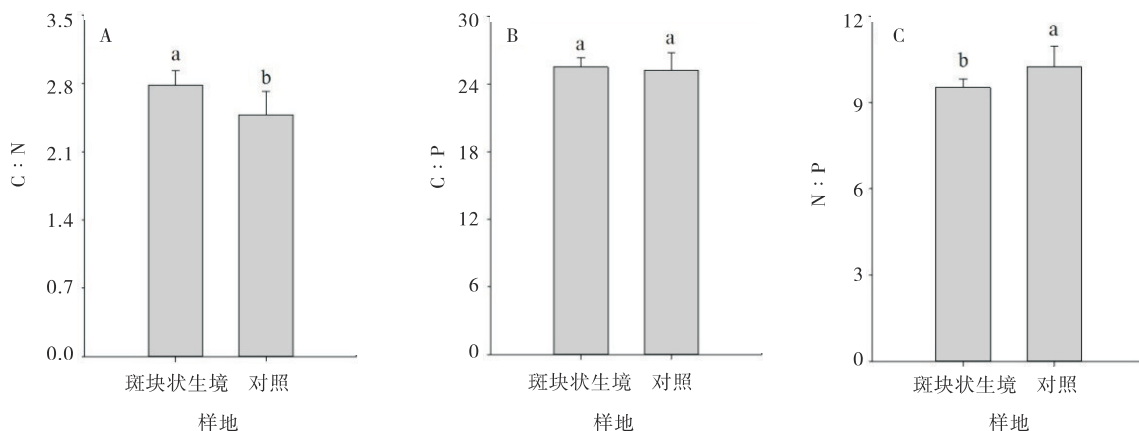


图2 高原鼠兔斑块状生境和对照样地中的土壤C:N(A)、C:P(B)、N:P(C)

Fig. 2 C:N(A)、C:P(B)、N:P(C) in plateau pika patchy habitat and control

## 3 讨论

### 3.1 高原鼠兔干扰对土壤生态化学计量特征的影响

土壤养分是土壤肥力的重要指标,其中C、N和P

是最重要的3种元素,在生态系统中发挥着重要作用<sup>[8]</sup>。土壤C、N、P含量变化直接影响着土壤微生物数量,间接影响凋落物分解速率,从而影响土壤养分的积累<sup>[9]</sup>。土壤N、P是植物生长的主要限制因子<sup>[16]</sup>;

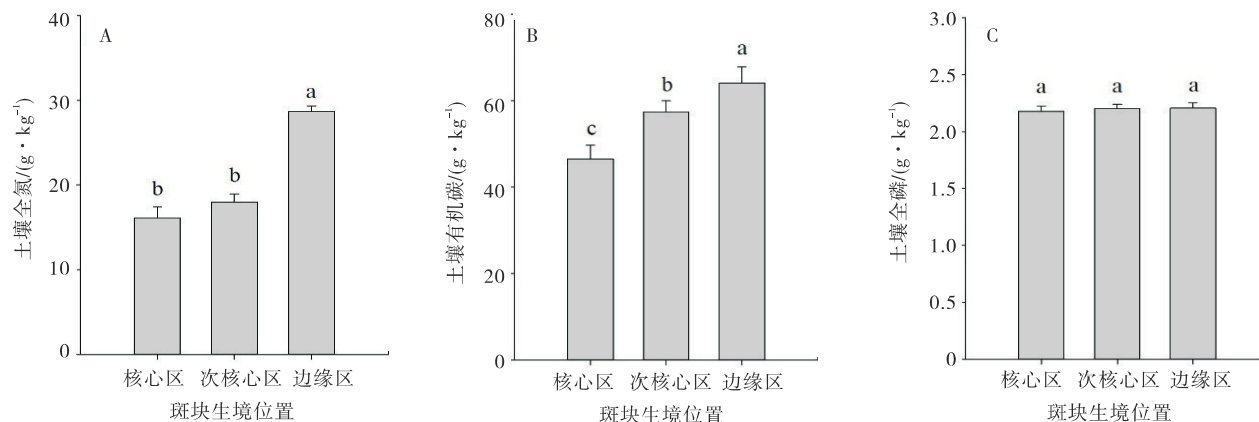


图 3 高原鼠兔斑块状生境不同位置的 STN(A)、SOC(B)、STP(C) 含量

Fig. 3 The soil total nitrogen, organic carbon and total phosphorus content in different location of plateau pika patchy habitat

