

孟儒,米文韬,赵源,等.人工灌木林平茬对科尔沁沙地林下植被和土壤多功能性的影响[J].中国沙漠,2026,46(3):209-218.

人工灌木林平茬对科尔沁沙地林下植被和土壤多功能性的影响

孟儒¹,米文韬¹,赵源¹,李玮¹,任卫波¹,李向晨²,张今奇²

(1.内蒙古大学生态与环境学院/内蒙古草地生态学重点实验室-省部共建草地生态学国家重点实验室,内蒙古呼和浩特 010021; 2.赤峰市林业科学研究所 内蒙古赤峰森林生态系统定位观测研究站,内蒙古赤峰 024005)

摘要:平茬作为灌木林更新复壮的重要举措,可以有效抑制灌木林衰老化,也是退化灌木林生态修复与质量提升的有效途径。本研究以翁牛特旗人工建植3年的柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)灌木林草地为研究对象,通过分析平茬与未平茬处理下柠条锦鸡儿林草地植物群落结构、土壤养分及微生物群落变化,并结合土壤多功能性,探讨平茬措施对沙地土壤多功能性的影响。结果表明:(1)平茬措施显著增加了植物群落的地上生物量。(2)平茬后,深层土壤速效钾含量显著增加,浅层土壤有机碳含量显著增加,而浅层土壤pH显著下降。(3)平茬前后土壤细菌和真菌群落的多样性指数无显著差异。(4)平茬措施显著增加了土壤多功能性。综上,平茬措施可以有效促进沙地植物生长以及在土壤改良方面表现出一定的作用,可作为沙地生态系统管理的有效手段。

关键词:沙地;平茬措施;土壤养分;土壤多功能性

文章编号:1000-694X(2026)03-209-10

DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2026.00013

中图分类号:Q948.113

文献标志码:A

0 引言

荒漠化严重威胁全球生态安全与可持续发展^[1]。沙漠化作为荒漠化的主要类型,指干旱半干旱及部分半湿润等生态脆弱区内,人类不合理的经济活动与脆弱环境相互作用,导致的土地退化过程^[2]。中国北方干旱区半干旱区是沙漠化治理的重点区域,对探索高效稳定的治沙模式与实现沙漠化土地可持续发展具有重要意义^[3]。科尔沁沙地是中国四大沙地之一,地处内蒙古高原向东北平原的过渡地带,总面积约12万km²,涵盖19个旗(县区)^[4-6],是现代沙漠化最严重的区域之一^[6-8]。在科尔沁沙地防沙治沙实践中,经历了由单一措施向综合治理不断推进的探索之路,通过退耕还林、封山育林、飞播灌草等一系列生态工程措施,实现了治理速度大于沙化速度的良性逆转^[7-8]。柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)为豆科锦鸡儿属落叶灌木,蒸腾速率低、抗逆性强,是水土保持、防风固沙的优良灌木,已被

广泛应用于沙地和退化草地的生态修复^[9]。柠条锦鸡儿种植能够有效提升土壤水肥条件,促进林下植物群落和土壤微生物群落的构建,从而减轻土壤风蚀、增强土壤固结^[10-12]。

随着柠条锦鸡儿林龄增长,生长过密、个体老化、群落衰退等问题逐渐显现^[13]。平茬作为关键的灌木更新和生态调控手段,通过促进灌木细根生长、强化细根网络与土壤的胶结作用,提升土体稳定性与抗侵蚀能力,有效维持生态系统功能,在促进植被更新、生物多样性恢复以及改善土壤环境等方面发挥重要作用^[14-17]。

当前国内外关于灌木平茬的研究多集中于平茬高度、频次、年限、灌木再生及平茬机械设备等方面,关于其对林下植物群落结构、土壤养分、微生物群落及土壤多功能影响的综合评估仍相对不足。因此,本研究以人工修复沙地为研究对象,旨在分析平茬措施对柠条锦鸡儿生长、植物群落结构、土壤理化性质、微生物群落及土壤多功能性的影响,

收稿日期:2025-12-24; 改回日期:2026-03-03

资助项目:内蒙古自治区揭榜挂帅项目(2024JBGS0007)

作者简介:孟儒(1998—),女,河北省承德人,博士,主要从事生态修复技术研究。E-mail: mengru2100922764@163.com

通信作者:任卫波(E-mail: rweibo2022@163.com)

并探讨土壤养分与植被、土壤多功能性之间的关系,为沙地人工灌丛的科学管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究区域位于内蒙古自治区赤峰市翁牛特旗乌丹镇(43°03′06″N, 119°43′59″E),地处科尔沁沙地西缘。该地区属温带半干旱大陆性季风气候,春季干旱少雨多风沙,雨水集中于7—9月,冬季漫长干冷,多年平均降水量300~400 mm,年平均气温5.5~6.4℃。土壤类型为沙质土壤;植被主要为灌木和草本植物,旱生和沙生植被分布广泛^[18-19]。该地区于2021年春季人工穴状整地,随整地随栽植柠条锦鸡儿一年生裸根苗,株行距为2 m×2 m。2023年进行平茬,柠条锦鸡儿为春季垂直主风方向带状平茬,平茬带宽度不超50 m,保留带经过一个生长期后进行平茬,留茬高度5~10 cm。

1.2 采样方法

2024年7月在平茬与未平茬样地内分别设置3条样线,每条样线上设置4个1 m²的样方,共计24个样方。记录每种植物的高度(Vegetation height, VH)、盖度(Vegetation cover, VC)、密度(Vegetation density, VD),用于计算植物群落多样性指数。将样方内每种植物齐地刈割,带回实验室置于烘箱65℃下烘干至恒重,估算植物地上生物量(Aboveground biomass, AGB)。

在每个样方内使用土钻分别采集浅(0~10 cm)、中(10~20 cm)和深(20~30 cm)3层土壤样品;同一条样线内相同土层的样品混合,通过2 mm土筛去除石块和根系。混合土样分为两部分:一部分在阴凉处自然风干,用于土壤理化性质测定;另一部分置于无菌离心管中在液氮中保存,用于16S和ITS高通量测序。使用环刀在对应土层采集未扰动原状土,用于测定土壤含水量(Water content, WC)和容重(Bulk density, BD)。

