

DOI: 10.5846/stxb201812292840

贾希洋,周静静,宿婷婷,周瑶,陈佳宝,马红彬,马静利,王晓芳.平茬密度对荒漠草原人工柠条林间生境的影响.生态学报,2020,40(12):4126-4136.

Jia X Y, Zhou J J, Su T T, Zhou Y, Chen J B, Ma H B, Ma J L, Wang X F. Effects of different cropping densities on the habitat of artificial *Caragana intermedia* in desert steppe. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(12):4126-4136.

## 平茬密度对荒漠草原人工柠条林间生境的影响

贾希洋<sup>1</sup>,周静静<sup>1</sup>,宿婷婷<sup>1</sup>,周瑶<sup>1</sup>,陈佳宝<sup>1</sup>,马红彬<sup>1,2,\*</sup>,马静利<sup>1</sup>,王晓芳<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宁夏大学农学院,银川 750021

<sup>2</sup> 宁夏大学西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地,银川 750021

**摘要:**合理平茬对柠条林更新复壮及科学利用具有重要意义。以宁夏荒漠草原 6 m 带距人工柠条林(中间锦鸡儿, *Caragana intermedia*)林间草原为研究对象,研究了全平(QP)、隔一带平茬两带(G1P2)、隔一带平茬一带(G1P1)、隔两带平茬一带(G2P1)、未平茬(WP)五种密度(间距)平茬后柠条林间植被和土壤性状、小气候和土壤风蚀特征等变化。结果表明:(1)G2P1处理下林间植被物种总数、密度、高度和地上生物量最高,物种丰富度、多样性指数以G1P1、G2P1较高。(2)0—40 cm土壤容重以G1P1、G2P1较低,但机械组成无明显变化规律;土壤有机质、速效钾、全氮和速效氮以G2P1最高,但速效磷G1P1最高;土壤平均含水量以G2P1较高,达到8.33%,G1P2和WP最低,WP水分垂直变异系数最大。(3)处理间气温和风速无显著差异;风蚀量以QP、G1P2和WP较高,G1P1与G2P1较小。研究认为,适宜的密度平茬对人工柠条林间生境有改善作用,宁夏荒漠草原人工柠条林平茬时可采取隔两带平茬一带的方式。

**关键词:**平茬密度;林间植被土壤;风蚀量;人工柠条林;荒漠草原

## Effects of different cropping densities on the habitat of artificial *Caragana intermedia* in desert steppe

JIA Xiyang<sup>1</sup>, ZHOU Jingjing<sup>1</sup>, SU Tingting<sup>1</sup>, ZHOU Yao<sup>1</sup>, CHEN Jiabao<sup>1</sup>, MA Hongbin<sup>1,2,\*</sup>, MA Jingli<sup>1</sup>, WANG Xiaofang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

<sup>2</sup> State Key Laboratory Breeding Base of Land Degradation and Ecological Restoration of Northwest China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

**Abstract:** The reasonable stubble is of great significance to the renewal, rejuvenation and scientific utilization of *Caragana intermedia*. Taking 6 m belt of Ningxia desert steppe from the artificial *Caragana intermedia* forest steppe as the research object, we studied the effects of the vegetation traits, soil physical and chemical properties, air temperature, wind speed and soil wind erosion which caused by five different management practices of stubble spacing, such as all stubble (QP), stubble two belts with one belt no stubble (G1P2), stubble one belt with one belt no stubble (G1P1), stubble one belt with two belts no stubble (G2P1), no stubble (WP). The results showed that (1) the total number, density, height and above-ground biomass of forest vegetation were the highest under G2P1, while the species richness and diversity index were higher in G1P1 and G2P1. (2) The soil bulk density of 0—40 cm is lower with G1P1 and G2P1, but the mechanical composition had no obviously change under different treatments. The soil organic matter, available potassium, total nitrogen and available nitrogen were the highest in G2P1, but available phosphorus was the highest in G1P1. From April to

**基金项目:**宁夏重点研发计划对外科技合作项目(2018BFH03009);宁夏大学研究生创新项目(GIP2018050);宁夏科技创新领军人才培养项目(KJT2018003);宁夏高等学校一流学科建设(草学学科)项目(NXYLXK2017A01)

收稿日期:2018-12-29; 网络出版日期:2020-04-09

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ma\_hb@nxu.edu.cn

November, the average soil water content was higher in G2P1 with 8.33%, while it was the lowest in G1P2 and WP. The moisture of WP had the largest vertical coefficient of variation. (3) There was no significant difference in average temperature and wind speed between forests under each treatment ( $P>0.05$ ). The amount of wind erosion was higher with QP, G1P2 and WP, but it was smaller in G1P1 and G2P1. The study suggests that the appropriate density of stubble can improve the habitat of artificial *Caragana intermedia*. G2P1 method can be adopted when the artificial *Caragana intermedia* forest in Ningxia desert steppe was cutting.

**Key Words:** *Caragana intermedia*; stubble density; interforest habitat; wind erosion; desert steppe

宁夏荒漠草原地处干旱与半干旱的农牧交错区,生境脆弱,是我国水土流失、草地退化、荒漠化等环境问题最为突出的地区之一。随着生态建设工程的实施,宁夏、内蒙等地在荒漠草原上补植了大量带状柠条灌木,这些柠条灌木对防风固沙、保持水土具有重要作用<sup>[1]</sup>。目前,宁夏柠条资源存林面积 44.60 万  $\text{hm}^2$  以上,地上部总生物量(干物质)达 77 万 t 左右<sup>[1-2]</sup>,其中宁夏盐池县分布 12.95 万  $\text{hm}^2$  柠条资源<sup>[3]</sup>,主要为中间锦鸡儿。柠条属于豆科锦鸡儿属的旱生灌木,既是防风固沙造林中的重要灌木树种,也是一种重要的饲用灌木,其鲜枝营养丰富,花期粗蛋白含量最高可达 36.27%。但柠条生长到一定年限后,木质化程度加剧,枝条干枯甚至全株死亡,进而造成柠条林退化<sup>[4]</sup>。平茬能有效解决柠条植株衰败老化,促进植株更新复壮<sup>[5]</sup>。同时,饲草资源不足是制约当前畜牧业持续发展的因素之一,如能将宁夏荒漠草原柠条资源科学平茬饲用,对缓解畜牧业饲草不足、维持当地生态建设具有重要意义。

