

桐庐生态公益林主要森林类型土壤抗水蚀功能综合评价

黄进¹, 张晓勉^{1,2}, 张金池^{1*}

1. 南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 浙江省林业科学研究院, 江苏 杭州 310023

摘要:以浙江省桐庐县生态公益林定位监测站为依托,研究了该区域不同森林类型土壤的抗水蚀功能。对比无林地,各森林类型的土壤均有较好的抗水蚀功能。选取土壤初渗速率、稳渗速率、非毛管孔隙度、总孔隙度、水稳性指数、团聚度、分散率、>0.25 水稳性团聚体含量、有机质含量为评价指标,以优劣解距离法为基础,构建了土壤抗水蚀功能综合评价方法。结合实测数据,对研究区各样地土壤的抗水蚀功能进行评价。结果表明:土壤抗水蚀功能为青冈林(*Cyclobalanopsis glauca*)>杉木林(*Cunninghamia lanceolata*)>香樟林(*Cinnamomum camphora*)>毛竹林(*Phyllostachys heterocycla*)>马尾松林(*Pinus massoniana*)>板栗林(*Castanea mollissima*)>无林地;其中青冈林土壤的抗水蚀功能属较强等级,香樟林、杉木林、马尾松林、毛竹林、板栗林属中等等级,无林地属较弱等级。

关键词:生态公益林;土壤抗水蚀功能;森林类型;评价;桐庐

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 04-0932-06

水力侵蚀是目前我国分布最广、危害普遍的一种土壤侵蚀类型,土壤水力侵蚀主要是由大气降雨造成的雨滴击溅和径流冲刷引起,而森林植被作为陆地上最重要的生态系统以其林冠层、林下灌草层、林地上富集的枯枝落叶层、发育疏松而深厚的土壤层从多个角度影响降雨和地表径流的侵蚀作用^[1],发挥着其特有的水土保持功能。森林土壤由于其枯落物层分解释放效应和根系层生理生化作用,其内在特性如蓄水能力、渗透性能、抗蚀性等指标得到较好的改善和促进,从而在森林防止削弱水力侵蚀的过程中发挥出一定的抗水蚀功能。客观评价土壤抗水蚀功能是全面衡量森林水土保持功能和改良土壤效应的基础,因此建立一套土壤抗水蚀功能综合评价方法是很有必要和意义的。目前我国多数学者在研究土壤抗水蚀功能的过程中主要侧重土壤抗蚀性这一环节,所得研究结果地域性较强,未对研究对象进行定性评价^[13-24]。

当前浙江省生态公益林的建设蓬勃发展,在补偿问题、分类经营、体系建设等方面研究较多,但对不同生态公益林类型的水土保持功能及其对土壤改良促进作用的研究较少。本文参考前人学者的研究结果,在构建指标明确、应用广泛的土壤抗水蚀功能综合评价方法上作了一定尝试。并以桐庐县生态公益林定位监测站为依托,对研究区主要森林类型土壤的抗水蚀功能加以定性评价,以期全面评价该区域生态公益林水土保持功能以及营林建

设过程中适宜林型的筛选提供一定的参考依据。

1 研究区概况

研究区位于浙江省桐庐县,桐庐地处亚热带季风气候区, E 119°21'56.7", N 29°49'19.5"。气候温暖,光照充足,四季分明,降水量充沛。年平均气温 16.6 °C, 年降雨量 1 443.1 mm, 无霜期 252 d, 年日照时间为 1 991.4 h。土壤以沙壤为主,疏松透气。动植物资源丰富,有各类保护植物 15 种,各种保护动物 13 种。桐庐县现有生态公益林面积 7.46 万 hm², 其中重点公益林面积 4.27 万 hm², 市级公益林面积 1.39 万 hm², 县级公益林面积 1.81 万 hm²。

