



## 切根与分株移栽对老芒麦植物-土壤系统化学计量特征的影响

杨娟弟 祁娟 方强恩 贾燕伟 赛宁刚 车美美 王晓娟

### Effects of root cutting and ramet propagation on nutrient elements and stoichiometric character of *Elymus sibiricus*

YANG Juandi, QI Juan, FANG Qiang'en, JIA Yanwei, SAI Ninggang, CHE Meimei, WANG Xiaojuan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0064>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 砷胁迫下老芒麦和香根草根茎叶砷吸收特征及抗氧化响应

Effect of arsenic on the absorption of arsenic and antioxidant enzyme activity in three parts (roots, stems, leaves) of *Elymus sibiricus* and *Vetiveria zizanioides*

草业科学. 2018, 12(3): 614 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0487>

#### 氮素形态及其配比对老芒麦生长及生理特性的影响

Effects of nitrogen forms and proportions of nitrogen forms on the growth and physiological characteristics of *Elymus sibiricus*

草业科学. 2020, 37(5): 942 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0491>

#### 旅游干扰和海拔梯度对山地草甸植物叶片与土壤化学计量特征的影响

Effects of tourism disturbance and altitudinal gradient on leaf and soil ecological stoichiometry of a mountain meadow in Altai Mountains, China

草业科学. 2021, 38(3): 453 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0426>

#### 放牧和AM真菌对夏季青藏高原东缘老芒麦生长和白粉病的影响

Influence of grazing and arbuscular mycorrhiza fungal infections on vegetative growth and powdery mildew incidence in *Elymus sibiricus* grown in the eastern margin of the Tibetan Plateau in summer

草业科学. 2017, 11(12): 2528 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0618>

#### 外源激素吲哚乙酸、6-基腺嘌呤与氮素配施对老芒麦幼苗地上部生长的影响

Effect of exogenous hormone IAA or 6-BA combined with nitrogen on the above-ground growth and physiological characteristics of *Elymus sibiricus*

草业科学. 2021, 38(2): 277 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0296>

#### 武功山芒根系垂直分布及其与土壤养分的关系

Vertical distribution characteristics of *Miscanthus sinensis* roots and its relationship to soil nutrients in the Wugong Mountains

草业科学. 2017, 11(12): 2428 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0135>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0064

杨娟弟, 祁娟, 方强恩, 贾燕伟, 赛宁刚, 车美美, 王晓娟. 切根与分株移栽对老芒麦植物-土壤系统化学计量特征的影响. 草业科学, 2023, 40(4): 1004-1013.

YANG J D, QI J, FANG Q E, JIA Y W, SAI N G, CHE M M, WANG X J. Effects of root cutting and ramet propagation on nutrient elements and stoichiometric character of *Elymus sibiricus*. Pratacultural Science, 2023, 40(4): 1004-1013.

## 切根与分株移栽对老芒麦植物-土壤系统 化学计量特征的影响

杨娟弟, 祁娟, 方强恩, 贾燕伟, 赛宁刚, 车美美, 王晓娟

(甘肃农业大学草业学院 / 草业生态系统教育部重点实验室 / 甘肃省草业工程实验室 /  
中-美草地畜牧业可持续研究中心, 甘肃兰州 730070)

**摘要:** 本研究通过对不同来源的 5 龄老芒麦 [海拔分别为 2223 m、1195 m 的新疆野生老芒麦 (S1 和 S3); 西藏野生老芒麦 (S2); 栽培种‘川草 2 号’老芒麦 (S4)] 进行“一”字切根 (RC1) 和“十”字切根 (RC2) 及分株移栽 (RT) 的处理, 以未处理母株为对照 (CK), 研究各处理措施对老芒麦植株和土壤主要营养元素碳 (C)、氮 (N)、磷 (P) 及其计量特征的影响, 以期延缓老芒麦衰老技术的选择奠定基础。结果表明, RC1 处理基于大多材料来说, 能很好地提高地上部植株的 N、P 含量以及地下土壤的 N、P 含量, 降低植株的 C:N; RC2 处理能提高部分材料的地上部植株的 C 含量、C:P 以及土壤的 C 和 P 含量; RT 处理则对大多数材料的 C 含量有明显的提高。相关性和冗余分析 (RDA) 结果显示, 植物与土壤均受 N 含量的限制。综合而言, “一”字切根对 5 龄老芒麦复壮具有比较显著的效果。

**关键词:** 老芒麦; 切根; 分株移栽; 植物养分; 土壤养分; 化学计量比

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2023)04-1004-10

### Effects of root cutting and ramet propagation on nutrient elements and stoichiometric character of *Elymus sibiricus*

YANG Juandi, QI Juan, FANG Qiang'en, JIA Yanwei, SAI Ninggang, CHE Meimei, WANG Xiaojuan

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University / Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education /  
Gansu Grassland Engineering Laboratory / China-US Center for Grazing Land Ecosystem  
Sustainability, Lanzhou 730070, Gansu, China)

**Abstract:** In this study, through the analysis of 5-year-*Elymus sibiricus* from different sources [Xinjiang wild *E. sibiricus* with altitudes of 2223 m and 1195 m (S1 and S3); Xizang wild *E. sibiricus* (S2) and cultivated *E. sibiricus* ‘Chuancao No. 2’ (S4)] were treated with root cutting in “—” shape (RC1) and root cutting in “+” shape (RC2) and ramet transplanting (RT). The untreated mother plants were used as the control (CK). We studied its effects on the main nutrients-carbon (C), nitrogen (N), and phosphorus (P)-and the metering characteristics between the plant and soil to lay a foundation for technology selection to delay the senescence of *E. sibiricus*. The results showed that, based on most materials, RC1 treatment could improve the N and P contents of the above-ground plants and underground soil, and reduce the C:N of the plants. RC2 treatment of some materials could increase the C content and C:P of the above-ground plants, and the C and P content of the underground soil. RT treatment significantly increased the C content of most materials. The results of correlation and

收稿日期: 2022-01-24 接受日期: 2022-05-17

基金项目: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-34); 国家自然科学基金 (31660684); 青海省科技厅重点实验室发展专项 (2020-ZJ-Y03)

第一作者: 杨娟弟 (1995-), 女, 甘肃通渭人, 在读硕士生, 主要从事草地资源与植物生理生态研究。E-mail: 1281535750@qq.com

通信作者: 祁娟 (1971-), 女, 甘肃镇远人, 副教授, 博士, 主要从事草地资源与植物生理生态研究。E-mail: qijuan@gsau.edu.cn

redundancy analysis (RDA) showed that both plants and soil were limited by N content. In general, one root cutting had a relatively significant effect on the rejuvenation of 5-year-*E. sibiricus*.

**Keywords:** *Elymus sibiricus*; cutting roots; ramet transplanting; plant nutrients; soil nutrients; chemical metering.

