

# 封育年限对干旱河谷灌丛土壤理化性质的影响

赵 栋, 屠彩芸, 李丹春

(白龙江林业管理局林业科学研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘 要:** [目的] 探讨不同封育年限对干旱河谷灌丛土壤理化性质的影响, 为该地区的天然植被恢复与管理提供理论依据。[方法] 采用野外调查和实验室分析相结合的方法开展研究。[结果] (1) 封育后灌木层的盖度、密度、平均冠幅、高度明显升高, 而草本层则相反。(2) 随着封育年限的增加, 土壤容重呈 V 形变化, 封育 13 a 达到最小值, 而群落植被特征、土壤孔隙度、土壤持水量、土壤养分, 呈倒 V 形变化, 封育 13 a 达到最大值。0—40 cm, 封育 13 a 的土壤平均速效 N, P, K 较未封育草地分别增加 26.42%, 107.35%, 33.92%; 全量 N, P, K 含量分别增加了 168.42%, 47.62% 和 31.12%。(3) 封育后, 土壤理化性质有所改善, 具有明显的表聚现象, 土壤固碳能力有所提高, 土壤有机碳密度表现为:  $F_{13} > F_{22} > F_{30} > F_5 > CK$ ; 土壤有机碳储量表现为:  $F_5 > F_{13} > F_{22} > F_{30} > CK$ , 说明在狼牙刺群落封育恢复过程中, 土壤环境有较为明显的改善。(4) 采取封育措施后, 外界干扰减少, 狼牙刺灌丛覆盖度增加, 从而增加地上生物量, 使生产力得到提升, 生物量与封育年限存在线型关系。[结论] 采取封育措施后, 干旱河谷地带的狼牙刺群落植被特征和土壤理化性质及有机碳密度和储量均优于未封育, 植被自然恢复状态良好。

**关键词:** 干旱河谷; 封育年限; 土壤理化性质; 狼牙刺; 植被特征

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)02-0039-06

**中图分类号:** S714.2

**文献参数:** 赵栋, 屠彩芸, 李丹春. 封育年限对干旱河谷灌丛土壤理化性质的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 39-44. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.006; Zhao Dong, Tu Caiyun, Li Danchun. Effects of Fencing Time on Soil Physicochemical Properties of *Sophora Viciiifolia* in Semi-arid Valley[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 39-44. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.006

## Effects of Fencing Time on Soil Physicochemical Properties of *Sophora Viciiifolia* in Semi-arid Valley

ZHAO Dong, TU Caiyun, LI Danchun

(Research Institute of Forestry Bailongjiang Forestry Management Bureau, Lanzhou, Gansu 730070, Chian)

**Abstract:** [Objective] The effects of different fencing time on physical-chemical property of soil in arid valley shrub were studied to provide theoretical basis for the restoration and management of natural vegetation in this region. [Methods] Field investigation and laboratory analysis were used. [Results] (1) Coverage, density, average canopy and height of the shrub layer were significantly increased after hillsides closing, but it is opposite for the herb layer. (2) With the increase of closing age, soil bulk density showed a V-shaped change and reached the minimum value in 13 a. However, vegetation community characteristics, soil porosity, soil water retention capability and soil nutrient all showed an inverted V-shaped curve, they reached the maximum values around 13 a after the hillsides was closed. As compared with the no closing hillsides, the average soil available N, P, K in 0—40 cm layer increased by 26.42%, 26.42%, 107.35%, respectively; total amount of N, P, K content increased by 168.42%, 47.62% and 31.12%. (3) After closing hillsides to facilitate afforestation was conducted, obvious surface convergence phenomenon was observed. Soil physio-chemical properties and carbon sequestration capacity increased. Soil organic carbon densities of plots(F) with different closing ages(n) showed as the following rank:  $F_{13} > F_{22} > F_{30} > F_5 > CK$ . Soil organic carbon reserves was showed

收稿日期: 2016-06-23

修回日期: 2016-07-04

资助项目: 甘肃省科技计划项目“拱坝河流域典型森林类型土壤有机碳及养分空间异质性研究”(1506RJZK179); 中央财政推广项目“白龙江干旱河谷乡土树种育苗与植被恢复技术推广示范”([2015]ZYTG03)

第一作者: 赵栋(1985—), 男(汉族), 甘肃省会宁县人, 硕士, 工程师, 主要从事森林生态和森林经营工作。E-mail: 405694634@qq.com。

as:  $F_5 > F_{13} > F_{22} > F_{30} > CK$ . It is showed that soil environment had more obvious improvement in *Sophora viciifolia* community along restoration process. (4) After close hillsides to facilitate afforestation was carried out, interference was decreased, the coverage of *Sophora viciifolia* bushes got increased, aboveground biomass and productivity also got increased. There was a positively linear relationship between biomass and closing hillsides to facilitate afforestation age. [Conclusion] After close hillsides to facilitate afforestation was carried out, *Sophora viciifolia* community vegetation characteristics, soil physio-chemical properties, soil organic carbon density and reserves were all better than the corresponding ones of no closing hillsides.

