

DOI: 10.5846/stxb201504280877

张微微, 杨劼, 宋炳煜, 清华. 刈割对草原化荒漠区驼绒藜 (*Krascheninnikovia ceratoides*) 根际土壤特性的影响. 生态学报, 2016, 36(21): - .  
Zhang W W, Yang J, Song B Y, Qing H. Impacts of moving on the rhizosphere soil properties of *Krascheninnikovia ceratoides* in the steppe desert. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(21): - .

## 刈割对草原化荒漠区驼绒藜 (*Krascheninnikovia ceratoides*) 根际土壤特性的影响

张微微<sup>1</sup>, 杨劼<sup>1,\*</sup>, 宋炳煜<sup>1</sup>, 清 华<sup>2</sup>

1 内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021

2 内蒙古大学环境与资源学院, 呼和浩特 010021

**摘要:**在休眠期对草原化荒漠中自然生长的驼绒藜 (*Krascheninnikovia ceratoides*) 进行不同频度的刈割处理 (连年刈割、隔年刈割、对照), 通过测定根际土壤理化性质、土壤微生物数量及土壤酶活性等指标, 分析和讨论了不同频度的刈割处理对驼绒藜根际土壤特性的影响。结果表明: (1) 连年刈割和隔年刈割都显著提高了根际土壤含水量, 隔年刈割使根际土壤全碳含量显著上升、有机质含量显著下降, 但刈割对根际土壤 pH 值和全氮含量的影响不明显; (2) 刈割对根际土壤微生物总量的影响不明显, 但显著影响细菌、真菌和放线菌的组成, 连年刈割使真菌数量显著增加, 隔年刈割使放线菌数量显著增加, 驼绒藜根际土壤中放线菌所占比例最大, 其数量表征了土壤的贫瘠程度; (3) 刈割对根际土壤过氧化氢酶和中性磷酸酶活性有显著影响, 两种刈割处理会显著提高土壤过氧化氢酶活性、降低土壤中磷酸酶活性, 而对土壤多酚氧化酶、脲酶、转化酶和碱性磷酸酶活性的影响不显著。总之, 隔年刈割对植物根际土壤养分供给及土壤分解者的活性更加有利, 而且土壤理化因子对土壤微生物数量和土壤酶活性的影响不显著。刈割对驼绒藜根际土壤特性影响的规律性不强, 可能是由于半灌木刈割利用的时间较短, 根际土壤各个测量指标之间尚未形成显著的相关性。

**关键词:** 刈割; 驼绒藜; 根际; 土壤理化性质; 微生物数量; 土壤酶活性

## Impacts of moving on the rhizosphere soil properties of *Krascheninnikovia ceratoides* in the steppe desert

ZHANG Weiwei<sup>1</sup>, YANG Jie<sup>1,\*</sup>, SONG Bingyu<sup>1,\*</sup>, Qing Hua<sup>2</sup>

1 College of Life Science, Inner Mongolia University, Hohhot 010020, China

2 College of Environment and Resources, Inner Mongolia University, Hohhot 010020, China

**Abstract:** *Krascheninnikovia ceratoides* not only serves as a good forage grass, but also creates a significant ecological barrier, which can maintain the stability of the desert-steppe ecosystem by effectively inhibiting soil erosion. Moving leads to compensatory plant growth and stimulates the secretion of carbohydrates from plant roots. Once the aboveground biomass of plant is damaged, its underground soil properties may change. Rhizosphere soil is of great importance because it serves as a microenvironment where plant, soil, and microorganisms can carry out nutrient cycling, the exchange of energy and the passing of information. Therefore, rhizosphere soil is strongly affected by plant roots and the activity of microorganisms. There currently is no research regarding moving on the rhizosphere soil properties of *K. ceratoides*. Therefore, a study of the impacts of moving on the rhizosphere soil properties of *K. ceratoides* could reveal the influence moving has on its underground biomass. Furthermore, it also can serve as a basic reference for putting *K. ceratoides* resources to rational use.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (31260126); 农业部“国家牧草现代产业技术体系”项目 (CARS-35)