**Corresponding author:** QI Juan E-mail: [qijuan@gsau.edu.cn](mailto:qijuan@gsau.edu.cn)

老芒麦 (*Elymus sibiricus*) 隶属于禾本科披碱草属, 为多年生草本植物, 具有重要的生态和经济价值, 在草地畜牧业发展中起着重要的作用<sup>[1]</sup>。但是老芒麦生产应用中存在的最大瓶颈是利用年限短。其生长 4~5 年后, 植株长势明显减弱, 株丛中心枯死, 形成明显的“秃顶”, 植株出现衰退现象, 土壤肥力下降。延长披碱草属草地利用年限是亟需解决的科学问题。研究发现, 植物种群的衰退与营养物质的吸收转化与利用密切相关<sup>[2]</sup>, 通过采取一定的物理措施来提高衰退植株对营养物质的再分配与利用是行之有效的方法<sup>[3]</sup>。切根不仅可以提高饲草产量, 同时也会改善其品质<sup>[4]</sup>。此外, 切根会影响土壤碳氮循环<sup>[5]</sup>, 提高根系寿命、促进根茎复壮更新等<sup>[6]</sup>。另外, 繁殖体(种子、根茎、茎节或组培苗等)是禾本科作物实现田间建植与世代更迭的基础, 影响田间管理和作物生长、发育, 最终可能改变作物的产量与品质<sup>[7]</sup>。分株移栽是指将 3 年以上的大株自根部劈成数个小株栽植。马行云<sup>[8]</sup>研究发现分株栽植后的‘玉草 6 号’植株较母株株高、草长、基部周长和鲜重、干重分别提高了 75.39%、46.27%、91.04%、79.80% 和 80.89%。

化学计量比值的变化特征有助于理解植物对外界环境的生长适应策略<sup>[9]</sup>。关于栽培牧草的化学计量特征的研究主要集中在豆禾混播<sup>[9]</sup>、不同种植年

限豆科牧草<sup>[10]</sup>和不同年限栽培草地的恢复<sup>[11]</sup>等方面。前人研究表明, 植物生态化学计量特征会受到植物类型、生长环境、人为干扰等的影响<sup>[12]</sup>。但有关老芒麦衰退种群恢复方面的研究较少。本研究利用切根与分株移栽的方式, 通过研究老芒麦植物-土壤系统三大营养元素碳(carbon, C)、氮(nitrogen, N)、磷(phosphorus, P)含量及化学计量特征, 揭示老芒麦种群衰退与植物 N 和 P 的利用效率的关系以及植物吸收 C 的能力<sup>[13]</sup>, 为延缓老芒麦栽培草地利用年限奠定理论与实践基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验地位于甘肃农业大学牧草实训基地(36°03' N, 103°53' E), 周边有苜蓿(*Medicago sativa*)与老芒麦混播试验地, 平均海拔 1595 m, 年均降水量 451.6 mm, 年均气温 9.1 °C, 年蒸发量达 1664 mm, 全年无霜期 180 d 以上, 土壤类型为栗钙土<sup>[14]</sup>。

### 1.2 试验材料

试验材料 4 份, 其中包括 3 份野生种质和 1 份栽培品种(表 1)。

### 1.3 试验设计

2017 年 5 月初, 将采集的 4 种不同来源的老芒

表 1 试验材料来源信息  
Table 1 Test material source information

| 编号<br>Code | 材料种类<br>Type of<br>material                          | 来源<br>Sources  | 草地类型<br>Grass type             | 经纬度<br>Latitude and<br>longitude | 海拔<br>Altitude/m |
|------------|--|--|--------------------------------|----------------------------------|------------------|
| S1         | 野生<br>Wild   | 新疆伊犁昭苏县城北<br>The north of Zhaosu County, Ili, Xinjiang                             | 草地草甸草原<br>Meadow meadow steppe | 43°13' N, 81°06' E               | 2 233            |
| S2         | 野生<br>Wild   | 西藏日喀则东 65 公里处<br>65 kilometers east of Shigatse, Tibet,<br>hillsides and roadsides | 高寒草甸<br>Alpine meadows         | 29°20'12.6" N,<br>89°30'7.8" E   | 4 316            |
| S3         | 野生<br>Wild   | 新疆阿勒泰市富蕴县可可托海<br>Fuyun County, Altay City, Xinjiang, koktokay                      | 高寒荒漠草原<br>Alpine desert steppe | 47°12' N, 89°50' E               | 1 195            |
| S4         | 栽培种(川草 2 号)<br>Cultivated species<br>(Chuancao No.2) | 四川草原科学研究院<br>Sichuan Academy of Grassland Sciences                                 | 温性草原<br>Temperate steppe       | —                                | —                |

麦种质分别种植在甘肃农业大学牧草实训基地。条播,播种量为  $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,每个小区种 10 行,行距 30 cm,区距为 40 cm,小区面积  $9 \text{ m}^2$  ( $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ),3 次重复,共 12 个小区,小区采用随机区组设计(图 1a)。

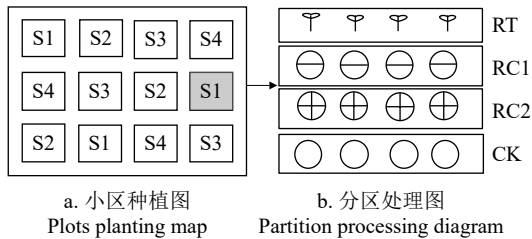


图 1 试验处理图

Figure 1 Test processing diagram

RC1: “—”字切根; RC2: “+”字切根; RT: 分株移栽; CK: 母株; S1, S2, S3, S4 同表 1。下同。

RC1: root cutting in “—” shape; RC2: root cutting in “+” shape; RT: ramet transplanting; CK: mother plants. S1, S2, S3, S4 are the same as Table 1. This is applicable for the following figures as well.

