

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

魏亚娟^{1,2}, 刘美英³, 左小锋⁴, 郭靖⁵, 解云虎¹, 吴昊⁶, 悦普庆¹

- (1.包头师范学院资源与环境学院, 内蒙古 包头 014030; 2.内蒙古农业大学沙漠治理学院, 呼和浩特 010018;
3.内蒙古农业大学草原与资源环境学院, 内蒙古自治区土壤质量与养分资源重点实验室, 呼和浩特 010018;
4.北京师范大学地理科学学部地表过程与资源生态国家重点实验室, 防沙治沙教育部工程研究中心, 北京 100875;
5.内蒙古包钢稀土钢板材厂, 内蒙古 包头 014010; 6.内蒙古自治区科学气象研究院, 呼和浩特 010051)

摘要: 为探究平茬措施对吉兰泰盐湖防护林植被和土壤的影响, 以吉兰泰荒漠绿洲过渡带不同平茬年限(1, 2, 3 年)的人工花棒林为研究对象, 对比分析不同平茬年限的花棒林植被生长特征和土壤理化性质。结果表明: (1) 平茬有利于花棒自我更新。平茬后花棒株高、基径随平茬年限增加而增大, 新生枝数与之相反。(2) 平茬增加林下草本生物量和草本植物多样性, 不同平茬年限花棒林间植物生活型均以一年生植物和多年生植物为主。林下植被盖度、密度、株高、地上生物量、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Margalef 丰富度指数均以平茬 3 年最高。(3) 平茬初期的风蚀作用导致地表部分细颗粒被吹蚀, 0—30 cm 土层土壤机械组成均以细砂和中砂为主, 其值为 77.63%~88.02%。(4) 平茬促进土壤水分蓄积, 0—200 cm 土层土壤含水量按平茬年限由大到小依次为 3 年>2 年>1 年>未平茬, 但土壤水分稳定性变差。(5) 平茬有利于土壤养分积累, 花棒林下土壤有机碳、全氮、全磷、碱解氮和速效磷以平茬后 3 年最高, 较未平茬分别增加 6.67%, 12.90%, 20.00%, 115.51%, 66.24%。研究结果表明适当平茬可以改善林间生境, 但是在平茬初期, 需要对地表进行覆盖, 防止土壤水分蒸散。

关键词: 平茬; 植被多样性; 土壤养分; 变异系数; 花棒; 吉兰泰盐湖防护林

中图分类号: S714.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2023)04-0250-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2023.04.031

Effects of Prune Measure on Vegetation Characteristics and Soil Physical and Chemical Properties of *Hedysarum scoparium* Protection Forest in Jilantai Salt Lake

WEI Yajuan^{1,2}, LIU Meiyong³, ZUO Xiaofeng⁴, GUO Jing⁵, XIE Yunhu¹, WU Hao⁶, YUE Puqing¹

- (1. Department of Resource and Environment, Baotou Teachers' College, Baotou, Inner Mongolia 014030;
2. College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018;
3. Inner Mongolia Key Laboratory of Soil Quality and Nutrient Resource, College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018; 4. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, MOE Engineering Research Center of Desertification and Blown-sand Control, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875; 5. Inner Mongolia Baotou Steel Rare Earth Steel Plate Co., Ltd., Baotou, Inner Mongolia 014010; 6. Inner Mongolia Institute of Meteorological Science, Hohhot 010051)

Abstract: In order to investigate the effects of pruning measures on the vegetation and soil of the salt lake protection forest in the transition zone of the Jilantai Desert Oasis, planted flower stick forests with different pruning years (1, 2 and 3 years) were used as research objects to compare and analyse the vegetation growth characteristics and soil physicochemical properties of *Hedysarum scoparium* forests with different pruning years. The results showed that: (1) Prune measure was beneficial to self-renewal of *Hedysarum scoparium*. The plant height and basal diameter of *Hedysarum scoparium* increased with the increase of age, and number of new branches followed an opposite trend. (2) Prune measure increased herbaceous biomass and

收稿日期: 2023-02-05

资助项目: 内蒙古自治区高等学校碳达峰碳中和研究专项(STZX202213); 国家重点研发计划项目(2019YFC0507605); 包头师范学院高层次人才引进项目(BTTCRCQD2020-011); 包头师范学院自然科学类一般项目(BSYKJ2021-ZY02); 包头师范学院自然科学类重点项目(BSYKJ2022-ZZ01); 内蒙古自治区自然科学基金项目(2021BS04004)

第一作者: 魏亚娟(1994—), 女, 博士, 讲师, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: weiyajuan0305@163.com

通信作者: 解云虎(1987—), 男, 博士, 讲师, 主要从事荒漠化防治及地表风蚀研究。E-mail: xieyhsd@126.com

herbaceous plant diversity under the forest, and the plant life forms were dominated by annuals and perennials in different pruning years of *Hedysarum scoparium* plantation. Understory vegetation coverage, density, plant height, aboveground biomass, Shannon-Wiener diversity index, Simpson dominance index and Margalef richness index were the highest in pruning 3 years *Hedysarum scoparium*. (3) At the beginning of pruning *Hedysarum scoparium*, wind erosion caused some fine particles to be blown away on the surface. The mechanical composition of the 0—30 cm soil layer was dominated by fine sand content and medium sand content, with the values ranging from 77.63% to 88.02%. (4) Pruning measure promoted soil water retention. The soil moisture content in 0—200 cm soil layer ranged as follows: 3 years > 2 years > 1 year > no pruning, and soil water stability became inferior. (5) Prune measure was conducive to soil nutrient accumulation. Soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, alkali-hydrolyzed nitrogen and available phosphorus under *Hedysarum scoparium* forest were the highest in 3 years, and increased by 6.67%, 12.90%, 20.00%, 115.51% and 66.24%, compared with no pruning, respectively. The study suggests that appropriate prune measure can improve the habitat of artificial *Hedysarum scoparium*, but the ground surface needs to be covered to prevent soil water evaporation during the initial stage of pruning measure.

