

Evaluation of Soil and Water Conservation with Different Forest Types in the Hilly Area of Northern Jiangsu Province

Fazhan Yu, Zhongqi Zhang, Zhaofeng Yu, Yongbing Shan

School of Geography, Geomatics, and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu
Email: yufazhan@126.com

Received: Jun. 26th, 2020; accepted: Jul. 16th, 2020; published: Jul. 23rd, 2020

Abstract

It is of great significance to establish and improve the functional evaluation method for soil and water conservation of forest ecosystem with clear indicators and practical operation for risk identification and prevention of forest soil and water loss. Taking the main secondary forest types in the hills in the north of Jiangsu Province as the research object, 12 indexes, such as richness index, canopy closure, canopy interception rate, litter layer thickness, litter decomposition rate, litter maximum capacity, soil bulk density, organic matter, soil water stability aggregate, soil capillary capacity, soil permeability stability rate and soil erosion resistance index, were selected to construct the soil and water conservation function ability to evaluate the system. Combined with the measured data, the effect of soil and water conservation of each stand type in this area was evaluated by using the weighted comprehensive method. The results showed that the order of soil and water conservation function evaluation of six forest types was: miscellaneous forest (0.7327) > Robinia forest (0.6902) > Quercus forest (0.6001) > black pine forest (0.5869) > *Pinus koraiensis* forest (0.4285) > *Platycladus orientalis* forest (0.2670).

Keywords

Forest Type, Soil and Water Conservation Function, Effect Evaluation, Hilly Area

江苏北部低山丘陵区不同林分类型水土保持效果评价

于法展, 张忠启, 于兆丰, 单勇兵

江苏师范大学, 理测绘与城乡规划学院, 江苏 徐州
Email: yufazhan@126.com

收稿日期: 2020年6月26日; 录用日期: 2020年7月16日; 发布日期: 2020年7月23日

文章引用: 于法展, 张忠启, 于兆丰, 单勇兵. 江苏北部低山丘陵区不同林分类型水土保持效果评价[J]. 土壤科学, 2020, 8(3): 133-140. DOI: 10.12677/hjss.2020.83019

摘要

建立健全指标明确、操作实用的森林生态系统水土保持功能评价方法对森林水土流失风险辨识与预防有重要的参考指导价值。以江苏北部低山丘陵区的主要次生林类型为研究对象,选取丰富度指数、郁闭度、林冠截留率、凋落物层厚度、凋落物分解率、凋落物最大持水量、土壤容重、有机质、土壤水稳性团聚体、土壤毛管持水量、土壤稳渗率、土壤抗蚀指数等12个指标构建其水土保持功能评价体系。结合实测数据,运用加权综合法对该地区各林分类型水土保持效果进行评价。结果表明,6种林分类型水土保持功能评价结果排序为:杂木林(0.7327) > 刺槐林(0.6902) > 栎类林(0.6001) > 黑松林(0.5869) > 赤松林(0.4285) > 侧柏林(0.2670)。

关键词

林分类型, 水土保持功能, 效果评价, 低山丘陵区

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

森林是陆地生态系统的主体,其主要功能是调节气候、保持水土和涵养水源,其中森林的水土保持功能是通过植被林冠、地被物(凋落物)和林下土壤这3个作用层来完成的[1]。对森林类型水土保持功能的研究主要集中于其森林水文和土壤保持两个方面[2],随着森林植被水土保持机理研究的深入,近年来国内外许多学者提出采用多项指标体系对森林类型水土保持功能进行评价[3]-[9]。但是,由于影响森林类型水土保持功能的生态因子较多,有些因子在获取准确观测数据上存在一定困难,导致定量评价森林水土保持功能优劣方面仍需深入研究[10]。定量化研究探讨低山丘陵区人工林生态恢复与水土保持机理的关系,对于当地水土保持工作具有重要的理论指导价值和实际意义。本文参考前人的研究结果,在构建指标明确及应用广泛的森林水土保持功能评价方法上作了一定的改进尝试,并以江苏北部低山丘陵区的主要次生林地为研究对象,对该地区主要林分类型的水土保持功能进行评价,以期与当地森林植被恢复与重建提供科学参考。