鉴于老芒麦分株移栽苗的根系小,需要较长的恢复时间,于 2020 年 10 月底越冬前,将每个小区均匀划分为 4 个分区,选取 1 个分区对母株进行分株移栽 (RT) 处理:将 1 个分区中的 4 龄老芒麦整丛植株进行挖取并分株,选取均匀一致的单个分株,栽植在该分区中,株距为 20 cm。于 2021 年 3 月底老芒麦返青期前,选取各种植小区中的两个分区,采用自制切根刀具(长 15 cm,高 20 cm,厚 0.5 mm)对母株切根处理,分别为“—”字切根 (RC1) 和“+”字切根 (RC2),每个小区中剩余的一个分区为母株对照 (CK),每个小区的分区处理如图 1b,试验处理前后均为常规田间管理(不定期灌溉、除杂和防治病虫害等)。

## 1.4 测定指标与方法

2021 年 6 月下旬,于老芒麦开花期刈割(根据实际田间观察,不同处理开花期植物长势良好),留茬高度为 6 cm,  $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$  杀青 30 min,  $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$  烘干至恒重,粉碎后用于营养品质的测定。在每个试验小区内采用五点法用土钻分别采集各小区 0—20 cm 土样充分混匀,风干后过 20 目 (0.85 mm) 筛后用于测定土壤 C、N 和 P。

植物和土壤有机碳采用重铬酸钾氧化—外加热法测定;植物和土壤全氮采用凯氏定氮法测定;采用分光光度计测定植物和土壤全磷<sup>[15]</sup>。

## 1.5 数据统计与分析

用 Excel 2019 进行数据整理和作图,用 SPSS 25.0 统计软件对不同处理下植物及土壤 C、N 和 P 及其化学计量特征进行单因素方差分析 (one-way ANOVA), Duncan 法进行多重比较 ( $P < 0.05$ );采用 Pearson 法进行相关性分析;采用 Canoco5 软件对植物—土壤 C、N、P 含量及化学计量比进行冗余 (RDA) 分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 切根与分株移栽对植物及其土壤 C、N 和 P 含量的影响

#### 2.1.1 植物 C、N 和 P 含量的变化

RC 和 RT 处理改变了老芒麦植物 C 含量;植物 S1 和 S3 在 RC2 处理下,其 C 含量分别较母株提高 40.45% 和 7.72% ( $P < 0.05$ );在 RT 处理下,植物 S2 和 S3 的 C 含量较母株提高 18.05% 和 22.85% ( $P < 0.05$ );植物 S4 在 RC1、RC2 和 RT 处理下,其 C 含量分别较母株提高了 23.94%、29.77% 和 33.96% ( $P < 0.05$ ) (图 2)。

4 个材料 N 含量均在 RC1 处理下与母株差异显著 ( $P < 0.05$ );植物 S1 和 S4 中,其 N 含量在 RC1 和 RT 处理下较母株分别提高了 21.00%、9.19% 和 16.35%、28.07% ( $P < 0.05$ );植物 S2 和 S3 的 N 含量在 RC1 和 RC2 处理下较母株分别提高了 26.21%、29.81% 和 18.62%、46.34% ( $P < 0.05$ ) (图 2)。

植物 S1、S2 和 S3 中,其 P 含量均在 RC1 处理下达到最大,较母株分别提高了 15.38%、9.03% 和 30.06% ( $P < 0.05$ );植物 S4 中,其 P 含量在 RC2 和 RT 处理下较母株提高了 15.57% 和 49.02% ( $P < 0.05$ ) (图 2)。

#### 2.1.2 土壤 C、N 和 P 含量的变化

植物 S2 土壤 C 含量在 RC2 处理下较 CK 提高 36.60% ( $P < 0.05$ ),植物 S1、S3 和 S4 土壤 C 含量在 RC1、RC2 和 RT 处理下均与 CK 差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 3)。

植物 S1 和 S2 土壤 N 含量在 RC1 处理下分别较 CK 提高 39.82% 和 42.41% ( $P < 0.05$ );不同处理下 (RC1、RC2 和 RT) S3 土壤 N 含量分别较 CK 提高 68.30%、59.40% 和 60.84% ( $P < 0.05$ ),不同处理 S4 土壤 N 含量均与 CK 差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 3)。

植物 S1 土壤 P 含量在 RT 处理下较 CK 降低 29.97% ( $P < 0.05$ ),S2 和 S4 土壤 P 含量在 RC1 和 RC2 处理下,分别较 CK 提高 46.30%、51.31% 和 36.28%、

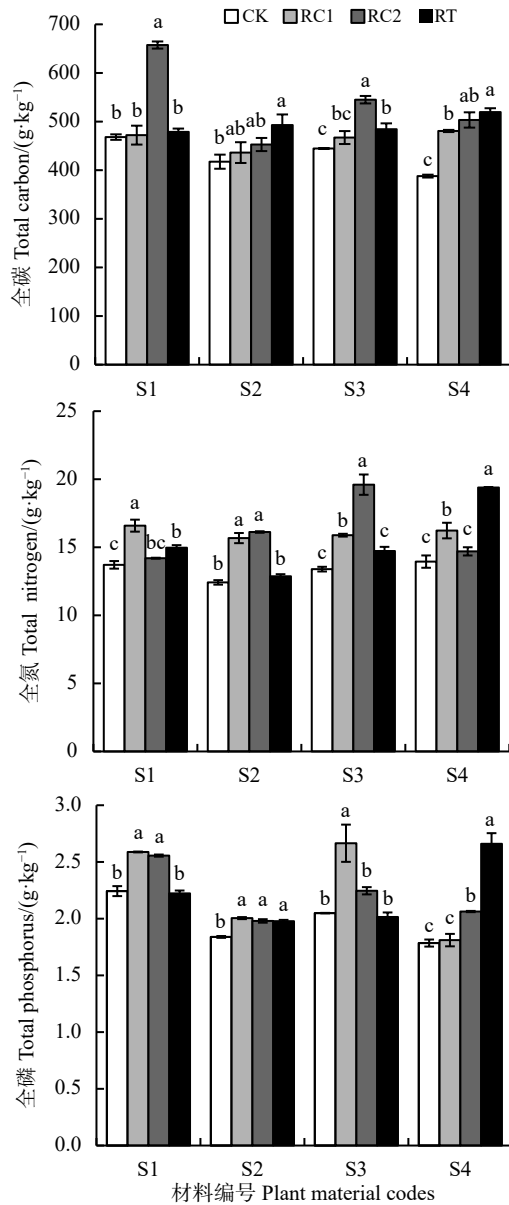


图 2 不同处理对老芒麦材料 C、N 及 P 含量的影响

Figure 2 Effects of different treatments on C, N, and P contents of *Elymus sibiricus* materials

不同小写字母表示同一材料下不同处理方式之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 下同。

Different lowercase letters indicate that there is a significant difference between different treatments of the same material at the 0.05 level. This is applicable for the following figures as well.