**收稿日期:** 2015-04-28; **网络出版日期:** 2015-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jyang@mail.imu.edu.cn

In order to analyze the impacts of different moving frequencies on rhizosphere soil properties of *K. ceratoides* in the steppe desert, the soil physical and chemical properties, as well as the soil microorganisms and soil enzymatic activity, were investigated after different moving treatments (e.g., moving once a year, moving each year at a year interval) during the dormant period. Our results indicated that moving once a year and moving each year at a year interval significantly increased the rhizosphere soil moisture of *K. ceratoides* ( $P < 0.05$ ). Moving each year at a year interval resulted in significantly greater total soil C content, but lower soil organic matter content relative to the contrast ( $P < 0.05$ ). However, neither the soil pH, nor the soil total N content was affected relative to the moving treatment. Moving had no significant influence on a total plate count of soil microorganisms, but significantly altered the composition of soil microorganisms including bacteria, fungi and actinomyces. The number of fungi significantly increased after moving once a year, while moving each year at a year interval significantly increased the number of actinomyces ( $P < 0.05$ ). Actinomyces were greater in number in the rhizosphere soil of *K. ceratoides*, representing some degree of soil impoverishment. Moving had a significant impact on soil hydrogen peroxidase and neutral phosphatase activity, but no significant influence was detected for soil polyphenol oxidase, urease, invertase, and alkaline phosphatase. Moving significantly increased the activity of soil hydrogen peroxidase, but reduced the activity of soil neutral phosphatase ( $P < 0.05$ ). In summary, moving each year at a year interval was more beneficial for rhizosphere soil nutrient supply and for the activity of soil decomposers. Furthermore, the soil's physical and chemical properties had little effect on soil microorganisms and soil enzymatic activity. The effects of mowing on the rhizosphere soil properties of *K. ceratoides* were not strong, perhaps because the time of moving on subshrubs was not long enough to provide a significant correlation of each measurement indicator.

**Key Words:** moving; *Krascheninnikovia ceratoides*; rhizosphere; soil physical and chemical properties; soil microorganisms; soil enzymatic activity

驼绒藜 (*Krascheninnikovia ceratoides*) 是藜科驼绒藜属植物, 为旱生半灌木, 主要生长于戈壁、干旱山坡、荒漠或草原中<sup>[1]</sup>。驼绒藜荒漠是新疆准格尔荒漠和内蒙古阿拉善、西鄂尔多斯及狼山北麓沙质荒漠的主要群系之一, 是难得的优良牧场和割草场。在干旱-半干旱地区, 驼绒藜以顽强的抗逆性成为维持荒漠-荒漠草原生态系统稳定、抑制土壤侵蚀的重要生态屏障<sup>[2]</sup>。目前对驼绒藜的研究主要集中在植物解剖学<sup>[3]</sup>、植物细胞学<sup>[4]</sup>、系统发育学<sup>[5]</sup>和植物生理学<sup>[6-9]</sup>等方面。许多国内外学者对驼绒藜属植物在放牧畜牧业中的利用价值进行了研究, 发现对大多数食草动物来说驼绒藜适口性比较好, 其饲用价值接近或超过了“牧草之王”苜蓿<sup>[2, 10-14]</sup>。刈割是我国北方草地主要利用方式之一, 刈割会导致植物发生补偿生长<sup>[15-17]</sup>, 刺激植物根系碳水化合物分泌<sup>[18]</sup>, 影响植物体光合同化碳素运移分配及其群落碳库之间的碳流量。目前对于灌木刈割的研究很少, 而且主要集中于霸王 (*Zygophyllum xanthoxylum*)<sup>[19]</sup> 和柠条 (*Caragana*)<sup>[20]</sup> 等植物, 刈割对驼绒藜根系及其根际土壤影响方面的研究至今仍是空白。

根际土壤是指根系周距离根系表面 1—3mm 的狭小区域的土壤<sup>[21]</sup>; 是植物、土壤和微生物相互之间进行物质循环、能量交换及信息传递的门户<sup>[22]</sup>, 故根际土壤会受到植物根系和微生物活动的强烈影响<sup>[23]</sup>。而根系分泌物是调节根际微生态系统活力与功能的关键因素<sup>[24]</sup>。刈割后植物根系分泌物是否会发生变化, 刈割植物地上部分是否会影响地下土壤中的微生物数量和土壤酶活性, 都是值得追究的重要科学问题。目前关于植物地上部分遭受损伤后对地下部分的内在作用机制还不清楚, 特别是在刈割后, 植物光合作用产物的分配、根系分泌物的变化等方面的研究还有待于加强<sup>[25]</sup>。本研究通过探讨不同刈割频度下草原化荒漠区驼绒藜根际土壤理化性质、土壤微生物数量及土壤酶活性的变化, 揭示刈割对驼绒藜地下部分的影响机制, 可为合理利用驼绒藜资源提供基础依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于鄂尔多斯高原西北部的草原化荒漠区(40°07'16.0''N、107°35'44.7''E),海拔 1225m,温带大陆性弱季风性干旱高原气候:无霜期短,日照充足,风大沙多,冬季漫长寒冷,夏季短促湿热;年均温 7.8—8.1℃,≥10℃,年积温 3157—3272℃,无霜期 158—160d;全年日照时数为 3047.3—3227.4h;年均降雨量 160—270mm,年潜在蒸发量 2470.5—3481.0mm,是降水量的 20 倍;年内降水分配极不均匀,7 月、8 月降水占全年降水的 60%以上;年平均风速 3.1—4.7m/s,最大风速 28m/s,扬沙以上风沙天有 41—67d,最长可达 80d,其中沙暴日历年平均为 23—26d,最长可达 50d。土壤类型为灰漠土,地带性植被为驼绒藜荒漠群落<sup>[26]</sup>。

