

高寒沙区绿洲边缘典型人工灌木林开发利用

李少华,王学全*,包岩峰,尹书乐

(中国林业科学研究院 荒漠化研究所,北京 100093)

摘 要:以沙珠玉治沙试验林场内人工植被恢复的长期定位监测试验为基础,将不同林龄(3、12、21、30、42 a 和 51 a)的人工柠条(*Caragana korshinskii*)林地作为研究对象,把农田和沙丘作为对照,测定了土壤理化性质和柠条营养指标的变化情况,探讨了人工柠条林对沙地的恢复改良效果、高寒沙地恢复需要的时间和柠条的可开发利用潜力。结果表明:随着柠条林龄的增加,土壤质地得到显著改善,土壤有机质的含量显著增加($p<0.05$),与农田 0~5 cm 层土壤理化性状相比,30 年生柠条林地的表层土壤已恢复至农田水平,土壤有机质随着土层深度增加,改良效果存在时间上的滞后性;30~42 年生柠条林的粗蛋白总量达到最高,结合沙地土壤恢复状况,建议在超过 30 年生的柠条林区实施平茬措施,进行适度开发利用,提高其生态经济价值,以促进高寒沙区绿洲的可持续发展。

关键词:高寒沙区;绿洲边缘;柠条;土壤改良;开发利用

中图分类号:S724 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)02-0149-05

On Utilization of Typical Shrub Plantations in the Oasis Border of Alpine Sandy Area

LI Shao-hua, WANG Xue-quan*, BAO Yan-feng, YIN Shu-le

(Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100093, China)

Abstract: Taking artificial *Caragana korshinskii* plantations with different ages (3, 12, 21, 30, 42 and 51-year-old) as research objects, cultivation land and sand dune as control, a long term experiment was conducted in Shazhuyu Forest Farm, which is located in the oasis border of alpine sandy area in Qinghai. Soil physico-chemical properties and nutrient indicators of *C. korshinskii* as well as their dynamics were determined to examine the effects of vegetation restoration of *C. korshinskii* and its utilization potential. The results show that :with the increase of vegetation restoration time, the soil texture was greatly improved, soil organic matters increased significantly ($p<0.05$). Compared with farmland (0—5 cm layer), soil physico-chemical properties of 30-year-old plantation restored to the level of cultivation land. Soil organic matter increased with soil depth, and a time lag in the soil improvement was observed; The content of total crude protein reached the highest level in *C. korshinskii* plants with the ages of 30- to 42-year-old. Considering the recovery situations of sandy soil, it was suggested that *C. korshinskii* plants over 30-year-old could be cut off for further utilization to increase the economic benefit of ecological restoration, and to promote the sustainable development of the region.

Key words: alpine sandy land; oasis border; *Caragana korshinskii*; soil improvement; exploitation