47.00% ( $P < 0.05$ ), 植物 S3 土壤 P 含量在各处理下 (RC1、RC2 和 RT) 均与 CK 差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 3)。

## 2.2 切根与分株移栽对植物—土壤 C : N、C : P 及 N : P 比值的影响

### 2.2.1 植物 C : N、C : P 及 N : P 比值的变化

在 RC1 处理下, 4 种材料的 C : N 为 27.89~29.69;

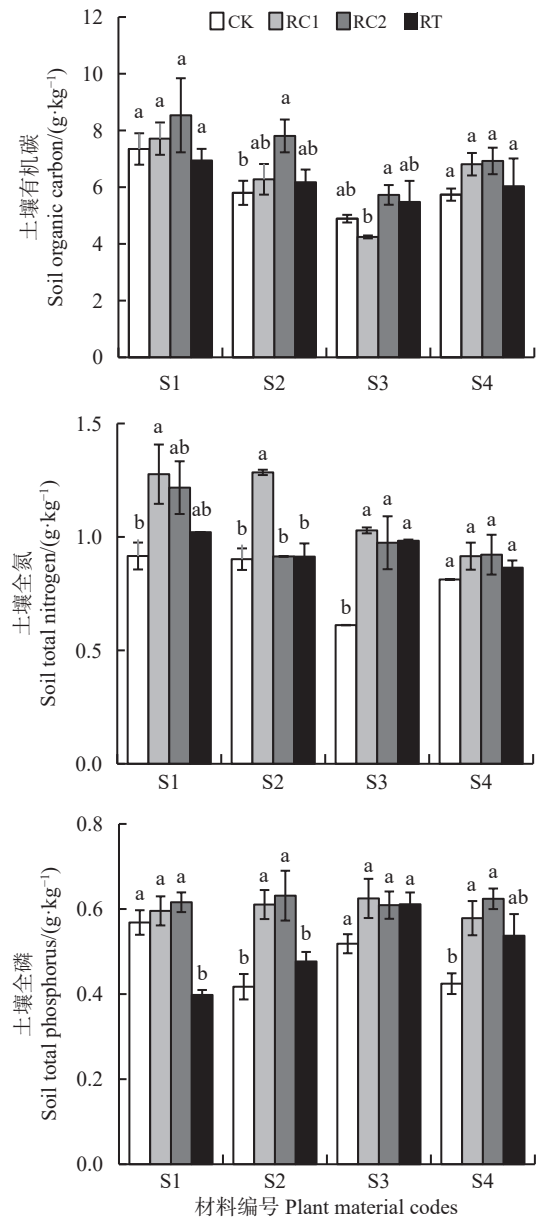


图 3 不同处理对土壤 C、N 及 P 含量的影响

Figure 3 Effects of different treatments on soil C, N, and P contents

其中 S1、S2 和 S3 的植物 C : N 分别较母株降低了 16.46%、17.08% 和 11.48% ( $P < 0.05$ ); 在 RC2 处理下, 4 种材料 C : N 为 27.87~46.31, S1 和 S4 的 C : N 分别较母株提高了 35.45% 和 22.85%, 而 S2 和 S3 的 C : N 较母株降低了 16.51% 和 16.07% ( $P < 0.05$ ); 在 RT 处理下, 4 种材料 C : N 在 26.79~38.29, S2 的 C : N 较母株提高 13.84% ( $P < 0.05$ ) (图 4)。

在 RC1 处理下, 4 种材料的 C : P 为 176.73~265.80, 植物 S1 和 S3 的 C : P 与母株相比均降低 12.64% 和 18.55%, 而 S4 的 C : P 较母株提高 22.26%

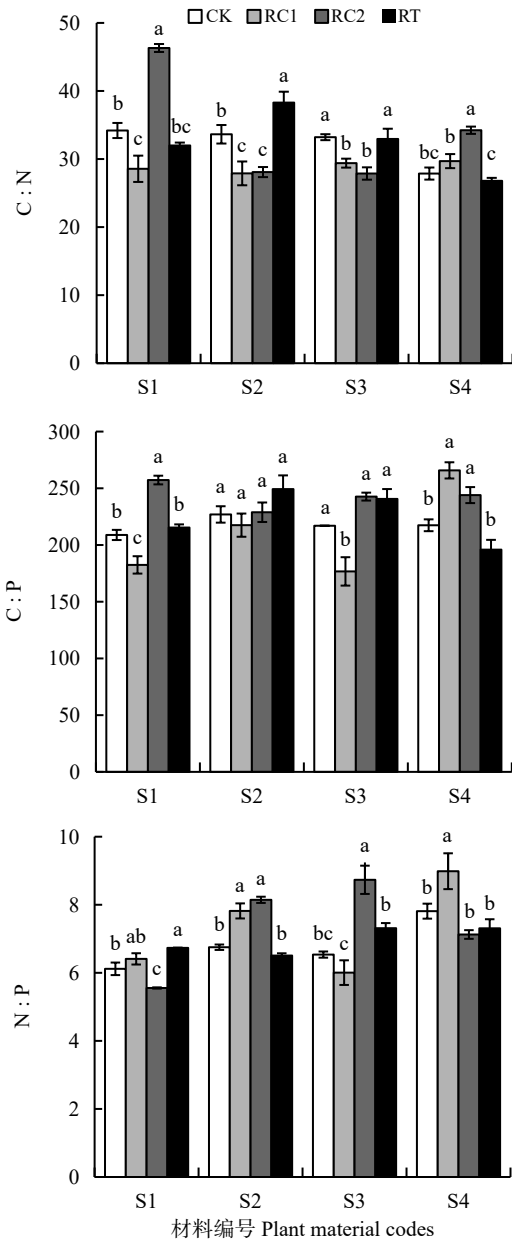


图 4 不同处理对老芒麦 C : N、C : P 和 N : P 的影响  
 Figure 4 Effects of different treatments on C : N, C : P, and N : P of *Elymus sibiricus* materials

( $P < 0.05$ ); 在 RC2 处理下, 4 个植物的 C : P 为 228.88~257.27, 植物 S1 和 S4 的 C : P 分别较母株提高了 23.18% 和 12.23% ( $P < 0.05$ ); 在 RT 处理下, 各材料 C : P 均与母株差异不显著 (图 4)。

在 RC1 处理下, 4 种材料的 N : P 为 6.01~8.99, 植物 S2 和 S4 的 N : P 较母株分别提高 15.80% 和 15.02% ( $P < 0.05$ ); 在 RC2 处理下, 4 种材料的 N : P 为 5.55~8.73, 植物 S1 的 N : P 较母株降低 9.20%, S2 和 S3 的 N : P 较母株提高 20.63% 和 33.62% ( $P < 0.05$ ); 在 RT 处理下, 4 种材料的 N : P 为 6.51~7.31,

仅有植物 S1 的 N : P 较母株提高 10.06% ( $P < 0.05$ ) (图 4)。

2.2.2 土壤 C : N、C : P 及 N : P 比值的变化

4 种材料的土壤 C : N 为 4.13~8.54; 在 RC1 和 RT 处理下, S3 土壤 C : N 分别较 CK 降低 48.40% 和 30.27% ( $P < 0.05$ ); 在各处理下, 植物 S1、S2 和 S4 土壤 C : N 均与 CK 差异不显著 (图 5)。

4 种材料的土壤 C : P 为 6.88~17.53, 不同处理下 (RC1、RC2 和 RT) S1、S2、S3 和 S4 土壤 C : P 均与 CK 差异不显著 (图 5)。