### 1.2 实验设计与样本采集

在研究区选择地势平坦的驼绒藜群落(群落类型为驼绒藜+狭叶锦鸡儿+无芒隐子群落),用网栏围封 200m × 200m 群落地段作为实验样地。样地划分为 66.67 × 66.67m 的 9 个小区,随机选择 3 个小区进行实验。每个小区进行一种刈割处理,处理设置如下:连年刈割(2013 年 3 月,2014 年 3 月),隔年刈割(2012 年 3 月,2014 年 3 月),对照(不刈割)。

于 2014 年 8 月中旬对驼绒藜标准株根际土壤进行取样,每种刈割处理的驼绒藜随机选取 9 株,将驼绒藜根系全部挖出,采取“抖落法”获取每株的根际土壤样品,放置到封口塑料袋中,并用冰盒带回实验室。将采集的根际土壤样品分成两份:一部分经风干处理后过 2mm 筛,用于土壤理化性质的测定;一部分放在 4℃ 的冰箱中保存,用于测定微生物数量和土壤酶活性。

### 1.3 测定指标和方法

土壤理化性质测定<sup>[27]</sup>:用烘干法测定土壤含水量;用 2.5:1 水土浸提液测定土壤 pH 值;用元素分析仪测定土壤全碳、全氮含量;用重铬酸钾容量法测定土壤有机质含量。

土壤微生物数量分析:采用平板稀释法<sup>[28]</sup>,细菌、真菌和放线菌分别采用牛肉膏蛋白胨培养基、马丁氏培养基和高氏一号培养基进行培养。

土壤酶活性测定<sup>[29]</sup>:土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,以 1 h 后 1 g 土壤的 0.1 mol/L 高锰酸钾的毫升数表示;磷酸酶(中性磷酸酶、碱性磷酸酶)活性采用磷酸苯二钠比色法测定,以 24 h 后 100 g 土壤中释出的酚的毫克数表示;脲酶活性采用靛酚比色法测定,以 24 h 后 100 g 土壤中 NH<sub>3</sub>-N 的毫克数表示;多酚氧化酶活性采用红紫脲精比色法测定,以 24 h 后 100 g 土壤中红紫脲精的毫克数表示;转化酶活性采用硫代硫酸钠滴定法测定,以 24 h 后 1 g 土壤 0.1 mol/L 硫代硫酸钠的毫升数表示。

### 1.4 数据处理与分析

采用 SPSS 17.0 进行描述分析、单因素方差分析(One-way ANOVA)、显著性检验(Duncan 法)和相关性分析(Pearson 法);数据整理、计算和作图采用 Microsoft Excel 2010 软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同频度刈割对驼绒藜根际土壤理化性质的影响

由表 1 可以看出,与对照相比连年刈割和隔年刈割均显著增加了根际土壤含水量( $P < 0.05$ ),分别比对照提高了 40.5%和 24.8%,但两种刈割处理之间差异并不显著。驼绒藜在隔年刈割处理后,根际土壤的全碳含量显著提高了 17.6%( $P < 0.05$ ),但两种刈割处理之间以及连年刈割与对照之间无显著差异。隔年刈割后驼绒藜根际土壤的有机质含量显著降低了 42.3%( $P < 0.05$ ),而连年刈割并未对有机质含量产生明显的影响,连年刈割与隔年刈割之间土壤有机质含量差异显著( $P < 0.05$ )。此外,两种刈割处理对驼绒藜根际土壤的 pH 值和全氮含量均无显著影响。

表 1 不同频度刈割对土壤理化性质的影响

Table 1 The effects of mowing frequencies on soil physical and chemical properties

刈割频度 Mowing frequency	含水量/% Moisture	PH	全碳/% Total C	全氮/% Total N	有机质/% Organic matter
连年刈割 Moving once a year	5.38±0.46a	8.26±0.08a	0.86±0.04ab	0.06±0.0a	0.43±0.03a
隔年刈割 Moving each year at a year interval	4.77±0.13ab	8.35±0.03a	0.96±0.03a	0.06±0.00a	0.18±0.03c
对照 Contrast	3.83±0.27c	8.29±0.04a	0.81±0.06b	0.06±0.00a	0.31±0.06ab

同列不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ),  $n=9$

## 2.2 不同频度刈割对驼绒藜根际土壤微生物数量的影响

由表 2 可知,不同频度刈割处理对驼绒藜根际土壤微生物菌落总量没有显著影响,但细菌、真菌和放线菌的组成不同。连年刈割与隔年刈割相比,驼绒藜根际土壤中细菌和真菌的数量显著增加 ( $P<0.05$ ),而放线菌数量显著降低 ( $P<0.05$ )。与对照相比,连年刈割后根际土壤中真菌数量显著提高了 161.2% ( $P<0.05$ ),隔年刈割后根际土壤中放线菌数量与对照相比显著提高了 80.5% ( $P<0.05$ ),连年刈割和隔年刈割后根际土壤中细菌的数量与对照相比无显著差异。