2. 研究区概况

江苏北部低山丘陵区位于江苏省的东北部和西北部,其地理位置为116°22'~19°48'E, 33°43'~35°07',前者主要分别在连云港近郊的云台山及锦屏山,后者分布于徐州附近的泉山及马陵山等地。属于暖温带季风气候,受东南季风影响较大,年平均气温13.1℃~14.3℃,1月平均气温-1.2℃~0.0℃,7月平均气温26.3℃~7.0℃,极端最高气温41.1℃,极端最低气温-22.6℃;年平均降水量847.9~958.9 mm,雨季降水量占全年的56%,且季节分配不均。该地区地势属低山丘陵地带,成土母质主要是中生代的沉积岩和石灰岩的残积风化物,其发育的土壤类型主要为褐土类(包括粗骨褐土和淋溶褐土2个亚类),土壤层约深1 m,土体内有机质和全氮含量较高,质地以中壤至重壤为主。该地区林分类型(主要为次生林)包括2个植被型、5个群系组、11个群系[11]。其中,针叶林包括赤松林、黑松林和侧柏林,它们多为纯林,物种多样性较低,其林下灌木层和草本层不甚发育,生长较缓慢,病虫害严重,是目前该地区低山丘陵上的主

要次生林类型；落叶阔叶林包括刺槐林、栎类林和杂木林，其中刺槐林常为纯林，系人工林，分布较为广范；栎类林和杂木林则是该地区的地带性植被类型，由于人类长期破坏，目前残存面积很小，分布较为零散。

3. 样地设置与试验方法

2018年6月根据研究区自身特点，在代表性地段选择典型性次生林地类型，即在赤松林、黑松林、侧柏林、栎类林、杂木林、刺槐林下设立标准研究样地，并对6种林分类型研究样地(规格20 m * 20 m)的环境因子进行常规调查以及采样(表1和图1)。每块研究样地设3次重复，按混合法采集0~20 cm的土样带回实验室做分析测试。

Table 1. Survey of 6 stand types in the hilly area of Northern Jiangsu Province

表 1. 江苏北部低山丘陵区 6 种林分类型研究样地的调查概况

林分类型	起源	平均胸径/cm	郁闭度	平均树高/m	坡向坡度	土壤类型	样地来源
赤松林	人工林	11.75	0.70	8.26	NW13°	粗骨褐土	连云港云台山(T1)
黑松林	人工林	14.87	0.65	7.90	SE15°	淋溶褐土	连云港锦屏山(T2)
侧柏林	人工林	9.26	0.55	9.19	E20°	粗骨褐土	徐州泉山(T3)
栎类林	天然林	21.04	0.80	15.53	W17°	粗骨褐土	连云港云台山(T4)
杂木林	天然林	17.93	0.60	13.87	NW19°	淋溶褐土	连云港云台山(T5)
刺槐林	人工林	10.61	0.50	11.61	NE22°	粗骨褐土	徐州马陵山(T6)



Figure 1. Location of 6 study plots in the hilly area of Northern Jiangsu Province

图 1. 江苏北部低山丘陵区 6 块研究样地的具体位置

在各研究样地进行植物群落学的常规调查(株数、种名、胸径、高度等)的基础上，通过 Menhinick 法计算其物种丰富度指数[12]；各研究样地的郁闭度测定使用样点统计法，即在每块样地中随机设置约 80 个样点，判断树冠是否垂直投影到该点，进而统计得到该样区的郁闭度[2]；在各研究样地外布设自动雨量计自动记录林外大气降雨量、林内穿透雨量与树干茎流量，依据森林水文定位观测的常规方法测定林冠截留量，再根据大气降雨量和林冠截留量计算其林冠截留率[6]；在各研究样地中随机布设面积 1 m² 的

样方 10 个,测定凋落物层的厚度;通过调查地面上未分解的凋落物积累现存量 and 放置收集器获得年凋落物的现量,凋落物的分解率为用年凋落物量除以凋落物积累量所得的比值[13];凋落物吸持水能力采用浸水法测定,根据凋落物蓄积量和最大持水率计算其最大持水量[14];采用土粒浸水法测定土壤抗蚀指数[15];采用定水头法测定土壤稳渗率[16];在土壤机械组成和微团粒分析的基础上,水稳性团聚体含量组成用人工筛分法测定[17];采用环刀法测定土壤毛管持水量及容重[18];采用重铬酸钾-硫酸氧化法测定土壤有机质,具体测定参照《土壤农化分析》[19]。试验所获得相关数据的统计和分析在 Excel 2007 和 SPSS 24.0 软件下完成。

