

开化生态公益林主要森林类型水土保持功能综合评价

黄进¹, 张晓勉^{1,2}, 张金池¹

(1. 南京林业大学, 南京 210037; 2. 浙江省林业科学研究院, 杭州 310023)

摘要:对浙江省开化县生态公益林中主要森林类型的水土保持功能进行评价。选取林冠截留率、灌草层盖度、枯落物覆盖度、枯落物厚度、枯落物最大持水量、土壤稳渗速率、土壤非毛管孔隙度、土壤可蚀性 k 值为评价指标, 构建森林水土保持功能综合评价方法。结合实测数据, 对研究区各森林类型水土保持功能进行评价。结果表明: 水土保持功能为针阔混交林 > 麻栎林 > 毛竹林 > 马尾松林 > 杉木林; 针阔混交林的水土保持功能属较强等级, 毛竹林、麻栎林、杉木林、马尾松林为中等。

关键词:生态公益林; 水土保持功能; 森林类型; 评价; 开化

中图分类号: S157; S727.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)03-0087-05

Comprehensive Evaluation on Soil and Water Conservation Function of Main Forest Types of Ecological Protection Forest in Kaihua County

HUANG Jin¹, ZHANG Xia-mian^{1,2}, ZHANG Jin-chi¹

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Soil and water conservation function of main forest types of ecological protection forest in Kaihua county of Zhejiang province were evaluated. Rate of canopy interception, shrub-grass layer coverage, litter coverage, litter thickness, maximal water holding value of litter layer, soil steady infiltration, soil non capillary porosity and soil erodibility k were selected as evaluation index, and comprehensive evaluation method of water conservation function was used. The results show that the descending order of soil and water conservation function was coniferous-broadleaved mixed forest > *Quercus acutissima* > *Phyllostachys heterocycla* > *Pinus massoniana* > *Cunninghamia lanceolata*; the soil and water conservation function of coniferous-broadleaved mixed forest belongs to stronger grade, *Phyllostachys heterocycla*, *Quercus acutissima*, *Cunninghamia lanceolata*, *Pinus massoniana* were middle.

Key words: ecological protection forest; soil and water conservation function; forest types; evaluation; Kaihua county

目前水力侵蚀是世界上分布最广、危害也是最为普遍的一种土壤侵蚀类型。地表土壤侵蚀主要是由降雨过程产生的雨滴击溅、径流冲刷引起, 而森林作为一种具有复合功能的生态系统依靠其林冠层、林下灌草层、林地表富集的枯枝落叶层、土壤层对降雨的截持、削弱、蓄存, 有效地发挥了其特有的水土保持功能。目前森林生态服务功能及森林生态补偿效益的研究开展的如火如荼, 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综合评价方法

是很有必要和意义的。长期以来, 我国植被水土保持功能评价研究主要以单一指标——植被覆盖度(森林为森林覆盖率)为主, 随着植被水土保持机理研究的深入, 近年来许多学者提出了多个指标体系进行综合评价^[1]。以覆盖率为指标的评价方法在揭示区域森林植被水土保持功能上有一定的作用, 但对特定森林类型水土保持功能的描述上则显得过于简单; 同时诸多学者采用的多指标加以主成分分析的评价方法在比较同一研究区不同森林类型的水土

* 收稿日期: 2009-11-16

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-), 男, 博士生, 主要研究方向: 森林水文、环境生态。E-mail: hjtyforlove@yahoo.com.cn

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

保持功能时效果较好,但缺乏全国尺度水平上的对比,无法对其定性评价。

当前我国生态公益林建设蓬勃发展,在补偿问题、分类经营、体系建设等方面研究较多,但对生态公益林的水土保持功能以及公益林建设过程中适宜树种的选择研究较少。本文参考前人学者的研究结果,在构建指标明确、应用广泛的森林水土保持功能综合评价方法上作了一定的尝试,并以开化县生态公益林定位监测站为依托,对研究区主要森林类型的水土保持功能加以评价,以期为揭示该区域公益林生态服务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

