

网络出版时间:2013-08-26 17:57

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130826.1757.033.html>

黄土丘陵区 3 种退耕灌木林生态系统 碳密度的对比研究

刘 涛¹, 党小虎^{2,3}, 刘国彬⁴, 刘宝军³, 邵传可³

(1 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

3 西安科技大学 地质与环境学院, 陕西 西安 710054; 4 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】比较宁夏隆德县 3 种灌木林生态系统的固碳能力, 以便选择和发展固碳能力较强的灌木种。

【方法】在宁夏隆德县退耕还林实施区, 选择 7 年生沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana korshinskii*)和山毛桃(*Prunus davidiana*)灌木林, 设置样地, 测算灌木层、草本层的生物量, 并取 0~100 cm 土层土样, 测定不同土层土壤体积质量, 计算灌木层、草本层和土壤层的碳密度, 分析 3 种灌木林各组分及土壤碳密度的变化。【结果】沙棘、柠条、山毛桃灌木林生态系统碳密度分别为 63.29, 52.82 和 77.78 t/hm², 其碳密度的空间分布格局基本一致, 即土壤层碳密度所占比例最大, 分别为 88.56%, 87.79% 和 87.44%; 其次为灌木层, 所占比例分别为 10.18%, 11.25% 和 12.16%; 草本层所占比例最小, 分别为 1.26%, 0.97% 和 0.40%。在 0~100 cm 土层, 土壤层碳密度随着土层深度的增加总体呈下降趋势, 且山毛桃林土壤层碳密度(68.01 t/hm²)明显高于沙棘林(56.05 t/hm²)和柠条林(46.37 t/hm²)。【结论】与沙棘、柠条相比, 山毛桃是一个固碳能力较强的灌木种, 适度发展山毛桃在一定程度上有利于固定更多的碳。

【关键词】黄土丘陵区; 灌木林; 生物量; 碳密度; 碳分配; 固碳能力

【中图分类号】Q948; S181

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2013)09-0068-05

Comparison of carbon densities of three shrub plantation ecosystems in Hilly Loess Plateau

LIU Tao¹, DANG Xiao-hu^{2,3}, LIU Guo-bin⁴, LIU Bao-jun³, SHAO Chuan-ke³

(1 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Tourism and Environment College, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China;

3 College of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

4 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of
Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】Carbon sequestration ability of three shrub plantations was compared in Longde County, Ningxia, aiming at selecting and developing shrub with high carbon sequestration ability. 【Method】Based on shrub layer biomass, herb layer biomass, soil samples from 0—100 cm layers of different plots, carbon densities and the variations of 7-year *H. rhamnoides*, *C. korshinskii* and *P. davidiana* shrub plantations in afforestation area of Longde country, Ningxia were quantified. 【Result】Total carbon densities of *H. rhamnoides*, *C. korshinskii*, and *P. davidiana* were 63.29, 52.82 and 77.78 t/hm², respectively. The dis-

【收稿日期】2012-11-05

【基金项目】中国科学院战略性先导科技专项(XDA05060300); 国家自然科学基金面上项目(41271518); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10501-1219)

【作者简介】刘 涛(1987—), 男, 安徽宿州人, 在读硕士, 主要从事流域生态学研究。E-mail: liutaoshengwu@126.com

【通信作者】刘国彬(1958—), 男, 陕西榆林人, 研究员, 博士生导师, 主要从事生态恢复和流域管理研究。

E-mail: gblu@ms.iswc.ac.cn

tribution pattern of carbon stocks was basically consistent. Soil layer contributed to the majority of ecosystem carbon density, accounting for 88.56%, 87.79% and 87.44% for the three ecosystems, followed by shrub layer (10.18%, 11.25% and 12.16%) and herb layer (1.26%, 0.97% and 0.40%). Within the 0–100 cm depth of soil layer, carbon density decreased as the increase of soil depth. *P. davidiana* stands had the highest oil layer carbon density (68.01 t/hm²) followed by *H. rhamnoides* stands (56.05 t/hm²) and *C. korshinskii* stands (46.37 t/hm²). 【Conclusion】 Compared with *H. rhamnoides* stands and *C. korshinskii* stands, *P. davidiana* stands were better for carbon sequestration.