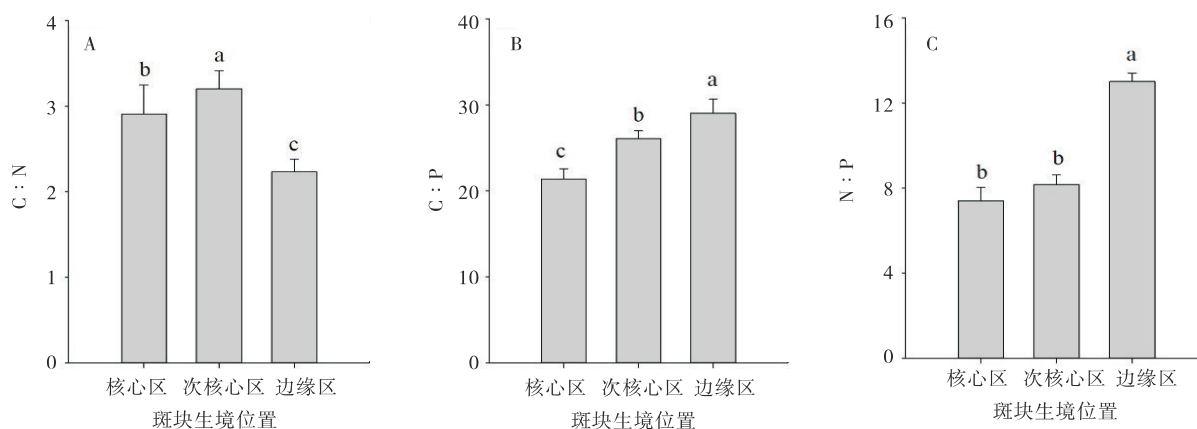


图 4 高原鼠兔斑块状生境不同位置的土壤 C:N(A)、C:P(B)、N:P(C)

Fig. 4 C:N(A)、C:P(B)、N:P(C) in different location of plateau pika patchy habitat

另外, SOC作为一种混合物质, 对土壤养分循环和土壤特性具有直接和间接作用<sup>[9]</sup>。本研究结果表明, 高原鼠兔干扰并不会对 SOC 和 STP 含量变化产生显著影响。这与部分研究结果不同<sup>[11,16,19-20]</sup>, 原因可能与试验的样方设置在植被覆盖区有关, 因为植被覆盖区高原鼠兔仅有采食行为, 对植被覆盖区的土壤扰动较小<sup>[11]</sup>。高原鼠兔干扰会显著降低土壤 STN 含量, 这可能是因为高原鼠兔在植被斑块上的采食活动对土壤的矿化速率影响较小<sup>[7]</sup>, 但采食会刺激植物生长从而加速土壤 N 消耗所致<sup>[11]</sup>。另外, 本研究表明高原鼠兔干扰对土壤 C:P 没有显著影响, 增加了 C:N, 而降低了 N:P, 很有可能就是上述原因导致的结果。

### 3.2 高原鼠兔干扰区内不同位置土壤的生态化学计量特征

在高原鼠兔斑块状生境的不同位置, SOC、STN、STP 含量的变化趋势不同。STN 含量主要来源于有机质分解<sup>[9]</sup>, 高原鼠兔干扰强度大的区域植被盖度较

低<sup>[11]</sup>, 接收的太阳辐射相对较高, 从而造成了较高的地表温度, 导致微生物分解有机质的能力增强, 高原鼠兔的采食行为会促进植物生长, 加速土壤 N 和 SOC 的利用<sup>[10]</sup>。另外, 地上生物量和地下生物量是 SOC 的来源之一<sup>[10,16]</sup>, 而高原鼠兔干扰强度大的区域地上和地下生物量较低<sup>[11]</sup>, 从而间接致使返还到土壤中的 SOC 含量下降。以上可能就是为何 STN 和 SOC 含量在干扰强度较大的核心区 and 次核心区显著低于干扰强度较小的边缘区的原因。STP 含量在高原鼠兔斑块状生境中的不同位置没有显著性差异, 这主要是因为土壤 P 是一种迁移率很低的沉积性元素, 受成土母质、气候等的影响, 主要来源于岩石风化<sup>[22]</sup>, 在小尺度范围内分布相对均匀, 主要与矿物质风化速度有关<sup>[23]</sup>, 高原鼠兔干扰并不会对矿物质风化产生影响。高原鼠兔斑块状生境不同位置的有效洞口密度存在差异<sup>[12]</sup>, 意味着斑块状生境中不同区域的高原鼠兔干扰强度不同。可见, 高原鼠兔的干扰强度会对土壤有