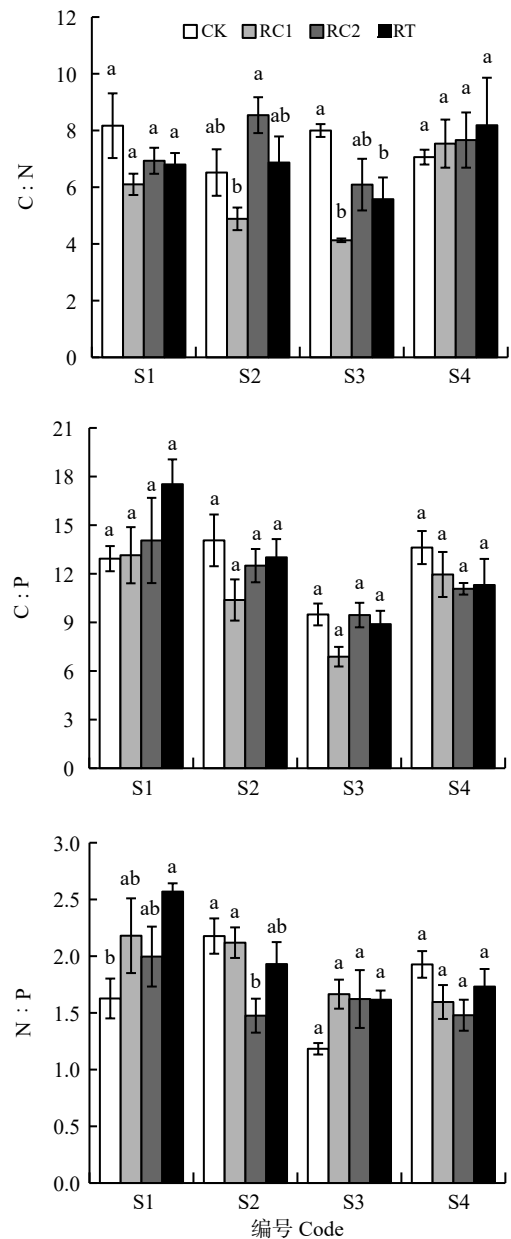


图 5 不同处理对土壤 C : N、C : P 和 N : P 的影响  
 Figure 5 Effects of different treatments on soil C : N, C : P, and N : P



4 种材料的土壤 N:P 为 1.18~2.57, 在 RT 处理下, S1 土壤 N:P 较 CK 提高 57.92% ( $P < 0.05$ ); 在 RC2 处理下, S2 土壤 N:P 较 CK 降低 32.22% ( $P < 0.05$ ), 不同处理 (RC1、RC2 和 RT) 下 S3 和 S4 土壤 N:P 均与 CK 差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 5)。

**2.3 植物-土壤 C、N、P、C:N、C:P 及 N:P 的相关性分析和 RDA 分析**

植物 C 与植物 P 和 C:N 显著正相关 ( $P < 0.05$ ) (表 2); 植物 N 与植物 C:N 显著负相关, 与植物 N:P 显著正相关 ( $P < 0.05$ ); 植物 P 与植物 C:P 和 N:P 显著负相关 ( $P < 0.05$ ); 土壤 C 与土壤 C:P 极显著正相关 ( $P < 0.05$ ); 土壤 N 与土壤 C:N 显著负相关, 与土壤 N:P 显著正相关 ( $P < 0.05$ ); 土壤 P 与土壤 C:P 极显著负相关 ( $P < 0.01$ ), 与土壤 N:P 显著负相关 ( $P < 0.05$ ); 植物 C:N 与植物 N:P 极显著负相关; 土壤 C:P 与土壤 N:P 极显著正相关 ( $P < 0.01$ )。

植物与土壤 C、N、P、C:P、C:N 同一元素、同一比值之间夹角均小于  $90^\circ$  (图 6), 表明两两显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 且植物 C:N 和 C:P 的箭头较土壤的长, 表明植物对土壤 C:N 和 C:P 具有正面影响; 相反, 植物和土壤 N:P 夹角大于  $90^\circ$ , 两两显著

负相关 ( $P < 0.05$ ), 植物 N:P 的箭头越长, 表明对土壤 N:P 的负面影响越大。

**3 讨论**

**3.1 切根与分株移栽对植物-土壤 C、N 及 P 的影响**

C 是植物体内的结构性物质, N 和 P 是影响植物和生态系统的限制性营养元素<sup>[16-17]</sup>, 植物养分含量是环境和植物共同作用的结果, 特定的环境条件决定了植物特定的生长策略, 植物为了适应环境因子的变化而调整养分含量。本研究发现, 植物 S1、S3 和 S4 均在 RC2 处理下 C 含量较母株提高, 4 个材料 N 含量均在 RC1 处理下较母株提高, S1、S2 和 S3 植物 P 含量均在 RC1 处理下达到最大。表明适宜的切根措施明显地提高了老芒麦各材料的 C、N、P 含量, 这与邓庆华等<sup>[18]</sup>的结果相吻合, 可能是断根促使根部营养向地上部运输。土壤是草地生态系统的重要组成部分, 作为植物养分的主要来源, 对植物的生长发育起重要作用<sup>[19]</sup>。本研究亦发现, 相较于 CK, 切根处理可以不同程度提高土壤的 C、N、P 含量, 这与贺婷<sup>[20]</sup>研究结果一致, 切根有利于

表 2 植物-土壤 C、N 和 P 元素的相关性  
Table 2 Correlation of plants-soil C, N, and P

|      | PC     | PN      | PP      | SC      | SN      | SP       | PC:N     | PC:P   | PN:P   | SC:N   | SC:P    | SN:P  |
|------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|--------|--------|--------|---------|-------|
| PC   | 1.000  |         |         |         |         |          |          |        |        |        |         |       |
| PN   | 0.288  | 1.000   |         |         |         |          |          |        |        |        |         |       |
| PP   | 0.547* | 0.472   | 1.000   |         |         |          |          |        |        |        |         |       |
| SC   | 0.441  | -0.007  | 0.107   | 1.000   |         |          |          |        |        |        |         |       |
| SN   | 0.351  | 0.205   | 0.411   | 0.459   | 1.000   |          |          |        |        |        |         |       |
| SP   | 0.418  | 0.432   | 0.355   | 0.194   | 0.390   | 1.000    |          |        |        |        |         |       |
| PC:N | 0.608* | -0.582* | 0.073   | 0.369   | 0.112   | -0.024   | 1.000    |        |        |        |         |       |
| PC:P | 0.383  | -0.197  | -0.555* | 0.289   | -0.111  | 0.056    | 0.487    | 1.000  |        |        |         |       |
| PN:P | -0.245 | 0.499*  | -0.520* | -0.088  | -0.168  | 0.11     | -0.624** | 0.369  | 1.000  |        |         |       |
| SC:N | 0.053  | -0.068  | -0.212  | 0.435   | -0.568* | -0.173   | 0.112    | 0.267  | 0.118  | 1.000  |         |       |
| SC:P | 0.026  | -0.314  | -0.162  | 0.632** | 0.117   | -0.626** | 0.285    | 0.157  | -0.153 | 0.404  | 1.000   |       |
| SN:P | -0.016 | -0.119  | 0.109   | 0.276   | 0.585*  | -0.506*  | 0.087    | -0.167 | -0.226 | -0.352 | 0.679** | 1.000 |