Keywords: pruning measure; vegetation diversity; soil nutrients; coefficient of variation; *Hedysarum scoparium*; Jilantai salt lake protection forest

吉兰泰盐湖防护体系于1983年启动,经过30多年的建设,为盐湖防风固沙和正常生产发挥重要作用,同时也是当地重要的生态屏障^[1]。花棒(*Hedysarum scoparium*)作为该地区最典型的人工防护林种,分布范围最广。但是,近年来花棒逐渐呈现衰退的现象,主要表现为树木生长缓慢或停滞、枯梢死亡和结实率低等,林分质量严重下降,其防风固沙能力减弱^[2],导致盐湖被风沙侵袭而影响其正常生产。因此,对吉兰泰盐湖前缘衰退的花棒防护林进行抚育管理,实现防风固沙林的可持续发展,以确保盐湖不被沙埋是当前亟须解决的问题。

灌木平茬是荒漠植物更新复壮的方式之一。不仅可以解决植被衰退问题,还可以对植物群落结构和土壤理化性质产生影响^[3],同时可以缓解畜牧业饲草不足等问题^[4]。荒漠植物具有极强的补偿性生长能力,当地上部分遭到平茬破坏后,地上生物量能够迅速恢复^[5]。平茬不仅解除了植物的顶端优势,还直接或间接影响植物的成枝能力^[6-7]、光合特征、器官营养元素的分配^[3]和水分利用^[4]。平茬有利于刺激灌丛空间格局的发展,使灌丛枝系构型复杂化,还能改变林内生境,促使植被多样性增加,土壤水分和质量也得到一定程度的改善^[8-9]。目前关于灌木平茬的研究多集中于平茬方式、平茬高度,以及平茬后的植被生长状况等方面^[6-9],且多以黄土高原丘陵区植被平茬复壮为主(如平茬对植被生理特性和土壤水分的影响等^[10-12]),而对风沙活动强烈的吉兰泰荒漠地区研究较少。由于吉兰泰地区生态环境脆弱,土壤养分和水分的不足或分布的不平衡导致花棒林生长退化

现象突出。为了提高花棒林地的生产力,当其出现衰退以后必须进行平茬抚育。此外,由于植物自身特性的差异,平茬后不同种类植物之间的更新复壮能力、生长状况、空间格局等方面也不尽相同^[5-7,13]。从植物—土壤整体角度考虑,平茬后随着恢复年限的增加,植被特征以及林下土壤性质如何变化也是研究的重点内容。

基于此,本文以吉兰泰荒漠绿洲过渡带盐湖防护体系不同平茬年限的花棒为研究对象,探究平茬对花棒林下植被多样性、土壤理化性质的影响,以为吉兰泰盐湖防护林生态建设和植被恢复提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于吉兰泰盐湖防护林(39°48′03″—39°48′95″N,105°43′21″—105°43′97″E)。研究区属于典型大陆性干旱荒漠气候,具有冬季寒冷、夏季炎热、风大沙多和干旱少雨的气候特征。研究区多年平均降水量和年平均气温分别为113.6 mm和8.6℃。多年平均风速3.7 m/s,最大风速24 m/s。年平均蒸发量3 023.7 mm,蒸发量为降雨量的26.6倍。林内零星分布多年生草本植物白莎蒿(*Artemisia pharolepis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)和一年生草本植物兴安虫实(*Corispermum chinganicum*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)。研究区地势平坦,无人活动干扰。自然植被种类贫乏,群落结构简单,有些地区甚至出现裸斑,土壤类型主要为风沙土,pH为8.51~9.08,土壤呈强碱性。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 盐湖防护林网始建于 1983 年。在不破坏地表植被情况下,根据地形条件采用挖穴方式建植花棒纯林,其株行距为 1.5 m×2.0 m。建植前 3 年,每年进行 2~3 次喷灌,其后不再有抚育措施。2017 年 10 月在实地调查基础上,对退化花棒生长指标进行测定。然后在 2017 年 10 月、2018 年 10 月和 2019 年 10 月分别对不同样地的退化花棒林进行条带状机械平茬(至 2020 年平茬年限分别标记为 3,2,1 年),平茬高度为 0,茬口不做任何处理,留茬样带长度和宽度分别为 100,8 m,以生长 35 年未平茬的花棒林作为对照,共平茬 4 条样带。样带间隔为 15 m,以防止平茬后初期地表发生风蚀。

1.2.2 植被调查 植被调查和土壤样品采集于 2020 年 8 月进行。首先在不同平茬年限的花棒林地样带内各选择 10 个 8 m×10 m 的样方,共计 40 个。然后对样方内的花棒及其林下草本生长情况进行调查,调查内容包括:花棒株高、基径、新生枝数量、草本植物物种名、数量、高度、盖度等。植物种数量采用计数法;植被高度采用卷尺测量法;植被盖度采用目估法;植被多样性包括:Shannon-Wiener 多样性、Simpson 优势度、Margalef 丰富度和 Pielou 均匀度指数^[14]。

$$\text{重要值} = \frac{(\text{相对频度} + \text{相对盖度} + \text{相对高度} + \text{相对生物量})}{4} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数: } SW = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$\text{Simpson 优势度指数: } D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (3)$$

$$\text{Margalef 丰富度指数: } Ma = \frac{S-1}{\ln N} \quad (4)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数: } J = \frac{SW}{\ln S} \quad (5)$$