2 研究方法

2.1 样地设置

本研究选择青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、毛竹(*Phyllostachys heterocycla*)、板栗(*Castanea mollissima*) 6 种生态公益林中具有代表性的森林类型,并以无林地为对照,建立调查样地并进行常规调查,记录其坡度、坡向、冠层郁闭度等常规指标,各样地基本情况见表 1。

2.2 试验方法

在研究区各样地设置土壤剖面,按照 0~20 cm、20~40 cm 机械分层取原状土带回实验室进行室内分析。

1) 土壤水分物理性质的测定。采用环刀法测

基金项目: 国家“十一五”林业科技支撑项目(2006BAD03A16)

作者简介: 黄进(1983 年生),男,博士研究生,主要研究方向为森林水文、环境生态。E-mail: hjtyforlove@yahoo.com.cn

*通讯作者: 张金池(1962 年生),男,教授,博士生导师,研究方向为水土保持、森林水文、林业生态工程。E-mail: nfujczhang@sina.com

sina.com

收稿日期: 2010-02-02

表 1 不同林分类型基本情况
Table 1 Basic situation of different forest types

林分类型	坡位	坡向	郁闭度	平均树高/m	平均胸径/cm	冠幅/(m×m)
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	下坡	西坡	0.7	5.20	12.48	2.45×2.83
香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	下坡	西坡	0.5	7.20	17.80	2.30×2.50
杉木 <i>Cunninghamia Lanceolata</i>	下坡	西坡	0.6	6.18	9.64	2.34×2.33
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	下坡	西坡	0.6	12.06	16.47	5.66×5.33
毛竹 <i>Phyllostachys heterocycla</i>	下坡	西坡	0.3	13.43	7.44	2.31×1.98
板栗 <i>Castanea mollissima</i>	下坡	西坡	0.5	4.26	5.04	3.30×3.10

定土壤非毛管孔隙度、毛管孔隙度；采用 TR-55 型土壤渗透仪测定土壤渗透性能。

2) 土壤理化性质的测定。采用甲种比重计法测定土壤机械组成；采用重铬酸钾外加热法测定土壤有机质含量。

3) 土壤抗蚀性指标的测定。从风干土样中选取直径 0.5~0.7 cm 土粒 50 颗，采用静水崩解测定崩解率和并计算出水稳性指数；采用干筛法和湿筛法测定>0.25 mm 水稳性团聚体含量；采用吸管法测定土壤微团聚体特征，并计算团聚度和分散率，其中团聚度 = (>0.05 mm 微团聚体分析值 - >0.05 mm 机械组成分析值) / >0.05 mm 微团聚体分析值，分散率 = <0.05 mm 微团聚体分析值 / <0.05 mm 机械组成分析值。

2.3 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件对数据进行分析。

2.4 土壤抗水蚀功能综合评价方法的构建

2.4.1 评价指标的选取

土壤水蚀是指在降雨击溅、水分下渗和地表径流冲刷的作用下，土壤破坏、剥蚀、搬运和沉积的全部过程^[1]。水蚀过程中土壤依靠其蓄水入渗能力和自身抗蚀性能的综合作用，发挥出一定的抗水蚀功能。因此要客观准确的评价土壤抗水蚀功能，需要选择能较好表征土壤水文功能和抗蚀性这两方面的指标。

1) 土壤水文功能评价指标的选取。土壤水文功能主要体现在土壤渗透性能和蓄水性能两个方面。表征土壤渗透性能的指标主要有初渗速率和稳渗速率。表征土壤蓄水性能的指标主要有土壤总持水量和非毛管持水量，其中土壤总持水量反映土壤储蓄和调节水分的潜在能力，它是土壤涵养能力的最大值；土壤非毛管持水量又称涵养水源量，反映土壤迅速容纳降雨径流和调节水分的能力；土壤总持水量和非毛管持水量均取决于土壤孔隙状况。因此本文选择土壤初渗速率 C1、稳渗速率 C2、非毛管孔隙度 C3、总孔隙度 C4 为土壤水文功能的评价指标，研究区不同样地各指标的实测值见表 2（均