表 2 不同频度刈割处理下每克土壤微生物的菌落数 ( $10^4$  个/克土)

Table 2 The effects of mowing frequencies on soil microorganisms

刈割频度 Mowing frequency	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomyces	菌落总数 Total plate count
连年刈割 Moving once a year	2.57±0.42a	3.59±0.38a	3.17±0.08bc	9.33±0.24a
隔年刈割 Moving each year at a year interval	0.65±0.05b	0.26±0.06bc	8.40±0.23a	9.31±0.23a
对照 Contrast	1.91±0.14ab	1.37±0.11b	4.65±0.43b	7.93±0.62a

同列不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ),  $n=9$

## 2.3 不同频度刈割对驼绒藜根际土壤酶活性的影响

从图 1 中可以看出,虽然刈割会使根际土壤多酚氧化酶、碱性磷酸酶的活性略微下降,土壤脲酶、转化酶活性略微上升,但差异均不显著。刈割频度对过氧化氢酶、中性磷酸酶活性的影响比较显著 ( $P<0.05$ ),连年刈割和隔年刈割显著提高了土壤过氧化氢酶的活性,连年刈割显著降低了根际土壤中中性磷酸酶的活性,隔年刈割显著提高了中性磷酸酶的活性 ( $P<0.05$ ),而两种刈割处理之间并无显著差异。

## 2.4 土壤理化性质与微生物数量和土壤酶活性的相关性分析

由表 3 可知,在根际土壤微生物数量方面,土壤真菌数量与全氮含量呈现显著的正相关,土壤放线菌数量与土壤有机质含量呈现显著的负相关。在根际土壤酶活性方面,土壤脲酶与土壤全氮含量呈现显著的正相关,土壤中性磷酸酶活性与土壤含水量呈现显著的负相关。而根际土壤中其它种类的微生物与酶活性与土壤

表 3 土壤理化性质与微生物数量和土壤酶活性的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of soil physical and chemical properties with soil microorganisms and soil enzymatic activity

土壤微生物数量和酶活性指标 Soil microorganisms and soil enzymatic activity index	含水量/% Moisture	PH	全碳/% Total C	全氮/% Total N	有机质/% Organic matter
细菌 Bacteria	-0.238	-0.232	0.049	0.470	0.292
真菌 Fungi	-0.244	-0.147	0.045	0.666 *	0.564
放线菌 Actinomyces	0.287	0.392	0.356	-0.495	-0.757 *
过氧化氢酶 Hydrogen peroxidase	0.077	-0.138	0.022	-0.328	-0.356
中性磷酸酶 Neutral phosphatase	-0.355 *	-0.121	-0.290	-0.147	-0.044
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.015	0.061	0.130	-0.078	-0.118
脲酶 Urease	0.105	0.199	0.290	0.433 *	0.045
转化酶 Invertase	-0.136	0.284	0.019	0.126	-0.284
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	-0.020	-0.053	-0.284	-0.113	-0.086

\* 表示显著相关 ( $P<0.05$ )