1.3 指标测定

土壤碱解氮(Alkali hydrolyzed nitrogen, AN)采用碱解扩散法测定,速效磷(Available phosphorus, AP)采用钼锑抗比色法测定,速效钾(Available po-

tassium, AK)采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定;全氮(Total soil nitrogen, TN)采用凯氏定氮法测定,全磷(Total soil phosphorus, TP)采用钼锑抗比色法测定,全钾(Total potassium, TK)采用火焰光度法测定,有机碳(Organic carbon, SOC)采用重铬酸钾氧化-硫酸亚铁滴定法测定^[20]。土壤pH由pH计直接测定,土壤容重(Bulk density, BD)通过环刀法获取原状土,计算单位体积烘干土壤质量;土壤含水量(Water content, WC)则以105℃下恒温烘干24 h的失重百分比表示^[21]。

利用试剂盒(Magen, 广州, 中国)提取土壤总DNA,分别采用引物341F/806R和ITS3 KYO2/ITS4对细菌16S rRNA基因V3-V4区和真菌ITS2区进行PCR扩增,扩增产物由广州基迪奥生物科技有限公司建库并在Illumina MiSeq平台进行双端测序。测序序列以97%相似度聚类为操作分类单元(OTU),并分别基于SILVA和UNITE数据库对细菌与真菌的代表序列进行分类注释。

1.4 植被多样性指数计算

重要值计算^[22]:

重要值 = (相对高度 + 相对盖度 + 相对密度)/3(1)

采用Shannon-Wiener指数(H)、Simpson(M)指数、Pielou指数(J)、Margalef指数(R)表征植物群落多样性^[23]。

Shannon-Wiener物种多样性指数:

$$H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

式中: P_i 是第*i*个物种的相对多度; S 是物种总数。

Simpson物种优势度指数:

$$M = 1 - \sum_{i=1}^S (P_i^2) \quad (3)$$

式中: P_i 是第*i*个物种的相对多度; S 是物种总数。

Pielou物种均匀度指数:

$$J = H/\ln S \quad (4)$$

式中: H 是Shannon-Wiener物种多样性指数; S 是物种总数。

Margalef物种丰富度指数:

$$R = S - 1/\ln N \quad (5)$$

式中: S 是物种总数; N 是群落中的总个体数。

1.5 土壤多功能性计算

土壤多功能性(Soil Multifunctionality, SMF)是

指土壤同时维持多种生态系统功能和服务的能力,例如养分供应与转化、微生物多样性维持以及水土保持等。本研究采用平均值法计算土壤多功能性,即各指标标准化后在SMF构建中赋予相同权重^[24]。选用土壤细菌和真菌微生物的Sobs、Shannon、Chao 1和Ace多样性指数,以及土壤养分AN、AP、AK、TN、TP、TK、SOC、pH、WC和BD进行计算。为消除量纲间差异,对每个指标进行归一化处理,如式(6),使其取值为0~1。随后进行指标方向一致化:土壤BD划为越少越好、pH划为适中最好,其余指标均划为越多越好。土壤多功能性计算如式(7)。

$$f(X) = [x - \min(x)] / [\max(x) - \min(x)] \quad (6)$$

$$f = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^F r_i (g_i(x_i)) \quad (7)$$