平茬技术对改良柠条林、提高生态和经济效益具有重要作用<sup>[6]</sup>。适宜的留茬高度对植物的持续生长具有正向作用<sup>[7-9]</sup>。根据柠条生育期、平茬目的和整体效益等因素来综合确定平茬最佳时期<sup>[10-11]</sup>。平茬后柠条具有一定的生殖补偿能力<sup>[12]</sup>,对土壤水分的消耗量发生变化<sup>[13-14]</sup>。柠条平茬刺激后不仅促使植物根、颈部萌生不定芽,也能使根部积累大量的养分,促进植物快速生长<sup>[15-16]</sup>。荒漠草原灰钙土、红黏土和风沙土上的人工柠条林根际与非根际土壤理化性质、颗粒组成差异明显<sup>[17]</sup>。留茬高度对柠条分枝数、地上生物量无明显影响,翌年柠条返青率随着留茬高度的增加而降低,5—6 月平茬柠条的再生性更好<sup>[10]</sup>。对不同种植带间距中间锦鸡儿平茬后林间生境变化研究发现,8 m 种植间距较 4 m 和 6 m 间距更利于林间植被多样性增加、土壤质量改善和风蚀减少<sup>[16]</sup>。可见,目前有关柠条平茬研究主要集中在不同留茬高度、不同时期平茬后柠条生理生态特征变化以及不同种植密度平茬等方面。平茬密度对人工柠条林间生态的影响亦有一些报道。研究发现成片平茬方式易造成黄土丘陵半干旱区沙地裸露、风蚀加剧、沙地采取隔带或隔丛平茬较好<sup>[14]</sup>。全部平茬、隔行平茬和未平茬对荒漠草原柠条林土壤水分垂直变化影响显著<sup>[18]</sup>。立地条件、植被类型均影响着平茬后柠条林间生境变化,但有关平茬密度对柠条林间生境影响的研究报道较少<sup>[19]</sup>,不同密度平茬后宁夏荒漠草原柠条林间植被土壤性状、风蚀状况变化还不清楚,还需进一步深入探究。因此,本文以宁夏荒漠草原人工柠条林不同密度平茬后林间生境为对象,对林间植被、土壤性状及土壤风蚀特征进行研究,以期确定该区人工柠条林适宜饲用平茬密度,为当地生态建设和柠条资源的科学饲用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于宁夏盐池县花马池镇柳杨堡土沟村荒漠草原,东经  $107^{\circ}35'$ ,北纬  $37^{\circ}88'$ ,地处干旱半干旱农牧交错区,具有独特的自然生态条件及农牧业生产特征。试验区属中温带大陆性气候,年平均降水量为 300 mm 左右,全年降水量 60%多集中在 7—9 月,年蒸发量为 2400 mm 左右,年均气温为  $8.1^{\circ}\text{C}$ , $\geq 0^{\circ}\text{C}$  的年积温  $3430.3^{\circ}\text{C}$ ,无霜期约 160 d,年均风速 2.59 m/s。地带性土壤为淡灰钙土,地带性植被为荒漠草原。主要分布有中间锦鸡儿(*C. intermedia*)、牛枝子(*Lespedeza potaninii*)、短花针茅(*Stipa breviflora*)、蒙古冰草(*Agropyron mongolicum*)、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)、老瓜头(*Cynanchum komarovii*)、砂珍棘豆(*Oxytropis psamocharis*)、乳

浆大戟 (*Euphorbia esula*)、猪毛蒿 (*Artemisia scoparia*)、猪毛菜 (*Salsola collina*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、蒺藜 (*Tribulus terrestris*) 等植物。

## 1.2 试验设计

试验区柠条为中间锦鸡儿 (*C. intermedia*), 属退耕还林工程种植, 呈带状分布在荒漠草原上。试验选择当地退耕还林种植面积最大的 6 m 带间距人工柠条林, 每带 2 行柠条, 行距 60 cm, 种植时间为 2003 年, 种植后到本试验前一直未进行过平茬。在试验区, 选择地形、土壤、植被和生长状况一致的中间锦鸡儿灌木林及其林间草地作为研究样地。于 2015 年 12 月设置不同隔带间距平茬试验, 共设置全平 (QP)、隔一带平茬一带 (G1P1)、隔一带平茬两带 (G1P2)、隔两带平茬一带 (G2P1) 和未平茬 (WP) 5 个处理, 每个处理 3 次重复, 平茬高度均为齐地平茬。试验设置详见简图 1。

## 1.3 测定项目与方法

### 1.3.1 植被调查

于 2018 年 8 月, 对平茬后林间植被特征进行调查。在各处理样地林间 (两带柠条林中间) 设置一条平行于柠条林的样线, 在每个样线上等距设置 3 个样方, 记录植物种类组成, 并用常规方法分种测定频度、盖度、多度、高度及地上生物量, 样方面积 1 m<sup>2</sup> (1 m×1 m), 3 次重复。其中, 频度、盖度和多度分别采用样圆法、针刺法和统计单位面积株数法测定; 对每个物种随机测定 30 株自然高度作为其平均高度; 分种齐地刈割样方内植物, 带回室内放入 65℃ 烘箱中烘至恒重称取地上生物量<sup>[16, 20]</sup>。

### 1.3.2 土壤采样及性状测定

植被调查的同时, 用土钻在各处理样地样方周围用“S”形五点法采集土样, 采集之前去除地表凋落物, 按 0—10, 10—20, 20—30, 30—40 cm 土层取样, 3 次重复<sup>[20]</sup>。采用环刀法测定 0—180 cm 土壤容重, 每 10 cm 为一层, 3 次重复<sup>[21]</sup>。将采集到的土样放入保温箱 (4℃) 中带回室内, 去除石块、草根等杂质后磨细, 过 2 mm 筛, 将过筛后的土样装入自封袋, 用于土壤颗粒组成和养分的测定。

用 Microtrac S3500 激光粒度分析仪测定土壤颗粒组成<sup>[16]</sup>, 根据美国制土壤机械组成分类标准进行分类。土壤有机质、全氮、速效氮、全磷和速效钾含量依次采用重铬酸钾容量法、全自动凯氏定氮法、碱解扩散法、氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法和近红外光谱法进行测定<sup>[22]</sup>。

在植被调查样方附近埋设 TDR 探管。采用 TDR 测定各处理样地 0—180 cm 土壤体积含水率, 测定时间为 2018 年 4 月—2018 年 11 月, 每月 5 日、25 日测定, 测定时按 20 cm 为一层, 3 次重复<sup>[23]</sup>。根据土壤容重将土壤体积含水率折算成土壤质量含水率<sup>[24]</sup>。

### 1.3.3 林间气温、风速和土壤风蚀

在 2018 年 1 月 5 日、4 月 5 日、5 月 5 日、7 月 5 日、9 月 5 日和 10 月 5 日, 利用 Kestrel 3500 手持气象站观测各处理距地面 20 cm 的风速和气温, 测定时间为测定当天的早 8 点至晚 6 点, 每隔 2 h 观测一次, 3 次重复。采用插钎法测定土壤风蚀量<sup>[25-26]</sup>。选用编好号的长钢钎 (40 cm), 在各处理内设置 (柠条平茬时) 1 m×1 m 面积的钢钎, 钢钎间的距离为 0.2 m×0.2 m, 地上保留高度为 20 cm, 3 次重复。在测定风速的同时, 测定钢钎地上高度变化情况。