式中: S 为物种总数; N 为物种总个体数; P_i 为物种 i 的重要值。

1.2.3 土壤采集与测定 采用“S”形 5 点取样法,用土钻在不同平茬年限的样带内分别采集 5 个样点的 0—10,10—20,20—30 cm 土层土样,作为 5 个平行样。将 5 个采样点同一土层的土壤均匀混合装入塑封袋并编号。带回实验室经自然风干去除动植物残体后,按四分之一法选取其中一份用于土壤机械组成和土壤养分测定。同时,用土钻采集 0—200 cm 土层深度土壤,每层 20 cm,分为 10 个梯度,用于土壤含水量(SM)、土壤容重(SD)测定,每个采样点和深度各 3 个重复。根据陈洪松等^[15]对土壤含水量垂直变异系数的划分标准,依据变异系数将土壤含水量划分为 4 类,分别为速变层($CV > 0.3$)、活跃层($0.2 < CV < 0.3$)、次活跃层($0.1 < CV < 0.2$)和相对稳定层($0 < CV < 0.1$)。土壤容重用环刀法进行测定,土壤水分采用烘干法进行测定^[16]。土壤机械组成采用 3000MU 型激光粒度仪进行测定,以美国制^[17]作为土壤粒径分级标准。土壤有机碳(SOC)、全氮(TN)、全磷(TP)、速效氮(AN)和速效磷(AP)含量依次采用重铬酸钾容量法、全自动凯氏定氮法、氢氧化钠碱熔—钼锑抗比色法、碱解扩散法和钼锑抗比色法^[18]进行测定。

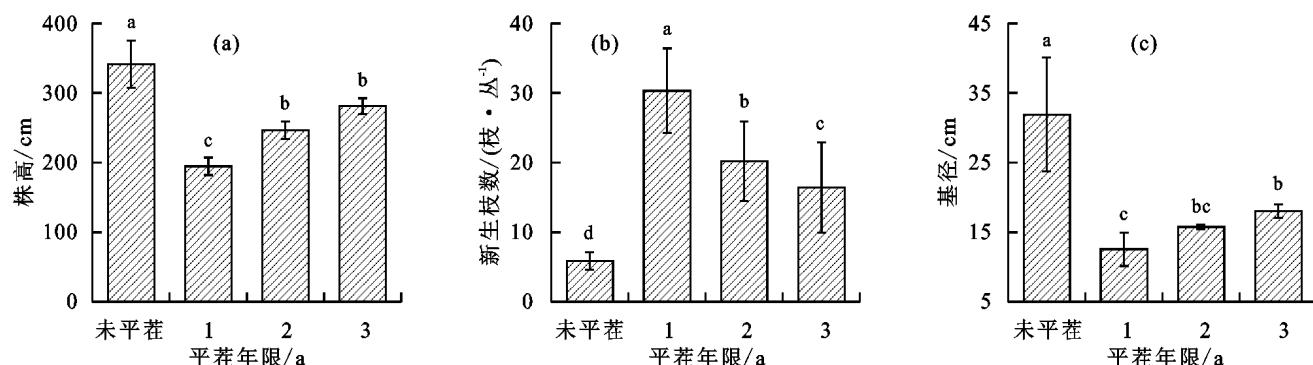
1.3 数据处理

利用 SPSS 20.0 软件对数据进行单因素方差分析(one-factor analysis of variance)和多重比较分析(LSD、Duncan 法)。利用 Origin 2017 软件进行绘图。图表中的数据均为平均值±标准差。并用 Canoco 5.0 软件进行冗余分析(RDA 分析)。

2 结果与分析

2.1 不同平茬年限花棒生长特征

由图 1 可知,花棒平茬后复壮效果显著。平茬后的花棒株高、基径随着平茬年限增加而增大,新生枝数随着花棒生长年限增加而减小。1,2,3 年花棒新生枝数分别是未平茬花棒的 5.18,3.45,2.81 倍($p < 0.05$),说明平茬有利于花棒自我更新。花棒在生长过程中,为了更好地适应环境会进行自疏。



注:图柱上方不同小写字母表示不同平茬年限花棒生长指标差异显著($p < 0.05$)。

图 1 不同平茬年限花棒灌丛生长指标

2.2 不同平茬年限花棒林间植被变化

2.2.1 不同平茬年限花棒林间植物生活型组成 由表 1 可知,不同平茬年限花棒林间植被均以一年生草本为主。与未平茬花棒相比,1,2,3 年花棒林间物种总数分别增加 20.00%,20.00%,40.00%。说明花棒

平茬增加林间草本植物多样性。多年生草本植物重要值比例依次为 3 年>2 年=1 年>未平茬。一年生草本植物重要值比例依次为 3 年>2 年>1 年>未平茬。无论是多年生植物还是一年植物均以平茬 3 年花棒林间物种比例和重要值比例最高。

表 1 不同平茬年限花棒林间植物生活型组成

平茬 年限/a	物种 总数/种	多年生草本			一年生草本		
		物种总数/种	物种比例/%	重要值比例/%	物种总数/种	物种比例/%	重要值比例/%
未平茬	5	0	0	0	5	1.00	61.39
1	6	1	16.67	24.32	5	83.33	62.63
2	6	1	16.67	25.00	5	83.33	65.00
3	7	2	28.57	27.35	5	71.43	66.67