Key words: Hilly Loess Plateau; shrub; biomass; carbon density; carbon distribution; carbon sequestration

在全球气候变暖的影响下,世界灌丛分布范围不断扩大^[1]。作为世界上灌丛分布面积最广泛的国家之一,中国有灌丛面积近2亿hm²^[2],占中国陆地总面积的1/5,是全国现存森林面积的近2倍。因此,研究我国灌丛碳储量,对正确评价中国陆地生态系统的碳储量具有重要意义。自20世纪70年代末开始的三北防护林工程、退耕还林工程和天然林保护工程等大型生态恢复工程,在黄土丘陵区均有大面积分布^[3],沙棘、柠条和山毛桃在该地区广泛分布,并且是主要的退耕还林灌木种^[4-6]。

目前,对山毛桃固碳能力的研究未见报道,对沙棘、柠条固碳能力的研究也较少^[7-10],而且研究地区和林龄不同,所以也很难对已有的研究成果进行比较。鉴于此,本试验研究了同一地区相同退耕年限的沙棘、柠条和山毛桃3种灌木林生态系统的碳密度及其分配,比较了3种灌木林生态系统的固碳能力,以期选择出适合在黄土丘陵区发展的固碳能力较强的灌木种。

1 试验地概况

宁夏隆德县属中温带季风区半湿润向半干旱过渡性气候,年平均气温5.1℃,1月份气温最低,极值为-25.7℃;7月份气温最高,极值为31.4℃。年平均日照时数2228h,无霜期124d,最少94d。年均降水量502mm左右,多集中在夏、秋两季,尤以7、8月降水最为集中。灾害性天气主要有大风、干旱、冰雹、霜冻等。主要土壤类型为黄绵土。本试验中,沙棘(*H. rhamnoides*)人工林样地设在庙湾镇(106°03'E, 35°41'N),海拔2084~2135m,坡度大多在11°~25°,为典型的黄土丘陵地貌类型,林龄为7年,林分平均基径为1.84cm,平均株高为99.44cm;柠条(*C. korshinskii*)人工林样地设在杨磨镇(106°03'E, 34°44'N),海拔2114~2123m,坡度大多在19°~25°,为典型的黄土丘陵地貌类型,林龄为

7年,林分平均基径为1.33cm,平均株高为149.73cm;山毛桃(*P. davidiana*)人工林样地设在沙塘镇(105°59'E, 35°36'N),海拔2064~2104m,坡度大多在19°~26°,为典型的黄土丘陵地貌类型,林龄为7年,林分平均基径为2.88cm,平均株高155.42cm。

2 研究方法

2.1 样地设置

2011-08在宁夏隆德县庙湾镇、杨磨镇和沙塘镇分别选择7年生沙棘、柠条和山毛桃典型分布流域各1个,在每个流域3个不同坡向按上、中、下坡位分别设立10m×10m样地各1块,在每块样地内随机布设3个2m×2m的灌木样方。

2.2 生物量测定

在每个标准样地内的灌木样方中,采用收获法测定林分生物量。先测量叶、枝和根等组分的鲜质量,然后分别采集各组分的样品,在室内105℃杀青后置于80℃恒温箱中烘至恒质量,求含水量,将各个组分的鲜质量换算成干质量(W)。按公式 $W_{\text{总}} = W_{\text{叶}} + W_{\text{枝}} + W_{\text{根}}$,计算样木各组分总的生物量。同时,测定林下草本层生物量,采用全挖法实测其鲜质量,然后分为地上部分和地下部分,取相同器官的混合样品烘干至恒质量后再估算其干质量,同时用作分析样品。