## 1.4 数据分析

数据采用 Excel 录入、计算并做图, 统计分析用 DPS 7.05 软件进行, 采用 One-way ANOVA 和 Duncan 法进

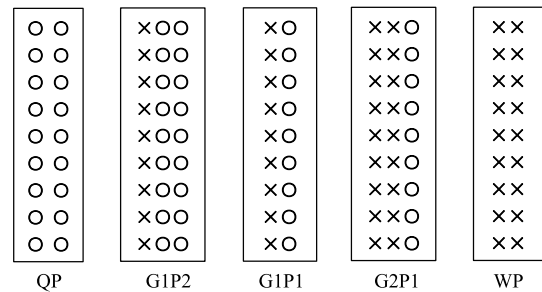


图 1 不同平茬密度试验设置简图

Fig. 1 Schematic diagram of different cropping densities

(1) “x”, 未平茬处理的柠条灌丛 *Caragana intermedia* shrubs without flat stubble; “o”, 平茬处理的柠条灌丛 *Caragana intermedia* shrubs treated with flat stubble; (2) QP: 全部平茬 All stubble; G1P2: 隔一带平茬两带 Stubble two belts with one belt no stubble; G1P1: 隔一带平茬一带 Stubble one belt with one belt no stubble; G2P1: 隔两带平茬一带 Stubble one belt with two belts no stubble; WP, 未平茬 No stubble

行显著性检验( $\alpha=0.05$ )和多重比较,根据测定数据,计算以下指标。

#### 1.4.1 物种多样性

计算物种重要值、Margalef 丰富度、Simpson 优势度、Shannon-Wiener 多样性和 Pielou 均匀度指数,公式如下<sup>[27]</sup>:

重要值 = (相对频度 + 相对盖度 + 相对高度 + 相对生物量)  $\times 100/4$

Margalef 物种丰富度指数:  $Ma = (S - 1) \ln N$

Simpson 优势度指数:  $C = \sum (P_i)^2$

Shannon-Wiener 多样性指数:  $H' = - \sum P_i \ln P_i$

Pielou 均匀度指数:  $J = H' / \ln S$

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。

#### 1.4.2 土壤风蚀量<sup>[25-26]</sup>

$$W = 100\sigma_b \Delta h$$

式中,  $W$ : 土壤风蚀量 ( $t/hm^2$ );  $\Delta h$ : 前后两次测钎读数差值, 吹蚀为负, 风积为正 ( $cm$ );  $\sigma_b$ : 土壤容重 ( $g/cm^3$ )

## 2 结果与分析

### 2.1 不同密度平茬后林间植被变化

#### 2.1.1 植物生活型组成

各处理均以多年生草本的物种比例和重要值比例较高(表 1)。G2P1 物种总数最多(25 种), G1P2 最少(20 种)。半灌木物种数和物种比例以 WP 最高, 重要值比例以 QP 最高; 多年生草本物种比例: G1P1 > G1P2 > G2P1 > QP > WP, 重要值比例: WP > G1P2 > QP > G1P1 > G2P1; 一年生草本的物种数比例以 G2P1 最大(24.00%), 重要值比例: G2P1 > G1P2 > G1P1 > WP > QP。

表 1 不同平茬密度下柠条林林间植物生活型组成

Table 1 Composition of plant life forms in the forests of *C. intermedia* forests under different cropping densities

处理 Treatment	物种总数 The total number of species/种	半灌木 Half-shrub			多年生草本 Perennial herb			一年生草本 Annual herb		
		物种数 Number of species/种	物种比例 Species ratio/%	重要值比例 Important value ratio/%	物种数 Number of species/种	物种比例 Species ratio/%	重要值比例 Important value ratio/%	物种数 Number of species/种	物种比例 Species ratio/%	重要值比例 Important value ratio/%
QP	22	3	13.63	40.25	14	63.64	47.36	5	22.73	12.39
G1P2	20	3	15.00	29.27	13	65.00	48.03	4	20.00	22.70
G1P1	24	3	12.50	34.14	16	66.67	45.82	5	20.83	20.04
G2P1	25	3	12.00	29.37	16	64.00	42.44	6	24.00	28.19
WP	21	4	19.05	29.39	13	61.90	51.72	4	19.05	18.89

QP: 全部平茬 All stubble; G1P2: 隔一带平茬两带 Stubble two belts with one belt no stubble; G1P1: 隔一带平茬一带 Stubble one belt with one belt no stubble; G2P1: 隔两带平茬一带 Stubble one belt with two belts no stubble; WP: 未平茬 No stubble

#### 2.1.2 植物群落特征

由表 2 可知, 总体上 5 种平茬处理林间植被盖度、优势度和均匀度指数差异不显著( $P>0.05$ )。林间植被密度、高度和地上生物量以 G2P1 处理最高( $P<0.05$ ), G1P1 植被密度和地上生物量显著低于 G2P1、G1P2 和 QP, WP 高度显著低于其他处理( $P<0.05$ )。林间植物群落物种丰富度指数以 QP、G1P1、G2P1 较高; G1P1、G2P1 和 WP 多样性指数显著高于 QP 和 G1P2( $P<0.05$ )。

表 2 不同平茬密度下柠条林林间植物群落特征

Table 2 Characteristics of plant communities in *C. intermedia* forests under different cropping densities

处理 Treatment	盖度 Coverage/%	密度 Density/ (株/m <sup>2</sup> )	高度 Height/cm	地上生物量 Above ground biomass/ (g/m <sup>2</sup> )	丰富度 Richness ( <i>Ma</i> )	优势度 Dominance ( <i>C</i> )	多样性 Diversity ( <i>H'</i> )	均匀度 Uniformity ( <i>J</i> )
QP	58.00±3.79a	208.00±6.56bc	7.75±0.11c	88.05±6.54b	2.37±0.05a	0.13±0.01a	2.46±0.02b	0.96±0.01b
G1P2	64.67±4.33a	242.33±20.27b	7.63±0.02c	77.53±3.79bc	1.81±0.07c	0.13±0.01a	2.43±0.03b	0.97±0.02ab
G1P1	56.00±3.21a	138.00±3.61d	8.69±0.37b	60.13±3.75d	2.14±0.12ab	0.12±0.01a	2.56±0.04a	1.03±0.00a
G2P1	60.33±2.67a	323.67±5.93a	10.36±0.15a	105.54±4.57a	2.39±0.03a	0.12±0.01a	2.56±0.03a	0.97±0.02ab
WP	62.67±4.41a	176.67±18.66cd	6.06±0.17d	68.60±3.76cd	1.94±0.15bc	0.11±0.00a	2.60±0.02a	0.98±0.03ab

数据为平均值±标准误差,同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )

## 2.2 不同密度平茬后林间土壤理化性质变化

### 2.2.1 机械组成和容重

整体来看(表 3),各处理林间 0—40 cm 土壤均以细砂含量最高,介于 74.79%—78.34%之间,均无粘粒。0—40 cm 土壤粉粒含量以 G1P1 最高,G1P2 和 G2P1 最低( $P<0.05$ );细砂含量 G1P2、G1P1 和 WP 较高,QP 和 G2P1 较低( $P<0.05$ );中砂粒含量 QP、G1P2 和 G2P1 中较高,G1P1 的中砂粒含量最低( $P<0.05$ );粗砂粒含量以 G2P1 最高( $P<0.05$ )。0—40 cm 土壤容重呈现  $QP \approx G1P2 \approx WP > G1P1 \approx G2P1$  ( $P<0.05$ )。由图 2 可知,随土层的加深(0—40 cm),5 种平茬处理土壤粉粒含量均呈增加趋势,而细砂粒含量恰好相反( $P<0.05$ );中、粗砂粒含量和土壤容重在垂直变化上无明显规律( $P>0.05$ )。