2.2.2 植物群落特征 由表 2 可知,平茬 1,2,3 年花棒林下植被盖度、密度、植被高度、地上生物量较未平茬分别增加 29.37%~170.39%,23.55%~196.42%,12.95%~64.76%,8.31%~358.27%。其中,平茬 3 年与未平茬花棒林下植被高度和地上生物量差异显著($p<0.05$)。随着平茬年限增加,林下草本植物盖度、密度、高度和地上生物量均逐渐增大。说明平茬增加林下草本生物量,有利于林下草本植物生长。

平茬后的花棒林间植物 Shannon-Wiener 多样性

指数、Simpson 优势度指数和 Margalef 丰富度指数随着平茬年限增加而逐渐增加,而 Pielou 均匀度指数随着平茬年限增加呈先增后减的变化趋势。平茬 1,2,3 年花棒林间植被 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Margalef 丰富度指数较未平茬分别增加 35.23%~55.68%,20.78%~25.97%,69.01%~85.91%($p<0.05$)。而不同平茬年限花棒 Pielou 均匀度指数差异不显著($p>0.05$),说明平茬增加林下草本植物多样性。

表 2 不同平茬年限花棒林林间植物群落特征

平茬 年限/a	植被 盖度/%	植被密度/ (株·m ⁻²)	植被 高度/cm	地上生物量/ (g·m ⁻²)	多样性指数 Shannon-Wiener	优势度指数 Simpson	丰富度指数 Margalef	均匀度指数 Pielou
未平茬	4.12±0.54c	8.11±1.66c	7.18±0.75b	12.27±2.45b	0.88±0.02b	0.77±0.08b	0.71±0.10b	1.00±0.22a
1	5.33±0.89c	10.02±1.42c	8.11±1.42b	13.29±1.68b	1.19±0.01a	0.93±0.06a	1.20±0.11a	0.98±0.12a
2	7.18±0.75b	14.12±3.78b	8.65±0.41b	14.29±1.16b	1.31±0.03a	0.97±0.10a	1.21±0.11a	1.03±0.18a
3	11.14±6.47a	24.04±3.53a	11.83±2.64a	56.23±6.19a	1.37±0.16a	0.97±0.13a	1.32±0.14a	1.02±0.08a

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示不同平茬年限差异显著($p<0.05$)。下同。

2.3 不同平茬年限花棒土壤理化性质

2.3.1 不同平茬年限花棒土壤机械组成和土壤容重 由表 3 可知,不同平茬年限花棒林 0—30 cm 土壤均以细砂和中砂含量为主,为 77.63%~80.47%,无黏粒。除极细粒外,平茬后的花棒林内土壤机械组成和容重差异不显著($p>0.05$)。土壤粉粒以 3 年花棒最高(0.45%)。平茬 1 年花棒极细砂含量较未平茬减少 6.16%($p<0.05$)。平茬 2,3 年花棒土壤极细粒含量较未平茬分别增加 9.96%和 17.82%,且未平

茬与平茬 3 年极细粒含量差异显著($p<0.05$)。细砂和中砂含量以未平茬花棒最高,分别为 49.82%和 32.20%。土壤粗砂和极粗砂含量以 2 年花棒最高,为 13.19%和 0.45%,这充分说明花棒平茬后,地表风蚀并未加剧。

不同平茬年限土壤容重为 1.57~1.60 g/cm³,平茬 2,3 年花棒林土壤容重较未平茬小,这可能是因为平茬促进花棒根系的生长,根系的穿插作用导致土壤孔隙度增加,从而使土壤容重降低。

表 3 不同平茬年限花棒林间土壤机械组成和土壤容重

平茬 年限/a	机械组成/%							土壤容重/ (g·cm ⁻³)
	黏粒 (<2 μm)	粉粒 (2~50 μm)	极细砂 (50~100 μm)	细砂 (100~250 μm)	中砂 (250~500 μm)	粗砂 (500~1000 μm)	极粗砂 (1000~2000 μm)	
未平茬	0	0.39±0.36a	8.10±3.01b	49.82±7.19a	32.20±1.18a	9.30±3.53a	0.20±0.17b	1.58±0.04a
1	0	0.33±0.03a	7.63±1.36c	47.88±2.96a	31.86±3.13a	12.65±2.18a	0.42±1.21a	1.58±0.09a
2	0	0.34±0.15a	8.39±1.25b	46.1±2.21a	31.53±0.61a	13.19±2.43a	0.45±1.03a	1.56±0.05a
3	0	0.45±0.12a	8.99±0.48a	48.17±2.94a	32.30±1.94a	10.98±1.85a	0.27±0.10b	1.57±0.11a

2.3.2 土壤水分空间异质性 由表 4 可知,2020 年 4—11 月,平茬 1,2,3 年后的花棒林 0—200 cm 土壤

含水量较未平茬分别增加 9.31%, 28.14%, 13.77% ($p < 0.05$), 说明平茬减缓花棒对土壤水分的消耗, 同时也减弱花棒群落之间对水分的竞争压力。平茬 1 年和未平茬花棒林 0—200 cm 土壤含水量随月份呈先减后增的趋势; 而平茬 2, 3 年后的花棒 0—200 cm 土壤含水量随月份延长呈逐渐降低的变化趋势。在 4—5 月, 平茬 1, 2, 3 年后的花棒 0—200 cm 土壤含水量较未平茬分别增加 5.51%, 14.92%, 15.10%。其中, 平茬 2, 3 年后的花棒与未平茬花棒 0—200 cm 土壤含水量差异显著 ($p < 0.05$)。在 6—8 月, 属于花棒生长旺盛期。1, 2, 3 年花棒 0—200 cm 土壤含水量较未平茬分别增加 23.21%, 54.15%, 65.61%。该原因可能是未平茬花棒地上生物量远大于平茬, 地上生物量进行蒸腾作用增加土壤水分消耗。在 9—11 月, 平茬 1, 2, 3 年后的花棒 0—200 cm 土壤含水量较未平茬分别增加 6.74%, 9.89%, 1.79%。其中, 平茬 2 年与未平茬花棒 0—200 cm 土壤含水量差异显著 ($p < 0.05$)。