表 2 不同样地土壤水文功能指标实测值
Table 2 Measured value of soil hydrological function indexes in different stands

样地类型	初渗速率 C1/ (mm·min ⁻¹)	稳渗速率 C2/ (mm·min ⁻¹)	非毛管孔隙度 C3/ %	总孔隙度 C4/ %
青冈	23.395	9.134	15.95	59.75
香樟	18.412	3.358	14.7	56.1
杉木	16.23	6.725	14.5	52.15
马尾松	13.143	1.451	6.65	51.05
毛竹	15.208	4.249	10	53.25
板栗	11.033	2.183	6.75	52.25
无林地	8.099	1.333	5.15	46.65

为统计平均值)。

由表 2 可以发现各森林类型土壤的初渗速率、稳渗速率、非毛管孔隙度和总孔隙度较无林地均提高了 36.23%~188.86%、8.85%~585.22%、29.13%~209.71%、9.43%~28.08%，各森林类型土壤的水文功能均好于无林地，其中青冈林土壤的水文功能最好。

2) 土壤抗蚀性评价指标的选取。目前我国学者在对土壤抗蚀性研究指标的选取上，尚未形成统一的规范，总结他们的研究成果可以发现水稳性指数、土壤团聚体特征、土壤有机质含量这三组指标应用最普遍、最有效^[13-24]。因此本文选取土壤水稳性指数 C5、团聚度 C6、分散率 C7、>0.25 mm 水稳性团聚体含量 C8、有机质含量 C9 为土壤抗蚀性的评价指标，研究区不同样地各指标的实测值见表 3（均为统计平均值）。

由表 3 可以发现各森林类型土壤的水稳性指

表 3 不同样地土壤抗蚀性指标实测值
Table 3 Measured value of soil anti-erodibility indexes in different stands

样地类型	水稳性 指数 C5	团聚度 C6/%	分散率 C7/%	>0.25 mm 水稳性 团聚体含量 C8/%	有机质含量 C9/(g·kg ⁻¹)
青冈	0.7	18.25	25.24	78.44	37.09
香樟	0.66	10.91	49.34	76.16	23.9
杉木	0.59	16.77	39.01	68.92	34.91
马尾松	0.63	13.47	53.3	74.05	34.68
毛竹	0.62	11.83	36.93	77.89	21.94
板栗	0.58	13	46.13	71.66	28.07
无林地	0.51	6.36	67.21	56.52	16.17

数、团聚度、>0.25 mm 水稳性团聚体含量和有机质含量较无林地提高了 13.73%~37.25%、72.35%~186.95%、17.78%~34.04%、47.87%~129.38%，而分散率较无林地降低了 20.73%~62.45%，各森林类型土壤的抗蚀性均好于无林地，其中青冈林土壤的抗蚀性最好。

2.4.2 综合评价原理

目前用于定性评价的方法很多，如层次分析法、模糊数学法、灰色关联分析法等，各评价方法特点不一，但计算过程过于繁琐。本文从实用角度出发，选择计算简单的“优劣解距离法”作为评价方法。优劣解距离法通过设定多目标评价问题中的“最优解”和“最劣解”，并计算待评方案与最优解的相对贴近度，从而确定待评方案的优劣程度。最优解是根据行业标准设定的理想方案，最劣解则相反，最优解和最劣解代表了评价过程中努力追求与竭力避免的两种状况。优劣解距离法计算步骤如下：

1) 设某多目标评价问题共有 m 种待评方案和 n 个评价指标， M_i 表示第 i 个方案， C_j 表示第 j 个指标； ω_j 表示指标 C_j 的权重系数； M_i 关于 C_j 的指标实测值可表示为 $x_{ij}(i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$ 。