表 3 不同平茬密度下柠条林间土壤机械组成及土壤容重

Table 3 Soil mechanical composition and soil bulk density of *C. intermedia* forest under different cropping densities

处理 Treatment	土壤机械组成 Soil mechanical composition/%					容重 Bulk density /(g/cm <sup>3</sup> )
	粘粒 ( $<2 \mu\text{m}$ )	粉粒 ( $2-50 \mu\text{m}$ )	细砂粒 ( $50-250 \mu\text{m}$ )	中砂粒 ( $250-500 \mu\text{m}$ )	粗砂粒 ( $500-2000 \mu\text{m}$ )	
QP	0	13.19±0.39c	74.79±0.29b	10.55±0.70a	1.48±0.06b	1.62±0.01a
G1P2	0	11.12±0.08d	78.34±0.56a	8.78±0.59b	1.76±0.07b	1.65±0.02a
G1P1	0	15.59±0.22a	78.33±0.26a	5.64±0.16d	0.44±0.05c	1.53±0.03b
G2P1	0	11.15±0.12d	75.90±0.59b	9.57±0.35ab	3.38±0.44a	1.56±0.02b
WP	0	14.30±0.23b	77.88±0.14a	7.14±0.21c	0.68±0.01c	1.63±0.02a

同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )

### 2.2.2 土壤水分

2018 年 4—11 月,不同月份不同处理下,土壤水分在降水和植被消耗影响下变化不尽相同,其中 QP、G1P2、G1P1 和 WP 处理土壤含水量随月份的延长变化规律总体一致(图 3),呈降低-升高-降低-升高趋势( $P<0.05$ );G2P1 土壤含水量虽在不同月份间有波动,但 4—5 月,6—8 月和 9—11 月间差异不显著( $P>0.05$ )。由表 4 可知,4—5 月,G2P1 土壤含水量显著高于 QP、G1P2 和 WP( $P<0.05$ );6—8 月,QP、G1P1 和 G2P1 含水量显著高于 G1P2 和 WP( $P<0.05$ );9—11 月,各处理间土壤含水量差异不显著( $P>0.05$ )。4—11 月,整个试验期内 G2P1 处理土壤含水量最高,达到 8.33%,G1P2 和 WP 处理最低。

表 4 不同平茬密度下柠条林林间 0—180 cm 土壤水分差异/%

Table 4 Differences in soil moisture between 0 and 180 cm in the forests of *C. intermedia* forests under different cropping densities

处理 Treatment	4—5 月 April—May	6—8 月 June—August	9—11 月 September—November	4—11 月 April—November
QP	8.18±0.20b	7.39±0.24a	6.88±0.86a	7.40±0.35ab
G1P2	7.93±0.18b	6.35±0.25b	6.45±0.82a	6.78±0.35b
G1P1	8.38±0.19ab	7.77±0.26a	6.92±0.92a	7.60±0.37ab
G2P1	8.94±0.23a	7.72±0.25a	8.53±0.82a	8.33±0.33a
WP	7.86±0.16b	5.84±0.35b	7.43±0.85a	6.94±0.40b

同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )

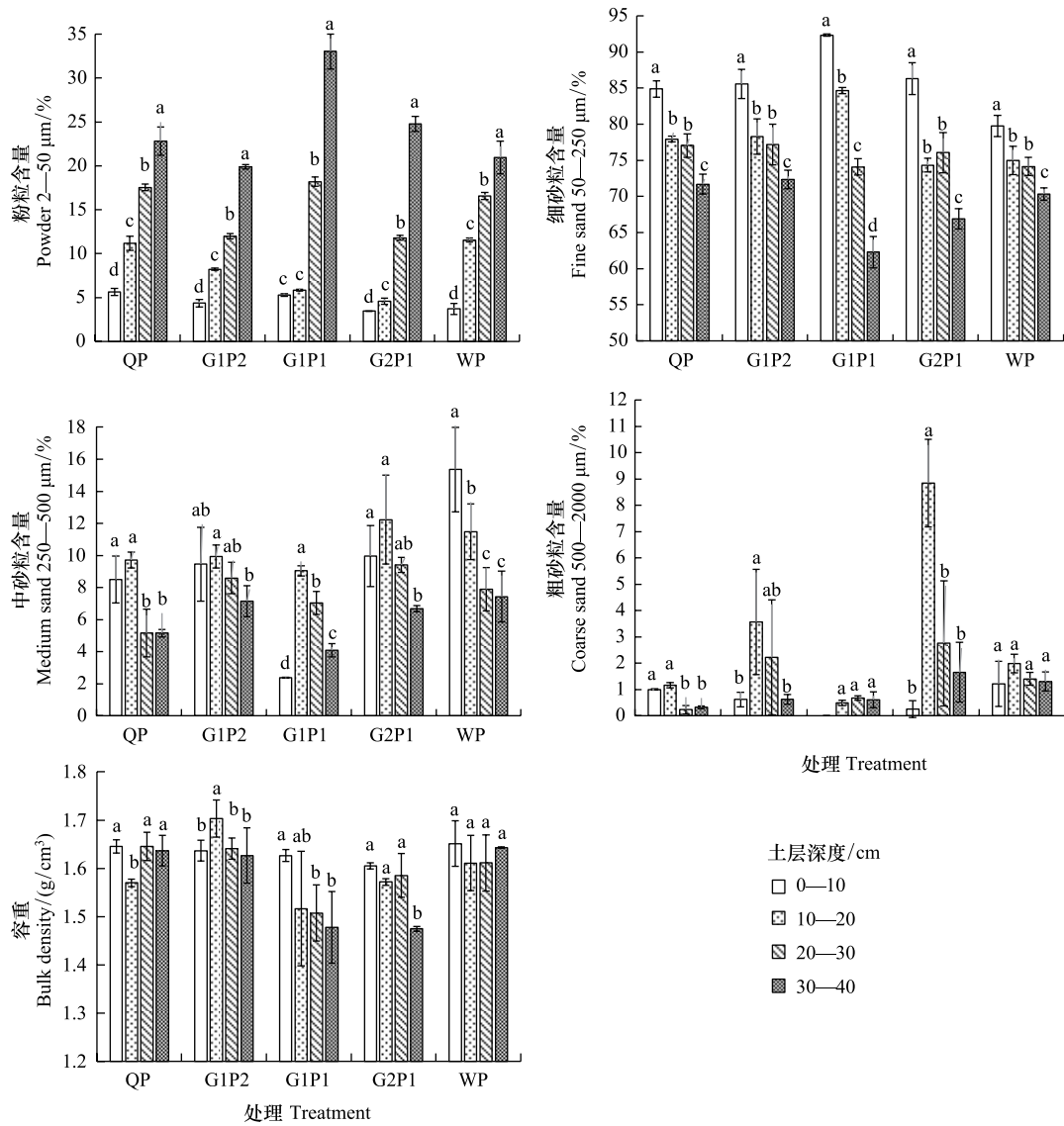


图 2 不同平茬密度下柠条林间土壤机械组成及土壤容重的垂直变化

Fig.2 Vertical changes of soil mechanical composition and soil bulk density in *C. intermedia* forests under different cropping densities  
同一处理不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