青藏高原共和盆地位于三江源国家级自然保护区的东北部,这里生态环境脆弱,土壤风蚀严重,土地比较贫瘠,其中盆地内的沙珠玉地区是沙漠化最

严重的地区之一^[1]。青海沙珠玉治沙试验林场始建于 1958 年,在沙珠玉绿洲南缘,通过围封 858 hm² 沙地作为治沙示范区,进行流沙治理、抗逆植物选种

收稿日期:2015-06-26 修回日期:2015-08-26

基金项目:国家“十二五”科技支撑课题(2012BAD16B0105)。

作者简介:李少华,男,在读硕士,研究方向:水土保持与荒漠化防治。E-mail:2227401357@qq.com

* 通信作者:王学全,男,博士,研究员,研究方向:干旱区水文水资源及荒漠化防治。E-mail:wxq@caf.ac.cn

及沙区植被重建等方面研究^[2]。由于柠条具有耐寒、抗旱和耐贫瘠等特点,使其在该区域流动沙丘的治理过程中成为一种常用的固沙植物。60 a来该林场累计种植柠条约 400 hm²,种植年代系列完整,成为研究植被恢复的典型试验样地。在高寒沙区,目前关于人工植被对土壤理化性状恢复改良的研究^[3-6]较多,但在林木开发利用方面开展的工作较少。鉴于此,采用恢复生态学中常用的研究方法^[7],认为不同林龄(3、12、21、30、42、51 a)人工柠条林地的原始土壤理化性状和柠条的初始营养价值相同,并且以农田和沙丘土壤为对照。通过野外调查和室内分析,测定高寒沙区绿洲边缘不同林龄柠条林地土壤质地和有机质含量及不同林龄柠条的粗蛋白含量,分析各龄林柠条对沙地土壤改良效果和柠条的饲用价值变化规律,评价柠条林对沙地土壤恢复的生态效应和柠条的可开发利用潜力,进而为高寒沙区绿洲边缘林场采取科学合理的人工林抚育措施和绿洲可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究在青海沙珠玉治沙试验林场进行,位于青藏高原东北部的共和盆地,属于高寒干旱草原荒漠区^[1]。采样点位于 36°14′—36°16′N、100°13′—100°16′E 之间,海拔为 2 874~2 890 m。年均气温 2.4℃,无霜期平均 91 d,年均降水量 246.3 mm,主要集中在 7—8 月份,风沙活动剧烈,沙尘暴频繁,主

要集中在每年的 3、4 月份,风沙活动已成为制约该地植被恢复的限制因子之一^[8]。经过近 60 a 的造林试验,人工植被逐渐恢复,林场内植被以耐寒和耐旱生植物为主^[6],主要有柠条(*Caragana Korshinskii*)、乌柳(*Salix microstachya*)、青杨(*Populus cathayana*)、沙柳(*Salix psammophila*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)、赖草(*Leymus secalinus*)等。

1.2 研究方法

野外试验以不同种植年限的柠条林地为取样区域,样地特征如表 1 所示,于 2015 年 5 月初进行野外土壤和植物取样调查,土壤取样深度为 0~5、5~15 cm 和 15~30 cm 3 层。土壤采样方法为:在每株柠条灌丛 4 个方位距离中心 25 cm 处,将分别取得土壤按层混为 1 个样品,用作实验室分析,然后各取 3 组重复用于方差分析,最后用 GPS 测定样地的海拔和经纬度。植物取样方法为:在各柠条样地随机选取 5 株,在距地表 15 cm 处进行刈割采集,野外分别称量其鲜重,计算平均值;然后带回治沙站实验室进一步粉碎,置于 65℃ 电热恒温鼓风干燥箱烘干至衡重,作为待测样品带回北京进行化验分析。

室内实验均在国家林业局森林生态环境重点实验室完成,柠条的粗蛋白(CP)采用凯氏定氮法测定;土壤有机质采用重铬酸钾—外加热法测定,土壤 pH 值采用酸度计法测定^[9];土壤机械组成的测定采用比重计法^[10],级径按国际制土壤质地分类标准进行划分,即砂粒(2.0~0.02 mm)、粉砂粒(0.02~0.002 mm)和黏粒(0~0.002 mm)。

表 1 不同样地基本情况

Table 1 The basic information at different sample plots

林龄/a	地理位置	海拔/m	生境	造林方式	平均株高/m	平均冠幅/(m×m)
3	36°14.03′N、100°15.76′E	2 877	沙丘	沙障内直播造林,各行均匀分布	0.47	0.32×0.45
12	36°14.45′N、100°14.11′E	2 874			1.89	1.76×1.89
21	36°14.82′N、100°14.52′E	2 882			2.53	2.34×2.68
30	36°15.16′N、100°15.23′E	2 886			2.81	2.56×3.11
42	36°15.54′N、100°14.98′E	2 879			3.02	2.74×3.27
51	36°15.87′N、100°14.72′E	2 884			3.06	2.78×3.32