式中: f 是土壤多功能性值; r 是数学函数,用于将功能值转换为正值; g 代表用于标准化函数; F 是测量总功能数。

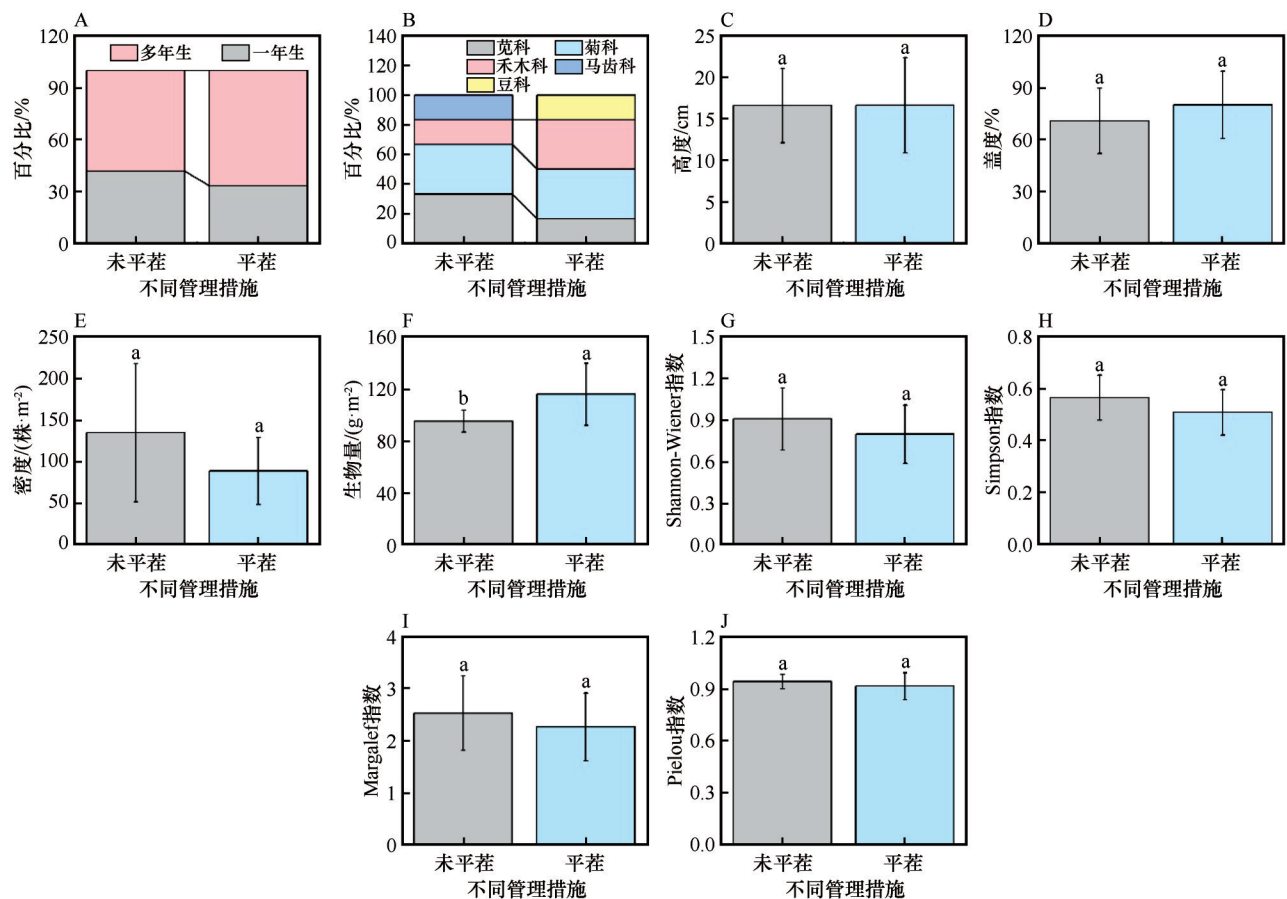
1.6 数据处理与分析

应用Excel 2024对数据进行整理,并计算植物群落的 α 多样性指数,使用R语言对数据进行统计分析,使用Origin 2025对数据进行可视化。分析前,对数据的正态性和方差齐性进行检验,对于不满足正态性和方差齐性的数据进行对数转换,以满足分析条件。使用R语言进行单因素方差分析(one-way analysis of variance),采用最小差异显著法(Least Significant Difference, LSD)进行多重比较,分别检验不同处理间土壤养分、微生物群落多样性指数和土壤多功能性的差异。

2 结果与分析

2.1 平茬措施对植物群落的影响

平茬处理显著影响植物群落的地上生物量(图1)。调查结果显示,研究区域共记录8种植物,



注:不同小字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

图1 平茬措施对植物群落结构的影响

Fig.1 Effects of coppicing measures on plant community structure

隶属于5科。植物群落由多年生草本、一年生草本和半灌木组成(表1)。在未平茬处理中,一年生草本与多年生草本分别占比40%和60%;在平茬处理中,一年生草本和多年生草本分别占比25%和75%,多年生草本占优势(图1A)。苋科(Amaranthaceae)、菊科(Asteraceae)和禾本科(Gramineae)均为样地中草本植物的优势科目(图1B)。平茬与未平茬处理中,糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)与猪毛菜(*Salsola collina*)在群落结构中重要值较高(表1)。平茬与未平茬处理间植物群落的高度、盖度和密度差异不显

著(图1C~图1E),而地上生物量显著提高(图1F);植物群落的Shannon-Wiener指数、Simpson指数、Pielou指数和Margalef指数差异不显著(图1G~J)。

2.2 平茬措施对土壤养分的影响

平茬处理显著影响土壤养分含量(表2)。与未平茬相比,平茬后,深层土壤速效钾含量显著增加,浅层土壤有机碳含量显著增加,而浅层土壤pH显著下降。土壤养分在不同土层间存在显著差异。在平茬和未平茬处理中,随着土壤深度的增加,土壤全磷和土壤含水量呈降低趋势。

表1 沙质退化草地修复3年后植物群落结构组成

Table 1 Composition of vegetation community structure after 3 years of restoration in sandy degraded grassland

| 物种 | 拉丁名 | 科 | 生活型 | 重要值 | |
|------|-----------------------------------|---------------------|-------|------|------|
| | | | | 未平茬 | 平茬 |
| 冷蒿 | <i>Artemisia frigida</i> | 菊科(Asteraceae) | 半灌木 | 0.13 | 0.18 |
| 沙蒿 | <i>Artemisia desertorum</i> | 菊科(Asteraceae) | 半灌木 | 0.20 | 0.22 |
| 沙蓬 | <i>Agriophyllum pungens</i> | 苋科(Amaranthaceae) | 一年生草本 | 0.33 | — |
| 糙隐子草 | <i>Cleistogenes squarrosa</i> | 禾本科(Gramineae) | 多年生草本 | 0.43 | 0.39 |
| 细枝羊柴 | <i>Corethroedendron scoparium</i> | 豆科(Fabaceae) | 半灌木 | — | 0.25 |
| 羊草 | <i>Leymus chinensis</i> | 禾本科(Poaceae) | 多年生草本 | — | 0.14 |
| 马齿苋 | <i>Portulacaoleracea</i> | 马齿苋科(Portulacaceae) | 一年生草本 | 0.18 | — |
| 猪毛菜 | <i>Salsola collina</i> | 苋科(Amaranthaceae) | 一年生草本 | 0.47 | 0.52 |