**Keywords:** semi-arid valley; fencing time; soil physicochemical properties; *Sophora viciifolia*; vegetation characteristics

白龙江流域干旱河谷是长江水系北部生态脆弱带和敏感区,坡陡谷深,降水量偏少,太阳辐射较强,生态系统严重退化,泥石流和滑坡等地质灾害频发,水土流失严重。原生植被破坏非常严重,其灌丛的生产力及生态功能降低,带来水土流失、泥沙、泥石流和滑坡等一系列地质灾害,因此恢复干旱河谷灌丛生产力和生态功能是干旱河谷生态安全屏障建设的重要内容之一<sup>[1-3]</sup>。封育作为一种主要的植被恢复和重建的措施,为世界各国所广泛采用<sup>[4-9]</sup>。国内开展的许多相关研究也均表明封育措施可以显著提高退化群落物种的多样性和生物量<sup>[10-11]</sup>。白龙江林区位于青藏高原东部边缘与岷山山脉的白龙江和洮河两大河流上游,属长江和黄河的源头地区。大部分经营区在甘南藏族自治州的舟曲、迭部、卓尼、临潭、合作市及陇南地区的武都、文县境内,是全国 9 大重点林区之一。开展植树造林历史比较久,但对干旱河谷植被恢复的系统研究时间比较短,相关研究尤其是有关不同封育年限土壤理化特性、有机碳储量及密度的变化研究尚不多见。本研究采用野外调查采样和室内分析相结合的方法,以位于甘肃省南部舟曲县境内的拱坝河流域干旱河谷分布最广、最典型的地带性植被狼牙刺(*Sophora viciifolia*)灌丛为研究对象,研究不同封育年限下土壤理化特性和有机碳储量及密度特征,旨在探讨不同封育年限对灌丛土壤的长期影响,为指导干旱河谷区的灌木资源管理、天然植被恢复与管理提供理论依据。

## 1 研究区自然概况

研究区位于甘肃省南部舟曲县境内拱坝河流域中下游,为白龙江林区典型的干旱河谷地带,河谷较宽,植被稀疏残败、地形破碎、土地石漠化及岩漠化严重。地理坐标为北纬  $32^{\circ}32' - 35^{\circ}50'$ ,东经  $101^{\circ}40' - 105^{\circ}20'$ ,流域面积  $13\ 667\ \text{hm}^2$ ,海拔  $600 \sim 1\ 200\ \text{m}$ ,受下沉气流的影响,全年多晴朗天气,冬无严寒,夏无酷暑。区内气候温暖、干燥,年均气温  $12.7\ ^{\circ}\text{C}$ ,年平均相对湿度  $40\% \sim 60\%$ ,降水量  $300 \sim 500\ \text{mm}$ ,平均

蒸发量  $1\ 740 \sim 2\ 122\ \text{m}$ ,干燥度  $1 \sim 4$ ,干湿指数  $3 \sim 7$ , $\geq 10\ ^{\circ}\text{C}$ 积温  $4\ 072.2\ ^{\circ}\text{C}$ ,无霜期  $224\ \text{d}$ ,全年日照时数  $1\ 766.3\ \text{h}$ 以上<sup>[12]</sup>。研究区植被类型主要有灌丛和草甸植被以及河谷人工林群落,常见的植物种主要由旱中生小叶落叶具刺灌木及耐旱草本(禾草为主)植物组成。组成群落的建群种或优势种约有 50 余种,主要有狼牙刺、岷江柏木(*Cupressus chengiana*)、密枝圆柏(*Sabina convallium*)、小叶杨(*Populus simonii*)、乌柳(*Salix cheilophila*)、榿子栎(*Quercus baronii*)、少齿小檗(*Berberis potaninii*)、堆花小檗(*Berberis aggregata*)、西康扁桃(*Amygdalus tangutlca*)、细枝栒子(*Cotoneaster tenuipes*)、华西小石积(*Osteomeles schwerinae*)、酸枣(*Ziziphus jujuba*)、川甘亚菊(*Ajania potaninii*)等<sup>[13]</sup>。狼牙刺灌丛是白龙江干旱河谷常见的次生林灌丛,由于其耐干旱、瘠薄、喜光,对土壤要求不严,天然生长状况良好,形成纯林或占优势的群落。在干旱河谷利用自然力和乡土种恢复天然生态系统的需求下,不同封育年限对干旱河谷灌丛土壤理化性质的影响,对拱坝河流域干旱河谷植被建设具有重要意义。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

选择干旱河谷分布最广、最典型的地带性植被狼牙刺群落为研究对象,2012 年 4—5 月根据资料记载与调查访问,分别选取封育 5 a( $F_5$ ),13 a( $F_{13}$ ),22 a( $F_{22}$ ),30 a( $F_{30}$ )的狼牙刺灌丛为研究对象,以未封育灌丛为对照(CK),在不同封育年限的狼牙刺灌丛内设置 3 个  $10\ \text{m} \times 10\ \text{m}$  的调查样地,在每个样地梅花状设置 5 个  $1\ \text{m} \times 1\ \text{m}$  草本样方,对其灌木种的株数、高度和冠幅;灌木种的株数、高度和冠幅、地上部分生物量(地上现存生物量在  $65\ ^{\circ}\text{C}$  下烘干,称重)行调查。同时记录样地所在地海拔高度、地理位置等。灌木盖度 = 东西冠幅  $\times$  南北冠幅  $\times 100$  / 样方面积;密度 = 植物的总株数 / 样方面积。数据采用 Excel 与 SPSS 17.0 软件分析,采用单因素方差分析和