1.3 数据处理与作图

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据处理、图表绘制,SPSS 统计软件中的单因素方差分析(One-Way ANOVA)程序进行统计分析,最小显著差数法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 人工柠条林地表层土壤机械组成和 pH 变化特征

从表 2 可以看出,随着柠条林龄变化,人工柠条

林的生长和沙丘固定时间的延长,柠条的灌丛堆效应开始显现,0~5 cm 层土壤机械组成发生显著变化,土壤颗粒组成总体是砂粒含量>粉砂粒含量>黏粒含量,从 21 年生的柠条林地到 51 年生柠条林土壤粘粒和粉砂粒含量显著增加,砂粒含量显著减少;但从 3 年生到 12 年生柠条林地土壤机械组成变化不明显,尤其是 3 年生柠条林地土壤中粘粒含量低于沙地,说明 3 年生柠条林的土壤质地没有得到明显的改良。通过与沙地和农田土壤的机械组成相比,柠条林地土壤机械组成在 12 a 开始逐渐改善,

从 21 a 开始显著改善,到 42 a 时已恢复至农田土壤质地水平。

本次调查的土样 pH 变化范围在 8.56~8.87 之间,平均高达 8.70,显碱性;并且林地土壤 pH 呈现随着林龄的增加而降低的趋势,但土壤 pH 的变异系数较小,可能与沙地本身有较高的 pH 值有关,进而表明植被恢复过程对土壤的酸碱性影响不明显;与农田 pH 相比,30 年生的柠条林地土壤恢复到较好水平。

2.2 人工柠条林地土壤有机质变化特征

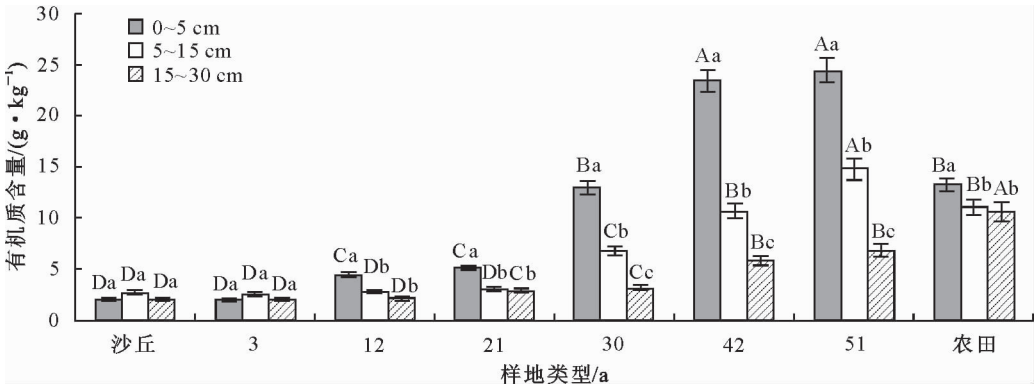
从图 1 可以看出,林龄和土层深度变化对土壤有机质含量具有显著影响($p<0.05$),在 0~5 cm 层发生极显著变化($p<0.01$)。沙丘与 3 年生林地

土壤有机质含量为 5~15 cm 层 $>0\sim5$ cm 层 $>15\sim30$ cm 层,并且层间含量差别不大;土壤有机质含量在 12 年生林地开始显现表聚性现象,随着林龄的增加越来越明显。恢复年限低于 12 a 的林地土壤有机质含量在 0~5 cm 层增加缓慢,恢复年限低于 30 a 的林地土壤有机质含量在 5~15 cm 层变化很小,恢复年限低于 42 a 的林地土壤有机质含量在 15~30 cm 层基本不变,这说明柠条人工林建立后对土壤有机质的影响在垂直深度上存在滞后性,进而表明受柠条根系对恢复沙丘土壤有机质的影响不明显。与沙丘土壤相比,3、12、21、30、42 a 和 51 a 各林区 0~30 cm 土壤有机质含量分别变化-2.7%、36.9%、61.9%、234.5%、478.9%和537.1%。