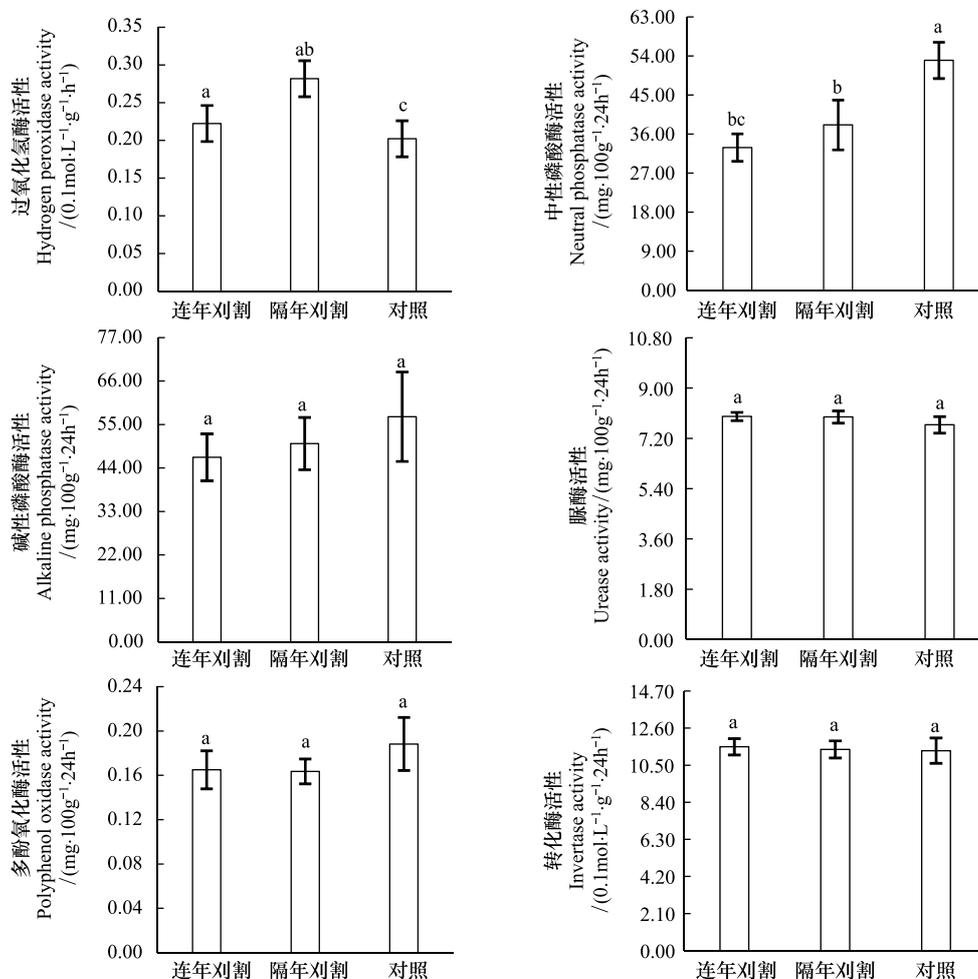


图1 不同频度刈割对土壤酶活性的影响

Fig.1 The effects of mowing frequencies on soil enzymatic activity

连年刈割:moving once a year;隔年刈割:moving each year at a year interval;对照:the contrast;不同字母表示土壤酶活性的显著性差异( $P < 0.05$ ),  $n=9$

理化因子之间的相关性不明显。

### 3 讨论

#### 3.1 刈割对驼绒藜根际土壤理化性质的影响

已有研究发现一些牧草和灌木的刈割会对根区土壤水分、养分、土壤微生物数量及土壤酶活性产生一定的影响<sup>[20,25,30-31]</sup>。郭明英等<sup>[31]</sup>发现,由于天然草地刈割利用观测时间短,不同刈割处理对土壤含水量不会造成明显的变化。而本实验结果表明,连年刈割和隔年刈割均会显著提高驼绒藜根际土壤含水量,可能是由于灌木与草本植物生活型的差异,对于刈割的响应时间有所不同。本实验结论与沙冬青的平茬研究<sup>[32]</sup>得出的平茬区0—80cm土壤平均含水量均高于未平茬区的结果相一致。可是因为草原化荒漠植物驼绒藜与沙冬青的根系都比较发达,为了满足刈割后的地上生长,根系对地下水的利用增强,刈割也会减少衰老枝条对水分的消耗<sup>[33]</sup>,并且新生枝条浓密,可以减少刈割区土壤水分的蒸散,提高根系蓄水。

有研究认为,植物被刈割后为了恢复生长,需要从土壤中吸收大量的有机质,所以土壤有机质含量会显著降低<sup>[34]</sup>,而本实验却发现,隔年刈割会使根际土壤全碳含量显著增加,而年年刈割对根际土壤全碳含量的影响不显著。虽然较低频度的刈割会减少驼绒藜地下根系生物量<sup>[35]</sup>和地表凋落物,但是刈割可能会通过提高

根的死亡率来补偿地上向地下运输碳的损失<sup>[36]</sup>。隔年刈割会使土壤有机质含量显著下降,刈割频度增加到年年刈割后,根际土壤有机质含量并没有显著变化,说明较低频度的刈割会加速根际土壤有机质的分解,其原因可能是植物通过根系分泌物和根系凋落物等向根际输入易于土壤微生物利用的含碳有机物<sup>[37]</sup>,改变了根际的营养环境,从而产生了根际激发效应,而正的根际激发效应可以增加 3—5 倍土壤有机质的分解速率<sup>[38]</sup>,所以隔年刈割后根际土壤有机质含量显著下降。

土壤中的氮素绝大多数是贮藏在土壤有机质中的有机态化合物,土壤全氮量的消长取决于有机质含量的变化<sup>[39]</sup>。本实验结果表明,刈割对根际土壤全氮含量影响不显著,且全氮含量均较低,可能是受到半干旱草原化荒漠地区土壤有机质含量低的限制。虽然隔年刈割会加速土壤有机质分解出有效氮,但是由于根系和微生物对根际可利用氮的获取,根际通常成为碳过剩而氮受限强烈的区域<sup>[40]</sup>。并且根际激发效应的发生主要与土壤氮的有效性有关<sup>[41]</sup>,接下来可以进一步研究土壤有效氮与根系和微生物的关系。