Duncan多重比较,对不同样地间土壤特征值进行比较分析。样地基本情况详见表 1。

表 1 研究区样地概况

样地编号	海拔/m	坡位	坡度/(°)	土壤质地	优势种	盖度/%
CK	930	河谷	10~15	粗砾	狼牙刺	20
F <sub>5</sub>	890	河谷	10~15	粗砾	狼牙刺	30
F <sub>13</sub>	960	河谷	10~15	粗砾	狼牙刺	45
F <sub>22</sub>	1020	河谷	10~15	粗砾	狼牙刺	65
F <sub>30</sub>	1100	河谷	10~15	粗砾	狼牙刺	50

## 2.2 土样采集与植被调查方法

在所选的各样地内设置取样点 5 个,去除表层的枯枝落叶,挖掘土壤剖面,用环刀分别取 0—20 cm, 20—40 cm 土层的原状土壤,带回实验室进行土壤容重、孔隙度的测定,并计算土壤持水量。另外,在每个取样点分别用土钻取 0—20 cm, 20—40 cm 的土样混合后带回实验室,经风干去杂后过 2 和 0.149 mm 的土壤筛,测定土壤化学性质。

## 2.3 壤理化性质测定

采用环刀浸水法测定土壤容重、孔隙度等各项物理指标;土壤有机碳含量的测定采用重铬酸钾氧化—

外加热法;速效 N 用碱解扩散法;速效 K 采用 NH<sub>4</sub>Ac 浸提,火焰光度计测定;速效 P 用 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 浸提,钼锑抗比色法;全量 N, P, K 用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消化法<sup>[14]</sup>。

土壤有机碳密度(SOC<sub>t</sub>, kg/m<sup>2</sup>)计算公式为:

$$SOC_t = \sum_{i=1}^n SOC_i = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 100$$

有机碳储量(SOC, kg)计算公式为:

$$SOC_s = S \cdot SOC_t$$

式中:K——土壤剖面的土层数目;C<sub>i</sub>——土壤有机碳含量(g/kg);D<sub>i</sub>——容重(g/cm<sup>3</sup>);E<sub>i</sub>——土层厚度(cm);G<sub>i</sub>——>2 mm 石砾所占的体积百分比(%);S——区域面积(m<sup>2</sup>)<sup>[15-16]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同封育年限狼牙刺灌丛植被特征

植被的盖度、密度、高度、灌木的平均冠幅及地上生物量都是衡量当地生态功能和生产力的重要指标,其变化特征能够表明该地群落演替、植被恢复和植物资源利用的重要信息。由表 2 可以看出,封育对狼牙刺灌丛植被群落特征具有一定的影响。

表 2 不同封育年限样地的植被特征

样地编号	盖度/%		密度/(株·m <sup>-2</sup> )		冠幅/m <sup>2</sup>		高度/m		生物量/(g·m <sup>-2</sup> )
	灌木层	草本层	灌木层	草本层	灌木层	草本层	灌木层	草本层	
CK	7.31±1.21 <sup>a</sup>	38.20±2.56 <sup>a</sup>	0.19±1.31 <sup>a</sup>	27.56±0.18 <sup>a</sup>	0.35±0.13 <sup>a</sup>	0.52±0.16 <sup>a</sup>	0.83±0.24 <sup>a</sup>	0.41±0.12 <sup>a</sup>	950±1.58 <sup>a</sup>
F <sub>5</sub>	11.80±3.13 <sup>b</sup>	45.36±3.11 <sup>b</sup>	0.20±1.24 <sup>a</sup>	14.93±0.24 <sup>b</sup>	0.37±0.12 <sup>a</sup>	0.37±0.16 <sup>b</sup>	0.88±0.38 <sup>a</sup>	0.29±0.01 <sup>b</sup>	1820±2.10 <sup>bc</sup>
F <sub>13</sub>	14.5±2.25 <sup>c</sup>	37.87±2.28 <sup>a</sup>	0.27±1.44 <sup>b</sup>	13.33±0.31 <sup>bc</sup>	0.40±0.18 <sup>a</sup>	0.31±0.24 <sup>b</sup>	1.03±0.24 <sup>b</sup>	0.20±0.02 <sup>c</sup>	2133±1.47 <sup>b</sup>
F <sub>22</sub>	21.2±4.06 <sup>d</sup>	22.49±1.54 <sup>c</sup>	0.41±2.12 <sup>c</sup>	13.01±0.17 <sup>bc</sup>	0.48±0.21 <sup>a</sup>	0.27±0.28 <sup>b</sup>	1.28±0.31 <sup>b</sup>	0.18±0.04 <sup>c</sup>	2361±2.26 <sup>b</sup>
F <sub>30</sub>	16.1±1.98 <sup>ab</sup>	13.26±2.86 <sup>d</sup>	0.38±1.71 <sup>dc</sup>	12.54±1.03 <sup>c</sup>	0.42±0.18 <sup>a</sup>	0.26±0.19 <sup>b</sup>	1.30±0.16 <sup>b</sup>	0.18±0.02 <sup>c</sup>	2492±3.81 <sup>b</sup>

注:同列不同小写字母表示不同封育年限干旱河谷土壤同一层深度在 0.05 水平上差异显著。下同。

3.1.1 植被盖度 封育能够提高干旱河谷狼牙刺群落灌木层的平均盖度,随着封育年限的增加,灌木层、草本层盖度均是先增后降低,呈现出倒 V 字形,但它们达到最大值时的封育年限不一样,灌木层的盖度在封育 22 a 最大,比 CK 提高了 285.78%,而草本层在封育 5 a 就达到最大值,比 CK 提高了 18.7%,之后随着年限的增加逐渐下降。

