

黄土高原沟壑区刺槐、油松人工林的碳储量及其分布特征研究

贺亮¹, 苏印泉^{1*}, 季志平¹, 辛占良²

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 陕西省林业厅, 陕西 西安 710082)

摘要:以黄土高原中部黄陵地区油松、刺槐两种人工林为研究对象,采用現地调查、采样分析等方法对这两种人工林的碳储量和根系、土壤有机碳垂直分布进行对比研究,结果表明在相同树龄和不同植被下,根系生物量存在差异,尤其是根粗细度在5mm以上的根系差异性显著($p=0.01$),变异系数达到了48%;土壤有机碳含量也存在差异,变异系数为27%;根系生物量和土壤有机碳含量垂直分布特征明显,根系生物量层次变化大,主要集中在第二、三层;土壤有机碳含量层次变化平缓,表层含量最大;在两种人工林土壤全氮、全磷与土壤有机碳相关性研究中,只发现全氮与有机碳含量之间都呈显著线性正相关。

关键词:人工林;根系;土壤有机碳;土壤全氮、全磷

中图分类号:S718.56 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2007)04-0049-05

Studies on the Carbon Storage and Distributive Character of *Robinia* and *Pinus* in Loess Plateau Gully Area

HE Liang¹, SU Yin-quan¹, JI Zhi-ping¹, XIN Zhan-liang²

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

2. Shaanxi Forestry Office, Xi'an, Shaanxi 710082, China)

万方数据

Abstract: Vertical distributions of soil carbon storage, root system, and soil organic carbon were studied by field survey and sampling analysis in *Pinus* and *Robinia* plantations located in gully areas of Loess Plateaus. The results showed that there existed differences in root biomass between plantations with different tree species but same tree age. Especially, there were significant differences in root biomass, in which the root diameters were 5mm over, with a coefficient of variation(cv) 48% ($p=0.01$). Differences also existed in the content of soil organic carbon, $cv=27\%$. Vertical distribution characteristics were distinct in root biomass and soil organic carbon. There were great change of root biomass in different layers, concentrated mainly in the second and the third layers. Change of soil organic carbon were relatively smooth, and concentrated mainly in the surface layer. Correlation analysis between soil total nitrogen, phosphorus and organic carbon showed that the total nitrogen significantly correlated to organic carbon linearly.

Key word: forest plantation; root system; soil organic carbon; total N and P

随着工业现代化的发展、人口剧增、大量使用化石燃料和对森林的过度采伐,造成大气中CO₂浓度增加、温室效应加剧等一系列全球性的生态问题。控制工业性的CO₂排放量、保护和恢复森林生态系统是解决这些生态问题的重要手段。森林不仅在涵养水源、保持水土、净化空气、保护生物多样性等有关方面起着重要的作用,而且在全球性的CO₂固定量上起着举足轻重的作用^[1]。人工林作为一种重要的土地利用类型,对土壤碳的输入、分解、贮存有

很大的影响,王进鑫等^[2]通过对13龄刺槐、侧柏人工林根区有效根长密度和根重密度的空间分布研究,发现两种树有效根系主要分布在0~60cm土层内,然而最大有效根长密度却均位于距地表0~30cm以内。人工造林对陆地碳储量最明显的影响是生物量的增长,与生物量相比,人工造林对土壤碳储量的影响要小得多^[3,4]但土壤碳库容量大,人工造林导致较小的土壤碳变化都会影响到人工林的净碳积累^[5-7],而且土壤碳循环的研究是了解生物圈碳循

收稿日期:2007-01-30 修回日期:2007-03-23

基金项目:陕西省日元贷款生态环境监测项目(14220302)

作者简介:贺亮(1981-),男,陕西黄陵人,西北农林科技大学林学院在读硕士研究生。

* 通讯作者:苏印泉(1954-),男,陕西白水人,西北农林科技大学林学院教授,主要从事森林培育学教学及研究。

环的重要途径,这对于估算 CO₂ 和其它温室气体含量以及它们与生物圈的相互作用至关重要。随着国际社会对全球气候变化的重视,CO₂ 作为最重要的一种温室气体,日益成为全球关注的热点。