机C和全N的含量产生影响。

土壤C:N、C:P及N:P是评价土壤质量、土壤P矿化能力、土壤肥力及N饱和的重要指标。本研究发现,高原鼠兔斑块状生境中不同位置的C:N、C:P、N:P有不同的变化趋势。植被盖度变化会引起土壤温度和土壤水分变化<sup>[11]</sup>,而土壤温度和土壤水分会影响SOC和STN的矿化速率<sup>[11,24]</sup>。次核心的C:N显著低于扰动强度较小的边缘区域和扰动强度大的核心区,这可能是斑块状生境不同位置高原鼠兔的干扰强度不同,间接导致SOC和STN矿化速率不同导致的结果<sup>[10]</sup>。本研究中土壤C:P和N:P在高原鼠兔斑块状生境中不同区域的差异主要是由于土壤P含量不变,而SOC和STN含量下降造成的(图4-A,B,C)。

研究表明土壤N和P是高寒草甸植物生长的限制性因子<sup>[25]</sup>,一般情况下,N:P小于10时植物生长受N的影响,而当N:P大于20则表明植物生长受P的限制<sup>[26]</sup>。本研究结果表明,在高原鼠兔斑块状生境的植被斑块上,尤其是核心区和次核心区的土壤N:P小于10,表明植物生长主要受N的影响。本研究还发现不论是否存在高原鼠兔干扰,研究区域的C:P均小于30,这可能是因为该区域SOC的矿化速率低,而P的矿化速率高造成的结果<sup>[19]</sup>。另外,在高原鼠兔斑块状生境中,C:P随高原鼠兔干扰强度增加而下降,表明在高原鼠兔的干扰下土壤可以为植物生长提供更多的P。土壤C:P反映有机质的分解与积累,会影响群落物种组成。较低的C:N可以为喜氮的植物提供适宜的生境,物种丰富度增加。本研究表明适宜的高原鼠兔干扰(边缘区)会降低C:N,而这可能是高原鼠兔斑块状生境中边缘区位置的物种丰富度要高于其他位置的原因之一<sup>[11]</sup>。以上研究结果说明,高原鼠兔干扰及干扰强度对土壤化学计量特征的影响有可能是影响植物丰富度的原因之一。

## 4 结论

高原鼠兔斑块状生境中的干扰及干扰强度会改变STN、SOC含量及C:N、C:P和N:P,而对STP含量没有影响。土壤化学计量特征变化会影响物种丰富度,改变群落物种组成。