表 2 不同样地的土壤机械组成和 pH 值
Table 2 Soil texture and pH in different plots

样地类型	不同粒径组成/%			pH
	粘粒	粉砂粒	砂粒	
	0~0.002 mm	0.002~0.02 mm	0.02~2 mm	
农田	13.74±1.58b	13.58±2.11b	72.68±1.58c	8.62±0.02a
51 a	15.95±1.62a	12.98±1.52b	71.07±0.77c	8.56±0.01a
42 a	12.49±2.18b	12.35±1.27b	75.16±1.48b	8.59±0.01a
30 a	9.72±1.12c	15.21±2.13a	75.07±1.57b	8.63±0.02a
21 a	9.09±2.01c	13.75±3.13a	77.16±1.41b	8.71±0.02a
12 a	3.66±0.67d	5.98±0.22c	90.36±0.44a	8.82±0.04a
3 a	2.44±0.37e	4.37±1.24d	93.19±1.41a	8.87±0.03a
沙丘	2.94±0.21e	3.27±0.77e	93.79±2.21a	8.83±0.05a

注:同列不同小写字母表示显著差异($p<0.05$)。



注:不同大写字母表示不同样地同一土层之间差异显著,不同小写字母表示同一样地处不同土层之间显著差异($p<0.05$)。

图 1 不同样地土壤有机质含量

Fig. 1 Soil organic matter in different sample plots

2.3 不同人工柠条各径级平均粗蛋白含量的变化特征

从图 2 可以看出,不同径级枝条的平均粗蛋白含量存在显著差异($p<0.05$),同一径级在不同年份差异不显著($p>0.05$),随着种植年限的增长,粗蛋白含量呈现减少的趋势。各林龄柠条 $d<0.5$ cm 径级的枝条平均粗蛋白含量均最高,平均为 13.44%; $0.5\text{ cm}<d<1\text{ cm}$ 径级平均为 9.75%; $d>1\text{ cm}$ 径级平均为 8.32%;其中 12 年生柠条 $d<$

0.5 cm 径级枝条平均粗蛋白含量最高,为 14.07%;51 年生柠条 $d>1\text{ cm}$ 径级平均粗蛋白含量最低,为 7.78%。

2.4 不同林龄人工柠条粗蛋白总量变化特征

柠条的粗蛋白总量由不同径级枝条所占比重、相应营养含量和植株干重计算得出。从表 3 可以看出,随着人工柠条林龄的增长, $d<0.5\text{ cm}$ 径级枝条所占的百分含量极显著降低($p<0.01$), $0.5\text{ cm}<d<1\text{ cm}$ 径级枝条所占的百分含量呈现先增加后降