2.3 土壤样品的采集与处理

在灌木样地内使用内径5cm的土钻,按0~10,10~20,20~30,30~50,50~100cm分层,每层随机钻取3钻土,混合成一个混合样。同一样地3个灌木样方的同层次土样组成该层次混合样品,土样磨碎并过孔径0.25mm筛用于测定有机碳含量。在调查样地内选择1个未受人为干扰,且植被结构和土壤具代表性的地段,挖掘1个土壤剖面,深度为100cm。之后,沿剖面按0~10,10~20,20~30,

30~50,50~100 cm 分层,用环刀采集各层土壤,带回实验室测定土壤体积质量。植物和土壤样品中的有机碳含量分别采用重铬酸钾-硫酸氧化法、 $K_2Cr_2O_7$ 容量法测定^[11]。

2.4 碳密度的计算

不同器官单位面积(hm^2)上的生物量与其碳含量的乘积为不同器官的碳密度;各器官碳密度之和为灌木层碳密度;植被各组分年净生产量与其碳含量的乘积为各组分年有机碳固定量;灌木层、草本层和土壤层有机碳密度之和为生态系统中的碳密度。其中,土壤层碳密度的计算公式为:土壤层碳密度=土壤体积质量×采样深度×土壤有机碳含量×面积。

2.5 数据处理与分析

数据均用“平均值±标准差”表示。采用 Excel 2007 对数据进行整理,用 SPSS 20.0 软件对数据进

行计算和分析,选择单因素方差分析方法(ANOVA)检验不同林分之间碳密度的差异性,选用最小差数法(LSD)进行显著性检验。

3 结果与分析

3.1 3 种灌木林植被层的碳密度及其分配

3.1.1 灌木不同器官的碳密度及其分配 从表 1 和表 2 可以看出,碳在灌木林不同器官中的分配基本上与各器官的生物量成正比例关系。3 种灌木各器官碳密度大小顺序均为枝>根>叶,枝是灌木层碳密度的主体,在沙棘、柠条和山毛桃中分别占总碳密度的 63.35%,63.80%和 76.36%;沙棘、柠条根部的碳密度分别占总碳密度的 27.33%和 26.26%;山毛桃根部碳密度所占比例较低,仅为 16.43%。

表 1 3 种灌木不同器官的生物量和碳密度

Table 1 Biomass amounts and carbon densities in different organs of the three shrubs									t/hm ²
树种 Species	生物量 Biomass				碳密度 Carbon density				
	叶 Leaf	枝 Branch	根 Root	总和 Total	叶 Leaf	枝 Branch	根 Root	总和 Total	
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	1.45±0.54 b	11.10±2.74 a	3.86±0.82 b	16.41±3.16 B	0.60±0.25 b	4.08±1.03 a	1.76±0.51 b	6.44±1.44 AB	
柠条 <i>C. korshinskii</i>	1.59±0.24 b	10.90±1.90 a	3.69±0.56 b	16.19±2.68 B	0.58±0.09 c	3.79±0.63 a	1.56±0.28 b	5.94±0.58 B	
山毛桃 <i>P. davidiana</i>	1.90±0.48 c	17.36±4.33 a	8.00±1.76 b	27.26±6.56 A	0.68±0.16 c	5.85±1.31 a	2.93±0.84 b	9.46±2.31 A	

注:同列数据后标不同大写字母者表示差异显著($P<0.05,n=5$);同行数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05,n=5$)。下同。
Note:Uppercase letters in the same column indicate significantly different ($P<0.05,n=5$). Lowercase letters in the same line indicate significantly different ($P<0.05,n=5$). The same below.

表 2 3 种灌木不同器官的碳密度分配比例

Table 2 Distribution of carbon densities in different organs of the three shrubs					%
树种 Species	叶 Leaf	枝 Branch	根 Root	总和 Total	
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	9.32±2.09 c	63.35±4.63 a	27.33±6.54 b	100.00	
柠条 <i>C. korshinskii</i>	9.76±0.86 c	63.80±4.63 a	26.26±5.77 b	100.00	
山毛桃 <i>P. davidiana</i>	7.21±0.13 c	76.36±1.26 a	16.43±1.26 b	100.00	