试验期内 0—180 cm 土壤含水量垂直变化规律如图 4 所示,由图可知,随土层深度的增加,WP 土壤含水量呈先减少-后增加-再减少的趋势,在 0—20 cm 处最高,160—180 cm 处最低;G1P2 呈单峰变化趋势(先减后增),在 120—140 cm 处最低;G1P1 处理总体呈下降趋势,在 140—160 cm 处最低;G2P1 土壤含水量呈波动变化,在 20—40 cm 处最低,140—160 cm 最高;WP 土壤含水量与 G1P2 正好呈相反规律。

整体来看(图 4),各处理水分垂直变异系数均小于 10%,WP 水分垂直变异系数大于其他处理,随土层深度的增加,各处理下水分垂直变异系数均无明显变化规律。其中,G1P2、WP 在 0—20 cm 处、G1P1 在 100—120 cm 处、G2P1 在 140—160 cm 处变异系数均最小,分别为 0.25%、0.10%、0.13%和 0.57%。QP 在 60—80 cm 和 120—140 cm 处变异系数最小,为 0.15%。

### 2.2.3 土壤养分

0—40 cm 土壤养分含量表明(表 5),5 种处理,有机质和速效钾均呈现  $G2P1 > G1P2 > QP$ 、 $G1P1 > WP$ ,全氮呈  $G2P1 > G1P2$ 、 $WP > G1P1 > QP$ ,速效氮呈  $G2P1 > G1P2 > G1P1 > QP$ 、 $WP$ ,速效磷呈  $G1P1 > G2P1 > G1P2 > WP > QP$  ( $P < 0.05$ )。总体来看(图 5),各处理速效磷、钾含量随土层的加深均呈下降趋势,而有机质、全氮和速效氮含

量垂直变化无规律。

2.3 不同密度平茬后林间小气候和土壤风蚀量变化

林间平均气温结果表明(图6),1月,QP显著高于G1P2和G2P1( $P<0.05$ );在4、5、10月,各处理间差异不显著( $P>0.05$ );7月,呈G1P2≈G1P1>QP>G2P1>WP( $P<0.05$ );9月,G2P1显著高于G1P2处理( $P<0.05$ ),与其他处理差异不显著( $P>0.05$ )。

平均风速方面(图6),5种平茬处理林间日平均风速介于0.35—3.22 m/s之间。1月,QP林间风速显著大于G2P1( $P<0.05$ ),与其他处理差异不显著( $P>0.05$ );4月,QP显著大于G1P1和WP处理( $P<0.05$ );5月,QP显著大于G1P1、G2P1和WP( $P<0.05$ );7月,各处理间差异均不显著( $P>0.05$ );9月,QP、G1P2和G1P1显著高于其他处理( $P<0.05$ )。

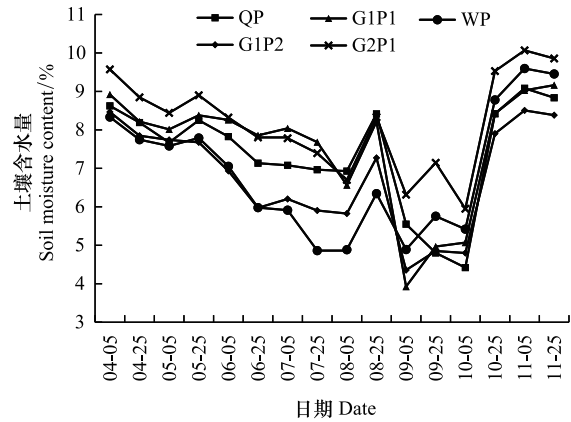


图3 不同平茬密度下柠条林林间土壤水分动态变化(2018年)  
Fig.3 Dynamic changes of soil moisture in the forests of *C. intermedia* forest under different cropping densities (2018)

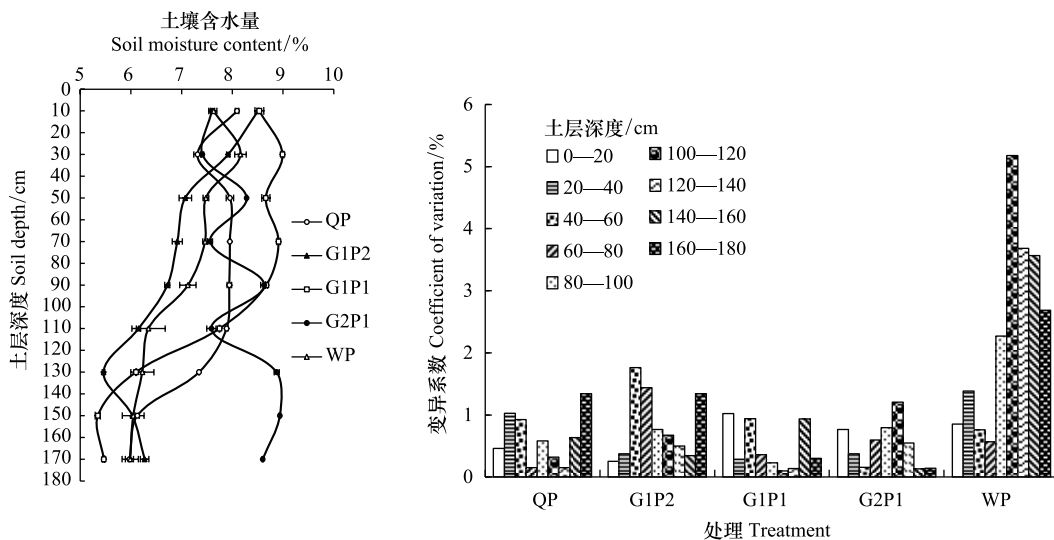


图4 不同平茬密度下柠条林林间土壤水分垂直变化与变异系数

Fig.4 Vertical variation and coefficient of variation of soil moisture in the forests of *C. intermedia* forests under different cropping densities

表5 不同平茬密度下柠条林林间土壤养分含量

Table 5 Soil nutrient content of *C. intermedia* forests under different cropping densities

处理 Treatment	有机质 Soil organic matter/ (g/kg)	全氮 Total soil nitrogen/ (g/kg)	速效氮 Available nitrogen / (mg/kg)	速效磷 Available phosphorus/ (mg/kg)	速效钾 Available potassium/ (mg/kg)
QP	4.33±0.01c	0.50±0.01d	12.06±0.05d	5.92±0.01e	55.96±0.74c
G1P2	5.39±0.01b	0.62±0.02b	16.85±0.10b	7.09±0.07c	65.38±0.38b
G1P1	4.41±0.02c	0.54±0.01c	13.81±0.09c	7.82±0.08a	55.50±0.50c
G2P1	6.12±0.05a	0.81±0.02a	19.40±0.30a	7.50±0.01b	70.00±0.75a
WP	3.49±0.02d	0.61±0.01b	12.18±0.13d	6.42±0.11d	48.25±0.00d

同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )

风蚀量数据表明(图6),1月,G1P1和G2P1出现风积现象,且二者风蚀量显著大于其余3种处理( $P<0.05$ );4月和5月,QP、G1P2和WP均为吹蚀现象,G2P1林间风蚀量显著高于QP、G1P2和WP( $P<0.05$ );