由图 2a 可知, 不同平茬年限土壤含水量随着土层深度增加而增大。其土壤含水量由大到小依次为 3 年 (4.82%) > 2 年 (4.53%) > 1 年 (4.22%) > 未平茬 (4.19%)。总体而言, 与未平茬相比, 花棒平茬减

少土壤水分消耗, 增加土壤水分蓄积。

表 4 不同平茬年限花棒林间土壤 0—200 cm 土层土壤含水量 单位: %

平茬年限/a	4—5 月	6—8 月	9—11 月	4—11 月
未平茬	5.63±0.16b	3.49±0.45c	4.45±0.79b	4.94±0.35c
1	5.94±0.13b	4.34±0.35b	4.75±0.88b	5.40±0.40b
2	6.47±0.24a	5.38±0.26a	4.89±0.74a	6.33±0.37a
3	6.48±0.21a	5.78±0.47a	4.53±0.94b	5.62±0.33b

由图 2b 可知, 不同平茬年限花棒土壤变异系数随土层深度增加而逐渐降低。对平茬 1 年花棒而言, 0—40 cm 土层属于土壤含水量速变层; 40—60 cm 土层属于土壤含水量活跃层; 60—140 cm 土层属于土壤含水量次活跃层, 而 140—200 cm 土层属于土壤含水量相对稳定层。对平茬 2 年花棒而言, 0—20 cm 土层属于土壤含水量次活跃层; 20—40 cm 土层属于土壤含水量活跃层; 40—100 cm 土层属于土壤含水量次活跃层, 而 120—200 cm 土层属于土壤含水量相对稳定层。对平茬 2 年花棒而言, 20—40 cm 土层属于土壤含水量次活跃层外, 其他土层均属于土壤含水量相对稳定层。对未平茬花棒而言, 0—200 cm 土层均属于土壤含水量相对稳定层。

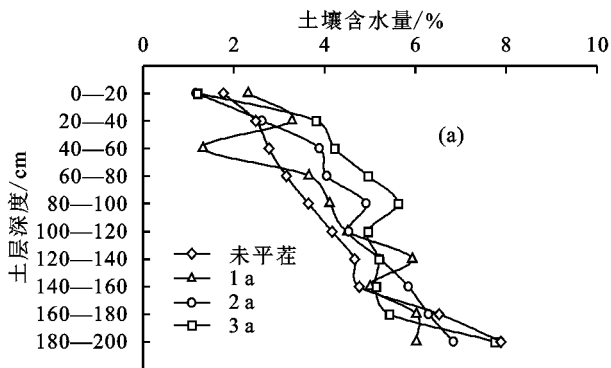
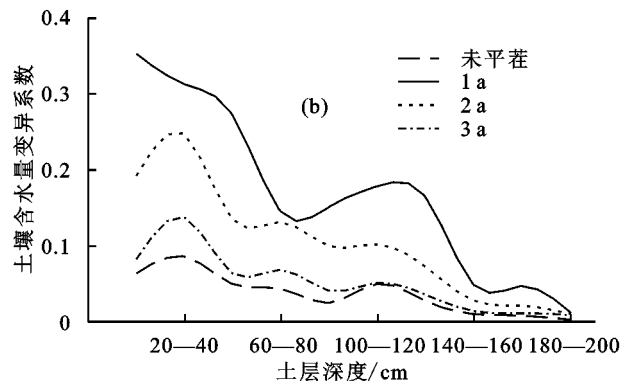


图 2 不同平茬年限花棒林间土壤含水量垂直变化与变异系数



2.3.3 不同平茬年限花棒林间土壤养分含量变化

由表 5 可知, 不同平茬年限花棒林间土壤养分较未平茬有较大差异。其中, 平茬 1 年和 2 年花棒土壤有机碳较未平茬分别减少 13.33% 和 10.48% ($p < 0.05$), 平茬 3 年花棒土壤有机碳较未平茬分别增加 6.67% ($p < 0.05$)。平茬 2 年和 3 年花棒土壤碱解氮较未平

茬分别增加 48.84% 和 115.51% ($p < 0.05$), 而不同年限花棒土壤全氮和全磷之间差异不显著 ($p > 0.05$)。平茬 3 年花棒土壤有效磷较未平茬分别增加 66.24% ($p < 0.05$)。经平茬后的花棒土壤有机碳、全氮、全磷和碱解氮随平茬年限呈逐渐增加的变化趋势, 而有效磷随平茬年限呈先减后增的变化趋势。