表2 平茬措施对土壤养分的影响

Table 2 Effects of coppicing measures on soil nutrients

| 处理 | 全氮 $/(g \cdot kg^{-1})$ | 全磷 $/(mg \cdot kg^{-1})$ | 全钾 $/(g \cdot kg^{-1})$ | 碱解氮 $/(mg \cdot kg^{-1})$ | 速效磷 $/(mg \cdot kg^{-1})$ | 速效钾 $/(mg \cdot kg^{-1})$ | 有机碳 $/(g \cdot kg^{-1})$ | pH | 含水量 /% | 容重 $/(g \cdot cm^{-3})$ | |
|----|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------|
| | | | | | | | | | | | |
| 浅层 | 未平茬 | 0.11± 0.00Aa | 108.48± 0.61Aa | 18.42± 1.38Aa | 12.86± 0.66Aa | 2.54± 0.23Aa | 28.70± 0.33Aa | 0.82± 0.09Ba | 7.11± 0.01Aa | 2.89± 0.12Aa | 1.73± 0.03Aa |
| | 平茬 | 0.13± 0.04Aa | 115.65± 3.77Aa | 20.78± 0.61Aa | 12.63± 0.57Aa | 2.58± 0.68Aa | 28.39± 0.86Aa | 1.19± 0.13Aa | 6.88± 0.11Ba | 1.52± 0.35Ba | 1.33± 0.52Aa |
| 中层 | 未平茬 | 0.10± 0.00Aa | 102.01± 2.13Ab | 19.03± 0.56Aa | 10.04± 0.89Ab | 1.87± 0.18Aa | 24.60± 0.08Ab | 0.55± 0.05Ab | 7.16± 0.14Aa | 2.47± 0.01Aab | 1.63± 0.02Ab |
| | 平茬 | 0.10± 0.02Aa | 107.62± 4.24Aab | 20.39± 0.46Aa | 14.39± 1.43Aa | 1.87± 0.36Aa | 29.62± 3.44Aa | 0.76± 0.07Ab | 6.90± 0.10Aa | 0.65± 0.05Bb | 0.65± 0.05Aab |
| 深层 | 未平茬 | 0.09± 0.00Ab | 100.70± 0.57Ab | 20.20± 0.64Aa | 11.58± 0.86Aab | 2.30± 0.47Aa | 24.63± 0.97Bb | 0.61± 0.01Ab | 7.09± 0.13Aa | 2.07± 0.22Ab | 1.65± 0.03Aab |
| | 平茬 | 0.10± 0.02Aa | 102.51± 3.17Ab | 19.84± 0.01Aa | 10.68± 1.21Ab | 2.01± 0.30Aa | 28.47± 1.36Aa | 0.70± 0.14Ab | 7.00± 0.12Aa | 0.37± 0.06Bb | 0.37± 0.06Bb |

注:不同小写字母表示同一处理下不同土层间土壤养分含量差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示同一土层下不同处理间土壤养分含量差异显著($P < 0.05$)。

2.3 平茬措施对土壤微生物群落的影响

平茬处理对土壤微生物产生了影响(图2)。土壤细菌微生物群落的优势门类为放线菌门(*Actinomycetota*)、变形菌门(*Pseudomonadota*)和浮霉菌门(*Planctomycetota*),在平茬与未平茬处理中,其相对丰度总和均超过50%。未平茬处理中,变形菌门在浅层的相对丰度高于中层与深层。平茬处理中变形菌门在浅层的相对丰度低于未平茬处理(图2A)。土壤真菌微生物群落的优势门类为子囊菌门(*Ascomycota*),在各处理中相对丰度均超过70%。未平茬

处理中,球囊霉门(*Glomeromycota*)在浅层的相对丰度低于中层。平茬处理中担子菌门(*Basidiomycota*)在中层的相对丰度高于未平茬处理,而球囊菌门在中层的相对丰度则低于未平茬处理(图2B)。不同处理和土层间土壤细菌与真菌群落的Sobs指数、Shannon指数、Chao 1指数、Ace指数均未表现出显著差异(图3)。Permanova检验显示,各处理间真菌微生物群落存在显著差异(图2C、D)。主坐标分析(PCoA)结果显示,平茬处理后,浅层和中层土壤细菌和真菌微生物与未平茬处理的相异性较高,深层土壤细菌和真菌微生物与未平茬处理的相似性

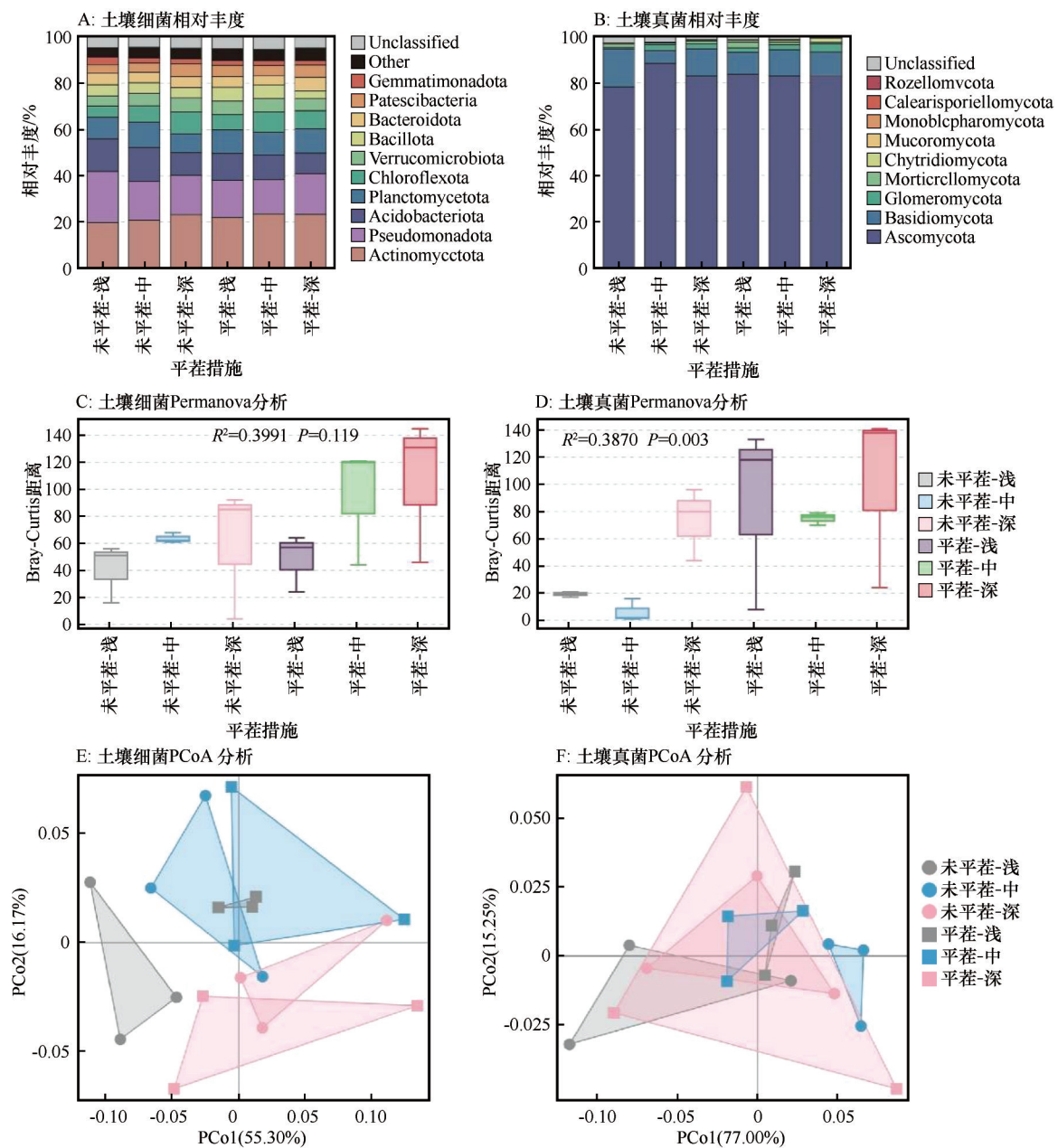
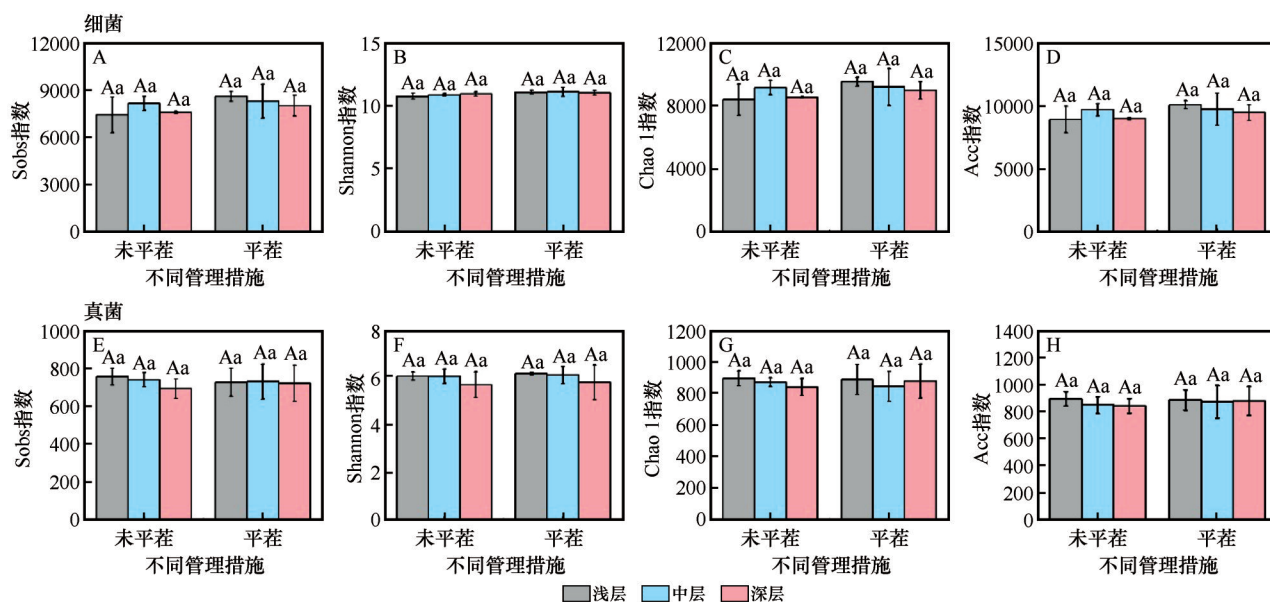