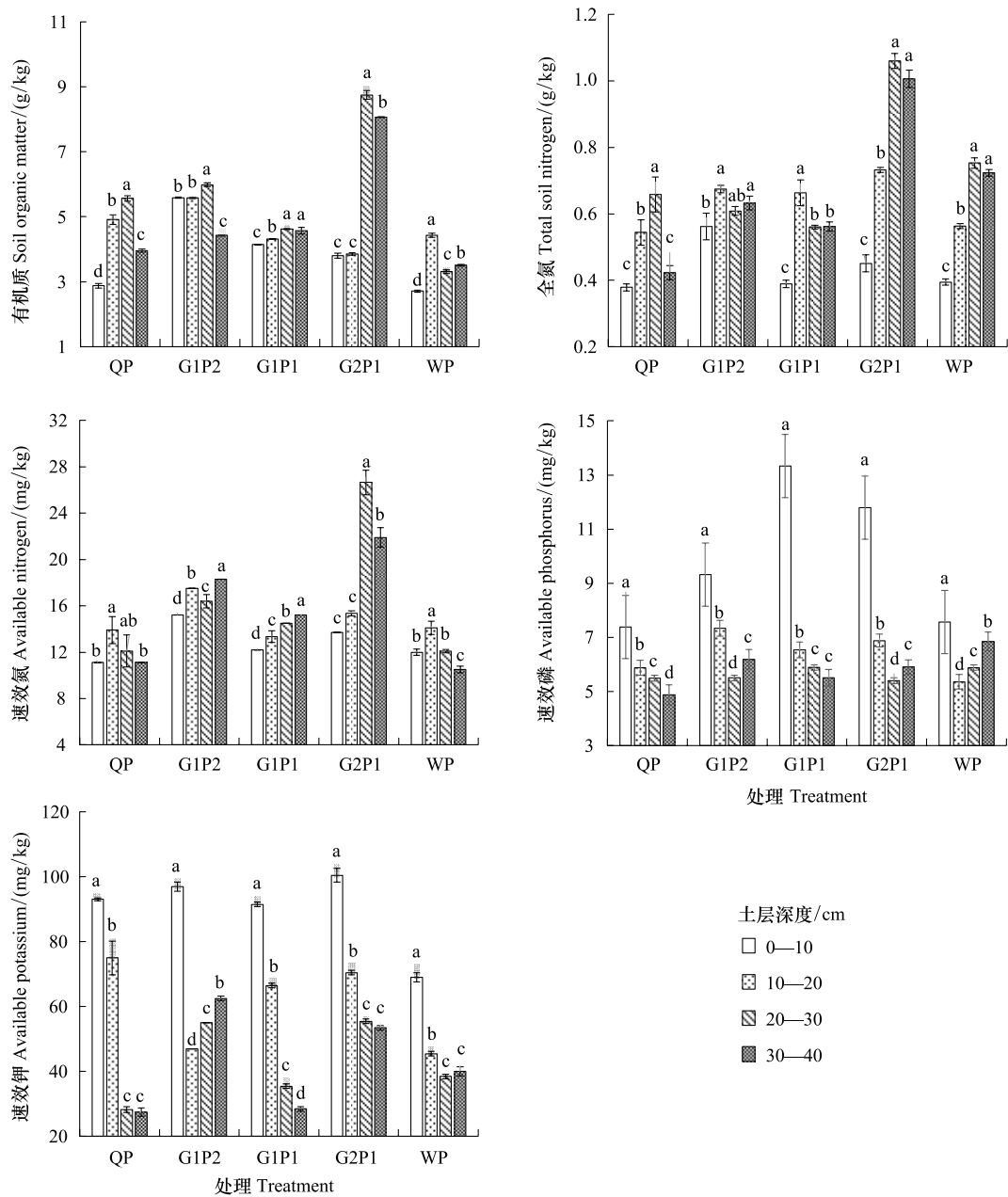


图 5 不同平茬密度下柠条林林间土壤养分含量垂直变化

Fig.5 Vertical variation of soil nutrient contents in *C. intermedia* forests under different cropping densities  
同一处理不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

9 月,除 G1P1 为风积现象外,其他处理均为吹蚀现象,G1P1 风蚀量显著大于 QP 和 WP ( $P < 0.05$ );10 月, G1P1 和 WP 出现吹蚀现象而剩余处理为风积,WP 风蚀量显著小于 QP、G1P2、G2P1 ( $P < 0.05$ )。

5 种平茬处理在整个监测期内(图 6),林间平均气温、平均风速差异均不显著 ( $P > 0.05$ );总体看,风蚀量以 QP、G1P2 和 WP 较高,G1P1、G2P1 较小,G1P1 和 G2P1 处理出现风积,剩余处理均为吹蚀。

### 3 讨论

经过多年的生态建设,宁夏荒漠草原地上植被、土壤理化性质及小气候得到明显改善,生态环境处于好转<sup>[28]</sup>。一些研究表明,随着柠条平茬隔带间距的(密度)不同,土壤理化性状、土壤微生物等相继发生变化,进而影响地上植物群落特征<sup>[29]</sup>。本研究未平茬(WP)半灌木物种数和物种比例最高,全部平茬(QP)后半