4. 评价原理与方法

林地水土保持功能主要是通过地上植被林冠层、凋落物层和林下土壤层等 3 个作用层来截留削弱降雨、涵养水源以及拦蓄滞缓径流,这 3 个作用层面对森林生态系统保持水土效果的发挥都有着重要意义[20]。在前期调查和试验的基础上结合前人的研究成果,选取能够很好地反映森林水土保持功能的指标,构建了植被因子、凋落物因子和土壤因子等 3 个作用层组成的水土保持功能评价体系。

根据森林生态系统的水土保持作用原理,建立多指标综合评价体系,运用加权综合法对林地水土保持功能进行评价。该方法的实质是赋予构建水土保持功能评价体系的每个指标权重后,对该评价体系各指标下实测值的评分值求加权和[21]。加权综合法的数学计算公式(1)如下:

$$S = \sum_{i=1}^n p_i V_i(x_{ji}) \quad (\text{公式 1})$$

公式(1)中: S —水土保持功能评价价值; n —评价指标个数; p_i —评价指标 i 的权重; x_{ji} —评价指标 i 的实测值; $V_i(x_{ji})$ — x_{ji} 的评分值。

各评价指标的评分值($V_i(x_{ji})$)通过构建不同评价指标的线型评分函数(公式(2)和公式(3))分别计算得出。由于线型评分函数的特性,其评分值的大小在[0,1]中变化。

$$V_i(x)_{\min} = \begin{cases} 1 & x \leq a_1 \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1} & a_1 < x \leq a_2 \\ 0 & x > a_2 \end{cases} \quad (\text{公式 2})$$

公式(2)中: $V_i(x)_{\min}$ —第 i 个评价指标偏小型评分函数,在(a_1, a_2)中呈递减趋势,即 x 值越小,其评分值 $V_i(x)_{\min}$ 越高(a_2, a_1 分别为评价指标 x 的上、下限阈值)。

$$V_i(x)_{\min} = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 < x \leq a_2 \\ 1 & x > a_2 \end{cases} \quad (\text{公式 3})$$

公式(3)中: $V_i(x)_{\min}$ —第 i 个评价指标偏大型评分函数,在(a_1, a_2)中呈递增趋势,即 x 值越大,其评分值 $V_i(x)_{\min}$ 越高(a_2, a_1 分别为评价指标 x 的上、下限阈值)。

5. 水土保持效果评价

5.1. 评价指标的选取

按照森林水土保持功能评价指标遵循因地制宜、综合性、主导因素、科学性、系统性和可操作性等筛选原则[22],同时参考前人的研究成果对评价指标进行频度统计分析,选取的指标主要有:1) 植被因

子指标：考虑到地上林冠层对降雨截留削弱作用的复杂性，选择林下物种丰富度指数 X_1 、郁闭度 X_2 和林冠截留率 X_3 为植被林冠层的评价指标；2) 凋落物因子指标：凋落物层具有蓄水、持水性能，同时对地表有良好的覆盖保护功能，选取林地地表凋落物层厚度 X_4 、分解率 X_5 和最大持水量 X_6 为凋落物层的评价指标；3) 土壤因子指标：土壤层保持水土功能主要表现在林地土壤入渗、贮水以及土体自身抵抗水力侵蚀的性能，选取土壤容重 X_7 、有机质 X_8 、毛管持水量 X_9 、水稳性团聚体 X_{10} 、稳渗率 X_{11} 和抗蚀指数 X_{12} 为土壤层的评价指标。