3.1.2 群落密度 在封育的前 22 a,狼牙刺群落平均密度呈增加的趋势,但以后狼牙刺群落平均密度又呈现下降趋势;封育后草本层密度在 5 a 内急剧降低,以后变化不大。与 CK 相比,封育 5 a 狼牙刺群落平均密度只增加 0.01 株/m<sup>2</sup>,而封育 22 a 狼牙刺群落平均密度却增加到 0.38 株/m<sup>2</sup>,这与封育后灌丛中动物活动有关,而封育 30 a 灌木平均密度的下降与灌木

幼苗部分死亡相关。

3.1.3 灌木平均冠幅 灌木层平均冠幅随着时间的推移先增后减,在封育 22 a 时达到最大值,但变化趋势不显著;灌木层冠幅在封育 5 a 后急剧变小,以后变小趋势逐渐减缓,封育后各个样地与 CK 有显著的差异,草本层冠幅与灌木层冠幅呈现出负相关,这是由于灌木层冠幅的增加,影响了地面光照有关。

3.1.4 植被高度 封育后灌木层与草本层高度变化呈负相关,随着封育时间的延长灌木层高度明显增高,但是在封育 5 a 与 CK 差异性不显著,封育 13, 22, 30 a 与 CK 差异性极显著,高度分别增加了 24.1%, 54.2%, 56.6%。

总之在采取封育措施后,封育区植被特征均好于未封育区,原因与封育后限制了牲畜和人为活动对植

被的破坏有关,为该区植被恢复提供了保障,植被更新良好。但长时间封育有肯能使地面枯落物增多,影响草本层植物的生长。因此,在封育后灌木层的盖度、密度、冠幅、高度及生物量升高,而草本层的则相反。

### 3.2 不同封育年限土壤物理特征

土壤物理特性变化能够直接度量植物与土壤环境的内在关系,通过研究干旱河谷地区封育后植被与土壤环境的关系,为该地区的天然植被恢复与管理提供理论依据。

土壤容重和孔隙度及其分布可以反映土壤结构的好坏,影响着土体中水、肥、气、热等诸肥力因素的变化和协调,土壤持水能力是说明土壤水文调节功能强弱的指标<sup>[17]</sup>。由表 3 可知,各样地的土壤容重随着土层深度的增加而增加,而土壤非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度、最大持水量、毛管持水量和最小持水量则随着土层深度的增加而减小。未封育、封育 5, 13, 22, 30 a 样地的土壤容重在 20—40 cm 土层较 0—20 cm 分别高了 2.71%, 5.55%, 2.53%, 2.87%,

7.10%;总孔隙度分别降低了 3.07%, 16.4%, 4.81%, 4.20%, 5.81%;最大持水量分别降低了 3.55%, 10.36%, 29.55%, 18.89%, 5.06%。随着封育年限的增加,土壤平均容重呈 V 字形变化,封育 5 a 时最小,土壤平均非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度、最大持水量、毛管持水量和最小持水量呈倒 V 字形变化,在封育 13 a 时最大。0—40 cm,封育后平均容重迅速降低,随着封育时间的延长,土壤平均容重逐渐升高,在封育 5, 13, 22 a 后土壤平均容重均显著低于未封育的样地 ( $p < 0.05$ ), 分别降低 11.31%, 7.47%, 5.65%, 封育 30 a 后,土壤平均容重高于未封育样地;封育后各样地的土壤平均毛管孔隙度、总孔隙度、最大持水量、毛管持水量和最小持水量均高于未封育样地,但变化不一致。可见,封育后,林地的土壤物理性质有所改良,使土壤变得疏松,土壤的孔隙度和通气性较未封育样地高,这是由于封育后植被盖度增加,枯落物增多,减缓了水土流失,使得封育后土壤容重显著下降,孔隙度显著增加,持水能力也随之增加<sup>[18]</sup>。