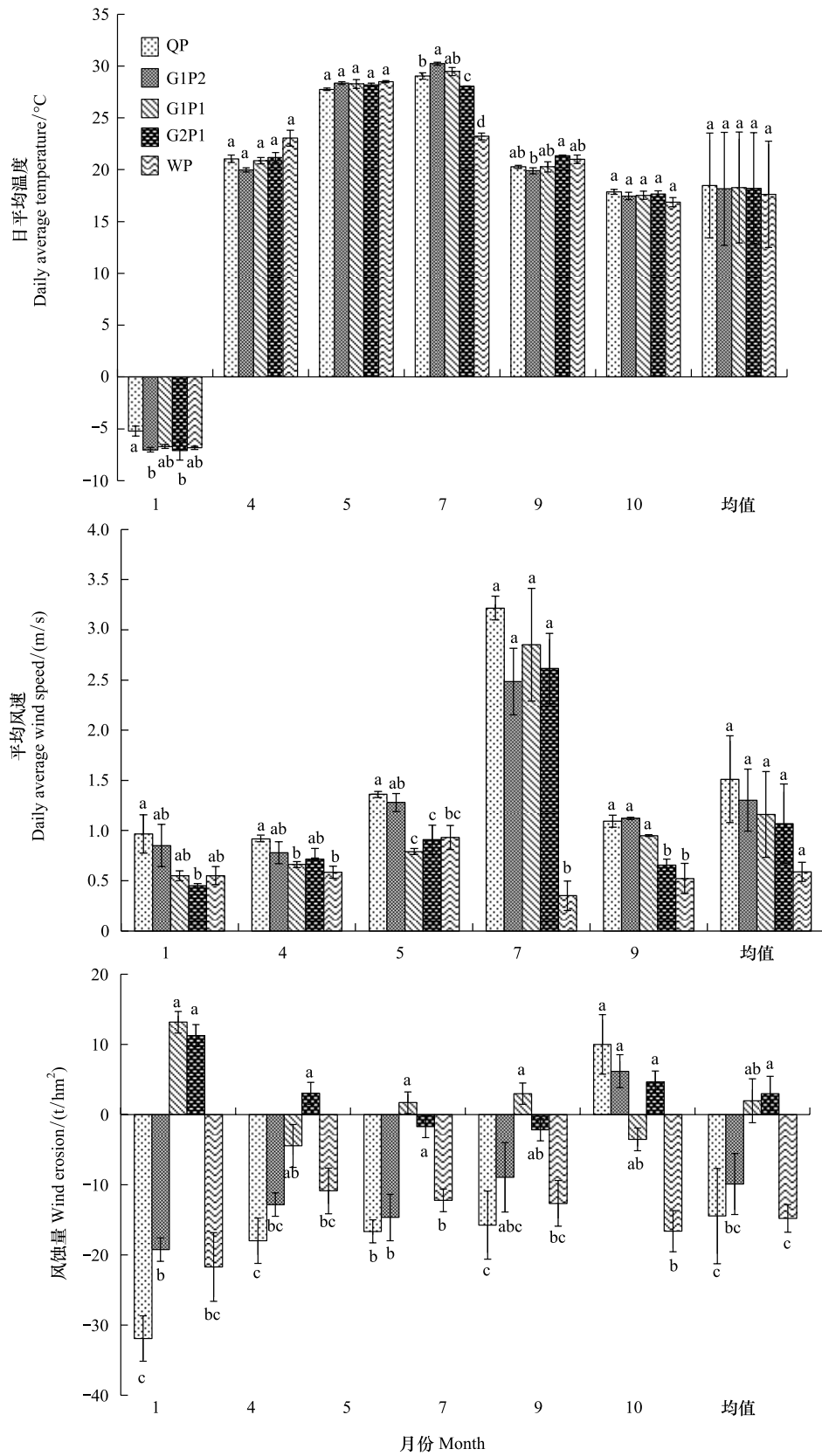


图6 不同平茬密度下林间气温、风速以及风蚀量比较

Fig.6 Comparison of air temperature, wind speed and wind erosion in forests under different cropping densities

同一处理不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

灌木重要值比例高达 40.25%,说明 QP 或 WP 处理下,林间植被趋于灌丛化,这与未平茬柠条生长、全部平茬后柠条再生对林间草本生长影响有关<sup>[29]</sup>。总体看,不同密度平茬对柠条林间草地植被密度、高度、地上生物量及多样性影响显著,隔两带平一带(G2P1)林间物种总数、一年生草本物种数及重要值比例大于其他处理,这与其土壤含水量较高有关<sup>[16]</sup>。但是,平茬密度对林间植物群落盖度、物种优势度影响不显著,这可能与平茬后时间较短(3 年)、群落演替过程较慢有关<sup>[19]</sup>,还有待进一步研究。

土壤机械组成是影响土壤水肥状况的关键因子,荒漠草原中,表土极易遭到风蚀,细颗粒被吹走,粗粒积累<sup>[30]</sup>。本研究中 5 种平茬处理林间 0—40 cm 土壤粉粒含量在 11.15%—15.59%之间,这与部分学者研究的退化沙质草地恢复过程中,土壤中粉粒含量呈明显累积态势基本一致<sup>[31]</sup>。隔两带平一带(G2P1)林间较高的土壤水分促使林间植被生长增加,产生的较多枯落物又作用于土壤,对土壤结构、蓄水能力和养分状况影响最明显<sup>[32]</sup>,进而使 G2P1 土壤有机质、氮和速效钾含量、土壤容重改善最为明显<sup>[33]</sup>,说明土壤与地上植物是相互统一的有机体,植被特征影响着土壤性状<sup>[34]</sup>。

土壤水分是干旱地区植被生长的重要限制因子<sup>[29]</sup>。杨永胜等人对平茬措施对柠条土壤水分状况研究发现,平茬第 1 年,柠条地块对土壤水分响应显著<sup>[13]</sup>。李耀林发现平茬对林地深层(200—400 cm)土壤水分有轻微恢复作用,但是浅层土壤(0—200 cm)水分的消耗相对更严重<sup>[14]</sup>。本研究中,平茬密度影响着土壤水分变化。隔两带平一带(G2P1)处理下,林间植被以多年生草本为主,较高的植被高度及盖度缓解了地表高强度的蒸腾作用<sup>[16]</sup>,降低了风蚀作用所带走的地表水分,所以试验期间的 4—11 月土壤含水量以 G2P1 处理最高。同时,全部平茬(QP)后柠条地上生物量在一定时期内下降,减少了对土壤深层水分的消耗,所以在整个试验期内土壤含水量亦较高<sup>[18]</sup>。隔一带平茬两带(G1P2)和未平茬(WP)处理下林间植被盖度下降、裸地增加,地表蒸腾和风蚀作用变强,地表水分消耗加剧,致使这两个处理土壤含水量下降。柠条根系发达、入土较深,对深层次土壤养分和水分有一定的影响,尤其对土壤水分影响更为明显<sup>[14]</sup>,因此本试验进行了 0—180 cm 水分监测。考虑本文主要比较柠条平茬密度对林间植被土壤影响,试验区林间植被根系大多在 40 cm 以上土层,因而对 40 cm 以下土壤性状没有进行研究,这还有待于今后进一步加强。

本研究中,土壤风蚀量变化与林间风速变化整体呈正相关关系<sup>[35]</sup>,全部平茬(QP)后裸地面积增加,风蚀呈现增加趋势<sup>[18]</sup>。隔一带平一带(G1P1)和隔两带平一带(G2P1)处理下林间风速降低,出现风积,而其他三个处理出现吹蚀现象。说明随平茬密度的降低,柠条带抗风蚀或对外来流沙的拦截增强,土壤风蚀量减少。

综合研究结果可见,柠条林全部平茬或不平茬均会造成植被群落物种组成单一,多样性及群落数量特征降低,植被趋于灌丛化,土壤理化性状变差,地表风蚀加剧等。适宜的平茬密度(间距)有利于柠条林水土保持及林间植物多样性的增加。从生态、经济效益综合考虑,研究认为宁夏荒漠草原 6 m 带间距人工柠条林以隔两带平一带(G2P1)较为适宜。受客观原因限制,论文只选择了当地面积最大的 6 m 带间距人工柠条林进行了平茬密度研究,今后还可进一步对其他种植带距柠条林的平茬密度进行研究,以便更加全面地指导当地柠条资源的更新复壮和合理利用。

#### 4 结论

(1)荒漠草原 6 m 带间距人工柠条林平茬后,林间植物物种数、密度、高度和地上生物量以 G2P1 最高,物种丰富度指数和多样性指数以 G1P1、G2P1 较高。

(2)G1P1、G2P1 处理下 0—40 cm 土壤容重显著降低;土壤有机质、速效钾、全氮和速效氮在 G2P1 中最高,速效磷在 G1P1 处理最高;4—11 月土壤平均含水量以 G2P1 较高,达到 8.33%,G1P2 和 WP 最低。