5.2. 评价指标权重的确定

参考国内外相关文献以及现有的研究表明：林下丰富度指数 X_1 的变化范围一般为 10.00~90.00 [12]；郁闭度 X_2 的变化范围一般为 0.10~0.90 [2]；林冠截留率 X_3 的变化范围一般为 10.00%~35.00% [6]；凋落物层厚度 X_4 、分解率 X_5 、最大持水量 X_6 的变化范围一般为 0.50~5.00 cm、1.00~3.00、1.00~9.00 mm [21]；土壤容重 X_7 、有机质 X_8 、毛管持水量 X_9 、水稳性团聚体 X_{10} 、稳渗率 X_{11} 、抗蚀指数 X_{12} 的变化范围一般为 0.50~2.50 g cm^{-3} 、1.00%~5.00%、25.00%~75.00%、20.00%~80.00%、1.00~8.00 mm min^{-1} 、30.00%~90.00% [23] [24] [25]。依据上述选取林地水土保持功能各指标实测值(或计算值)的变化范围，设定出各评价指标的上下限阈值，同时采用多个专家综合分析的意见，按照专家级分法并借助 SPSS 24.0 软件来确定各评价指标的权重。各评价指标上下限阈值及权重见表 2。

Table 2. Upper and lower limit thresholds and weights of water and soil conservation function evaluation indexes

表 2. 水土保持功能评价指标上下限阈值及权重

影响因子	评价指标	下限阈值	上限阈值	指标权重
植被因子	丰富度指数 X_1	10.00	90.00	0.0685
	郁闭度 X_2	0.10	0.90	0.0535
	林冠截留率 X_3 (%)	10.00	35.00	0.1080
凋落物因子	凋落物层厚度 X_4 (cm)	0.50	5.00	0.0735
	分解率 X_5	1.00	3.00	0.0610
	最大持水量 X_6 (mm)	1.00	9.00	0.0955
土壤因子	土壤容重 X_7 (gcm^{-3})	0.50	2.50	0.0605
	有机质 X_8 (%)	1.00	5.00	0.0785
	毛管持水量 X_9 (%)	25.00	75.00	0.0860
	水稳性团聚体 X_{10} (%)	20.00	80.00	0.0945
	稳渗率 X_{11} (mm min^{-1})	1.00	8.00	0.0935
	抗蚀指数 X_{12} (%)	30.00	90.00	0.1270

5.3. 评价指标评分值的计算

由于各评价指标类型复杂多变，且每项指标的单位(量纲)各不相同，如何判断各评价指标的优劣是比较模糊的，无法直接对这些指标数据进行相互比较。为此需要对各评价指标运用线型评分函数进行数据标准化处理，即用评价指标实测值与上下限阈值相比较得到指标评分值的无量纲化方法。对江苏北部低山丘陵区 6 种林分类型的水土保持功能各评价指标归一化处理如下：结合表 2 中各评价指标的上下限阈值，利用不同评价指标的线型评分函数公式(2)和公式(3)分别计算出各评价指标的评分值(表 3)。

Table 3. Scoring values of soil and water conservation function evaluation indexes of 6 forest types
表 3. 6 种林分类型水土保持功能评价指标的评分值

评价指标	赤松林	黑松林	侧柏林	栎类林	杂木林	刺槐林
丰富度指数 X_1	0.3586	0.4114	0.3889	0.5009	0.7320	0.6496
郁闭度 X_2	0.3890	0.3385	0.4040	0.2231	0.4662	0.1317
林冠截留率 X_3	0.7405	0.6837	0.6137	0.8113	0.9213	0.7550
凋落物层厚度 X_4	0.2942	0.3915	0.2455	0.5205	0.2769	0.4334
凋落物分解率 X_5	0.5287	0.4960	0.0526	0.3735	0.1765	0.5500
凋落物最大持水量 X_6	0.6850	0.9482	0.7820	0.8388	0.8678	0.7271
土壤容重 X_7	0.4733	0.0825	0.2435	0.1454	0.4411	0.3515
土壤有机质 X_8	0.6518	0.4356	0.3508	0.5177	0.4859	0.3323
土壤毛管持水量 X_9	0.8340	0.8071	0.6941	0.5762	0.9400	0.7608
土壤水稳性团聚体 X_{10}	0.6654	0.5833	0.9511	0.8900	0.5732	0.7749
土壤稳渗率 X_{11}	0.7439	0.9264	0.6473	0.7127	0.8243	0.8018
土壤抗蚀指数 X_{12}	0.9030	0.8466	0.7948	0.8016	0.6981	0.8942