2) 对各方案的指标实测值进行标准化处理，通常采用的标准化处理方法是所有指标实测值归一化到 $[0,1]$ 区间内。由于评价指标分为正指标（实测值越大越好）和逆指标（实测值越小越好），本文采用隶属函数的概念对各方案的指标实测值进行标准化处理。

对正指标，采用升半梯形隶属函数处理，见式 (1)；

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, x_{ij} \geq \text{best}(C_j) \\ \frac{\text{best}(C_j) - x_{ij}}{\text{best}(C_j) - \text{worst}(C_j)}, \text{worst}(C_j) < x_{ij} < \text{best}(C_j) \\ 0, x_{ij} < \text{worst}(C_j) \end{cases}$$

式 (1)

对逆指标，采用降半梯形隶属函数处理，见式 (2)。

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, x_{ij} \leq \text{best}(C_j) \\ \frac{\text{worst}(C_j) - x_{ij}}{\text{worst}(C_j) - \text{best}(C_j)}, \text{best}(C_j) < x_{ij} < \text{worst}(C_j) \\ 0, x_{ij} > \text{worst}(C_j) \end{cases}$$

式 (2)

式(1)、(2)中 y_{ij} 为 x_{ij} 的标准化值， $\text{best}(C_j)$ 为各评价指标的最优值， $\text{worst}(C_j)$ 为各评价指标的最劣

值。设 $\text{best}(C_j)$ 的标准化值为 $N_{\text{best}}(C_j)$ ，则 $N_{\text{best}}(C_j)$ 组成的最优解为 $(1,1,1,\dots,1)$ ；设 $\text{worst}(C_j)$ 的标准化值为 $N_{\text{worst}}(C_j)$ ，则 $N_{\text{worst}}(C_j)$ 组成的最劣解为 $(0,0,0,\dots,0)$ 。

3) 分别计算待评方案与最优解的距离 $D_{\text{best } i}$ ，

与最劣解距离 $D_{\text{worst } i}$ ，见式 (3)、(4)。

$$D_{\text{best } i} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \omega_j^2 (y_{ij} - 1)^2} \quad \text{式 (3)}$$

$$D_{\text{worst } i} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \omega_j^2 y_{ij}^2} \quad \text{式 (4)}$$

4) 计算待评方案的综合评价价值（即待评方案与最优解的相对贴近度），见式 (5)， P_i 值越大则表明待评方案越好（ P_i 值在 0 到 1 之间变化）。

$$P_i = \frac{D_{\text{worst } i}}{D_{\text{best } i} + D_{\text{worst } i}} \quad \text{式 (5)}$$

2.4.3 指标权重的确定

许多综合评判模型和识别模型中指标的权重是依据经验，由专家打分来确定的，不免带有一定的主观性。为减少主观引起的偏差，本文采用主成分分析法(PCA)来确定各评价指标的权重。PCA 法能将待分析样本中众多指标归结为少数几个综合因子—主成分，每个主成分都是原来多个指标的线性组合。不同指标在各主成分上载荷向量的平方和称为指标的公共性，它的大小反映了指标在公共性的作用或重要性程度。对各指标公共性的方根 H 归一化处理，则可得出评价体系各指标的权重系数^[25]。

以研究区不同样地各评价指标的实测值为样本，对 9 个评价指标进行主成分分析。经分析，前两个主成分的特征值分别为： $\lambda_1=6.916$ ， $\lambda_2=0.904$ ，累积贡献率达 86.9%，满足主成分的选取要求（一般情况下主成分个数的选取是以累积贡献率超过 85% 为依据）。对各评价指标在这两个主成分上的载荷向量求平方和，并计算其方根，对各方根归一化处理可得各评价指标的权重系数，结果见表 4（表 4 中计算出的权重仅反映了本研究区土壤抗水蚀功能评价指标间的内在联系和重要程度，在其他地区应用文中构建的综合评价方法时，需要结合当地的实测数据计算出相应的权重）。