3.1.2 灌木层和草本层的碳密度及其分配 3 种 灌木林植被层的碳密度及其分配比例见表 3。

表 3 3 种灌木林植被层的生物量、碳密度及其分配比例

Table 3 Biomass amounts,carbon densities and their distribution in vegetation layers of the three shrub plantations						
树种 Species	生物量/(t·hm ⁻²) Biomass			生物量分配比例/% Biomass distribution ratio		
	灌木层 Shrub	草本层 Herb	植被层 Vegetation	灌木层 Shrub	草本层 Herb	植被层 Vegetation
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	16.41±3.16 a	1.57±0.12 a	17.98±3.16 a	91.26	8.74	100
柠条 <i>C. korshinskii</i>	16.19±2.68 a	0.99±0.06 a	17.18±2.68 a	94.23	5.77	100
山毛桃 <i>P. davidiana</i>	27.26±6.56 a	0.85±0.62 a	28.11±6.56 a	97.08	2.92	100
树种 Species	碳密度/(t·hm ⁻²) Carbon density			碳密度分配比例/% Carbon density distribution ratio		
	灌木层 Shrub	草本层 Herb	植被层 Vegetation	灌木层 Shrub	草本层 Herb	植被层 Vegetation
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	6.44±1.44 a	0.80±0.05 a	7.24±1.44 a	88.95	11.05	100
柠条 <i>C. korshinskii</i>	5.94±0.58 a	0.51±0.03 a	6.45±0.58 a	92.09	7.91	100
山毛桃 <i>P. davidiana</i>	9.46±2.31 a	0.31±0.30 a	9.77±2.31 a	96.83	3.17	100

由表 3 可知,植被层生物量和碳密度的空间分布格局因灌木种不同而存在差异。灌木层是植被碳密度的主体,沙棘、柠条和山毛桃灌木层碳密度分别为 6.44,5.94 和 9.46 t/hm²,分别占整个植被层碳

密度的 88.95%,92.09%和 96.83%;草本层碳密度较小,沙棘、柠条和山毛桃草本层碳密度分别仅占植被层碳密度的 11.05%,7.91%和 3.17%。山毛桃人工林植被层的碳密度为 9.77 t/hm²,高于沙棘和柠条,分别是二者的 1.35 和 1.51 倍。

3.2 3 种灌木林土壤层的碳密度

灌木林枯枝落叶和动植物残体是林地土壤有机碳的主要来源,在气候、生物等因素的作用下,林地

土壤形成了不同的层次结构,其有机碳含量和碳密度也将随着土壤深度的变化而不同。

由表 4 可知,3 种灌木林土壤的碳密度随土层深度的增加总体均呈下降的趋势,这可能与上层土壤生物归还量大、有机碳积累量多有关。山毛桃林土壤层碳密度(68.01 t/hm²)高于沙棘林(56.05 t/hm²)和柠条林(46.37 t/hm²),分别是二者的 1.21 和 1.46 倍。

表 4 3 种灌木林土壤层的碳密度
Table 4 Soil layer carbon densities of the three shrub plantations t/hm²

土壤深度/cm Soil depth	沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	柠条 <i>C. korshinskii</i>	山毛桃 <i>P. davidiana</i>
0~10	6.31 a	5.64 a	8.83 a
10~20	5.10 a	4.93 a	7.80 ab
20~30	5.78 a	5.05 a	7.33 ab
30~50	4.39 a	5.26 a	6.64 ab
50~100	6.01 a	4.05 a	6.15 b
合计 Total	56.05	46.37	68.01

3.3 3 种灌木林生态系统主要组分的碳密度

由表 3 和表 5 可知,7 年生沙棘人工林生态系统碳密度为 63.29 t/hm²,其中以土壤层碳密度最大,为 56.05 t/hm²,占总碳密度的 88.56%;其次为灌木层,占总碳密度的 10.18%;草本层最小(1.26%);植被层与土壤层碳密度之比为 1:7.74。柠条人工林生态系统碳密度为 52.82 t/hm²,其中土壤层碳密度最大,为 46.37 t/hm²,占总碳密度的 87.79%,其次是灌木层,为 5.94 t/hm²,占总碳密