### 3.2 刈割对驼绒藜根际土壤微生物数量的影响

土壤三大微生物类群(细菌、真菌、放线菌)积极参与土壤中有机物质和无机物质的转化,并在肥力演变、植物养分有效化和腐殖质形成等方面起着重要作用<sup>[42-43]</sup>。已有研究显示,牧草的不同刈割处理对微生物数量有较大的影响<sup>[25]</sup>,轻度刈割可促进土壤微生物数量的增加,而重度刈割则明显造成了微生物数量的下降。邵玉琴等<sup>[44]</sup>的研究也发现,适宜的割草频率有利于土壤微生物的繁殖和植物根系的发育和生长,并且根据割草频率的微生物数量和植物地下生物量的变化,提出较为合理的割草频率是割一年休一年。

本试验结果表明,刈割并没有显著影响驼绒藜根际土壤微生物的总量,而主要影响三大微生物的组成。在不同刈割处理下,土壤放线菌数量所占比例均较高,这是因为该区域土壤贫瘠、土壤环境条件差,放线菌对恶劣环境的抵抗力要强于细菌和真菌<sup>[45]</sup>,与姚槐应等<sup>[46]</sup>得出的草原土壤中放线菌数量相对较多,而真菌数量较少的结论相一致。相关性分析显示,真菌数量与土壤全氮含量呈现显著正相关,放线菌数量与土壤有机质含量呈现显著负相关的结果,也证明了放线菌可以表征土壤的贫瘠程度。不同刈割频度下,每种微生物数量变化的规律性不强,可能与根系代谢及其根系分泌物等活动相关,并且刈割会降低根系对营养物质的竞争力,对某一类的微生物生长产生积极的作用<sup>[47]</sup>。

也有研究发现,刈割干扰会对草地土壤微生物群落结构具有一定的影响<sup>[48]</sup>,本实验只是对可培养的细菌、真菌、放线菌进行了菌落计数分析,接下来的实验可以通过分子生物学技术手段,对根际土壤中一些功能性细菌、真菌的数量变化和群落组成方面进行深入研究。

### 3.3 刈割对驼绒藜根际土壤酶活性的影响

土壤酶是指土壤中的聚积酶,来源于植物、动物和微生物残体及植物根系分泌物,参与土壤环境中的生物化学过程,与有机物质分解、营养物质循环、能量转移等密切相关<sup>[49]</sup>。Ilmarinen 等<sup>[50]</sup>的研究得出,刈割不会轻易改变植物生长的土壤养分供给与土壤分解者的活性变化。章家恩等<sup>[25]</sup>发现土壤蔗糖酶、脲酶活性因刈割处理强度的增加而下降,而过氧化氢酶活性变化规律正相反。

本实验结果也表明,不同频度刈割对驼绒藜根际土壤过氧化氢酶和中性磷酸酶活性的影响差异显著,对其它 4 种酶活性的影响不显著。连年刈割和隔年刈割后根际土壤过氧化氢酶活性均显著提高,并且隔年刈割后土壤过氧化氢酶活性更高,说明刈割特别是轻度刈割能够促进过氧化氢酶对氧化氢的分解,降低氧化氢对生物体的毒害作用<sup>[51]</sup>。刈割对中性磷酸酶活性的影响则相反,连年刈割和隔年刈割都会显著降低中性磷酸酶的活性,从而对土壤中磷的转化过程产生一定的影响,在后续的实验要深入研究土壤磷元素的转化过程及有效性。本实验还发现根际土壤含水量与土壤中性磷酸酶活性呈现显著负相关( $P < 0.05$ ),而并不影响其它几种酶的活性,这与 Waldrop 等的研究结论相一致<sup>[52]</sup>,水分对酶活性的影响因酶的种类而异。Steinweg 等<sup>[53]</sup>发现较低的土壤含水量会严重抑制土壤中的酶活性,本实验三个处理的根际土壤含水量的水平均较低,低于 10%,可能使土壤中某些微生物活动受到抑制,导致土壤中性磷酸酶活性受到影响而降低<sup>[54]</sup>。