\*\*表示显著水平为  $P < 0.01$ , \*表示显著水平为  $P < 0.05$ 。PC: 植物C; PN: 植物N; PP: 植物P; PC:N: 植物C:N; PC:P: 植物C:P; PN:P: 植物N:P; SC: 土壤C; SN: 土壤N; SP: 土壤P; SC:N: 土壤C:N; SC:P: 土壤C:P; SN:P: 土壤N:P。图6同。

\*\* represents a significant level at 0.01, \* represents a significant level at 0.05. PC: plant C; PN: plant N; PP: plant P; PC:N: plant C:N; PC:P: plant C:P; PN:P: plant N:P; SC: soil C; SN: soil N; SP: soil P; SC:N: soil C:N; SC:P: soil C:P; SN:P: soil N:P. This is applicable for Figure 6 as well.

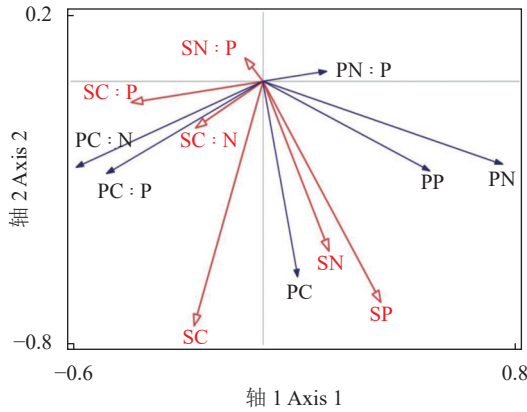


图 6 植物—土壤 C、N、P、C:N、C:P 及 N:P 的 RDA 分析

Figure 6 RDA analysis of plants-soil C, N, P, C:N, C:P, and N:P

蓝线表示植物各含量及化学计量比，红线表示土壤各含量及化学计量比。

The blue line indicates the plant content and chemical measurement ratio, and the red line indicates the soil content and chemical measurement ratio.

提高浅层土壤的 C、N 和 P 含量。仅有植物 S2 土壤 C 含量在 RC2 处理下较 CK 显著提高。大量研究表明，植被恢复过程中土壤养分和 C 含量都会因植被的新陈代谢作用而有所提高<sup>[21]</sup>。植物 S1、S2、S3 土壤 N 含量在 RC1 处理下均较 CK 提高；植物 S2 和 S4 土壤 P 含量均在 RC1 和 RC2 处理下均较 CK 显著提高 ( $P < 0.05$ )，这也表明切根使得土壤环境得到改善<sup>[22]</sup>，但是土壤恢复滞后于植被的恢复，这与 Xiong 等<sup>[23]</sup> 分析得出改良草地管理下的土壤恢复通常滞后于植物的生产恢复结果相一致。

### 3.2 切根与分株移栽对植物—土壤 C:N、C:P 及 N:P 比值的影响

研究结果发现，在 RC1 处理下 S1、S2 和 S3 植物 C:N 含量较母株降低，且 C:N 为 27.89~29.69，高于全球水平 (22.5)<sup>[24]</sup>；有研究表明<sup>[25]</sup>，植物叶片 C:N 越大，有机质分解矿化越困难、速度越慢，需要补充适量的氮肥以调节 C:N 平衡。植物 C:P 可表示植物吸收营养所能同化 C 的能力，在一定程度上反映了植物的营养利用效率<sup>[26]</sup>。4 个材料的 C:P 在 RC2 处理下均高于母株，且 C:P 为 228.88~257.27，均值为 243.21，亦高于全球水平 (232)<sup>[24]</sup>，适宜的切根措施促进了植物同化碳的能力，进而促使其比值升高；杨菁等<sup>[10]</sup> 也研究表明，苜蓿进入衰退期其叶片 C:P 明显升高，可能是为了满足植物快速生长，从

而提高 C:P。N:P 是判断环境对植物生长养分供应状况的指标<sup>[27]</sup>，有研究<sup>[28]</sup> 指出，陆地生态系统高等植物 N:P 的临界值是 14 和 16，当 N:P 小于 14 时，说明植物生长受到 N 含量限制，当大于 16 时，受 P 含量限制，当 N:P 大于 14 小于 16 时，N 与 P 单独或共同影响植物生长。其中，S1、S2 和 S4 植物的 N:P 在 RC1 处理下均高于母株，且其 N:P 均小于 10，切根可以促进植物吸收 N，但是植物生长还是受限制，即可在后续试验中增施氮肥。

高土壤 C:N 表示低速率的有机质矿化，在一定程度上指示有机质的积累速率和氮有效性。本研究中，土壤 C:N (4.13~8.54) 低于全国水平 (12.01)<sup>[29]</sup>，在 RC1 处理下植物 S1、S2 和 S3 土壤 C:N 均低于 CK。欧延升等<sup>[11]</sup> 研究发现，在栽培草地的恢复过程中，土壤 C:N 呈先增后减的趋势，其变化范围为 10.66~13.62，平均值为 11.80，土壤 C:N 越小，越有利于氮矿化及养分释放，从而进一步促进植被对氮素的吸收。土壤 N:P 作为当前限制性养分判断的重要指标之一<sup>[30]</sup>，主要用于确定养分限制的阈值<sup>[31]</sup>。本研究中，土壤 N:P (1.18~2.57)，均值 (1.81)，低于全国水平 (2.15)<sup>[29]</sup>。

### 3.3 植物—土壤 C、N、P、C:N、C:P 及 N:P 的相关性和 RDA 分析

本研究显示，植物和土壤 C、N、P 含量及化学计量比具有一定的相关性，但植物和土壤的 C、N、P 含量的相关性均不显著，这说明植物中的养分不是单一的来自于土壤，比如植物本身的光合作用和固氮作用也是其养分的一部分来源<sup>[32]</sup>。本研究中，植物 C:N 与植物 N:P 极显著负相关，这与上述结论一致，植物生长主要受 N 的限制。由 RDA 分析可知，植物对土壤 N:P 具有负面影响，表明植物和土壤受 N 的限制<sup>[33]</sup>，这进一步加深了上述结论。综上，土壤提供给植物所需的养分，而植物又以凋落物归还于土壤，基本上实现了 C、N、P 养分元素在衰退老芒麦种群中植物—土壤间的循环和流动。