度的 11.25%,草本层碳密度为 0.51 t/hm²,占总碳密度的 0.97%;植被层与土壤层碳密度之比为 1:7.19。山毛桃人工林生态系统碳密度为 77.78 t/hm²,其中土壤层碳密度最大,为 68.01 t/hm²,占总碳密度的 87.44%;其次是灌木层,为 9.46 t/hm²,占总碳密度的 12.16%;草本层碳密度最小,为 0.31 t/hm²,占总碳密度的 0.40%;植被层与土壤层碳密度之比为 1:6.96。以上结果均说明,林地是一个极大的碳密度库。

表 5 3 种灌木林生态系统的碳密度及其分配比例
Table 5 Carbon densities and their distribution of the three shrub plantation ecosystems

树种 Species	碳密度/(t·hm ⁻²) Carbon density			碳密度分配比例/% Carbon density distribution ratio		
	植被层 Vegetation	土壤层 Soil	生态系统 Ecosystem	植被层 Vegetation	土壤层 Soil	生态系统 Ecosystem
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	7.24±1.44 a	56.05±18.74 a	63.29±27.95 a	11.44	88.56	100
柠条 <i>C. korshinskii</i>	6.45±0.58 a	46.37±9.90 a	52.82±22.26 a	12.21	87.79	100
山毛桃 <i>P. davidiana</i>	9.77±2.31 a	68.01±11.32 a	77.78±32.33 a	12.56	87.44	100

4 讨 论

灌木层是植被碳密度的主体。本研究中,山毛桃灌木层碳密度为 9.46 t/hm²,分别为沙棘和柠条的 1.46 和 1.59 倍。植物碳密度主要受植被生物量^[12]的影响,本研究中碳密度与生物量成正比例关系。山毛桃植被层碳密度高于沙棘和柠条,可能是因为山毛桃生物量增加速度较快所致:山毛桃侧根和须根极其发达,呈放射状伸展^[6],生长快,直播的山毛桃当年可生长 40~50 cm,第 2 年可长高 1.5 m 左右;山毛桃萌蘖能力强,平茬后的山毛桃能萌发更多的枝条^[13]。另外,造林密度^[14]、林分生长阶段^[15]等多种因素也影

响林分碳密度。本研究中,沙棘生物量与碳密度均略大于柠条,但刘占德等^[16]的研究结果却显示,7~9 年林龄沙棘的生物量(33.83 t/hm²)是柠条生物量(4.07 t/hm²)的 8.31 倍,很可能是由于该研究中的 2 种灌木林植株密度差异过大所致。本研究中,沙棘和柠条的生物量均高于何亚龙等^[17]的研究结果,这可能与本研究中灌木林林龄较大有关。

本研究中,山毛桃林下草本层碳密度小于沙棘和柠条林下草本层,可能的原因是山毛桃灌木层生物量较高、体积较大、生活能力较强,占有更强的竞争优势,从而降低了群落内的草本层生物量,也就降低了草本层的碳密度。

本研究中,3 种灌木林生态系统的碳密度分别为山毛桃(77.78 t/hm^2)>沙棘(63.29 t/hm^2)>柠条(52.82 t/hm^2),柠条生态系统的碳密度与陈伏生等^[18]对江西泰和县丘陵陡坡荒山灌木草丛的研究结果十分接近(52.85 t/hm^2);本研究中,3 种灌木林生态系统的碳密度与王蕾等^[14]对黄土高原 8 年生人工幼林的研究结果接近。土壤层的碳储量是生态系统碳密度的主体,土壤中有有机碳除由植物地上部分枯枝落叶输入外,还由植物根系分泌及凋落输入土壤中,其中根系分泌与凋落而释放出的有机碳也是土壤碳的重要来源之一^[19]。本研究中,3 种灌木林地土壤层碳密度的变化趋势与其生物量一致,均表现为山毛桃>沙棘>柠条。表明土壤层碳密度可能受植物地上部分枯枝落叶量、植物根系分泌物量和植物根系凋落物量的影响较大。