图2 平茬措施对土壤微生物群落组成的影响

Fig.2 Effects of coppicing measures on soil microbial community composition



注:不同小写字母表示同一处理下不同土层间土壤微生物群落的 α 多样性指数差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一土层下不同处理间土壤微生物群落的 α 多样性指数差异显著($P<0.05$)

图3 平茬措施对土壤微生物群落多样性的影响

Fig.3 Effects of coppicing measures on soil microbial community diversity

较高,且土壤细菌微生物群落周转速率高于真菌微生物群落(图2E、F)。

2.4 平茬措施对土壤多功能性的影响

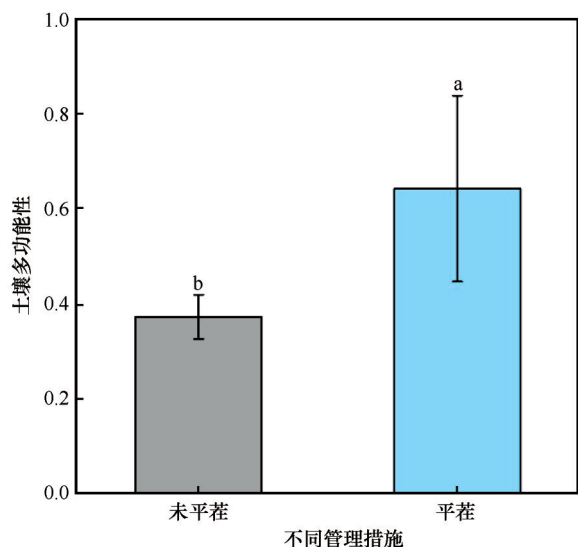
平茬处理后,土壤多功能性显著增加(图4)。平茬作为恢复措施,对于提升土壤的整体功能和生态系统服务功能(如养分循环、微生物活动等)具有积极的影响。相关性分析表明,植物地上生物量(AGB)与土壤全钾(TK)、速效钾(AK)呈显著的正

相关关系,而与含水量(WC)和容重(BD)呈现显著的负相关关系;植物群落的Shannon指数、Simpson指数与Pielou指数与土壤含水量(WC)呈现显著的正相关关系。土壤多功能性(SMF)与土壤全钾(TK)呈现显著的正相关性,而与土壤含水量(WC)和容重(BD)呈现显著的负相关关系(图5)。