表 3 不同封育年限样地的土壤物理性质

样地编号	土层厚度/cm	容重/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	非毛管孔隙度/%	毛管孔隙度/%	总孔隙度/%	最大持水量/%	毛管持水量/%	最小持水量/%
CK	0—20	1.84±0.09 <sup>c</sup>	5.09±0.23 <sup>a</sup>	17.69±2.32 <sup>a</sup>	24.51±2.27 <sup>a</sup>	21.27±0.04 <sup>a</sup>	20.28±0.22 <sup>a</sup>	16.77±0.47 <sup>b</sup>
	20—40	1.89±0.10 <sup>c</sup>	4.96±0.12 <sup>a</sup>	18.40±2.01 <sup>a</sup>	23.78±2.12 <sup>a</sup>	20.54±1.01 <sup>a</sup>	19.69±1.01 <sup>a</sup>	15.10±0.43 <sup>ab</sup>
	0—40	1.87±0.09 <sup>c</sup>	5.03±0.41 <sup>a</sup>	18.05±2.63 <sup>a</sup>	24.15±1.98 <sup>a</sup>	20.76±2.23 <sup>a</sup>	19.94±0.85 <sup>a</sup>	15.94±1.03 <sup>a</sup>
F <sub>5</sub>	0—20	1.62±0.03 <sup>a</sup>	6.11±0.10 <sup>a</sup>	25.21±2.47 <sup>b</sup>	31.45±2.36 <sup>b</sup>	23.11±0.83 <sup>ab</sup>	22.89±0.63 <sup>a</sup>	17.92±2.21 <sup>b</sup>
	20—40	1.71±0.11 <sup>ab</sup>	6.09±0.28 <sup>a</sup>	19.90±1.23 <sup>a</sup>	27.03±2.20 <sup>b</sup>	20.98±1.57 <sup>a</sup>	21.08±1.14 <sup>a</sup>	16.91±1.00 <sup>b</sup>
	0—40	1.68±0.15 <sup>ab</sup>	6.11±0.37 <sup>a</sup>	22.60±1.88 <sup>b</sup>	29.24±0.41 <sup>b</sup>	22.05±1.20 <sup>ab</sup>	21.99±0.54 <sup>a</sup>	17.42±0.85 <sup>b</sup>
F <sub>13</sub>	0—20	1.59±0.05 <sup>a</sup>	9.39±0.50 <sup>b</sup>	34.12±2.22 <sup>c</sup>	40.32±0.142 <sup>c</sup>	39.11±1.07 <sup>c</sup>	26.30±1.55 <sup>b</sup>	26.55±2.26 <sup>d</sup>
	20—40	1.63±0.03 <sup>a</sup>	9.20±0.22 <sup>b</sup>	26.08±1.57 <sup>a</sup>	38.47±2.58 <sup>c</sup>	30.19±0.20 <sup>c</sup>	24.99±1.74 <sup>b</sup>	20.35±0.90 <sup>c</sup>
	0—40	1.60±0.04 <sup>a</sup>	9.30±0.49 <sup>b</sup>	30.10±3.21 <sup>c</sup>	39.40±3.19 <sup>c</sup>	34.65±1.34 <sup>c</sup>	25.95±0.13 <sup>b</sup>	23.45±0.22 <sup>c</sup>
F <sub>22</sub>	0—20	1.74±0.06 <sup>b</sup>	8.05±0.76 <sup>ab</sup>	20.23±1.17 <sup>a</sup>	31.07±1.50 <sup>a</sup>	28.76±0.18 <sup>b</sup>	23.43±0.06 <sup>ab</sup>	21.59±0.41 <sup>c</sup>
	20—40	1.79±0.09 <sup>b</sup>	7.24±0.33 <sup>ab</sup>	19.98±2.54 <sup>a</sup>	30.14±2.41 <sup>a</sup>	24.19±1.12 <sup>ab</sup>	21.59±2.08 <sup>a</sup>	19.14±1.02 <sup>c</sup>
	0—40	1.77±0.10 <sup>b</sup>	7.65±0.11 <sup>ab</sup>	20.13±3.11 <sup>a</sup>	29.63±2.33 <sup>a</sup>	26.48±1.33 <sup>b</sup>	22.51±1.55 <sup>a</sup>	19.87±1.17 <sup>c</sup>
F <sub>30</sub>	0—20	1.83±0.09 <sup>b</sup>	7.18±0.52 <sup>ab</sup>	18.94±1.35 <sup>a</sup>	25.09±1.41 <sup>a</sup>	23.86±1.24 <sup>ab</sup>	19.99±2.54 <sup>a</sup>	17.29±1.30 <sup>b</sup>
	20—40	1.96±0.05 <sup>c</sup>	6.83±0.27 <sup>a</sup>	17.32±3.43 <sup>a</sup>	23.87±1.97 <sup>a</sup>	22.71±0.49 <sup>a</sup>	17.28±1.89 <sup>a</sup>	14.81±0.52 <sup>a</sup>
	0—40	1.93±0.04 <sup>c</sup>	7.09±0.61 <sup>a</sup>	18.55±4.01 <sup>a</sup>	24.54±3.54 <sup>a</sup>	22.42±2.01 <sup>a</sup>	21.68±0.27 <sup>a</sup>	16.74±0.76 <sup>b</sup>

### 3.3 不同封育年限土壤养分特征

由图 1 可知,各样地的土壤速效 N,P,K 和全量 N,P,K 向表层聚集明显,表现出植被恢复对土壤养分的表聚作用。在封育和未封育的样地中,0—20 cm 土壤速效 N,P,K 和全量 N,P,K 均高于 20—40 cm,未封育和封育样地,土壤速效 N 和全 P 含量变化不大,土壤平均速效 N,P,K 和全量 N,P,K 均随着封育年限的增加呈倒 V 形变化,在封育 13 a 时最大。

0—40 cm,封育 13 a 的土壤平均速效 N,P,K 较未封育草地分别增加了 26.42%, 107.35%, 33.92%;全量 N,P,K 含量分别增加了 168.42%, 47.62%, 31.12%。可见,采取封育措施后,植被得以恢复,覆盖度增加,减少水土流失,为土壤动物和微生物提供理想的栖息地和活动场所,提高土壤肥力,封育后狼牙刺灌丛逐渐形成“肥岛”效应,土壤养分处在扩大的循环中。