过去对森林生态系统碳收支的研究主要集中在地上部分,而对储存在土壤中的有机碳研究较少。本研究以陕西黄陵主要造林树种中的刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)和油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)人工林为例,研究分析了这两种人工林碳贮量及根系,土壤在不同层次有机碳的分布差异。本研究旨在为今后人工造林生态效益分析提供理论依据,为评估中国黄土高原生态系统截留碳的能力提供有价值的参考数据。

1 研究地概况

黄陵县位于陕西延安市南部,属黄土高原沟壑区中部(34°45'~39°40'N,107°28'~111°15'E),本区地处具有大陆季风气候特点,区内西北部属半干旱季风气候类型,中南部属暖温带半干旱季风气候类型,中部为陕北黄土丘陵沟壑区,南部为渭北高原沟壑区,海拔800~1500 m,温度和降雨量从东南到西北递减,具有明显地域性差异。东南部年均气温8.5~12℃,无霜期150~210 d,年平均降雨量500~650 mm。西北部气温干燥,年平均气温7~9℃,≥10℃年积温1 800~3 400℃,无霜期110~170 d,年降雨量350~500 mm。

2 研究方法

2.1 样地的设置及取样方法

油松林林地为山地,海拔880 m,坡度为10°属阴坡,地面植被主要有酸枣,莎草等,林分郁闭度为0.7,油松平均年龄为20 a,平均胸径为16.5 cm,林相整齐。刺槐林林地为山地,海拔830 m,坡度20°,属阴坡,地表植物主要有酸枣,莎草,铁杆蒿,荆条等,林分郁闭度为0.56。刺槐林平均年龄为20 a,平均胸径为13 cm,林相整齐。

分别在油松林和刺槐林建立20 m×20 m标准地,对标准地内林木进行每木调查,根据林分平均胸径和树高选取,要求所选样木平均胸径,树高与林分平均值误差不超过5%。采用分层切割法按2 m区分段,分别称取树干、树皮、树枝、树叶鲜重,并用挖掘法测定根系生物量,用游标卡尺以0~2、2~5、5 mm以上为根系粗细度进行分类,分别随机抽取30%样品带回室内烘干测定。根据林木器官生物量(W)与胸径(D)和树高(H)之间的幂函数关系 $W = a(D^2H)$,建立林木器官生物量相对生长模型,根据

模型结合解析木数据,计算乔木层生物量及年净生产力。

2.2 林下植被和凋落物的收集测定

每个标准地内设置5个1 m×1 m的小样方,采用样方收获法测定林下植被生物量和凋落物现存量,即在调查样方内所有植被种类及数量基础上,收集样方内所有的灌木、草本,带回室内烘干测定。取一定量的油松,刺槐根样在105℃下烘干至恒重计算干重,并根据油松,刺槐1 g的根生物量的碳含量分别换算成碳储量。

2.3 土壤样的采集和测定

挖土壤剖面深80 cm,从上到下每10 cm取一个土样,同时用环刀法每10 cm取一个容重样,带回室内测定土壤容重,对采集的土样自然风干碾磨,过1 mm筛后密封存放,备作成分(有机碳含量和其它土壤元素含量)分析用,数据处理方法^[4,7]:

土壤有机碳储量=土壤容重×采样深度×面积×土壤有机碳百分含量

土壤有机碳及其它有机质的测定参照参考文献进行^[14,15]。

2.4 数据处理

对所得数据进行统计分析,求出两种人工林地上部分积累生长总量和凋落物的总量;对各土层的根系按不同粗度进行对比分析并做图,研究分布规律;并对0~80 cm土层内土壤有机碳平均含量作图分析,对比它们的垂直分布规律;并对有关数据进行差异显著性的t检验;对两种人工林土壤全氮,全磷与土壤有机碳进行相关性分析,求出线性回归方程。

3 结果与分析

3.1 两种人工林的碳储量分析

通过对两种人工林生物量的调查,可以估算出该地区20 a油松林的碳储量为24.201 t/hm²,而20 a刺槐林较小,仅为16.585 t/hm²,主要是由于树种的不同造成,林分的郁闭度的差异也有一定的影响,地上各部分的碳储量也有差异,其中油松的地上部分的碳储量为19.421 t/hm²,刺槐为12.736 t/hm²(表1),根据土壤有机碳的计算方法,计算出了0~80 cm土层的碳储量(表2),刺槐林土壤的碳储量