## 参考文献:

- [1] Westheimer F. Why nature chose phosphates[J]. *Science*, 1987,235(4793):1173-1178.
- [2] Nasholm T, Ekblad A, Nordin A, *et al.* Boreal forest plants take up organic nitrogen [J]. *Nature*, 1998, 392 (6679):914-916.
- [3] Dormaar J F, Willms S. Distribution of nitrogen fractions in grazed and ungrazed fescue grassland Ah horizons [J]. *Journal of Range Management*, 1990,43(1):6-9.
- [4] Zedler J B. Progress in wetland restoration ecology [J]. *Trend Ecology and Evolution*, 2000,15(10):402-407.
- [5] Yurkewycz R P, Bishop J G, Crisafulli C M, *et al.* Gopher mounds decrease nutrient cycling rates and increase adjacent vegetation in volcanic primary succession [J]. *Oecologia*, 2014,176 (4):1135-1150.
- [6] Richter, Andreas, Keiblinger, *et al.* The application of ecological stoichiometry to plant-microbial-soil organic matter transformations [J]. *Ecological Monographs: Official Publication of the Ecological Society of America*, 2015,85(2):133-155.
- [7] Fazhu Z, Jiao S, Chengjie R, *et al.* Land use change influences soil C, N, and P stoichiometry under 'Grain-to-Green Program' in China [J]. *Scientific Reports*, 2015, 5: 10195.
- [8] 王炳煜, 楚彬, 唐庄生, 等. 甘肃省夏河县高原鼠兔栖息地特征及相关环境因子分析 [J]. *草原与草坪*, 2022,42(2): 50-58.
- [9] Li L, Zhang J, He X Z, *et al.* Different effects of sheep excrement type and supply level on plant and soil C:N:P stoichiometry in a typical steppe on the loess plateau. *Plant & Soil* [J]. 2021,462(1):45-58.
- [10] Qin Y, Yi S, Ding Y, *et al.* Effect of plateau pika disturbance and patchiness on ecosystem carbon emissions in alpine meadow in the northeastern part of Qinghai - Tibetan Plateau [J]. *Biogeosciences*, 2019, 16 (6) : 1097-1109.
- [11] Wei W R, Knops H, Zhang W G. The impact of plateau pikas (*Ochotona curzoniae*) on alpine grassland vegetation and soil is not uniform within the home range of pika families [J]. *Plant Ecology & Diversity*, 2019, 12 (5) : 417-426.
- [12] Wei W R, He J D, Zheng Q Y. Plateau pikas (*Ochotona curzoniae*) at low densities have no destructive effect on winter pasture in alpine meadows [J]. *The Rangeland Journal*, 2020,42(1):55-61.

- [13] Hogan B W. The Plateau Pika: A Keystone Engineer on The Tibetan Plateau [D]. Arizona State University, 2010.
- [14] Qu J, Li W, Yang M, *et al.* Life history of the plateau pika (*Ochotona curzoniae*) in alpine meadows of the Tibetan Plateau[J]. Mammalian Biology, 2013, 78 (1): 68–72.
- [15] 王莹, 魏代红, 张卫国, 等. 高原鼢鼠地上土丘性状季节性差异[J]. 草业科学, 2018, 035(11): 2738–2743.
- [16] Yu C, Zhang J, Pang X P, *et al.* Soil disturbance and disturbance intensity: Response of soil nutrient concentrations of alpine meadow to plateau pika bioturbation in the Qinghai–Tibetan Plateau, China [J]. Geoderma, 2017, 307: 98–106.
- [17] Wang Q, Yu C, Pang X P, *et al.* The disturbance and disturbance intensity of small and semi-fossorial herbivores alter the belowground bud density of graminoids in alpine meadows [J]. Ecological Engineering the Journal of Ecotechnology, 2018, 113: 35–42.
- [18] Chen J, Yi S, Qin Y. The contribution of plateau pika disturbance and erosion on patchy alpine grassland soil on the Qinghai–Tibetan Plateau: Implications for grassland restoration[J]. Geoderma, 2017, 297: 1–9.
- [19] Pang X P, Yang H, Wei X X, *et al.* Effect of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) bioturbation on soil C–N–P stoichiometry in alpine meadows [J]. Geoderma, 2021, 397 (1): 115098.
- [20] 孙飞达, 苟文龙, 李飞, 等. 青藏高原高寒草甸生态系统高原鼠兔种群调查及其防控阈值研究[J]. 四川动物, 2016, 35(6): 825–832.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [22] Cleveland C C, Liptzin D. C:N:P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass?[J]. Biogeochemistry, 2007, 85(3): 235–252.
- [23] Walker T W, Syers J K. The fate of phosphorus during pedogenesis[J]. Geoderma, 1976, 15(1): 1–19.
- [24] Zhao J, Tian L, Wei H, *et al.* Impact of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) burrowing-induced microtopography on ecosystem respiration of the alpine meadow and steppe on the Tibetan plateau [J]. Plant & Soil, 2019, 458: 217–230.
- [25] Niu K, Messier J, He J S, *et al.* The effects of grazing on foliar trait diversity and niche differentiation in Tibetan alpine meadows[J]. Ecosphere, 2015, 6(9): 1–15.
- [26] Bui E N, Henderson B L. C:N:P stoichiometry in Australian soils with respect to vegetation and environmental factors[J]. Plant & Soil, 2013, 373(1–2): 553–568.