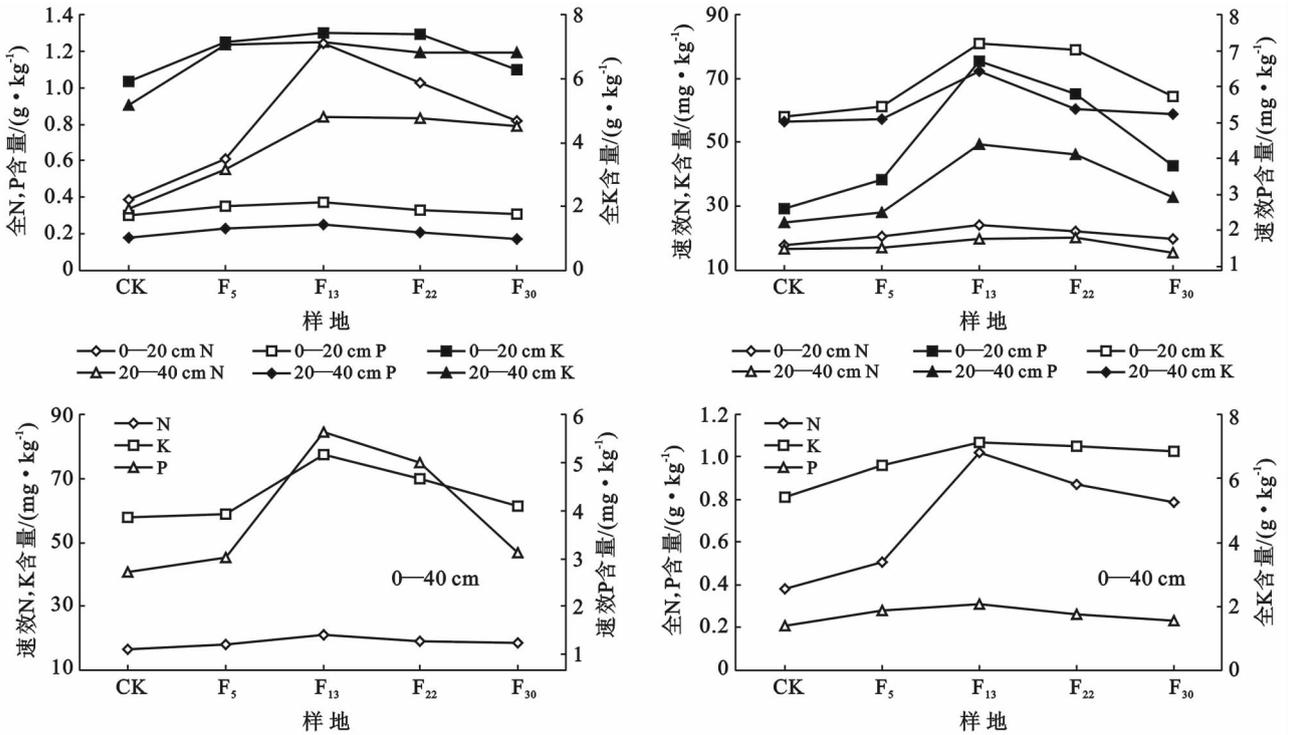


图 1 不同封育年限样地土壤速效 N、P、K 和全量 N、P、K 的变化

### 3.4 不同封育年限土壤有机碳储量及碳密度特征

由图 2 可知,不同封育年限土壤有机碳具有明显的表聚现象,0—20 cm,未封育、不同封育年限土壤有机碳含量 0—20 cm 均高于 20—40 cm,随着封育年限的增加,土壤有机碳储量先增后降,在封育 13 a 时达到最大值(图 2);而土壤有机碳密度则表现为:F<sub>5</sub> >

F<sub>13</sub> > F<sub>22</sub> > F<sub>30</sub> > CK,未封育、封育 5,13,22,30 a 土壤有机碳储量值分别为  $3.31 \times 10^7$  kg,  $0.93 \times 10^7$  kg,  $6.23 \times 10^7$  kg,  $5.54 \times 10^7$  kg,  $4.18 \times 10^7$  kg。

在封育后,土壤碳密度均大于未封育样地。可见封育有助于 CO<sub>2</sub> 的积累,干旱河谷灌丛固碳能力有所提升。

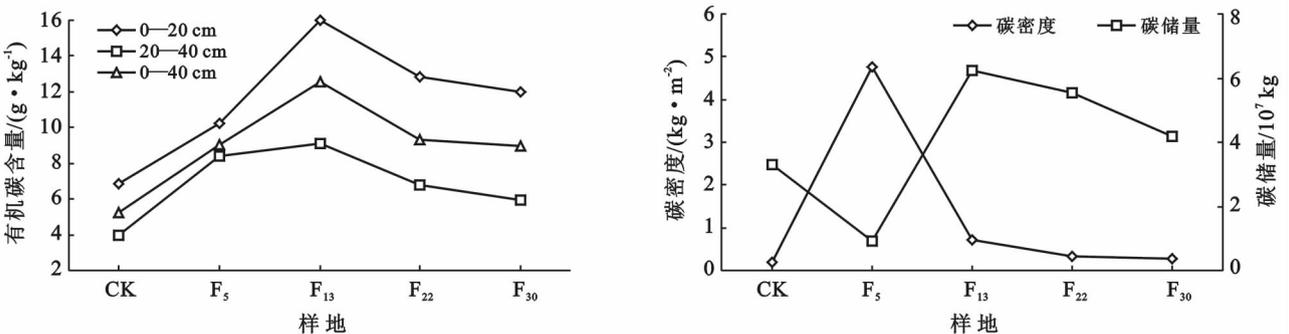


图 2 不同封育年限样地土壤有机碳储量及碳密度的变化

### 3.5 植被生物量

图 3 表明,封育可提高干旱河谷天然植被的地上部分生物量<sup>[19]</sup>。从生物量的动态变化看,在封育初期(5 a)生物量的增加特别显著,比 CK 增加了 91.58%,但随着封育时间的延长,生物量增加速度变缓,因为后期植被主要以狼牙刺灌木为主,植株变大,生长空间有限,故生物量变化不大。对封育年限与生物量关系进行曲线拟合,尝试比较了多种函数拟