表1 两种人工林的各部分的碳储量(t·hm⁻²)

Table 1 The carbon storage of all parts between two plantations							
森林类型	树龄/a	枝叶	杆	林下植被及凋落物	根	土壤	总计
油松林	20	9.504	8.473	1.444	5.230	24.641	48.842
刺槐林	20	3.421	6.235	3.080	3.849	31.989	48.574

为31.989 t/hm²而油松的土壤碳储量只有24.641

t/hm²。

3.2 两种人工林地上部和地下部生物量以及土壤有机碳储量的差异

通过对两种人工林生物量调查和土壤有机碳平

均含量的测定分析,发现两种人工林之间地上部分和根系生物量存在差异,但通过差异显著性 *T* 检验 ($\alpha=0.05$),发现刺槐林和油松林根粗度 5 mm 以上的根系之间差异性显著($p=0.02$),变异系数达到

表2 两种人工林的土壤有机碳含量

Table 2 The Soil organic carbon between two plantations

土壤深度/cm	油松					刺槐				
	容重/ (g·cm ⁻³)	有机碳含量/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	SOC/ (t·hm ⁻²)	容重/ (g·cm ⁻³)	有机碳含量/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	SOC/ (t·hm ⁻²)
0~10	1.14	0.434	0.052	0.058	5.497	1.04	1.148	0.106	0.064	11.821
10~20	1.22	0.26	0.033	0.060	3.572	1.26	0.371	0.042	0.057	4.629
20~30	1.33	0.207	0.024	0.062	2.901	1.29	0.197	0.025	0.055	2.518
30~40	1.40	0.168	0.023	0.067	2.331	1.45	0.191	0.020	0.056	2.747
40~50	1.50	0.146	0.021	0.065	2.067	1.40	0.168	0.018	0.054	2.331
50~60	1.66	0.167	0.024	0.064	2.763	1.56	0.139	0.016	0.053	2.149
60~70	1.79	0.16	0.023	0.063	2.569	1.83	0.151	0.017	0.055	2.731
70~80	1.88	0.17	0.025	0.063	2.914	1.84	0.168	0.021	0.059	3.063
总计	1.712	0.225	0.502	24.641		2.553	0.265	0.718	31.989	

了48%,次之为0~2mm的根粗度,变异系数为14%,2~5mm根粗度的根系生物量差异性不明显,变异系数只有3%,这就是说:根系生物量的差异主要是由于5mm以上根系的差异性决定的;根系与地上部分生物量存在差异,但不显著($P>0.05$);而两种人工林茎秆的土壤有机碳和其它有机质含量差异性也不明显,其中全氮的含量差异最小,变异系数只有7%,通过差异性 *T* 检验 ($\alpha=0.05$) 差异性均不显著(表3)。

表3 两种人工林各部分生物量和土壤有机碳的含量

Table 3 The biomass of all parts and soil organic carbon between two plantations

项目	油松林	刺槐林	标准偏差 <i>s</i>	<i>CV</i> /%
林分碳储量/(t·hm ⁻²)	24.201	16.585	5.39	26
0~2mm 根系生长量/(g·m ⁻²)	229.7	188.0	29.49	14
2~5mm 根系生长量/(g·m ⁻²)	149.6	142.4	5.09	3
5mm 以上根系生长量/(g·m ⁻²)	253.82	514.93	184.63	48
土壤有机碳含量/(g·kg ⁻¹)	1.712	2.553	0.59	27

这说明土壤有机碳的含量受造林影响小,土壤有机碳的积累实际上是受诸多因素的影响,根系生物量为土壤碳的形成提供了物质来源,但不是唯一的来源。同时,林地的土壤状况(土壤结构、土壤水分、土壤微生物、土壤养分等)也影响土壤有机碳的分解。所以,根系生物量能影响土壤有机碳含量,但影响程度很小,二者之间没有直接的对应关系,根系生物量大的林地不一定土壤有机碳含量高^[4,9,10]。