5.4. 评价结果与分析

土壤表层(0~20 cm)是土壤侵蚀以及水土保持的起始场所,对土壤表层的研究最为重要。从林分水土保持的机理出发,由植被的林冠层、凋落物层和土壤表层 3 个层面来评价其水土保持功能。6 种林分类型水土保持功能评价指标的测定值或计算值见表 4。根据各指标的权重以及利用线型评分函数并结合相关实测值计算出各评价指标的评分值(表 3),最后运用加权综合法得到 6 种林分类型水土保持功能的评价值,即江苏北部低山丘陵区 6 种林分类型水土保持功能评价结果见表 5。依据林地水土保持功能评价值 S 的大小可以将待评林分类型水土保持效果定性划分为 5 个等级[22]: 强(0.8~1.0)、较强(0.6~0.8)、中等(0.4~0.6)、较弱(0.2~0.4)、弱(0.0~0.2)。

Table 4. Measured value or calculated value (average value) of soil and water conservation function evaluation index of 6 forest types

表 4. 6 种林分类型水土保持功能评价指标的测定值或计算值(平均值)

评价指标	赤松林	黑松林	侧柏林	栎类林	杂木林	刺槐林
丰富度指数 X_1	46.35	39.18	23.74	61.50	72.81	67.24
郁闭度 X_2	0.70	0.65	0.55	0.80	0.60	0.50
林冠截留率 X_3 (%)	17.51	19.77	16.62	24.83	28.05	25.69
凋落物层厚度 X_4 (cm)	2.29	2.76	1.95	3.68	4.87	4.50
凋落物分解率 X_5	2.11	2.40	1.92	2.57	2.95	2.78
最大持水量 X_6 (mm)	4.55	4.90	3.36	6.41	7.03	6.65
土壤容重 X_7 (gcm^{-3})	1.19	1.22	1.21	1.25	1.23	1.26
土壤有机质 X_8 (%)	2.18	2.17	1.92	2.21	1.89	2.36
毛管持水量 X_9 (%)	49.08	48.29	48.42	46.16	47.73	44.85
水稳性团聚体 X_{10} (%)	68.34	71.71	63.52	70.65	78.49	74.65
稳渗率 X_{11} (mm min^{-1})	1.78	2.23	1.48	3.09	4.12	3.54
土壤抗蚀指数 X_{12} (%)	54.05	63.40	51.50	71.80	80.65	77.15

Table 5. Evaluation results of soil and water conservation function of 6 forest types
表 5.6 种林分类型水土保持功能评价结果

主要林分类型	赤松林	黑松林	侧柏林	栎类林	杂木林	刺槐林
功能评价值S	0.4285	0.5869	0.2670	0.6001	0.7327	0.6902
功能评价等级	中等	中等	较弱	较强	较强	较强
评价结果排序	5	4	6	3	1	2

由表 5 可知, 6 种林分类型水土保持功能评价结果排序为: 杂木林 > 刺槐林 > 栎类林 > 黑松林 > 赤松林 > 侧柏林。在研究区 6 种林分类型水土保持功能评价排序中, 落叶阔叶林(杂木林、刺槐林和栎类林)的水土保持功能整体上要优于针叶林(黑松林、赤松林和侧柏林), 3 种落叶阔叶林表现出较强的水土保持功能, 主要是因为落叶阔叶林具有多层次结构, 林分组成及分布较为合理, 其林下调落物层厚度、分解强度(分解率)和持水量均为最优, 林下调落物层能够储蓄大量水分, 且其枯枝落叶分解后产生的土壤有机质和养分元素可以改善土壤结构, 增强其土壤持水能力和入渗性能, 其土壤抗蚀能力显著提高。针叶林水土保持功能较低, 这是由于其林下冠幅较窄, 其凋落物层和土壤层的涵养水源以及防止土壤侵蚀能力相对较弱。

6. 结论与讨论

1) 根据森林生态系统的水土保持作用原理, 从植被林冠层、凋落物层和土壤层 3 个层次, 构建了水土保持功能评价指标体系, 并对选取的 12 个评价指标利用线型评分函数进行标准化和权重的确定, 运用加权综合法得出江苏北部低山丘陵区 6 种林分类型水土保持功能由大到小的顺序: 杂木林(0.7327) > 刺槐林(0.6902) > 栎类林(0.6001) > 黑松林(0.5869) > 赤松林(0.4285) > 侧柏林(0.2670)。