3 讨论

3.1 平茬措施对植物群落的影响

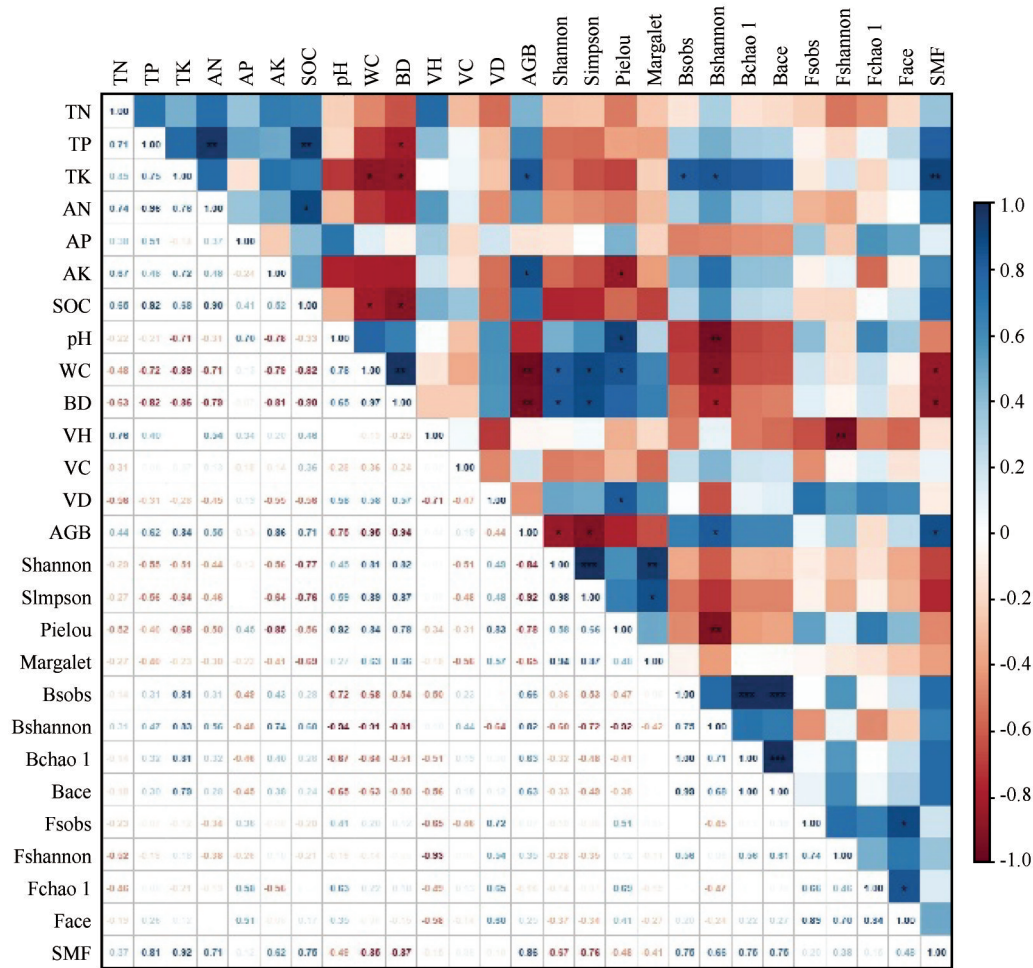
草本植物群落是灌木林中的重要组成部分,在改良土壤理化性质及促进养分循环等方面发挥关键作用^[25]。平茬处理后植物群落地上生物量显著增加,而 α 多样性指数未发生显著变化,这可能与林下光照环境改善和恢复时间较短有关。平茬削弱了灌木冠层的遮蔽作用,改善林内光照条件,为草本植物的生长创造了有利环境^[26]。草本层优势物种获得更好的抚育支持,个体生长速率加快,种群生物量积累显著提升^[27]。但由于恢复时间较短,新物种定殖与扩散需要更长时间,群落组成仍以原有优势物种为主,因此 α 多样性保持稳定。该结果与包哈森高娃等^[28]在科尔沁沙地小叶锦鸡儿人工林中的发现一致,即平茬可显著提高草本生物量,但对多样性影响不显著。此外,平茬效应受实施季节与恢复年限(或周期)调控。有研究表明,宁夏荒漠



注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)

图4 平茬措施对土壤多功能性的影响

Fig.4 Effects of coppicing measures on soil multifunctionality



注: TN:全氮; TP:全磷; TK:全钾; AN:碱解氮; AP:速效磷; AK:速效钾; SOC:有机碳; pH:土壤pH; WC:土壤含水量; BD:土壤容重; VH:植物群落高度; VC:植物群落盖度; VD:植物群落密度; AGB:植被地上生物量; Shannon:植物群落 Shannon-Wiener 指数; Simpson:植物群落 Simpson 指数; Pielou:植物群落 Pielou 指数; Margalef:植物群落 Margalef 指数; Bsobs:细菌 Sobs 指数; Bshannon:细菌 Shannon-Wiener 指数; Bchao1:细菌 Chao 1 指数; Bace:细菌 Ace 指数; Fsobs:真菌 Sobs 指数; Fshannon:真菌 Shannon-Wiener 指数; Fchao 1:真菌 Chao 1 指数; Face:真菌 Ace 指数; SMF:土壤多功能性。*表示 $P < 0.05$; **表示 $P < 0.01$

图5 土壤多功能性与环境因子的关系

Fig.5 Relationships between soil multifunctionality and environmental factors

草原7月平茬更有利于提升植物多样性^[29];而沙柳在造林后4~6年内进行首次平茬、以4年为周期可获得更高生物量^[30]。结合本研究平茬后第二年的结果,短期效应主要体现在光照改善促进优势种生长和生物量积累,而多样性提升可能需要更适宜的平茬时机和更长的恢复时间。

3.2 平茬措施对土壤养分的影响

平茬处理显著提升了土壤速效钾、有机碳含量及土壤多功能性,同时降低了表层土壤的pH、含水量和容重。上述变化可能与平茬诱导的根系补偿生长及表层土壤质地过程有关。平茬后灌木根系发育增强,根系分泌物输入增加,从而促进根际微

生物对有机质的矿化与养分转化,提高养分有效性^[31]。土壤质地是影响土壤水肥条件的关键因素^[32],土壤质地受平茬后地表粗糙度和植被覆盖变化的共同影响,短期内经历先风蚀粗化、后随植被恢复而细化的动态过程,从而影响水土保持与养分积累能力^[33]。此外,平茬降低灌木郁闭度并增强地表蒸散,可能导致土壤表层含水量下降,而有机质输入增加与根系活动则有助于降低土壤容重、改善土壤结构^[27]。研究表明,平茬对土壤水分的影响存在阶段性特征,短期下降,中后期逐步回升^[34]。总体上,养分提升有助于土壤多功能性的改善。尽管本研究处于平茬后第二年,恢复时间较短,部分土壤理化性质指标的差异尚未充分显现,但土壤多功