根际这一区域土壤酶活性主要受到根系分泌物、根系凋落物及土壤微生物等的影响<sup>[20,55]</sup>,本实验三种刈

割处理下驼绒藜根际土壤酶活性的变化是不同的。有研究表明刈割会刺激根系碳水化合物的分泌<sup>[18]</sup>,也有学者认为刈割降低植物地下生物量,从而降低了植物向地下的碳输入<sup>[50]</sup>;而且土壤酶活性的变化与刈割后植物生长的时间有关<sup>[55]</sup>。根系分泌物变化对植物地上部损伤响应的时间是不确定的,不同种类微生物的数量和土壤酶活性在不同时间也有差异,所以刈割处理后,对根系分泌物、土壤微生物及土壤酶活性的连续监测是必要的。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] 易津,王学敏,乌仁其木格,张力君. 驼绒藜属植物生物学特性研究进展. 草地学报, 2003, 11(2): 87-94.
- [ 2 ] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被. 北京: 科学出版社, 1985: 712-713.
- [ 3 ] 杨九艳,富象乾,曹自成. 三种驼绒藜属植物营养器官内部构造的解剖. 中国草地, 1995, (2): 32-37.
- [ 4 ] 杨九艳,富象乾,阎贵兴,张素贞. 三种驼绒藜属植物的染色体核型分析. 中国草地, 1996, (1): 67-71.
- [ 5 ] 杨九艳. 两种驼绒藜属植物的植物学和生物学特性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 1988: 17-38.
- [ 6 ] 何玉惠,蒋志荣,王继和. 两种驼绒藜属植物的抗旱生理研究. 甘肃农业大学学报, 2005, 40(2): 212-215.
- [ 7 ] 王学敏. 驼绒藜属植物种子生理特性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2002.
- [ 8 ] Mohajery A, Rasti M. Germination temperature for *Bromus tomentellus* Boiss and *Eurtia ceratoides* (L.) C.A.M. Seed Science and Technology, 1995, 23(1): 241-243.
- [ 9 ] 易津,曹自成,乌仁其木格. 几种不同贮藏条件对华北驼绒藜种子寿命和活力的影响. 内蒙古农牧学院学报, 1994, 15(1): 18-22.
- [ 10 ] 阿拉塔,赵书元,于斌,宝音贺希格. 科尔沁型华北驼绒藜. 内蒙古畜牧科学, 2000, 21(2): 27-28.
- [ 11 ] Cole K L, Henderson N, Shafer D S. Holocene vegetation and historic grazing impacts at capitol reef national park reconstructed using packrat middens. Great Basin Naturalist, 1997, 57(4): 315-326.
- [ 12 ] McKell C M, Otsyina R M, Malechek J. Diets of sheep grazing forage kochia and winter fat mixed grass pastures in late fall. General Technical Report—Intermountain Research Station, USDA Forest Service, 1990, (276): 310-316.
- [ 13 ] Wood M K, Buchanan B A, Skeet W. Shrub preference and utilization by big game on New Mexico reclaimed mine land. Journal of Range Management, 1995, 48(5): 431-437.
- [ 14 ] Schaller G B, Liu W L. Distribution, status, and conservation of wild yak *Bos grunniens*. Biological Conservation, 1996, 76(1): 1-8.
- [ 15 ] 章家恩,刘文高,陈景青,施耀才,蔡燕文. 不同刈割强度对牧草地上部和地下部生长性状的影响. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1740-1744.
- [ 16 ] 马银山,杜国祯,张世挺. 施肥和刈割对冷地早熟禾补偿生长的影响. 生态学报, 2010, 30(2): 279-287.
- [ 17 ] 田冠平,朱志红,李英年. 刈割、施肥和浇水对垂穗披碱草补偿生长的影响. 生态学杂志, 2010, 29(5): 869-875.
- [ 18 ] Hamilton E W III, Frank D A. Can plants stimulate soil microbes and their own nutrient supply? Evidence from a grazing tolerant grass. Ecology, 2001, 82(9): 2397-2402.
- [ 19 ] 张翰文. 平茬对西鄂尔多斯地区荒漠植物霸王补偿生长的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [ 20 ] 常春. 柠条生长季刈割关键技术研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010: 32-43.
- [ 21 ] Kuzyakov Y, Xu X L. Competition between roots and microorganisms for nitrogen: mechanisms and ecological relevance. New Phytologist, 2013, 198(3): 656-669.
- [ 22 ] Hartmann A, Rothballer M, Schmid M. Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. Plant and Soil, 2008, 312(1/2): 7-14.
- [ 23 ] Herman J L, Osmundson E, Ayala C, Schneider S, Timms M. The nature and Impact of Teachers' Formative Assessment Practices. CSE Technical report 703. National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing, 2006.
- [ 24 ] 吴林坤,林向民,林文雄. 根系分泌物介导下植物-土壤-微生物互作关系研究进展与展望. 植物生态学报, 2014, 38(3): 298-310.
- [ 25 ] 章家恩,刘文高,陈景青,施耀才,蔡燕飞. 刈割对牧草地下部根区土壤养分及土壤酶活性的影响. 生态环境, 2005, 14(3): 387-391.
- [ 26 ] 王乐,赵利清,陈育,裴志丽. 西鄂尔多斯草原化荒漠植物群落多样性. 干旱区研究, 2015, 32(2): 258-265.
- [ 27 ] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1988: 29-82.
- [ 28 ] 李阜棣,喻子牛,何绍江. 农业微生物学实验技术. 北京: 中国农业出版社, 1996: 305-307.
- [ 29 ] 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987: 97-99.
- [ 30 ] Antonsen H, Olsson P.A. Relative importance of burning, mowing and species translocation in the restoration of a former boreal hayfield: responses of plant diversity and the microbial community. Journal of Applied Ecology, 2005, 42(2): 337-347.