## 4 结论

切根与分株移栽有利于提高老芒麦植物和土壤的 C、N 和 P 含量，其中切根优于分株移栽。在 RC1 处理下，S1、S2、S3 植物和土壤 C:N 较母株降低；



在 RC2 处理下植物 C:P 较母株增加。相关性分析和 RDA 分析得出,植物和土壤均受 N 含量的限制。综上,切根对 5 龄老芒麦复壮具有比较显著的效果,其中“一”字切根效果更优。

### 参考文献 References:

- [1] 闫志勇,周青平,刘文辉,颜红波,周改娥. 青藏高原6份披碱草属牧草农艺性状及生产性能评价. *草业科学*, 2014, 31(1): 108-115.  
YAN Z Y, ZHOU Q P, LIU W H, YAN H B, ZHOU G E. Evaluation of agronomic characters and production performance of six *Elymus* germplasm from Qinghai-Tibet Plateau. *Pratacultural Science*, 2014, 31(1): 108-115.
- [2] CELINE D, THOMAS L, AURELIE C, MARIANNE A, YUSUKE K, FUMIHIKO S, JEAN F M G, FREDERIK L D, CELINE M D. Nitrogen recycling and remobilization are differentially controlled by leaf senescence and development stage in *Arabidopsis* under low nitrogen nutrition. *Plant Physiology*, 2008, 147(3): 1437-1449.
- [3] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,张雅杰,赵明,赵久然,王璞. 不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性. *作物学报*, 2008, 34(3): 447-455.  
LYU L H, TAO H B, XIA L K, ZHANG Y J, ZHAO M, ZHAO J R, WANG P. Canopy structure and photosynthesis traits of summer maize under different planting densities. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(3): 447-455.
- [4] 都帅,张颖超,侯美玲,格根图,贾玉山. 切根与施肥对草地饲草产量、质地及调制的干草与青品质的影响. *中国奶牛*, 2018, 7: 70-73.  
DU S, ZHANG Y C, HOU M L, Gegentu, JIA Y S. Effects of cutting roots and fertilization on hay and silage. *China Dairy Cattle*, 2018, 7: 70-73.
- [5] ROBSON T M, LAVOREL S, CLEMENTJ C, ROUXC X L. Neglect of mowing and manuring leads to slower nitrogen cycling in subalpine grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 39(4): 930-941.
- [6] 高若凡,张天宇,白杨,崔浩,刘志英. 不同改良措施对退化割草场物种多样性及群落生产力的影响. *中国草地学报*, 2019, 41(6): 98-104.  
GAO R F, ZHANG T Y, BAI Y, CUI H, LIU Z Y. Effects of different improvement measures on species diversity and community productivity of degraded mowing grassland. *Chinese Journal of Grassland*, 2019, 41(6): 98-104.
- [7] 严旭,吴子周,李影正,李晓锋,何如钰,杨春燕,李杨,周阳,石建忠,EBENEZER Kofi Sam,何建美,荣廷昭,唐祈林. 借助抽雄期长茎段育苗释放多年生饲草玉米茎节扩繁潜力. *草业学报*, 2020, 29(6): 204-213.  
YAN X, WU Z Z, LI Y Z, LI X F, HE R Y, YANG C Y, LI Y, ZHOU Y, SHI J Z, EBENEZER K S, HE J M, RONG T Z, TANG Q L. Unlocking the potential of nodal propagation by raising plantlets from the longer stem segments of perennial forage maize at the tasseling stage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(6): 204-213.
- [8] 马行云. 种植密度与扩繁方式对‘玉草6号’农艺性状和产量及品质的影响. 成都:四川农业大学硕士学位论文, 2018.  
MA X Y. Effects of planting density and propagation method on agronomic, yield and quality traits of ‘Yucuo No. 6’. Master Thesis. Chengdu: Sichuan Agriculture University, 2018.
- [9] 王冬梅. 豆科和禾本科牧草不同生长期C、N生态化学计量学特征研究. 兰州:兰州大学硕士学位论文, 2012.  
WANG D M. Study on ecological stoichiometric characteristics of carbon and nitrogen in legumes and grasses at different growth stages. Master Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2012.
- [10] 杨菁,谢应忠,吴旭东,徐坤. 不同种植年限人工苜蓿草地植物和土壤化学计量特征. *草业学报*, 2014, 23(2): 340-345.  
YANG J, XIE Y Z, WU X D, XU K. Stoichiometry characteristics of plant and soil in alfalfa grassland with different growing years. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(2): 340-345.
- [11] 欧延升,汪霞,李佳,贾海霞,赵云飞,黄政,洪苗苗. 不同恢复年限人工草地土壤碳氮磷含量及其生态化学计量特征. *应用与环境生物学报*, 2019, 25(1): 38-45.  
OU Y S, WANG X, LI J, JIA H X, ZHAO Y F, HUANG Z, HONG M M. Content and ecological stoichiometry characteristics of