5 结 论

1)灌木层是植被碳密度的主体,沙棘、柠条和山毛桃灌木层碳密度分别为 6.44 , 5.94 和 9.46 t/hm^2 ,分别占整个植被层碳密度的 88.95% , 92.09% 和 96.83% 。草本层碳汇贡献率较低。

2)土壤层是生态系统碳密度的主体,山毛桃林地土壤层碳密度(68.01 t/hm^2)高于沙棘林(56.05 t/hm^2)和柠条林(46.37 t/hm^2),分别是二者的 1.21 和 1.46 倍。土壤层碳密度随着土层深度的增加总体呈下降趋势。

3)山毛桃人工林生态系统碳密度最大(77.78 t/hm^2),分别为沙棘林(63.29 t/hm^2)和柠条林(52.82 t/hm^2)的 1.23 和 1.47 倍。表明山毛桃是一个固碳能力较强的灌木种,因此适度发展山毛桃在一定程度上更有利于固定空气中的 CO_2 。

[参考文献]

- [1] Sturm M, Racine C, Tape K. Increasing shrub abundance in the Arctic [J]. Nature, 2001, 411: 546-547.
- [2] 侯学煜. 中华人民共和国植被图 [M]. 北京: 中国地图出版社, 1982.
Hou X Y. Vegetation map of the People's Republic of China [M]. Beijing: China Map Press, 1982. (in Chinese)
- [3] 刘迎春, 王秋风, 于贵瑞, 等. 黄土丘陵区两种主要退耕还林树种生态系统碳储量和固碳潜力 [J]. 生态学报, 2011, 31(15): 4277-4286.
Liu Y C, Wang Q F, Yu G R, et al. Ecosystems carbon storage and carbon sequestration potential of two main tree species for the Grain for Green Project on China's hilly Loess Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(15): 4277-4286. (in Chinese)
- [4] 靳甜甜, 傅伯杰, 刘国华, 等. 不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子 [J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1783-1793.
Jin T T, Fu B J, Liu G H, et al. Diurnal changes of photosynthetic characteristics of *Hippophae rhamnoides* and the relevant environment factors at different slope locations [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(7): 1783-1793. (in Chinese)
- [5] 保长虎. 黄土高原丘陵沟壑区柠条人工种群繁殖特征及天然化发育 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
Bao C H. Naturalised development and reproductive characteristics of *Caragana korshinskii* population in the gullied Loess Plateaus [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2011. (in Chinese)
- [6] 刘俊琦, 王满升. 干旱地区山毛桃造林技术 [J]. 宁夏农林科技, 2010(5): 92, 79.
Liu J Q, Wang M S. *Prunus davidiana* reforestation technology in arid region [J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2010(5): 92, 79. (in Chinese)
- [7] 李志刚, 朱 强, 李 健. 宁夏 4 种灌木光合固碳能力的比较 [J]. 草业科学, 2012, 29(3): 352-357.
Li Z G, Zhu Q, Li J. A comparison of photosynthetic carbon sequestration of four shrubs in Ningxia [J]. Pratacultural Science, 2012, 29(3): 352-357. (in Chinese)
- [8] 党晓宏, 高 永, 虞 毅, 等. 沙棘经济林碳汇计量研究 [J]. 水土保持通报, 2011, 31(6): 134-138.
Dang X H, Gao Y, Yu Y, et al. Measurement of carbon sequestration of *Xanthoceras sorbifolia* forest plantation [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(6): 134-138. (in Chinese)
- [9] 佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等. 黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异 [J]. 生态学报, 2012, 32(20): 6396-6403.
Tong X G, Han X H, Wu F Q, et al. Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6396-6403. (in Chinese)
- [10] 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)
- [11] 中国生态系统网络科学委员会. 中国生态系统研究网络 (CERN) 长期观测规范, 陆地生态系统土壤观测规范 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
Chinese Ecosystem Network Scientific Committee. Long-term observations specification of Chinese ecosystem research network (CERN): Soil observation practices of terrestrial ecosystems [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007. (in Chinese)