2.4.4 各评价指标最优值和最劣值的确定

参考现有的研究结果^[2-24]，对土壤抗水蚀功能综合评价方法中各评价指标的最优值和最劣值进

表 4 各评价指标的权重系数
Tab 4 Weight coefficient of evaluation indexes

评价指标	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9
第 1 主成分载荷 L_{1i}	0.960	0.863	0.86	0.938	0.902	0.877	-0.924	0.81	0.733
第 2 主成分载荷 L_{2i}	0.167	-0.225	0.098	0.280	0.311	-0.455	0.082	0.352	-0.550
$\sqrt{L_{1i}^2 + L_{2i}^2}$	0.975	0.892	0.865	0.979	0.954	0.988	0.928	0.883	0.917
权重系数 ω_j	0.1162	0.1063	0.1032	0.1168	0.1137	0.1178	0.1107	0.1053	0.1094

表 5 各评价指标的最优值和最劣值
Table 5 The best value and worst value of evaluation indexes

指标体系	指标类型	最优值	最劣值
土壤水文功能指标	初渗速率/(mm·min ⁻¹)	35	5
	稳渗速率/(mm·min ⁻¹)	10	1
	非毛管孔隙度/%	20	5
	总孔隙度/%	60	30
土壤抗蚀性指标	水稳性指数	0.9	0.2
	团聚度/%	75	5
	分散率/%	20	90
	>0.25 mm 水稳性团聚体含量/%	80	30
	有机质含量/(g·kg ⁻¹)	60	5

行设定（见表 5）。

2.4.5 土壤抗水蚀功能级的划分

依据综合评价值 P_i 的大小可以将待评土壤的抗水蚀功能定性划分为 5 个功能等级：强（0.8~1.0）、较强（0.6~0.8）、中等（0.4~0.6）、较弱（0.2~0.4）、弱（0~0.2）。

3 结果与分析

运用文中构建的土壤抗水蚀功能综合评价方法，结合表 2、3 中的不同样地各指标的实测值，对研究区各样地土壤的抗水蚀功能进行评价，结果见表 6。根据土壤抗水蚀功能综合评价值的大小，发现研究区不同样地土壤抗水蚀功能为青冈林（0.6745）>杉木林（0.5553）>香樟林（0.5230）>毛竹林（0.4993）>马尾松林（0.4424）>板栗林

（0.4347）>无林地（0.2950）。

4 结论

通过对研究区主要森林类型土壤的渗透性能、孔隙状况、水稳性指数、团聚体特征、有机质含量几个表征土壤抗水蚀功能的重要指标的测定，并与无林地进行对比分析，发现各森林类型土壤均有较好的抗水蚀功能。其中青冈林在各土壤抗水蚀功能评价指标上表现最好，其改良土壤蓄水渗透性能和提高土壤抗蚀性的作用最为明显，这主要归功于青冈林有着更为发达的枯落物层和生长较好的根系组织。

本文选取了 9 个针对性较强的评价指标，以优劣解距离法为评价基础，通过主成分法确定各指标的权重，并总结现有的研究成果确定评价标准，从而构建了土壤抗水蚀功能综合评价方法。该方法与多数学者采用的主成分得分法相比，有着较好的客观性^[21-24]，能够对待评土壤抗水蚀功能进行定性评价。研究区各样地土壤的抗水蚀功能综合评价结果显示：青冈林>杉木林>香樟林>毛竹林>马尾松林>板栗林>无林地；其中青冈林土壤的抗水蚀功能属较强等级，香樟林、杉木林、马尾松林、毛竹林、板栗林属中等等级，无林地属较弱等级。

参考文献：

[1] 张颖,牛健植,谢宝元,等. 森林植被对坡面土壤水蚀作用的动力

表 6 各样地土壤抗水蚀功能综合评价结果

Table 6 The comprehensive evaluation result of anti-water erosion function of stands