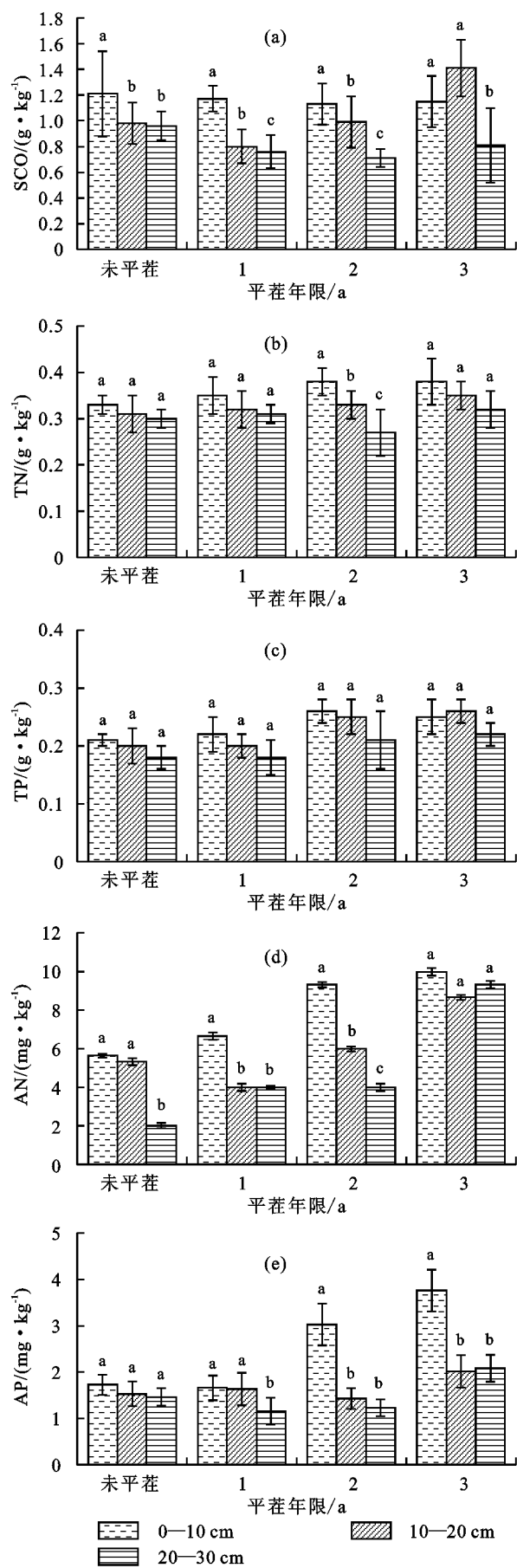
表 5 不同平茬年限花棒林间土壤养分含量

平茬年限/a	SOC/(g · kg ⁻¹)	TN/(g · kg ⁻¹)	TP/(g · kg ⁻¹)	AN/(mg · kg ⁻¹)	AP/(mg · kg ⁻¹)
未平茬	1.05±0.11b	0.31±0.01a	0.20±0.01a	4.32±1.65c	1.57±0.12b
1	0.91±0.18c	0.33±0.02a	0.20±0.02a	4.88±1.25c	1.48±0.23b
2	0.94±0.17c	0.33±0.04a	0.24±0.02a	6.43±2.19b	1.33±0.10b
3	1.12±0.25a	0.35±0.02a	0.24±0.02a	9.31±0.54a	2.61±0.81a

由图 3 可知, 不同平茬年限土壤全氮和全磷随土层深度增加而降低。

而对有机碳、碱解氮和有效磷而言, 除平茬 3 年

花棒外, 其余平茬年限花棒土壤有机碳和碱解氮随土层深度增加而降低。说明花棒林内土壤养分具有明显的表聚作用。

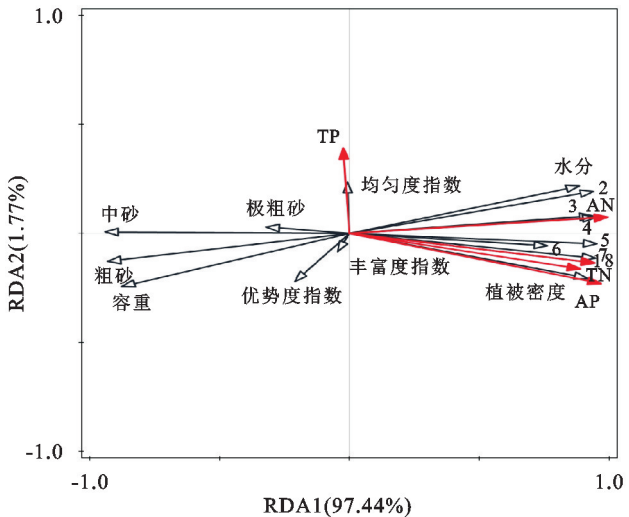


注:图柱上方不同小写字母表示同一平茬年限不同土层深度差异显著($p < 0.05$)。

图 3 不同平茬年限花棒林间土壤养分垂直变化

2.4 不同平茬年限花棒环境因子对土壤养分的影响

由图 4 可知,实心箭头为响因变量,代表花棒土壤养分;空心箭头为解释变量,代表花棒环境因子。轴 1 和轴 2 排序轴累计解释环境因子与土壤养分关系的 99.21%,说明这些指标能很好地反映土壤养分变化。在这些环境因子中,极细砂粒、植被高度、多样性指数、植被盖度、地上生物量、粉粒和水分对土壤养分的影响达到显著水平,对土壤养分的解释量分别为 68.30%,14.40%,8.10%,5.80%,0.50%,0.40%,0.30%。



注:1 为 SOC;2 为多样性指数(8.10%, $p < 0.002$);3 为地上生物量(0.50%, $p < 0.036$);4 为细砂;5 为极细砂(68.30%, $p < 0.02$);6 为植被盖度(5.80%, $p < 0.018$);7 为植被高度(14.40%, $p < 0.002$);8 为粉粒(0.40%, $p < 0.032$)。