- [31] 郭明英, 朝克图, 尤金成, 徐丽君, 王丽娟, 贾淑杰, 辛晓平. 不同利用方式下草地土壤微生物及土壤呼吸特性. 草地学报, 2012, 20(1): 42-48.
- [32] 董雪. 沙冬青平茬技术及刈割后生理生化特性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [33] 王平平. 刈割驼绒藜(*Krascheninnikovia ceratoides*) 补偿生长特征与光合、水分生理特性[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2014.
- [34] 原焯, 张钊, 赵宁, 张永娟, 梁虹, 戎郁萍. 火烧和刈割耙除对草原土壤理化性质的影响. 草业科学, 2011, 28(10): 1770-1776.
- [35] 王平平, 杨劫, 陈宇琪, 宋炳煜, 淡沐春. 刈割对驼绒藜光合及水分生理状况的影响. 中国草地学报, 2014, 36(4): 85-91.
- [36] Mikola J, Yeates G W, Barker G M, Wardle D A, Bonner K I. Effects of defoliation intensity on soil food-web properties in an experimental grassland community. *Oikos*, 2001, 92(2): 333-343.
- [37] Dijkstra F A, Cheng W X. Interactions between soil and tree roots accelerate long-term soil carbon decomposition. *Ecology Letters*, 2007, 10(11): 1046-1053.
- [38] Kuzyakov Y. Review: factors affecting rhizosphere priming effects. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2002, 165(4): 382-396.
- [39] 傅华, 裴世芳, 张洪荣. 贺兰山西坡不同海拔梯度草地土壤氮特征. 草业学报, 2005, 14(6): 50-56.
- [40] Kuzyakov Y, Siniakina SV, Ruehlmann J, Domanski G, Stahr K. Effect of nitrogen fertilisation on below-ground carbon allocation in lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2002, 82(13): 1432-1441.
- [41] Sullivan BW, Hart SC. Evaluation of mechanisms controlling the priming of soil carbon along a substrate age gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 58: 293-301.
- [42] Clark F E, Paul E A. The microflora of grassland. *Advances in Agronomy*, 1970, 22(37): 375-435.
- [43] 罗明, 邱沃. 新疆平原荒漠盐渍草地土壤微生物生态分布的研究. 中国草地, 1995, (5): 29-33.
- [44] 邵玉琴, 赵吉, 刘钟龄, 张海军, 宝音陶格涛. 割草频率对土壤微生物数量和植物地下生物量的影响. 生态学杂志, 2006, 25(10): 1191-1195.
- [45] 吕桂芬, 吴永胜, 李浩, 马万里, 卢萍. 荒漠草原不同退化阶段土壤微生物、土壤养分及酶活性的研究. 中国沙漠, 2010, 30(1): 104-109.
- [46] 姚槐应. 土壤微生物生态学及其实验技术. 北京: 科学出版社, 2006.
- [47] Innes L, Hobbs P J, Bardgett R D. The impacts of individual plant species on rhizosphere microbial communities in soils of different fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 2004, 40(1): 7-13.
- [48] 谭红妍, 陈宝瑞, 闫瑞瑞, 辛晓平, 陶金. 草地土壤微生物特性及其对人为干扰响应的研究进展. 草地学报, 2014, 22(6): 1163-1170.
- [49] 杨万勤, 王开运. 土壤酶研究动态与展望. 应用与环境生物学报, 2002, 8(5): 564-570.
- [50] Ilmarinen K, Mikola J. Soil feedback does not explain mowing effects on vegetation structure in a semi-natural grassland. *Acta Oecologica*, 2009, 35(6): 838-848.
- [51] 曹慧, 孙辉, 杨浩, 孙波, 赵其国. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 105-109.
- [52] Waldrop M P, Firestone M K. Altered utilization patterns of young and old soil C by microorganisms caused by temperature shifts and N additions. *Biogeochemistry*, 2004, 67(2): 235-248.
- [53] Steinweg J M, Dukes J S., Wallenstein M D. Modeling the effects of temperature and moisture on soil enzyme activity: Linking laboratory assays to continuous field data. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 55: 85-92.
- [54] 陈晓丽, 杨燕, 王根绪, 杨阳. 山地森林表层土壤酶活性对短期增温及凋落物分解的响应. 生态学报, 2015, 35(21), doi: 10.5846/stxb201312182982.
- [55] Toberman H, Chen C R, Xu Z H. Rhizosphere effects on soil nutrient dynamics and microbial activity in an Australian tropical lowland rainforest. *Soil Research*, 2011, 49(7): 652-660.