评价指标	青冈	香樟	杉木	马尾松	毛竹	板栗	无林地
研究区各样地	C1	0.613	0.447	0.374	0.271	0.340	0.103
指标实测值标	C2	0.904	0.262	0.636	0.050	0.361	0.037
准化处理	C3	0.730	0.647	0.633	0.110	0.333	0.010
	C4	0.992	0.870	0.738	0.702	0.775	0.555
	C5	0.714	0.657	0.557	0.614	0.600	0.443
	C6	0.189	0.084	0.168	0.121	0.098	0.019
	C7	0.925	0.581	0.728	0.524	0.758	0.326
	C8	0.969	0.923	0.778	0.881	0.958	0.530
	C9	0.583	0.344	0.542	0.540	0.308	0.203
与最优解的距离		0.0152	0.0324	0.0252	0.0451	0.0358	0.0675
与最劣解的距离		0.0655	0.0389	0.0393	0.0284	0.0355	0.0118
综合评价值		0.6745	0.5230	0.5553	0.4424	0.4993	0.2950
土壤抗水蚀功能等级		较强	中等	中等	中等	中等	较弱

- 学机理[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5084-5094.
- ZHANG Yin, LIU Jianzhi, XIE Baoyuan, et al. Dynamics mechanism of the effect of forest vegetation on hill-slope erosion[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 5084-5094.
- [2] 刘世荣, 孙鹏森, 温远光. 中国主要森林生态系统水文功能的比较研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1): 16-22.
- LIU Shirong, SUN Pengsen, WEN Yuanguang. Comparative analysis of hydrological functions of major forest ecosystems in China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(1): 16-22.
- [3] 朱兵兵, 张平仓, 王一峰, 等. 长江中上游地区土壤入渗规律研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(4): 43-47.
- ZHU Bingbing, ZHANG Pingcang, WANG Yifeng, et al. Infiltration process in the middle and upper reaches of the Yangtze River[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(4): 43-47.
- [4] 王鹏程, 肖文发, 张守攻, 等. 三峡库区主要森林植被类型土壤渗透性能研究[J]. 水土保持学报, 2007, (6): 51-54.
- WANG Pengcheng, XIAO Wenfa, ZHANG Shougong, et al. Study on soil infiltration in some main vegetation types in three gorges reservoir area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(6): 51-54.
- [5] 袁建平, 张素丽, 张春燕, 等. 黄土丘陵区小流域土壤稳定入渗速率空间变异[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 579-583.
- YUAN Jianping, ZHANG Suli, ZHANG Chunyan, et al. Spatial variation of steady water infiltration rates of small watershed in hilly and gully loess region[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(4): 579-583.
- [6] 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.
- LIU Shaoshong, DUAN Wenbiao, CHEN Lixin. Analysis and evaluation on hydrological function of different forest types in Lianhua lake reservoir area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(6): 51-54.
- [7] 王玉琦, 王玉杰. 缙云山典型林分森林土壤持水与入渗特性[J]. 北京林业大学学报, 2007, 28(3): 102-108.
- WANG Yunqi, WANG Yujie. Soil water retaining capacity and infiltration property of typical forests in the Jinyun mountain[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 28(3): 102-108.
- [8] 吕刚, 吴祥云, 雷泽勇, 等. 辽西半干旱低山丘陵区人工林地表层土壤水文效应[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 204-208.
- LV Gang, WU Xiangyun, LEI Zeyong, et al. Hydrology effect of artificial woodland surface soil in semi-arid low mountainous upland region of western Liaoning province[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(5): 204-208.
- [9] 杨海龙, 朱金兆, 毕利东. 三峡库区森林流域生态系统土壤渗透性能的研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 63-65.
- YANG Hailong, ZHU Jinzhao, BI Lidong. Soil permeability capability research on Yangtze River three gorges reservoir area forest watershed ecosystem[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(3): 63-65.
- [10] 潘紫文, 刘强, 佟得海. 黑龙江省东部山区主要森林类型土壤水分的入渗速率[J]. 东北林业大学学报, 2003, 30(5): 24-26.