研究区位于浙江省开化县生态公益林定位监测站内,开化县位于浙江省母亲河——钱塘江的源头,处于浙江西部的浙、皖、赣三省交界处,东经 118°01′ - 118°37′,北纬 28°54′ - 29°29′,全县年平均气温 16.3℃,极端最高气温 41.3℃,极端最低气温

- 14.2℃,年平均稳定通过 10℃ 的持续天数为 237.4 d, 10℃ 积温 5 152.4℃,无霜期 260 d,年平均降水量 1 762.1 mm,年蒸发量 1 366.2 mm,年平均相对湿度 81%,年日照时数 1 785.2 h。开化县野生生物资源极为丰富。其中,高等植物 244 科 897 属 1 991 种。全县林业用地 18.4 万 hm²,占 84.6%。林木蓄积量 589 万 m³,森林覆盖率 79.2%,均位于浙江省前列。全县公益林面积 10.5 万 hm²,其中省重点公益林 5.6 万 hm²,占全县林业用地面积的 30.1%。2001 - 2003 年间承担了国家森林生态效益补助试点公益林建设 3.7 万 hm²、省重点公益林建设 0.9 万 hm²。

2 研究方法

2.1 样地设置

选取毛竹林、针阔混交林(马尾松、木荷、香樟)、麻栎林、杉木林、马尾松林 5 种具有代表性的生态公益林类型,建立调查样地并进行常规调查,记录其坡向、冠层郁闭度等常规指标,各样地基本情况见表 1。

表 1 不同林分样地基本情况

森林类型	起源	林龄/a	密度/(株·hm ⁻²)	胸径/cm	树高/m	郁闭度/%	坡位	坡向
毛竹林	人工	4	2676	8.89	8.4	0.6	中下	SE
针阔混交林	天然	20	1050	13.2	10.3	0.5	中上	SE
麻栎林	天然	13	953	24.6	15.3	0.75	中下	N
杉木林	人工	8	2432	10.6	12.6	0.65	下	W
马尾松林	人工	6	2653	9.6	7.5	0.8	中下	SE

2.2 试验方法

2.2.1 林冠截留率测定 在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,树冠截留量按水量平衡公式(1)计算。

$$P_c = P - P_s - P_t \tag{1}$$

式中: P_c ——树冠截留量(mm); P ——大气降雨量(mm); P_s ——树干茎流量(mm); P_t ——穿透雨量(mm)。根据大气降雨量和林冠截留量计算其林冠截留率。

2.2.2 枯落物最大持水量测定 在每块样地内随机布设面积 1 m² 的样方 10 个。将新采集的枯落物迅速称其鲜质量后,放置于室内干燥通风处 7 d 以上,直至用手触摸无潮湿感时,称其质量作为枯落物风干质量,同时推算枯落物的自然含水率和单位面积蓄积量,枯落物吸水能力采用浸水法测定,将原状枯落物装入网袋,浸水 24 h,浸水后枯落物质量与

浸水前质量的比值即为最大持水率。根据枯落物蓄积量和最大持水率计算其最大持水量。

2.2.3 土壤理化性质测定 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。

2.2.4 土壤水分物理性质测定 采用环刀法测定土壤非毛管孔隙度、毛管孔隙度;采用环刀有压入渗法测定土壤的渗透性能。

2.3 森林水土保持功能综合评价方法构建

森林的水土保持功能是林冠层、灌草层、枯落物层、土壤层 4 个主要垂直层面截留削弱降雨、拦蓄滞缓径流等作用的综合体现,各层面对森林整体水土保持功能的发挥都有着重要作用,因此要客观定性评价森林水土保持功能的优劣,需要选取能够较好表征这 4 个层面的指标。