低的趋势, $d>1$ cm 径级枝条所占的百分含量极显著增加($p<0.01$);从植株干鲜重的动态变化中可以看出,21 a 为柠条生长速度显著变化的一个转折

点;粗蛋白总量整体上呈现增长的趋势,林龄在 30 a 内时,粗蛋白总量极显著增加($p<0.01$),42 年生柠条林粗蛋白总量最大。

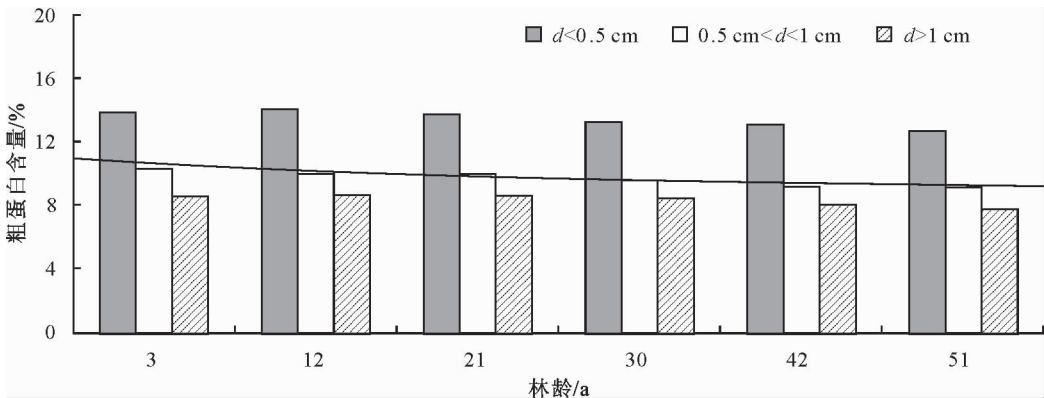


图 2 不同人工柠条各径级平均粗蛋白含量

Fig. 2 Variation artificial Caragana's average crude protein content in each diameter

表 3 不同径级人工柠条重量及粗蛋白总量

Table 3 Variation artificial Caragana's weight and total crude protein

柠条林龄/a	各径级枝条所占平均百分比/%			平均总鲜重/kg	平均总干重/kg	粗蛋白总量/g
	$d<0.5$ cm	$0.5 \text{ cm}<d<1$ cm	$d>1$ cm			
3	76.21	20.87	2.92	0.67	0.25	32.69
12	44.13	25.26	30.61	7.12	2.94	335.43
21	35.54	31.97	32.49	12.35	5.15	558.51
30	31.33	30.16	38.51	15.04	6.78	697.85
42	22.64	26.27	51.09	17.79	7.39	699.72
51	13.78	20.48	65.74	18.26	7.53	654.34

3 结论与讨论

3.1 高寒沙区人工柠条林地土壤性质变化规律

在高寒沙区种植人工柠条林可以改良土壤理化性状,随着林龄增加柠条灌丛形态发生变化,植被盖度增大,形成灌丛堆效应使风速降低^[11],风积物质开始沉降在土壤表层,进而影响土壤理化性质的变化过程^[12]。研究发现 3 年生柠条林地土壤质地和有机质没有得到明显改善作用,与该区域自然地理条件有关,因海拔高,有效积温少,植物生长期短,且沙丘处于半流动状态,4 月初风沙活动频繁,进而导致出现该结果。从 21 年生的柠条林地开始土壤机械组成中砂粒含量显著减少,粘粒和粉砂粒含量显著增加,这与赵哈林^[13]等在科尔沁流动沙地上人工柠条林种植 13 a 后土壤粗沙粒含量显著下降,土壤极细沙粒和粘粉粒含量增加,存在时间差异,可能因该区域柠条生长慢和 2 处沙地土壤本底性状的差异性。林地土壤 pH 随着林龄的增加而降低但变异系数相对较小,表明植被恢复过程对土壤的酸碱性影响相对较小。

土壤质地和有机质含量状况是评价土壤肥力和

土地生产力水平的重要指标^[14],柠条人工林对土壤养分的改良效果在垂直深度上存在滞后性,表明柠条植物根系对土壤恢复的影响不明显。0~5 cm 层土壤有机质含量在不同年龄林地间均存在显著差异性,这与刘任涛^[15]等在荒漠草原区研究结果存在差异,但不能说明各地柠条对土壤有机质改良具有差异性,因为土壤有机质含量变化与沙地土壤本底特性有关。因此,在各地研究柠条对土壤的改良效果时,需要以沙地土壤为对照,这样得出的结论才有对比价值。

在高寒沙区林地恢复沙地土壤需要较长的时间^[16],与当地农田土壤相比,该区域 0~5 cm 层土壤恢复至良好水平需要近 30 a 的时间。土壤有机质与粘粒和粉砂粒的含量均在 21 年生的柠条林地开始显著增加,说明土壤质地与有机质含量的变化存在相关性,这与蒋德明^[17]等和张继义^[18]等研究结果相吻合。可能因为植被恢复形成的灌丛增加地表粗糙度,使细粒物质逐渐沉积,并且林下天然草本植物也开始发育,植被对土壤的改良作用不断增强,进而促进土壤有机质含量得到提高。