- PAN Ziwen, ZHU Jinzhao, BI Lidong. Water penetration rate of soil in main forest types in the eastern mountainous area of Heilongjiang province[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2003, 30(5): 24-26.
- [11] 王月玲, 蒋齐, 蔡进军, 等. 半干旱黄土丘陵区土壤水分入渗速率的空间变异性[J]. 水土保持通报, 2008, 28(4): 52-55.
- WANG Yuelin, JIANG Qi, CAI Jinjun, et al. Spatial variability of infiltration rate in the semiarid loess hilly and gully area[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(4): 52-55.
- [12] 王伟, 张洪江, 李猛, 等. 重庆市四面山林地土壤水分入渗特性研究与评价[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4): 95-98.
- WANG Wei, ZHANG Hongjiang, LI Meng, et al. Research and evaluation on infiltration characteristic of forest soil in simian mountain of Chongqing[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(4): 95-99.
- [13] 史晓梅, 史东梅, 文卓立. 紫色土丘陵区不同土地利用类型土壤抗蚀性特征研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 63-66.
- SHI Xiaomei, SHI Dongmei, WEN Zhuoli. Study on soil anti-erodibility of different land utilization types in purple soil hilly region[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(4): 63-66.
- [14] 史长婷, 王恩姮, 陈祥伟. 典型黑土区水土保持林对土壤可蚀性的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3): 25-28.
- SHI Changting, WANG Enheng, CHENG Xiangwei. Effect of soil and water conservation forests on soil erodibility in typical black soil region[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(3): 25-28.
- [15] 任改, 张洪江, 程金花, 等. 重庆四面山几种人工林地土壤抗蚀性分析[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3): 20-24.
- REN Gai, ZHANG Hongjiang, CHEN Jinhua, et al. Analysis of soil anti-erodibility of different plantation lands in simian mountain, Chongqing[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(3): 20-24.
- [16] 董慧霞, 李贤伟, 张健, 等. 退耕地三倍体毛白杨林地土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(6): 45-48.
- DONG Heixia, LI Xianwei, ZHANG Jian, et al. Soil anti-erodibility of the triploid populus tomentosa woodland[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(6): 45-48.
- [17] 姜培坤, 愈益武, 徐秋芳, 等. 商品林地土壤物理性质演变与抗蚀性的评价[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 112-115.
- JING Peikun, YU Yiwu, XU Qiufang, et al. Assessment on evolving law of soil physical properties and erosion resistance of land with different commercial forest[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1): 112-115.
- [18] 张振国, 黄建成, 焦菊英, 等. 安塞黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落土壤抗蚀性分析[J]. 水土保持研究, 2008, 15(1): 28-31.
- ZHANG Zhenguo, HUANG Jucheng, JIAO Juyin. Analysis on erosion resistance of different vegetation communities in abandoned lands in An'sai hilly-gully loess region[J]. *Research of soil and water conservation*, 2008, 15(1): 28-31.
- [19] 张振国, 范变娥, 白文娟, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落土壤抗蚀性研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(1): 7-13.
- ZHANG Zhenguo, FAN Bian'e, JIAO Juyin, et al. Soil anti-erodibility of plant communities on the removal lands in hilly-gully region of the Loess Plateau[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2007, 5(1): 7-13.
- [20] 史东梅, 吕刚, 蒋光毅, 等. 马尾松林地土壤物理性质变化及抗蚀性研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 35-39.
- SHI Dongmei, LV Gang, JIANG Guangyi, et al. Study on anti-erodibility and change of soil physical property in pinus massoniana woodland[J].

- Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6): 35-39.
- [21] 张金池, 陈三雄, 刘道平. 浙江安吉主要植被类型土壤抗蚀性指标筛选及评价模型构建[J]. 亚热带水土保持, 2006, 18(2): 1-5.
- ZHANG Jinchi, CHEN Sanxiong, LIU Daoping. Soil anti-erodibility indexes and evaluation model of the main forest types in Anji county[J]. Subtropical Soil and Water Conservation, 2006, 18(2): 1-5.
- [22] 胡建忠, 张伟华, 李文忠, 等. 北川河流域退耕地植物群落土壤抗蚀性研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(6): 854-863.
- HU Jianzhong, ZHANG Weihua, LI Wenzhong, et al. Effect of plant community on anti-erodibility of land under rehabilitation in Beichuanhe basin[J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(6): 854-863.
- [23] 于大炮, 刘明国, 邓红兵, 等. 辽西地区林地土壤抗蚀性分析[J]. 生态学杂志, 2003, 22(5): 10-14.
- YU Dapao, LIU Mingguo, DENG Hongbing, et al. Analysis of soil anti-erodibility in western Liaoning[J]. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(5): 10-14.
- [24] 王云琦, 王玉杰, 朱金兆. 缙云山典型林分林地土壤抗蚀性分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 755-780.
- WANG Yunqi, WANG Yujie, ZHU Jinzhao. Anti-erodibility analysis in forest soil of typical forests in Jinyun mountain in Chongqin city[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(6): 755-780.
- [25] 李祚泳. 环境质量评价原理与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 29-30.
- LI Zuoyong. Principle and Methods for Environmental Quality Evaluation[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 29-30.
- [26] DURÁN ZUAZO V H, FRANCIA MARTÍNEZ J R, MARTÍNEZ RAYA A. Impact of vegetative cover on runoff and soil erosion at hill-slope scale in Lanjaron, Spain[J]. The Environmentalist, 2004, 24(1): 39-48.
- [27] NG SAI LEUNG, CAI Q G, DING S W, et al. Effects of contour hedgerows on water and soil conservation, crop productivity and nutrient budget for slope farmland in the Three Gorges Region (TGR) of China[J]. Agroforestry Systems, 2008, 74(3): 279-291.
- [28] RAMOS M C, MARTINEZ-CASASNOVAS J A. Soil loss and soil water content affected by land leveling in Penedes vineyards, NE Spain[J]. Catena, 2007, 71: 210-217.

Comprehensive evaluation on soil anti-water erosion function of main forest types in Tonglu's ecological non-commercial forest

HUANG Jin¹, ZHANG Xiaomian^{1,2}, ZHANG Jinchi^{1*}

1. Nanjing Forestry University College of Forest Resources and Environment, Nanjing 210037, China

2. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, China

Abstract: Base on located ecological monitoring station of non-commercial forests in Tonglu county, Zhejiang province, soil anti-water erosion function of the different forests was studied in the region. Compared to bare land, the soil anti-water erosion function of forests was better. Soil early permeability, steady infiltration, non capillary porosity, general porosity, water-stable index, agglomerating degree, dispersion rate, >0.25 mm water stable aggregate content, organic matter content were selected as evaluation indexes, base on distance method, constructed comprehensive evaluation method of soil anti-erosion function. Combined measured data, the soil anti-water erosion function of stands in the study area were evaluated, the result showed that: the soil anti-water erosion function in descending order was *Cyclobalanopsis Oerst* > *Cunninghamia Lanceolata* > *Cinnamomum camphora* > *Phyllostachys heterocyclus* > *Pinus massoniana* > *Castanea mollissima* > bare land; the soil anti-water erosion function of *Cyclobalanopsis Oerst* belonged to stronger grade, *Cunninghamia Lanceolata*, *Cinnamomum camphora*, *Phyllostachys heterocyclus* and *Pinus massoniana*, *Castanea mollissima* belonged to middle grade, bare land belonged to weaker grade.

Key words: ecological non-commercial forest; soil anti-erosion function; forest types; evaluation; Tonglu