- soil carbon, nitrogen, and phosphorus in artificial grassland under different restoration years. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2019, 25(1): 38-45.
- [12] 王振南. 黄土高原雨养农区不同时间尺度苜蓿草地C、N、P生态化学计量特征研究. 兰州: 兰州大学博士学位论文, 2016.  
WANG Z N. Study on ecological stoichiometry of C, N and P at temporal scales in lucerne grasslands on the rainfed Loess Plateau. PhD Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2016.
- [13] NIKLAS K J, COBB E D. N, P, and C stoichiometry of *Eranthis hyemalis* (Ranunculaceae) and the allometry of plant growth. *American Journal of Botany*, 2005, 92(8): 1256-1263.
- [14] 周彤, 师尚礼, 陈建纲, 吴芳, 宫文龙, 来幸樑, 阿芸, 张成君. 紫花苜蓿与草地早熟禾轮作模式对其农艺性状和营养品质的影响. *草地学报*, 2020, 28(3): 720-726.  
ZHOU T, SHI S L, CHEN J G, WU F, GONG W L, LAI X L, A Y, ZHANG C J. Effects of alfalfa and kentucky bluegrass rotations on agronomic characters and nutritional quality. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(3): 720-726.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2005: 25-109.  
BAO S D. Soil Agrochemical Analysis (Third Edition). Beijing: China Agricultural Publishing House, 2005: 25-109.
- [16] ELSER J J, BRACKEN M E, CLELAND E E, GRUNER D S, HARPOLE W S, HILLEBRAND H, NGAI J T, SEABLOOM E W, SHURIN J B, SMITH J E. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology letters*, 2007, 10(12): 1135-1142.
- [17] 杨惠敏, 王冬梅. 草—环境系统植物碳氮磷生态化学计量学及其对环境因子的响应研究进展. *草业学报*, 2011, 20(2): 244.  
YANG H M, WANG D M. Advances in the study on ecological stoichiometry in grass—environment system and its response to environmental factors. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(2): 244.
- [18] 邓庆华, 李化丹, 于翔, 乌仁其其格. 切根、施肥对羊草营养成分的影响. *黑龙江畜牧兽医*, 2018, 2: 142-143.  
DENG Q H, LI H D, YU X, Wurenqiqige. The effect of root and fertilization on vegetation characteristics and nutrient content of *Leymus chinensis* meadow. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2018, 2: 142-143.
- [19] 闫瑞瑞, 辛晓平, 王旭, 闫玉春, 邓钰, 杨桂霞. 不同放牧梯度下呼伦贝尔草甸草原土壤碳氮变化及固碳效应. *生态学报*, 2014, 34(6): 1587-1595.  
YAN R R, XIN X P, WANG X, YAN Y C, DENG Y, YANG G X. The change of soil carbon and nitrogen under different grazing gradients in Hulunber meadow steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(6): 1587-1595.
- [20] 贺婷. 切根与施肥对放牧中度退化草甸草原植物群落特征和土壤的影响. 呼和浩特: 内蒙古大学硕士学位论文, 2020.  
HE T. Effects of root cutting and fertilization on plant community characteristics and soil in moderate degraded meadow steppe due to overgrazing. Master Thesis. Huhhot: Inner Mongolia University, 2020.
- [21] 薛超玉, 焦峰, 张海东, 汝海丽. 黄土丘陵区弃耕地恢复过程中土壤与植物恢复特征. *草业科学*, 2016, 33(3): 368-376.  
XUE C Y, JIAO F, ZHANG H D, RU H L. The characteristics of plant species and soil quality in the restoration process of the Loess Hilly Region. *Pratacultural Science*, 2016, 33(3): 368-376.
- [22] JIN J L, LIM J J, KIM D G, SIMBORIO H L, KIM D H, REYES A W B, MINB W G, LEE H J, KIM D H, CHANG H H, KIM S. Characterization of culture supernatant proteins from *Brucella abortus*, and its protection effects against murine brucellosis. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 2014, 37(4): 221-228.
- [23] XIONG D P, SHI P L, ZHANG X Z, ZOU C B. Effects of grazing exclusion on carbon sequestration and plant diversity in grasslands of China: A meta analysis. *Ecological Engineering*, 2016, 94(5): 647-655.
- [24] 靳小莲, 赵巍, 李梦迪, 刘栋栋, 鞠文亮. 黄土高原退耕还草土壤水分对植物地上部化学计量特征的影响. *水土保持研究*, 2022, 29(2): 57-63.  
JIN X L, ZHAO W, LI M D, LIU D D, JU W L. Effects of soil moisture on the stoichiometric characteristics of above ground plants following conversion of farmland to grassland on the Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(2): 57-63.
- [25] 袁建钰, 李广, 闫丽娟, 陈国鹏, 张尚文, 滕锐, 卓玛草. 黄土高原不同灌水量下春小麦土壤与植物碳氮磷含量及其化学计量比特征. *草业科学*, 2020, 37(9): 1803-1812.  
YUAN J Y, LI G, YAN L J, CHEN G P, ZHANG S W, TENG R, Zhuomacao. Soil and plant carbon, nitrogen, and phosphorus

- content and their stoichiometry in spring wheat under different irrigation treatments in the Loess Plateau. *Pratacultural Science*, 2020, 37(9): 1803-1812.
- [26] 张珂, 何明珠, 李新荣, 谭会娟, 高艳红, 李刚, 韩国君, 吴杨杨. 阿拉善荒漠典型植物叶片碳、氮、磷化学计量特征. *生态学报*, 2014, 34(22): 6538-6547.
- ZHANG K, HE M Z, LI X R, TAN H J, GAO Y H, LI G, HAN G J, WU Y Y. Foliar carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry of typical desert plants across the Alashan desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(22): 6538-6547.
- [27] GÜSEWELL S. N : P ratios in terrestrial plants: Variation and functional significance. *New Phytologist*, 2004, 164(2): 243-266.
- [28] KOERSELMAN W, MEULEMANA F. The vegetation N : P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(6): 1441-1450.
- [29] 胡启武, 聂兰琴, 郑艳明, 吴琴, 尧波, 郑林. 沙化程度和林龄对湿地松叶片及林下土壤 C、N、P 化学计量特征影响. *生态学报*, 2014, 34(9): 2246-2255.
- HU Q W, NIE L Q, ZHENG Y M, WU Q, YAO B, ZHENG L. Effects of desertification intensity and stand age on leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in *Pinus elliotii* plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(9): 2246-2255.
- [30] 刘帅楠, 李广, 吴江琪, 马维伟, 杨传杰, 张世康, 姚瑶, 陆燕花, 魏星星, 张娟. 黄土丘陵区不同土地类型下土壤养分特征: 基于生态化学计量学. *草业学报*, 2021, 30(3): 200-207.
- LIU S N, LI G, WU J Q, MA W W, YANG C J, ZHANG S K, YAO Y, LU Y H, WEI X X, ZHANG J. Characteristics of soil nutrients under different land types in the loess hill region based on ecological chemometrics. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(3): 200-207.
- [31] 张良侠, 樊江文, 张文彦, 钟华平. 内蒙古草地植物叶片氮、磷元素化学计量学特征分析. *中国草地学报*, 2014, 36(2): 43-48.
- ZHANG L X, FAN J W, ZHANG W Y, ZHONG H P. Stoichiometry of leaf nitrogen and phosphorus in plants in grasslands in Inner Mongolia. *China Journal of Grasslands*, 2014, 36(2): 43-48.
- [32] 李慧, 许亚东, 王涛, 杨改河. 不同林龄刺槐人工林植物与土壤 C、N、P 化学计量特征演变. *西北农业学报*, 2018, 27(11): 1651-1659.
- LI H, XU Y D, WANG T, YANG G H. Variation of carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in plant and soil following stand age of *Robinia pseudoacacia* plantation. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2018, 27(11): 1651-1659.
- [33] 王玉琴, 宋梅玲, 鲍根生, 尹亚丽, 王宏生. 防除狼毒对狼毒斑块植物-土壤C、N、P化学计量特征的影响. *生态学报*, 2021, 41(15): 6280-6288.
- WANG Y Q, SONG M L, BAO G S, YIN Y L, WANG H S. Variation of C, N and P stoichiometry in plant and soil after removal *Stellera chamaejasme* in *Stellera chamaejasme* patches. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(15): 6280-6288.

(责任编辑 苟燕妮)

如有印装质量问题, 请将原杂志寄回本刊编辑部, 由本部负责调换。