3.2 高寒沙区人工柠条林开发利用潜力

在我国高寒沙区,经过人工措施恢复的柠条长势良好,目前共和盆地沙区已种植约 $2.2 \times 10^4 \text{ hm}^2$,在起到防风固沙生态效益的同时具备带来经济效益的潜力。柠条中粗蛋白含量要高于其他秸秆(如玉米)的含量,且品质较好,含有丰富的牲畜必需氨基酸^[19]。因此,植株中粗蛋白含量是评价其饲用价值的重要指标之一^[20]。柠条径级在 0.5 cm 以下的细枝条,其粗蛋白所占比例较高,可能与枝条幼嫩,叶子较多,木质化程度较低有关,研究发现 30~42 年生柠条的粗蛋白总量达到最高。因柠条萌蘖力很强,平茬措施可以促进柠条生长和柠条营养价值的提高^[21],并且通过与农田土壤相比,30 年生柠条林地 0~5 cm 层土壤养分状况恢复至良好水平,机械组成中各径级比较协调。因此超过 30 年生的柠条林应该采取平茬措施。平茬的枝条可以加工成饲料饲喂家畜,缓解草场压力,形成当地冬春季节饲料储备库;还可以因地制宜地发展沙产业,优化林场资源配置,促使高寒沙区林场实现可持续经营;最重要的是可以增加农牧民收入,提高森林覆盖率,为舍饲养畜提供保障,推动高寒沙区绿洲实现又好又快发展。

3.3 初步结论

随着柠条林龄的增加,土壤质地得到显著改善,有机质含量显著增加($p<0.05$),随深度增加各土层改良效果存在时间上的滞后性,30 年生的柠条林地 0~5 cm 层的土壤恢复至农田水平。

30~42 年生柠条的粗蛋白总量达到最高,可以采取适度平茬等抚育管理措施,开发利用柠条资源,提高其生态经济价值,促进高寒沙区绿洲的可持续发展。

参考文献:

[1] 董光荣,高尚玉,金炯,等. 青海共和盆地土地沙漠化与防治途径[M]. 北京:科学出版社,1993.

[2] 张登山,高尚玉,石蒙沂,等. 青海高原土地沙漠化及其防治[M]. 北京:科学出版社,2009.

[3] 齐雁冰,常庆瑞. 高寒地区人工植被恢复对风沙土区土壤效应影响[J]. 水土保持学报,2005,19(6):40-43.

QI Y B, CHANG Q R. Effect of artificial vegetation restoration on sandificational soil characteristics in high frigid regions of China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6):40-43. (in Chinese)

[4] 刘君梅,王学全,刘丽颖,等. 高寒沙区植被恢复过程中表层土壤因子的变化规律[J]. 东北林业大学学报,2011,39(8):47-49.

LIU J M, WANG X Q, LIU L Y, et al. Regularity of soil factors in surface level in the process of vegetation restoration in

sandy lands of Qinghai Plateau[J]. Journal of northeast forestry university, 2011, 39(8):47-49. (in Chinese)

[5] 于洋,贾志清,朱雅娟,等. 高寒沙地植被恢复区乌柳人工防护林对土壤的影响[J]. 林业科学,2013,49(11):9-15.

YU Y, JIA Z Q, ZHU Y J, et al. Effects of *Salix cheilophila* plantation on the improving of soil properties in vegetation restoration area of high-cold sandy land[J]. Scientia slivae sinicae, 2013, 49(11):9-15. (in Chinese)

[6] 田丽慧,张登山,彭继平,等. 高寒沙地人工植被恢复区地表沉积物粒度特征[J]. 中国沙漠,2015,35(1):0032-0039.