2) 评价结果表明, 落叶阔叶林的水土保持功能强于针叶林, 这是由于作为暖温带地区的顶级演替群落的落叶阔叶林, 具有更好的生态适应性以及系统稳定性, 其林冠截持的降水、凋落物的持水能力、林地土壤的蓄水功能以及抗蚀性能都优于针叶纯林。该研究结果为暖温带低山丘陵区的水土保持功能研究提供基础数据, 对该地区森林生态功能评价以及营林建设具有积极意义。

3) 林地的水土保持功能受多种因素的影响, 今后研究过程中在时间和数量上应增加更多的监测实验数据, 筛选更合理的评价指标以及征求更多的专家意见, 以期获得客观、全面的评价。另外, 当前对森林水土保持功能的评价有多种方法, 各种方法的合理性和适用性有待于进一步完善。

基金项目

国家自然科学基金(41201213); 江苏师范大学博士学位教师科研支持项目(19XFERS013)。

参考文献

- [1] 谈正鑫. 盱眙月亮山典型人工林水土保持功能研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2015.
- [2] 余新晓, 张志强, 陈丽华, 等. 森林生态水文[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [3] 杨会. 浙江省生态公益林主要林分类型水土保持功能研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2007.
- [4] 张锐. 重庆四面山几种人工林水土保持功能研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [5] 贺尧, 苏芳莉, 郭成久, 等. 基于主成分分析法的煤矸石山植被水土保持功能评价[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1): 74-77.
- [6] 黄进, 张晓勉, 张金池. 开化生态公益林主要森林类型水土保持功能综合评价[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 87-91.
- [7] 张海涛. 川南马尾松低效林改造初期产流产沙特征及水土保持功能评价[D]: [博士学位论文]. 雅安: 四川农业大

- 学, 2017.
- [8] 丛日亮, 黄进, 张金池, 等. 苏南丘陵区主要林分类型土壤抗蚀性分析[J]. 生态环境学报, 2010, 19(8): 1862-1867.
- [9] 罗静. 互叶白千层人工林水土保持效应研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [10] 刘少冲, 段文标, 陈立新. 莲花湖库区几种主要林型水文功能的分析和评价[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 79-83.
- [11] 阎传海. 苏北低山丘陵森林植被多样性研究[J]. 山地研究, 1997, 15(3): 157-161.
- [12] 马克平. 森林动态大样地是生物多样性科学综合研究平台[J]. 生物多样性, 2017, 25(3): 227-228.
- [13] 鲁绍伟, 毛富玲, 靳芳, 等. 中国森林生态系统水源涵养功能[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 223-226.
- [14] 崔卓卿. 洞庭湖区两种森林类型水土保持功能研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015.
- [15] 黄进, 张晓勉, 张金池. 桐庐生态公益林主要森林类型土壤抗水蚀功能综合评价[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 932-937.
- [16] 陈三雄. 浙江安吉主要植被类型土壤水土保持功能研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- [17] 王纪杰, 张友育, 俞元春, 等. 不同林龄巨尾桉人工林土壤的水土保持功能[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2012, 41(1): 46-52.
- [18] 葛东媛, 张洪江, 王伟, 等. 重庆四面山林地土壤水分特性[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(4): 155-159.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 郭晓平. 亚热带典型植被类型土壤水变化规律及影响机制研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2017.
- [21] 黄进. 苏南丘陵山区主要森林类型防水蚀功能评价[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2011.
- [22] 葛东媛. 重庆四面山森林植物群落水土保持功能研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [23] 陈三雄, 谢莉, 张金池, 等. 黄浦江源区主要植被类型土壤水土保持功能研究[J]. 中国水土保持, 2007(3): 33-35.
- [24] 徐雄才. 绵阳官司河小流域不同森林植被类型土壤水土保持功能研究[D]: [硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2015.
- [25] 景国臣, 鞠敏睿, 欧阳力. 黑土区几种人工林的水土保持效果分析[J]. 水利科学与寒区工程, 2019, 2(5): 42-47.