3.3 两种人工林根系生物量的垂直分布特征

两种人工林的根系生物量在0~2mm、2~5

mm和5mm以上三种粗度上都表现出了鲜明的垂直分布特征。从图1可以看出,刺槐和油松林0~2mm粗度的根系生物量随着层次加深都呈下降趋势,根系最大生物量都出现在0~10cm层,可以看出刺槐林在0~2mm粗度的根系生物量上普遍低于油松林,只有在0~10cm土层处高于油松林,说明刺槐林表层的毛细根系比较丰富^[2],油松林在土壤剖面4,5,6层内0~2mm粗度的根系生物量差异较小。

刺槐林2~5mm粗度的根系生物量的最大值出现在土壤剖面10~20cm层,而油松林出现在40~50cm层,刺槐林在第1,2层2~5mm粗度根系生物量高于油松林,但两种人工林都在土壤剖面30~40cm处出现一个生物量低谷,变化趋势基本一致,如图2所示。

刺槐和油松林5mm以上粗度的根系生物量分别占到了总根系的40%和61%,对总根系生物量的垂直性分布特征起到了主要作用,从图3和图4得知,刺槐林5mm以上粗度根系及总根系生物量要普遍高于油松林,刺槐林在土壤剖面20~30cm处出现最大根系生物量,之后逐渐减少;而油松林出现在土壤剖面10~20cm处,之后逐渐减少。这与总根系生物量垂直分布特征非常的相似,两种人工林的根系生物量变化趋势基本一致。

3.4 两种人工林土壤有机碳的垂直分布特征及与土壤全氮、全磷的相关性

两种人工林的土壤有机碳含量表现出了鲜明的垂直分布特征,从图5可以看出刺槐林在土壤剖面第1和第2层之间出现陡降之后,逐渐减少,变化平稳,油松林也是表现出相同的变化特征,但整体变化

趋于平稳,刺槐林表层的土壤有机碳含量要高于油松林,说明此处的刺槐林的表层腐殖质和光热条件

要好于油松林。

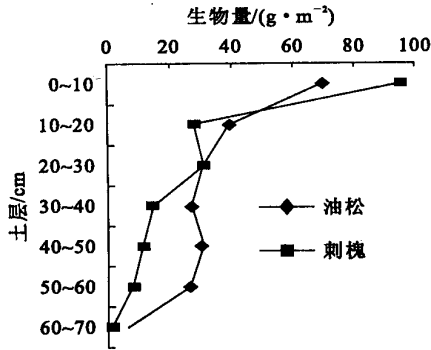


图1 两种人工林0~2 mm 粗度根系生物量的垂直分布
Fig.1 The vertical distributive of 0~2 mm roots biomass in two kinds of plantations

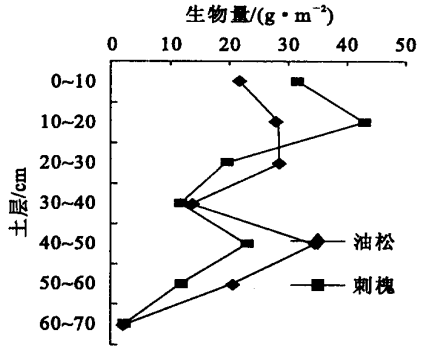


图2 两种人工林2~5 mm 粗度根系生物量的垂直分布
Fig.2 The vertical distributive of 2~5 mm roots biomass in two kinds of plantations

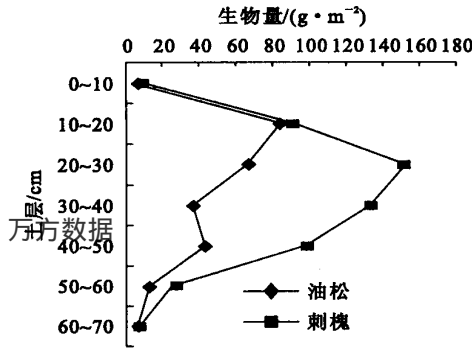


图3 两种人工林5mm 以上粗度根系生物量的垂直分布
Fig.3 The vertical distributive of 0~2mm roots biomass in two kinds of plantations