图 4 平茬花棒土壤养分与环境因子的冗余分析

3 讨论

3.1 平茬对植被特征的影响

平茬可以改变沙生灌木林的衰退趋势,促进其生长发育^[2]。本研究中,平茬花棒新生枝条分枝数是未平茬花棒的 2.81~5.81 倍,说明平茬有利于激发植物分枝潜能,使植株萌发大量的新生枝条维持自身生存^[13]。这主要因为沙生植物将更多的淀粉存储于根系。平茬将根系中的淀粉转换为可溶性糖和游离氨基酸等物质,这些营养物质向上运输,促使根茎处的侧芽萌蘖。草本植物群落作为荒漠灌木林的重要组成部分,在促进林内灌木生产力和养分循环方面起着关键性作用^[19]。本研究中,平茬 1,2,3 年花棒林下植被盖度、密度、高度、地上生物量较未平茬分别增加 29.37%~170.39%,23.55%~196.42%,12.95%~64.76%,8.31%~358.27%,且林下草本植物盖度、密度、高度和地上生物量随平茬年限逐渐增大。该研究结果与包哈森高娃等^[20]和周静静等^[8]分别对小叶锦鸡儿和柠条林的研究结果相同。其主要原因是平茬

改善样地内的光照、水分等条件,对林间草本植物也起到很好的抚育作用。随着平茬年限增加,多年生草本比例逐渐增加,说明群落向更为稳定的多年生植物演替,群落结构变得更加复杂^[21]。前人^[8,20-21]研究表明,林内草本植被在维护森林生态系统多样性、稳定性和生长力方面起着重要作用。在本研究得出,平茬 1,2,3 年花棒林间植被 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Margalef 丰富度指数较未平茬分别增加 35.23%~55.68%,20.78%~25.97%和 69.01%~85.91%。该研究结果与贾希洋等^[9]对平茬后柠条林下草本植被多样性的研究存在一定差异。贾希洋等^[9]研究表明,全部平茬后,林间植被多样性指数低于未平茬。这是由于平茬减小花棒灌木盖度,导致林内微环境处于均匀状态,使喜光植物迅速入侵,增加植被多样性^[22]。

3.2 平茬对土壤物理性质的影响

土壤机械组成是影响土壤养分的关键因子。本研究中,各平茬年限花棒林下 0—30 cm 土壤均以细砂和中砂为主,为 77.63%~80.47%,该研究结果与管雪薇等^[23]对吉兰泰防风固沙林体系的研究结果相同。但平茬 2,3 年花棒土壤极细粒含量较未平茬分别增加 9.96%和 17.82%,且未平茬与 3 年极细粒含量差异显著。该研究结果与李敏等^[24]和卞莹莹等^[25]分别对蛋白桑林地和柠条林地的结论相悖,其研究表明,平茬后,林内土壤粉粒和黏粒含量有不同程度增加。说明隔带平茬后,不同平茬年限的花棒林地均有不同程度风蚀现象发生。由于吉兰泰荒漠绿洲过渡带风沙活动频繁,地表土壤疏松,极易遭到吹蚀,导致地表细粒物质被吹走,粗粒物质在地表累积^[23]。因此,在风沙强烈地区进行平茬时,在平茬初期应该进行枝条覆盖。除此之外,不同平茬年限花棒土壤容重较未平茬虽然有一定程度降低,但是并不显著。这是因为平茬导致花棒粗根和细根生物量大幅度增加,根系的穿插作用,导致土壤孔隙度增加,从而土壤容重降低。但是,由于花棒平茬年限较短,导致土壤容重在不同平茬年限之间并不显著。

降雨是吉兰泰植物生长和发育的主要来源。如何增加拦蓄降水和土壤水分蓄积,是提高防护林生产力的根本问题所在^[10]。本研究得出,平茬 1,2,3 年花棒 0—200 cm 土层土壤含水量较未平茬分别增加 9.31%,28.14%,13.77%,说明平茬后,花棒新萌生的枝条植株相对低矮,地上生物量大幅度减低,导致对土壤水分消耗减小^[11]。本研究还发现,6—8 月含水量小于 4—

5 月和 9—11 月,造成这种差异的原因可能是 6—8 月属于花棒生长旺盛期,花棒为了满足自身生长发育,需要消耗更多的土壤水分。尽管吉兰泰地区降水集中在 6—8 月,但相比之下,高温天气导致地表蒸发和植被生长对土壤水分的消耗更大,因此在该时段土壤含水量减少。从土壤变异系数角度分析,花棒平茬后,土壤水分稳定性明显降低。一方面,平茬后植被覆盖度减小,裸露地表温度较高、风速较大,增加浅层土壤水分的蒸发^[12];另一方面,平茬促进浅层根系的生物量,增加花棒对土壤浅层水分的吸收。

3.3 平茬对土壤养分的影响

全量养分含量决定土壤的潜在供应能力,速效养分是植物营养供给的直接来源^[26]。本研究中,平茬 1 年和 2 年花棒土壤有机碳较未平茬分别减少 13.33%和 10.48%,3 年花棒土壤有机碳较未平茬分别增加 6.67%($p<0.05$)。该研究结果与周静静等^[8]对人工柠条林地的研究结果相悖,其研究表明,平茬后,土壤有机碳含量有一定程度增加。这是因为在平茬 2 年内,萌生花棒林个体和生物量较小,地表覆盖率较低,导致地表粉粒和极细粒物质被吹蚀,土壤有机碳含量较低。但随着花棒生长年限增加,地下生物量(根系)的增加,增强根系的固定作用。同时地上生物量快速增加,风沙流过境时的细颗粒物被拦截并固定在土壤中,导致土壤中的养分含量有所提高。本研究得出,平茬 2 年和 3 年花棒土壤碱解氮较未平茬分别增加 48.84%和 115.51%($p<0.05$)。平茬后 3 年花棒土壤有效磷较未平茬分别增加 66.24%($p<0.05$)。说明花棒平茬后,加速微生物对土壤有机质的分解,生成的纤维素、木质素、多糖和腐殖酸等黑色胶体物能够促进土壤团粒结构的形成,土壤碳氮磷含量增加^[8]。冗余分析表明,土壤极细砂粒、植被高度、多样性指数、植被盖度、地上生物量、粉粒和水分是影响林内土壤养分的主要因子,其测量的环境变量解释了花棒林内土壤养分含量总变异系数的 99.21%,表明花棒林内土壤养分含量受土壤机械组成和林下草本植物的影响较大。