TIAN L H, ZHANG D S, PENG J P, et al. Grain size of land surface deposits in a vegetation restoration region of the alpine sandy land in Qinghai, China[J]. Journal of Desert Research, 2015, 35(1):0032-0039. (in Chinese)

[7] BURKE I C, LAUENROTH W K, RIGGLE R, et al. Spatial variability of soil properties in the shortgrass steppe: the relative importance of topography, grazing, microsite, and plant species in controlling spatial patterns[J]. Ecosystems, 1999, 2(5):422-438.

[8] JIA Z Q, ZHU Y J, LIU L Y. Different water use strategies of juvenile and adult *Caragana intermedia* plantations in the Gonghe Basin, Tibet Plateau[J]. Plos one, 2012.

[9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社, 2007.

[10] 陈丽琼. 比重计法测定土壤颗粒组成的研究[J]. 环境科学导刊, 2010, 29(4):97-99.

[11] 杨阳,刘秉儒,宋乃平,等. 人工柠条灌丛密度对荒漠草原土壤养分空间分布的影响[J]. 草业学报,2014,23(5):107-115.

YANG Y, LIU B R, SONG N P, et al. The effect of planted *Caragana* density on the spatial distribution of soil nutrients in desert steppe[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(5):107-115. (in Chinese)

[12] 赵伟红,康峰峰,韩海荣,等. 冀北辽河源地区不同林龄油松天然次生林土壤理化特征的研究[J]. 西北林学院学报,2014, 29(3):1-8.

ZHAO W H, KANG F F, HAN H R, et al. Physicochemical properties of the soils of *Pinus tabulaeformis* natural secondary stands with different age in Northern Hebei[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(3):1-8. (in Chinese)

[13] ZHAO H L, ZHOU R L, Su Y Z, et al. Shrub facilitation of desert land restoration in the Horqin sand land of Inner Mongolia[J]. Ecological Engineering, 2007, 31:1-8.

[14] MUSA A, DEMING J, CUNYANG N. The applicable density of sand-fixing shrub plantation in Horqin Sand Land of Northeastern China[J]. Ecological Engineering, 2014, 64:250-254.

[15] 刘任涛,杨新国,宋乃平,等. 荒漠草原区固沙人工柠条林生长过程中土壤性质演变规律[J]. 水土保持学报,2012,26(4):108-112.

LIU R T, YANG X G, SONG N P, et al. Soil properties following growing process of artificial forests(*Caragana microphylla*) in desert steppe[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(4):108-112. (in Chinese)

planning and research[J]. Chinese Landscape Architecture, 2007(2):85-88. (in Chinese)

[6] 胡剑双,戴菲. 中国绿道研究进展[J]. 中国园林,2010(12):88-93.

HU J S,DAI F. Progress of greenways research in China[J]. Chinese Landscape Architecture, 2010(12):88-93. (in Chinese)

[7] 南京市园林局. 市民休闲好去处 10 条绿道今年开建[EB/OL]. 2013-05-31. <http://www.njyl.gov.cn/>.

[8] 郇春丽,翁殊斐,赵宝玉. 基于 AHP 法的滨水绿道植物景观评价体系构建[J]. 西北林学院学报,2013,28(3):206-209.

GAO C L,WENG S F,ZHAO B Y. Establishment of landscape plant assessment model in waterfront greenway based on analytic hierarchy process[J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(3):206-209. (in Chinese)

[9] 丁海昕. 花境在城市道路绿地中的应用研究—以南京、上海、杭州为例[D]. 南京:南京林业大学,2010.

[10] 欧阳子路,吉文丽,杨梅. 西安城市绿地植物多样性分析[J]. 西北林学院学报,2015,30(2):257-261.

OUYANG Z L,JI W L,YANG M. Plant diversity of urban green spaces in Xi'an[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(2):257-261. (in Chinese)

[11] 臧毅,蔡建国,徐明,等. 郭洞水口林植物景观研究[J]. 西北林学院学报,2014,29(4):266-271.