能性显著提升,表明平茬对土壤综合功能的促进效应可能早于部分单项理化性质指标的响应。

3.3 平茬措施对土壤微生物的影响

本研究表明放线菌门(Actinomycetota)、变形菌门(Proteobacteria)和子囊菌门(Ascomycota)在各地处理中均为优势类群,且平茬前后土壤微生物群落的多样性指数差异不显著。这一研究结果可能与沙地生态系统的特殊环境与平茬恢复年限较短有关。上述优势类群作为土壤微生物的核心组分,广泛参与土壤碳、氮循环及凋落物分解等过程^[35]。土壤微生物主要受温度、水分、pH值、养分等关键环境因子的影响,在沙地生态系统中,平茬前后土壤微生物均受到水分可利用性低、温度波动大及养分贫瘠等因素的共同限制^[36]。平茬后早期恢复阶段,根系周转与凋落物输入等生境变化可能引发微生物群落重组;而优势类群凭借较强的环境适应性与资源竞争能力,能够快速响应并占据新生态位,驱动群落组成(β 多样性)的相对快速调整^[37-38]。然而,本研究中多数土壤养分指标变化有限,环境异质性提升不足,且微生物群落具备一定的抗干扰性,因此 α 多样性整体保持稳定^[39]。

4 结论

平茬措施作为生态系统管理手段之一,对植被、土壤及微生物等多个层面产生了影响。平茬显著提高了植物群落地上生物量,并促进多年生草本占优势;同时改善表层土壤有机碳与pH状况,提高深层土壤速效钾含量,从而改善土壤养分环境。尽管平茬未改变土壤微生物的 α 多样性,但重塑了浅层与中层微生物群落组成,导致 β 多样性发生显著变化。总体而言,平茬处理后土壤多功能性显著高于未平茬处理,且与部分养分指标呈显著正相关关系,表明养分变量对土壤多功能性综合评价具有重要贡献。在本研究中,平茬后植物群落多样性差异不显著、土壤养分呈改善趋势,表明平茬具有一定管理应用潜力,但其最适强度与恢复时间仍需通过长期、梯度化试验进一步确定。

参考文献:

[1] Zong N, Fu G. Variations in species and function diversity of soil fungal community along a desertification gradient in an al-

pine steppe[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 131: 108197.

- [2] 朱震达,刘恕,邸醒民. 中国的沙漠化及其治理[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1-7.
- [3] Zhao H L, Guo Y R, Zhou R L, et al. Biological soil crust and surface soil properties in different vegetation types of Horqin Sand Land, China[J]. *Catena*, 2010, 82(2): 70-76.
- [4] Fan J Q, Xu Y, Ge H Y, et al. Vegetation growth variation in relation to topography in Horqin Sandy Land[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 113: 106215.
- [5] 张建鹏,雷鹿鸣,李玉强,等. 生态系统服务供需视角下科尔沁沙地人地系统可持续性评价[J]. *中国沙漠*, 2025, 45(4): 176-189.
- [6] 曹雯婕,陈云,李玉强,等. 长期围封恢复对科尔沁沙地严重沙漠化草地植物群落的影响[J]. *中国沙漠*, 2025, 45(4): 262-271.
- [7] 张铜会,赵学勇. 奈曼沙漠化研究站40年沙地治理成果试验示范与进展[J]. *中国沙漠*, 2025, 45(4): 3-7.
- [8] 李玉强,王旭洋,郑成卓,等. 科尔沁沙地防沙治沙实践与生态可持续修复浅议[J]. *中国沙漠*, 2024, 44(4): 302-314.
- [9] 廉泓林,李卫,冯金超,等. 科尔沁沙地典型固沙人工林地土壤水分时空特征及其对环境因子的响应[J]. *生态学报*, 2021, 41(20): 8256-8265.
- [10] Yao Y F, Zhao Z N, Wei X R, et al. Effects of shrub species on soil nitrogen mineralization in the desert-loess transition zone[J]. *Catena*, 2019, 173: 330-338.
- [11] 何文强,王瑞霞,田英,等. 毛乌素沙地南缘柠条固沙林演替过程中林下草本植物多样性与群落稳定性动态变化及其驱动因素[J]. *生态学报*, 2025, 45(22): 11171-11183.
- [12] 姚佳妮,代金霞,刘爽,等. 宁夏荒漠草原典型灌丛根际土壤细菌群落结构与功能[J]. *生态学报*, 2024, 44(20): 9285-9299.
- [13] 刘鑫,张毓涛,师庆东,等. 平茬对天山北坡浅山带灌木群落生长及碳收支的影响[J]. *干旱区研究*, 2025, 42(5): 895-906.
- [14] 郭琪林. 宁夏半荒漠化地区柠条林平茬复壮技术研究[J]. *农业开发与装备*, 2025(10): 217-219.
- [15] 刘剑荣,杨磊,卫伟,等. 半干旱黄土区柠条灌丛不同植被管理方式下的土壤水分[J]. *草业科学*, 2021, 38(8): 1439-1450.
- [16] 宋鑫洋,牟梦宇,赵晨光,等. 黄土高原衰退柠条(*Caragana korshinskii*)林近自然修复技术模式[J]. *中国沙漠*, 2025, 45(3): 283-290.
- [17] 卢亚慧,格日乐,志辉,等. 沙棘根土复合体抗剪特性对平茬复壮响应[J]. *水土保持通报*, 2025, 45(5): 63-71.
- [18] Niu T, Yu J X, Yue D P, et al. Differential law and influencing factors of groundwater depth in the key agricultural and pastoral zones driven by the minimum hydrological response unit[J]. *Applied Sciences*, 2020, 10(20): 1-27.
- [19] 肖涛,韩广,韩华瑞. 干旱区县域土地覆被变化特征及其生态环境效应: 以内蒙古自治区翁牛特旗为例[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(6): 240-246.
- [20] Zhang Y D, Gao M, Yu C Y, et al. Soil nutrients, enzyme activi-