4 结论

(1)花棒平茬增加林间草本植物多样性。平茬增加林间植被盖度、植被密度、植被高度、地上生物量和植被多样性。

(2)花棒平茬减缓花棒对土壤水分的消耗。平茬 1,2,3 年后的花棒林 0—200 cm 土层土壤平均含水量较未平茬分别增加 9.31%,28.14%,13.77%($p<0.05$)。

(3)花棒平茬有利于土壤养分蓄积。不同平茬年限花棒土壤有机碳、全氮、全磷、碱解氮和速效磷含量为0.91~1.12,0.31~0.35,0.20~0.24 g/kg和4.32~6.43,1.33~2.61 mg/kg,且以平茬3年花棒土壤养分最高。

(4)极细砂粒、植被高度、多样性指数、植被盖度、地上生物量、粉粒和水分是影响土壤养分的主要因子。

参考文献:

- [1] 丁延龙,汪季,胡生荣,等.吉兰泰盐湖风沙防护林体系建立35a以来防沙效益评估[J].中国沙漠,2019,39(5):111-119.
- [2] 魏亚娟,党晓宏,汪季,等.枝条覆盖对平茬花棒生长特征和浅层土壤水分的影响[J].生态学报,2020,40(3):931-939.
- [3] 蔡年辉,唐军荣,车凤仙,等.平茬高度对云南松苗木碳氮磷化学计量特征的影响[J].生态学杂志,2022,41(5):849-857.
- [4] 于瑞鑫,王磊,杨新国,等.平茬柠条的土壤水分动态及生理特征[J].生态学报,2019,39(19):7249-7257.
- [5] 李宇,徐新文,许波,等.塔里木沙漠公路防护林乔木状沙拐枣平茬复壮技术的研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(2):103-108.
- [6] Hobbs R J, Mooney H A. Vegetative regrowth following cutting in the shrub *Baccharis pilularis* ssp. *Con-sanguinea* (DC) C. B. Wolf [J]. American Journal of Botany, 1985, 72(4): 514-519.
- [7] Liu Y S, Shi Z J, Gong L Y, et al. Is the removal of aboveground shrub biomass an effective technique to restore a shrub-encroached grassland? [J]. Restoration Ecology, 2019, 27(6): 1348-1356.
- [8] 周静静,马红彬,周瑶,等.荒漠草原不同带间距人工柠条林平茬对林间生境的影响[J].草业学报,2017,26(5):40-50.
- [9] 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.
- [10] 严正升,郭忠升,宁婷,等.枝条覆盖对半干旱黄土丘陵区平茬柠条林地土壤水分的影响[J].生态学报,2016,36(21):6872-6878.
- [11] 李耀林,郭忠升.平茬对半干旱黄土丘陵区柠条林地土壤水分的影响[J].生态学报,2011,31(10):2727-2736.
- [12] 于文涛.平茬措施对柠条生理特征及土壤理化性质的影响[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [13] 翟德苹,陈林,杨明秀,等.荒漠草原不同生长年限中间锦鸡儿灌丛枝系构型特征[J].浙江大学学报,2015,41(3):340-348.
- [14] 李瑞鹏,史常青,杨建英,等.不同植被模式下张宣铁尾矿生态恢复效果评价[J].北京林业大学学报,2022,44(8):66-76.
- [15] 陈洪松,邵明安,王克林.黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J].应用生态学报,2005,16(10):1853-1857.
- [16] 周义贵.岷江上游干旱河谷区不同土地利用/植被恢复类型土壤生态效益评价[D].四川 雅安:四川农业大学,2014.
- [17] 高广磊,丁国栋,赵媛媛,等.生物结皮发育对毛乌素沙地土壤粒度特征的影响[J].农业机械学报,2014,45(1):115-120.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析 [M].3 版.北京:中国农业出版社,2000.
- [19] 马志良,高顺,杨万勤,等.遮阴对撂荒地草本群落生物量分配和养分积累的影响[J].生态学报,2015,35(16):5279-5286.
- [20] 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.
- [21] 王占军,蒋齐,潘占兵,等.宁夏毛乌素沙地不同密度柠条林对土壤结构及植物群落特征的影响[J].水土保持研究,2005,12(6):31-32.
- [22] 周钰淮,王瑞辉,刘凯利,等.抚育间伐对川西柳杉人工林生长和林下植被多样性的影响[J].中南林业科技大学学报,2022,42(6):65-74,84.
- [23] 管雪薇,汪季,丁延龙,等.吉兰泰盐湖防风固沙林体系土壤理化形状特征[J].水土保持学报,2019,33(5):114-120.
- [24] 李敏,李钢铁,张宏武,等.平茬对3种苗木来源白桑林地土壤理化性质的影响[J].中国农业科技导报,2022,24(1):172-182.
- [25] 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.
- [26] 王静娅,张风华.干旱区典型盐生植被群落土壤养分特征[J].水土保持学报,2014,28(5):235-241.