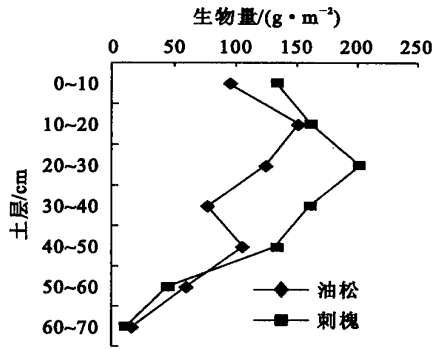


图4 两种人工林总根系生物量的垂直分布
Fig.4 The vertical distribution of roots biomass in two kinds of plantations

反映出人工林的土壤有机碳含量受到多方面因素的影响,如土壤的理化性质、土壤生境、凋落物的输入、土壤微生物活动等,土壤的有机碳主要集中在

表层,因为这一层凋落物较多,微生物活动和一些生化反应活跃,因而有利于土壤有机碳的形成和积累^[8,9,11]。

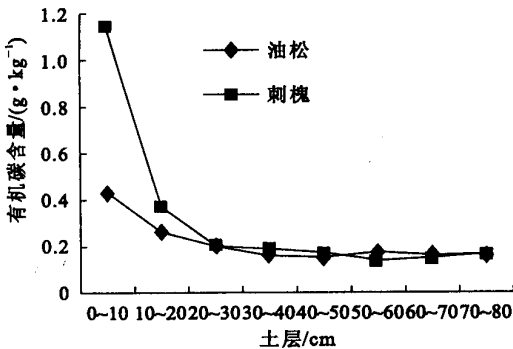


图5 两种人工林土壤有机碳的垂直分布图关系
Fig.5 The vertical distributive of soil organic carbon in two kinds of plantations

对两种人工林0~80 cm 深度的土壤全氮、全磷和土壤有机碳含量进行线性相关分析(图6~7),得

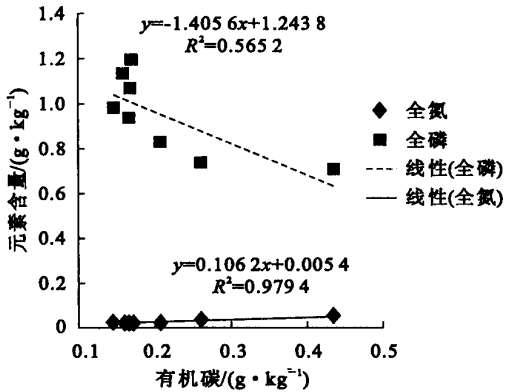


图6 油松人工林土壤有机碳与土壤全氮、全磷含量
Fig.6 The relationship between soil organic carbon content and soil N,P in the Robinia plantation

出了几种线性回归方程和相关系数,结果说明:两种人工林的土壤的全氮与土壤有机碳含量之间均呈显

著的线性正相关($P=0.01$);而在对土壤全钾与土壤有机碳做线性相关性分析时,刺槐在本实验中没有得出线性相关性的结论。刺槐林土壤全氮与有机质的相关系数 $r=0.9794$,线性方程为 $y=0.1062x+0.0054$;油松林土壤全氮与有机质的相关系数 $r=0.9945$,线性方程为 $y=0.0888x+0.005$ 。

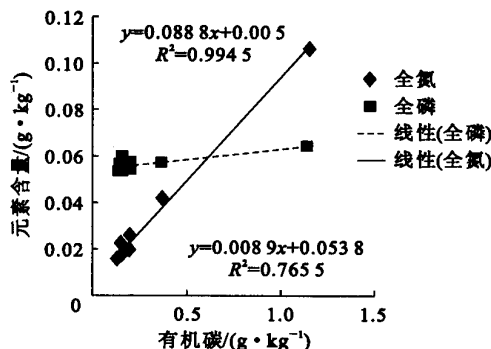


图7 刺槐人工林土壤有机碳与土壤全氮、全磷含量的关系
Fig.7 The relationship between soil organic carbon content and soil N/P in the pinus plantation

4 结论

(1)油松林为 48.842 t/hm^2 ,刺槐林碳储量为 48.574 t/hm^2 ,其中油松的地上部分的碳储量为 18.971 t/hm^2 ,刺槐为 12.736 t/hm^2 ;刺槐林土壤的碳储量为 31.989 t/hm^2 ,而油松的土壤碳储量只有 24.641 t/hm^2 ,油松和刺槐林土壤碳储量存在着差异,树种的不同是主要影响因素,不同区域的土壤也有一定的影响。人工林对碳元素的固定和积累起着非常重要的作用,人工林作为碳库的一种,虽然没有大气的碳库容量大,但它有着生态系统能量流动和物质循环的介质和载体的双重功能,因此是不可取代的。