## Effect of plateau pika disturbance on soil C:N:P stoichiometrics of winter pasture in alpine meadow

ZHEN Qiao-yan<sup>1</sup>, CHEN Xin<sup>2</sup>, DAI Zhi-lan<sup>1</sup>, LI Xian-bao<sup>1</sup>, LI De-huan<sup>1</sup>, MA Tao<sup>3</sup>,  
WEI Wan-rong<sup>1,4\*</sup>

(1. College of life Sciences, China West Normal University, Nanchong 637009, China; 2. Gannan Grassland Workstation in Gansu Province, Hezuo 747000, China; 3. Ningxia Normal University, Guyuan 756000, China; 4. College of Pastoral Agricultural Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** [Objective] The effects of plateau pika disturbance and different disturbance intensity on soil organic carbon (SOC), total nitrogen (STN) and total phosphorus (STP) contents in vegetated areas were analyzed from the perspective of a small scale patchy habitat in order to comprehensively understand the effects of small herbivores on soil stoichiometric characteristics of grassland. [Method] The contents of SOC, STN and STP of the vegetation covered areas in different regions of the plateau pika habitat were determined. [Result] The results showed that compared with undisturbed areas, the STN content and N:P decreased significantly ( $P < 0.05$ ) in areas that plateau pikas inhabit. The C:N increased significantly ( $P < 0.05$ ), whereas SOC, STP content and C:P showed no change. The

STN and SOC content, C:P and N:P were the lowest in the central area where disturbance from the plateau pika was the highest, and the edge area with the least disturbance intensity was the highest. C:N was the highest in the subcentral area that had a moderate level of disturbance, and the edge area was the lowest. However, the STP did not vary with the intensity of disturbance from plateau pikas. **【Conclusion】** The above results indicate that the disturbance and intensity of the plateau pika have an impact on the C:N:P stoichiometrics in vegetated areas with pika territory. This suggests that changes in soil C:N:P stoichiometric in the patchy habitat of plateau pikas may be an important factor that could affect plant richness.

**Key words:** plateau pika; patchy habitat; winter pasture; ecological stoichiometric

(上接 61 页)

## Differences of photosynthetic characteristics and adsorption capacity of three turfgrass under $Pb^{2+}$ and $Zn^{2+}$ stresses

YANG Jun-yin, LI Qiang, JI Tong, HE Guo-xing, GUAN Wen-hao,  
LIU Zhi-gang, LIU Xiao-ni\*

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education/ Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/ Sino-U. S. American Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730030, China)

**Abstract:** **【Objective】** To explore the most suitable varieties of lawn grass for restoration in  $Pb^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  polluted areas. **【Method】** Using a pot culture method, *Lolium perenne*, *Festuca arundinacea*, and *Poa pratensis* as the research objects, and river sand as the cultivation medium, the photosynthetic index and heavy metal content were measured for each treatment. The Treatments were without adding heavy metals (CK),  $Pb^{2+}$  stress (500, 1 000, 1 500, 2 000 mg/L), and  $Zn^{2+}$  stress (500, 800, 1 100, 1 400 mg/L). The photosynthetic characteristics and heavy metal absorption capacity of turfgrass under different concentrations of heavy metal stresses were measured. **【Result】** The results showed that with the increase of  $Pb^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  concentrations, the net photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate, and intercellular  $CO_2$  concentration of the three lawn grasses all showed a trend of first increasing and then decreasing, but the concentration gradients with peak values varied; When the concentration of  $Pb^{2+}$  stress was 500 mg/L, it promoted the photosynthetic capacity of tall fescue and ryegrass leaves; When  $Pb^{2+}$  stress was 1 000 mg/L, it promoted the photosynthetic capacity of *Poa pratensis* leaves. When  $Zn^{2+}$  stress was 800 mg/L, it promoted the net photosynthetic rate of ryegrass and tall fescue leaves; When  $Zn^{2+}$  stress was 500 mg/L, it promoted the net photosynthetic rate of *Poa pratensis* leaves. **【Conclusion】** A comprehensive analysis of the photosynthetic and heavy metal accumulation abilities of three lawn grasses showed that tall fescue and ryegrass were suitable for the remediation of  $Pb^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  contaminated soil below 1 000 mg/L.

**Key words:** turfgrass; heavy metal stress; photosynthetic response; adsorption