合方法,结果发现,线性( $R^2 = 0.8685$ )、对数( $R^2 = 0.9794$ )、多项式( $R^2 = 0.9978$ )、幂( $R^2 = 0.9333$ )、指数( $R^2 = 0.7817$ )拟合度都很高。虽然多项式拟合的相关系数为 0.9978,但随着拟合次数的增加,高次项的拟合系数越来越小,引起方程的不稳定,因此采用对数拟合(图 3)。即封育年限与生物量最适合对数线性关系为:

$$y = 957.77 \ln x + 1034.1, R^2 = 0.9794$$

## 4 结论

(1) 封育能够降低林地土壤容重,提高毛管孔隙度、总孔隙度、最大持水量、毛管持水量和最小持水量。土壤表层速效 N、P、K、全量 N、P、K 和有机碳明显高于下层,表现出植被恢复对土壤养分的表聚作用。这一研究结果与单桂连<sup>[20]</sup>等的研究结果一致。

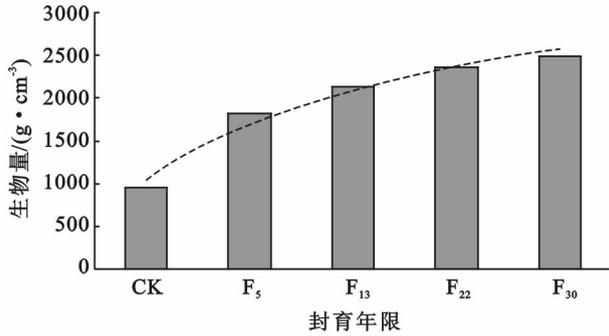


图 3 不同封育年限样地植被生物量动态变化

(2) 封育后样地灌木平均冠幅、高度、盖度、密度及生物量显著增加,土壤有机碳密度表现为: $F_{13} > F_{22} > F_{30} > F_5 > CK$ ,土壤有机碳储量表现为: $F_5 > F_{13} > F_{22} > F_{30} > CK$ ,可见封育后减少牲畜和人为活动对植被的干扰,干旱河谷狼牙刺灌丛植被得到恢并得以扩展,随着封育年限的增加,凋落物不断积累,不但可以增加地表覆盖,还可以改善土壤的理化特性,减少地面径流和地表蒸发,增加土壤持水能力,土壤养分也随之增加,土壤有机碳密度和有机碳储量有所提高。此研究结果与文海燕<sup>[21-23]</sup>等研究的结果一致。

(3) 土壤平均容重随着封育年限的增加呈 V 字形变化,样地的植被特征、土壤理化性质及有机碳密度和储量均随着封育年限的增加呈倒 V 字形变化。封育 13 a 草地的植被盖度、密度、高度、冠幅、生物量及土壤容重、孔隙度、持水量、速效 N、P、K、全量 N、P、K、有机碳储量及密度均好于其他样地,达到最大值,13 a 之后开始下降,但都高于 CK,表明封育时间并不是越长越好,根据生态系统的可持续发展原理,封育并不是无限期的,在封育一段时间后,进行适当的人为干预。

(4) 封育后样地生物量均大于 CK,分别比 CK 高出 91.58%,124.43%,148.53%和 162.32%,可见封育能够迅速提高地上生物量,但是随着封育时间的延长,生物量增加变缓,生物量与封育年限存在着一定的多项式关系( $R^2=0.9794$ )。