(2)发现不同粗细度的根系生物量有着鲜明的垂直分布特征。毛细根系一般出现在表层,根系生物量的最大值出现在第2、3层,5 mm以上根系的生物量占有很大的比例。

(3)人工林土壤全氮与土壤有机碳含量之间存在着显著的线性正相关关系,10 cm以上的表层有机碳和全氮含量都明显高于其它土层,而全磷与有机碳之间在本实验中没发现有相关关系,还需进一步的研究论证。

参考文献:

- [1] 聂道平,徐德应,王兵. 全球碳循环与森林关系的研究一问题与进展[J]. 世界林业研究,1997,10(5):33-40. (Nie D P, Xu D Y, Wang B. The Relation Between Global CO₂ Balance and Forests—Problems and Developments,1997,10(5):33-40.)
- [2] 王进鑫,王迪海,刘广全. 刺槐和侧柏人工林有效根系密度分布规律研究[J]. 西北植物学报,2004,24(12):2208-2214. (Wang J X, Wang D H, Liu G Q. Distribution characteristics of effective root density in the planted *Robinia pseudoacacia* and *Platycladus orientalis* forest site[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica,2004,24(12):2208-2214(in Chinese).)
- [3] 解宪丽,孙波,周慧珍,等. 不同植被下中国土壤有机碳的储量与影响因子[J]. 土壤学报,2004,41(5):687-699. (Xie X L, Sun B, Zhou H Z, et al. Soil carbon stocks and their influencing factors under native vegetations in china (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004,41(5):687-699.)
- [4] Laclau P. Biomass and carbon sequestration of ponderosa Pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia. a [J]. For. Ecol. Man.,2003,180:317-333.
- [5] Richter DD, Markewitz D, Trumbore SE, et al. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest [J]. Nature,1999,400:56-58.
- [6] Song CH, Woodcock CE. A regional forest ecosystem carbon budget model: impacts of forest age structure and land use history [J]. Ecol. Model.,2003,164:33-47.
- [7] 解宪丽,孙波,周慧珍,等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J]. 土壤学报,2004,41(1):35-43. (Xie X L, Sun B, ZH H Z, et al. Organic carbon density and storage in soils of China and spatial analysis (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004,41(1):35-43.)
- [8] 史军,刘纪远,高志强,崔林丽. 造林对土壤碳储量影响的研究[J]. 生态学报,2005,24(4):410-416. (SHI J, LIU J Y, GAO ZH Q, CUI L L. A review on the influence of afforestation on soil carbon storage[J]. Chinese Journal of Ecology,2005,24(4):410-416(in Chinese).)
- [9] 朱志建,姜培坤,徐秋芳. 不同森林植被下土壤微生物量碳和易氧化态碳的比较[J]. 林业科学研究,2006,19(4):523-526. (ZHU Z J, JIANG P K, XUN Q F. Study on the Active Organic Carbon in Soil Under Different Types of Vegetation Forest Research 2006,19(4):523-526.)
- [10] Mendham DS, O. Connell AM, Grove TS. Change in soil Carbon after land clearing or afforestation in highly weathered lateritic and sandy soils of south-western Australia[J]. Agric. Ecosyst. Environ. 2003,95:143-156.
- [11] Post WM, Izaurralde RC, Mann LK, et al. Monitoring and verifying changes of organic carbon in soil[J]. Climatic Change,2001,51:73-99.
- [12] 王效科,冯宗炜,欧阳志云. 我国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究[J]. 应用生态学报,2001,12(1):13-16. (Wang X K, Feng Z W, Ou Y ZH Y. Vegetation carbon storage and density off orestecosystems in China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2001,12(1):13-16.)
- [13] 周玉荣,于振良,赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡[J]. 植物生态学报,2000,24(5):518-522. (Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types (In Chinese)[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2000,24(5):518-522.)
- [14] 中科院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.
- [15] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1984.