(3)各处理下林间平均气温和风速无显著差异;风蚀量以 QP、G1P2 和 WP 较高,G1P1 与 G2P1 较小。综上平茬后林间生境变化,研究认为宁夏荒漠草原 6 m 带间距人工柠条林利用时可采取隔两带平一带的方式。

## 参考文献(References):

- [1] 温学飞, 魏耀锋, 吕海军, 陈锋. 宁夏柠条资源可持续利用的探讨. 西北农业学报, 2005, 14(5): 177-181.
- [2] 宋乃平, 杨新国, 何秀珍, 何彤慧, 李勇, 刘孝勇. 荒漠草原人工柠条林重建的土壤养分效应. 水土保持通报, 2012, 32(4): 21-26.
- [3] 左忠, 王金莲, 张玉萍, 牛创民, 杨润霞, 王宁庚. 宁夏柠条资源利用现状及其饲料开发潜力调查——以盐池县为例. 草业科学, 2006, 23(3): 17-22.
- [4] 郑士光, 贾黎明, 庞琪伟, 李锐. 平茬对柠条林地根系数量和分布的影响. 北京林业大学学报, 2010, 32(3): 64-69.
- [5] 张海娜, 方向文, 蒋志荣, 冯彦皓. 柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量. 生态学报, 2011, 31(9): 2454-2460.
- [6] 李生荣. 柠条平茬更新的生物量调查及综合利用. 青海科技, 2007, 14(5): 12-13.
- [7] Kaczmarek-Derda W, Folkestad J, Helgheim M, Netland J, Solhaug K A, Brandsæter L O. Influence of cutting time and stubble height on regrowth capacity of *Juncus effusus* and *Juncus conglomeratus*. Weed Research, 2014, 54(6): 603-613.
- [8] Iptas S, Brohi A R. Effect of nitrogen rate and stubble height on dry matter yield, crude protein content and crude protein yield of a sorghum - sudangrass hybrid [*Sorghum bicolor* (L.) Moench × *Sorghum sudanense* (piper) Stapf.] in the three-cutting system. Journal of Agronomy and Crop Science, 2003, 189(4): 227-232.
- [9] 刘思禹. 不同留茬高度对柠条锦鸡儿生理生态特性影响的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [10] 周静静, 马红彬, 蔡育蓉, 朱旭, 谭松伟, 段强, 王占军. 平茬时期与留茬高度对宁夏荒漠草原柠条营养成分和再生的影响. 西北农业学报, 2017, 26(2): 287-293.
- [11] 王丽莉. 柠条平茬复壮更新技术研究. 现代农业科技, 2013, (8): 156-157.
- [12] 方向文. 地上组织去除后柠条(*Caragana korshinskii* Kom.) 补偿生长的生理生态机制[D]. 兰州: 兰州大学, 2006.
- [13] 杨永胜, 卜崇峰, 高国雄. 平茬措施对柠条生理特征及土壤水分的影响. 生态学报, 2012, 32(4): 1327-1336.
- [14] 李耀林. 黄土丘陵半干旱区多年生柠条林平茬效应研究[D]. 咸阳: 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2011.
- [15] 张荔, 姜维新. 小红柳平茬复壮更新及利用技术研究. 内蒙古林业科技, 2007, 33(1): 29-31.
- [16] 周静静, 马红彬, 周瑶, 蔡育蓉, 吴兴旺, 宿婷婷, 贾希洋. 荒漠草原不同带间距人工柠条林平茬对林间生境的影响. 草业学报, 2017, 26(5): 40-50.
- [17] 牛宋芳, 刘儒儒, 张文文, 潘笑笑, 祝忠有. 荒漠草原不同土壤类型柠条根际土壤养分与土壤颗粒分布特征研究. 西北林学院学报, 2019, 34(1): 25-30.
- [18] 刘凯. 荒漠草原人工柠条林土壤水分动态及其对降水脉动的响应[D]. 银川: 宁夏大学, 2013.
- [19] 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]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2016.
- [20] 周瑶, 马红彬, 贾希洋, 沈艳, 周静静, 闫鹏科, 陆琪, 王健伟. 封育和水平沟生态恢复措施对宁夏黄土丘陵区典型草原土壤生物学特性的影响. 水土保持学报, 2017, 31(3): 263-270.
- [21] 周瑶, 马红彬, 贾希洋, 张蕊, 宿婷婷, 周静静. 不同生态恢复措施下宁夏黄土丘陵典型草原土壤质量评价. 农业工程学报, 2017, 33(18): 102-110.
- [22] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [23] 康洁, 张维江, 李娟. TRIME-T3 管式 TDR 土壤水分测定系统在宁夏泾源地区的标定研究. 宁夏工程技术, 2015, 14(2): 146-148.
- [24] 张蕊, 马红彬, 贾希洋, 周瑶, 宿婷婷, 李维军, 蔡育蓉. 水平沟生态恢复措施下宁夏典型草原土壤种子库特征. 草业科学, 2018, 35(5): 984-995.
- [25] 申向东, 张雅静, 李晓丽. 阴山北部土地荒漠化与气候特征分析. 农业环境科学学报, 2006, 25(6): 1554-1559.
- [26] 李新凯, 卜崇峰, 李宜坪, 李炳垠, 鞠孟辰, 王清玄. 放牧干扰背景下藓结皮对毛乌素沙地土壤水分与风蚀的影响. 水土保持研究, 2018, 25(6): 22-28.
- [27] 秦建蓉, 马红彬, 沈艳, 谢应忠, 俞鸿千, 李小伟. 宁夏东部风沙区荒漠草原植物群落物种多样性研究. 西北植物学报, 2015, 35(9): 1891-1898.
- [28] 路慧玲, 周立华, 陈勇, 马兵, 魏轩. 禁牧政策下宁夏盐池县农户适应策略及其影响因素. 生态学报, 2016, 36(17): 5601-5610.
- [29] 王占军, 蒋齐, 潘占兵, 何建龙, 舒维花. 宁夏干旱风沙区不同密度人工柠条林营建对土壤环境质量的影响. 西北农业学报, 2012, 21(12): 153-157.
- [30] 唐庄生, 安慧, 邓蕾, 上官周平. 荒漠草原沙漠化植物群落及土壤物理变化. 生态学报, 2016, 36(4): 991-1000.
- [31] 张华, 伏乾科, 李锋瑞, Yasuhito S. 退化沙质草地自然恢复过程中土壤—植物系统的变化特征. 水土保持通报, 2003, 23(6): 1-6.
- [32] 张海涛, 梁继业, 周正立, 吕瑞恒. 塔里木河中游荒漠河岸林土壤理化性质分布特征与植被关系. 水土保持研究, 2016, 23(2): 6-12.
- [33] 卞莹莹, 陈林, 王建国, 柳博文, 王家锐. 平茬对荒漠草原区人工柠条林地土壤理化性质的影响. 草地学报, 2018, 26(6): 1347-1353.
- [34] 赵学春, 来利明, 朱林海, 王健健, 王永吉, 周继华, 姜联合, 鲁洪斌, 赵春强, 郑元润. 三工河流域琵琶柴群落特征与土壤因子的相关分析. 生态学报, 2014, 34(4): 878-889.
- [35] 陈娟. 荒漠草原人工柠条林防治土壤风蚀效应研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2014.