ZANG Y,CAI J G,XU M,*et al.* Plantscape of Shuikou forest in Guodong Village[J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,29(4):266-271. (in Chinese)

[12] 芦建国,徐新洲. 论园林植物造景的“七性”[J]. 风景园林,2012(5):60-63.

LU J G,XU X Z. Study on the seven properties of plant landscaping[J]. Landscape Architecture,2012(5):60-63. (in Chinese)

[13] 罗婉贞. 广州绿道建设中的植物群落设计[D]. 广州:华南理工大学,2011.

[14] 臧德奎. 园林植物造景[M]. 北京:中国林业出版社,2008.

[15] 王清,弓弼,王新,等. 滨水绿地植物景观的地域性表达探讨—以临汾市汾河滨水绿地为例[J]. 西北林学院学报,2014,30(5):227-231.

WANG Q,GONG B,WANG X,*et al.* Regional expression of plant landscape in waterfront green—a case study of Fen River waterfront green in Linfen[J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,30(5):227-231. (in Chinese)

[16] 童明坤,弓弼,王迪海,等. 关中地区模拟自然群落植物景观设计研究[J]. 西北林学院学报,2013,28(2):207-212.

TONG M K,GONG B,WANG D H,*et al.* Plantscape design based on simulation of natural plant communities in Guanzhong[J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(2):207-212. (in Chinese)

[17] 郝日明,王智,王金虎. 试论区域城市园林树种规划—以江苏省城市园林树种规划为例[C]//张青萍. 传承交融:陈植造园思想国际研讨会暨园林规划设计理论与实践博士生论坛论文集. 北京:中国林业出版社,2010:300-304.

[18] 宋鑫,张丽静,周志宇,等. 青藏高原不同株龄紫穗槐根际与非根际土壤养分变化特征[J]. 草业科学,2014,31(7):1226-1232.

SONG X,ZHANG L J,ZHOU Z Y,*et al.* Effects of *Amorpha fruticosa* planting on soil nutrient characteristics at rhizosphere and non-rhizosphere in Tibetan Plateau[J]. Pratacul-tural Science,2014,31(7):1226-1232. (in Chinese)

[17] 蒋德明,苗仁辉,周全来,等. 封育对科尔沁沙地植被恢复和土壤特性的影响[J]. 生态环境学报,2013,22(1):41-46.

JIANG D M,MIAO R H,ZHOU Q L,*et al.* Effects of fence enclosure on vegetation restoration and soil properties in Horqin sandy land[J]. Ecology and Environmental Science, 2013,22(1):41-46. (in Chinese)

[18] 朱雅娟,李清雪,贾志清,等. 内蒙古敖汉旗不同类型防护林的土壤养分特征[J]. 西北林学院学报,2014,29(4):15-20.

ZHU Y J,LI Q X,JIA Z Q,*et al.* Soil nutrient characteristics of different types of shelter in Aohan Banner,Inner Mongolia

[J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,29(4):15-20. (in Chinese)

[19] 罗惠娣,牛西午,毛杨毅,等. 柠条的营养特点与利用方法研究[J]. 中国草食动物,2005,25(5):35-38.

LUO H T,NIU X W,MAO Y Y,*et al.* *Caragana korshinskii* nutritional characteristics and utilization method research[J]. China Herbivores,2005,25(5):35-38. (in Chinese)

[20] FENGKUM SUN,ZEBING XING. Research on advantage and new use of korshinskii pea shrub Resources[J]. Agricultural Science & Technology,2014,15(4):709-712.

[21] 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[J]. 生态学报,2012,32(4):1327-1336.

YANG Y S,PU C F,GAO G X. Effect of pruning measure on physiology character and soil waters of *Caragana korshinskii* [J]. Acta Ecologica Sinica,2012,32(4):1327-1336. (in Chinese)

(上接第 153 页)