- ties, and microbial communities differ among biocrust types and soil layers in a degraded karst ecosystem[J]. *Catena*, 2022, 212:106057.
- [21] Zhang Y Z, Yang S, Zhang K, et al. Growing season grazing promotes the shallow stratification of soil nutrients while non-growing season grazing sequesters the deep soil nutrients in a typical alpine meadow[J]. *Geoderma*, 2022, 430:116111.
- [22] 谭许脉, 孙立祥, 杜忠毓, 等. 铜矿废弃地不同演替阶段植物群落特征及其稳定性[J]. *生态学报*, 2025, 45(4):1900-1912.
- [23] 苏晓雪, 李希来, 孙华方, 等. 高原鼠兔和刘割扰动对高寒草甸植物群落和土壤特征的影响[J]. *生态学报*, 2024, 44(22):10189-10199.
- [24] Ayuso S V, Onatibia G R, Yahdjian L, et al. Soil multifunctionality increases after grazing abandonment in semiarid rangelands[J]. *Applied Soil Ecology*, 2024, 201:105522.
- [25] 石苗苗, 霍建强, 韩高玲, 等. 宁夏盐池人工柠条 (*Caragana korshinskii*) 林草本群落特征[J]. *中国沙漠*, 2025, 45(3):337-345.
- [26] 李清雪, 贾志清, 何凌仙子, 等. 高寒沙地沙柳人工林林下草本群落及土壤特性[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2025, 45(4):89-96.
- [27] 魏亚娟, 刘美英, 左小锋, 等. 平茬对吉兰泰盐湖花棒防护林植被特征和土壤理化性质的影响[J]. *水土保持学报*, 2023, 37(4):250-257.
- [28] 包哈森高娃, 阿拉坦花, 丰洁, 等. 科尔沁沙地不同林龄小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla*) 人工林群落特征及平茬抚育后状况[J]. *中国沙漠*, 2015, 35(6):1527-1531.
- [29] 李浩霞, 温学飞, 田英. 生长季平茬对梁地柠条林间植被群落多样性的影响[J]. *宁夏农林科技*, 2022, 63(2):11-15.
- [30] 海龙, 王晓江, 张文军, 等. 毛乌素沙地人工沙柳 (*Salix psammophila*) 林平茬复壮技术[J]. *中国沙漠*, 2016, 36(1):131-136.
- [31] 贾希洋, 周静静, 宿婷婷, 等. 平茬密度对荒漠草原人工柠条林间生境的影响[J]. *生态学报*, 2020, 40(12):4126-4136.
- [32] 卞莹莹, 陈林, 王建明, 等. 平茬对荒漠草原区人工柠条林地土壤理化性质的影响[J]. *草地学报*, 2018, 26(6):1347-1353.
- [33] 毛东雷, 雷加强, 庞营军, 等. 新疆策勒县固定沙地骆驼刺带状平茬对地表蚀积变化的影响[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(5):173-179.
- [34] 陈振, 王明睿, 王长陞, 等. 不同平茬年限柠条林下草本植物多样性分析[J]. *现代园艺*, 2025, 48(9):30-33.
- [35] Qi L, Meng R, Ren W B, et al. Biological crusts increase soil microbial biomass and alter bacterial and fungal community compositions under pine restored over ten years in a Pisha sandstone soil[J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2025, 13:1524202.
- [36] 孙一梅, 田青, 吕朋, 等. 科尔沁沙地沙质草地与固定沙丘植物群落结构对极端干旱的响应[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(1):129-136.
- [37] Zhou Y Z, Li G Y, Li J X, et al. Wildfire reshapes the composition and symbiotic networks of soil microbial communities in alpine marshy meadows[J]. *Catena*, 2026, 262:109652.
- [38] 宁志英, 李玉霖, 赵学勇, 等. 科尔沁沙地优势植物凋落物分解对土壤微生物群落的影响[J]. *中国沙漠*, 2025, 45(4):190-199.
- [39] Wen J, Gong X Q, Ma X M, et al. Soil bacterial community structure determines its resistance: a case study of aerial seeding restoration in the Mu Us Sandy Land, China[J]. *Applied Soil Ecology*, 2024, 202:105535.

Effect of coppicing in artificial shrub plantations on understory vegetation and soil multifunctionality in the Horqin Sandy Land

Meng Ru¹, Mi Wentao¹, Zhao Yuan¹, Li Wei¹, Ren Weibo¹, Li Xiangchen², Zhang Jinqi²

(1.School of Ecology and Environment / Inner Mongolia Key Laboratory of Grassland Ecology and the Candidate State Key Laboratory of Ministry of Science and Technology, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 2.Inner Mongolia Chifeng Forest Ecosystem Positioning Observation Research Station, Chifeng Forestry Science Research Institute, Chifeng 024005, Inner Mongolia, China)

Abstract: Coppicing, as an important measure for the rejuvenation and renewal of shrub forests, not only effectively curbs the aging of shrub forests but also serves as an effective approach for the ecological restoration and quality improvement of degraded shrub forests. This study took the three-year-old artificially planted *Caragana korshinskii* shrubland grassland in Wengniute Banner as the research object. By analyzing the changes in vegetation community structure, soil nutrients, and microbial communities in the *Caragana korshinskii* shrubland under the treatments of coppicing and no coppicing, and integrating these results with soil multifunctionality, we examined the effects of coppicing on soil multifunctionality in sandy land. The results showed that: (1) The coppicing measure significantly increased aboveground biomass of the plant community. (2) After coppicing, the soil available potassium content increased significantly in deeper layers, soil organic carbon increased significantly in surface layers, and soil pH decreased significantly in surface layers. (3) There was no significant difference in the diversity index of soil bacterial and fungal communities before and after coppicing. (4) The coppicing measure significantly enhanced soil multifunctionality. In conclusion, the coppicing measure effectively promotes plant growth in sandy lands and shows measurable benefits for soil improvement, suggesting that it can be an effective management practice for sandy-land ecosystems.

Key words: sandy land; coppicing; soil nutrients; soil multifunctionality