(5) 封育的最终目的是为了恢复退化植被及合理利用。白龙江干旱河谷地带的狼牙刺灌木林长期

被当地藏民用于放牧与薪材采集。然而,目前还没有一套狼牙刺灌丛的合理管理与利用制度。为了保护当地环境,实现可持续利用,如何更好地恢复干旱河谷植被有待于今后进一步深入研究。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 刘国华,傅伯杰,陈利顶,等.中国生态退化的主要类型、特征和分布[J].生态学报,2002,20(1):13-19.
- [2] 陈国鹏,曹秀文,王会儒,等.白龙江干旱河谷岩生植物持水性能[J].水土保持学报,2014,28(1):43-46.
- [3] 樊宏,张建平.岷江上游干旱河谷土地利用/土地覆盖研究[J].中国沙漠,2002,22(3):273-278.
- [4] Johnson K H, Vogt K A, Clark H J, et al. Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems [J]. Trends in Ecological Evolution, 1996,11(9):372-377.
- [5] 章家恩,徐琪.现代生态研究的几大热点问题透视 [J].地理科学进展,1997,16(3):29-37.
- [6] 刘国华,傅伯杰,陈利顶,等.中国生态退化的主要类型、特征和分布[J].生态学报,2002,20(1):13-19.
- [7] 彭少麟.恢复生态学及植被重建[J].生态科学,1996,15(2):26-31.
- [8] 彭少麟,陆宏芳.恢复生态学焦点问题[J].生态学报,2003,23(7):249-257.
- [9] 杨晓晖,张克斌,侯瑞萍,等.封育措施对半干旱沙地草场植被群落特征及地上生物量的影响[J].生态环境,2005,14(5):730-734.
- [10] 任海,彭少麟.恢复生态学导论[M].北京:科学出版社,2001:28-134.
- [11] 沈彦,冯起勇,张克斌,等.围栏封育对农牧交错区沙化草地植物群落影响:以宁夏盐池为例[J].干旱区资源与环境,2008(6):156-159.
- [12] 赵栋,刘锦乾,杨永红,等.白龙江水源涵养林不同林龄土壤性状[J].安徽农业科学,2013,41(32):12616-12619.
- [13] 治民生,吴斌,关文彬,等.岷江干旱河谷主要草本种群生态位研究[J].青海大学学报:自然科学版,2008,26(5):48-53.
- [14] 国家林业局.中华人民共和国林业行业标准:森林土壤分析方法[S].北京:中国标准出版社,2000:75-115.
- [15] 岳曼,常庆瑞,王飞,等.土壤有机碳储量研究进展[J].土壤通报,2008,39(5):1173-1178.
- [16] 徐艳,张凤荣,段增强,等.区域土壤有机碳密度及碳储量计算方法探讨[J].土壤通报,2005,36(6):836-839.
- [17] 单贵莲,初晓辉,田青松,等.典型草原恢复演替过程中土壤性状动态变化研究[J].草业学报,2012,21(4):1-9.
- [18] 王丹丹,郑纪勇,颜永毫,等.生物炭对宁南山区土壤持水性能影响的定位研究[J].水土保持学报,2013,27(2):101-104.

### 3 结论

试验表明,东北黑土区坡耕地植物篱模式,改善了土壤结构,使土壤容重减小,土壤孔隙度增加,显著提高了土壤入渗性能,减少了地表径流和土壤侵蚀的发生。植物篱带部位的土壤渗透性能大大高于篱间部位,不同植物篱的土壤入渗能力大小排序为:黑豆果>短梗刺五加>桑树,不同地面坡度植物篱渗透系数大小排序均为:小坡度植物篱>大坡度植物篱。由于植物篱模式是一种植物措施,对土壤性能的影响需要有一个逐步显现的过程,本试验中植物栽植年限较短,研究结果只能表明模式初期的效果,对其效益的综合评定需要开展长期的定位研究。但从本地初步研究和其它地区的研究成果来看,植物篱模式是一种占地少、易操作、效果好、群众易接受的水土流失治理新措施,值得在东北黑土区大力推广应用。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 郭廷辅,段巧甫. 径流调控理论是水土保持的精髓:四论水土保持的特殊性[J]. 中国水土保持,2001(11):1-4.
- [2] 赵洋毅,王玉杰,王云琦,等. 渝北水源区水源涵养林构建模式对土壤渗透性的影响[J]. 生态学报,2010,30(15):4162-4172.
- [3] 杨远祥,冷燕,马翔,等. 植物篱在坡耕地水土保持中的

应用[J]. 亚热带水土保持,2010,22(2):23-24.

- [4] 张宪奎,许靖华,卢秀琴,等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报,1992,12(4):1-9,18.
- [5] 刘佳,范昊明,周丽丽,等. 冻融循环对黑土容重和孔隙度影响的试验研究[J]. 水土保持学报,2009,23(6):186-189.
- [6] 胡顺军,田长彦,宋郁东,等. 土壤渗透系数测定与计算方法的探讨[J]. 农业工程学报,2011,27(5):68-72.
- [7] 赵西宁,吴发启,王万忠,等. 黄土高原沟壑区坡耕地土壤入渗规律研究[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(4):109-112.
- [8] 夏江宝,杨吉华,李红云. 不同外界条件下土壤入渗性能的研究[J]. 水土保持研究,2004,11(2):115-117.
- [9] 张士林. 大降雨强度下雨水入渗规律研究[J]. 岩土工程技术,2003,5(1):281-285.
- [10] 李勇,徐晓琴. 黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[J]. 科学通报,1992,61(4):366-369.
- [11] 陈建伟,杨荣慧,王延平,等. 黑穗醋栗生物学特性与适生生态环境条件研究[J]. 西北农业学报,2006,15(5):236-239.
- [12] 张光灿,杨吉华,赵新明,等. 桑树根系分布及水土保持特性的研究[J]. 蚕业科学,1997,23(1):59-60.
- [13] 陈英智,李立新. 刺五加在东北黑土区埂带上的生态适应性及水保效益研究[J]. 水土保持研究,2014,21(4):138-142.

(上接第44页)

- [19] 刘国华,马克明,傅伯杰,等. 岷江干旱河谷主要灌类型地上生物量研究[J]. 生态学报,2003,23(9):1757-1764.
- [20] 邵新庆,石永红,韩建国,等. 典型草原自然演替过程中土壤理化性质动态变化[J]. 草地学报,2008,16(6):566-571.
- [21] 何念鹏,周道玮,吴冷. 极端干旱干扰下松嫩草原土壤

含水量与植物的反映[J]. 干旱区资源与环境,2001,15(3):53-56.

- [22] 苏永中,赵哈林. 持续放牧和封育对科尔沁退化沙地草地碳截存的影响[J]. 环境科学,2003,24(4):23-28.
- [23] 蒋德明,曹成有,李雪华,等. 科尔沁沙地植被恢复及其对土壤的改良效应[J]. 生态环境,2008,17(3):1135-1139.