2.3.1 评价原理 目前用于特定对象定性评价的方法有很多,如层次分析法、模糊综合评价、灰色关联评价、神经网络评价等,各评价方法特点不一,但

计算过程都较繁琐。本文从实用角度出发,选择使用最为普遍的一种评价方法,即加权综合法。该方法的实质是赋予方案每个指标(准则)权重后,对方案各评价指标下实测值的评分值求加权。以数学公式表达为

$$U = \sum_{i=1}^n w_i V_i(x_{ji}) \tag{2}$$

式中: U ——待评方案的综合评价值; x_{ji} ——第 j 个方案第 i 个指标的实测值; $V_i(x_{ji})$ —— x_{ji} 的评分值; w_i ——评价体系中第 i 个指标的权重系数。

$V_i(x_{ji})$ 通过构造不同评价指标的线型评分函数计算得出,见式(2)和式(3)。由于其函数特性,评分值的大小在 $[0, 1]$ 中变化。

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

式中: $V_i(x)_{\min}$ ——第 i 个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,评分值 $V_i(x)_{\min}$ 越高(a_2, a_1 分别为指标 x 的上下限阈值)。

$$V_i(x)_{\max} = \begin{cases} 0 & x = a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 < x < a_2 \\ 1 & x > a_2 \end{cases} \tag{4}$$

式中: $V_i(x)_{\max}$ ——第 i 个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,评分值 $V_i(x)_{\max}$ 越高(a_2, a_1 分别为指标 x 的上下限阈值)。

2.3.2 评价指标选取

(1) 林冠层指标。森林冠层是森林对降雨特征和雨滴动能产生影响的第一个作用层,其对降水的截留作用是森林水文效应的一个重要方面,直接影响降水在森林生态系统中的整个循环过程,雨水通过林冠后,数量、大小及分布、能量等都会发生明显的变化。考虑到林冠层对降雨截留削弱作用的复杂性,选择林冠截留率 X_1 为评价林冠层水土保持功能的指标。

(2) 林下灌草层指标。林下灌草层作为森林群落层次的重要组成部分,其对林内的穿透雨也有一定的截留、削弱作用。参考前人的研究成果^[1],选取林下灌草层盖度 X_2 作为评价其水土保持功能的指标。

(3) 枯落物层指标。枯落物层保持水土功能要表现为 3 个方面:枯落物层对林地表面良好的覆盖保护,有效地削弱了降雨雨滴对土壤的打击动能,极大

地降低了击溅侵蚀发生的风险;枯落物层的存在增强了林地地表粗糙度,减缓了径流流速,降低了径流冲刷挟沙的能力;枯落物层具有一定的贮水持水能力,可以有效延长径流历时和增加土壤入渗。为全面评价枯落物层水土保持功能,选取林地地表枯落物覆盖度 X_3 、枯落物厚度 X_4 、枯落物最大持水量 X_5 为评价指标。

(4) 土壤层指标。土壤层保持水土功能主要表现在林地土壤入渗贮存降雨和土体自身抵抗水力侵蚀这 2 个方面。土壤水文功能主要以土壤稳渗速率、非毛管孔隙度为评价指标;土壤抗侵蚀性能主要以土壤抗冲性、抗剪切强度、崩解速率、土壤可蚀性 K 值等指标为主,其中土壤可蚀性 K 值研究最为深入,且意义明确、应用广泛、操作规范便捷;因而本文选取土壤稳渗速率 X_6 、土壤非毛管孔隙度 X_7 、土壤可蚀性 K 值 X_8 为评价土壤层水土保持功能的指标。其中土壤可蚀性 K 值越低,则表明土壤抗侵蚀性能越强, K 值采用 EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) 模型中的计算方法^[21],见下式:

$$K = \{ 0.2 + 0.3 \exp [- 0.0456 S a (1 - S a / 100)] \} [\frac{S i}{C l + S i}]^{0.3} [1 - \frac{0.25 C}{C + \exp (3.718 - 2.947 C)}] [1 - \frac{0.75 S n}{S n + \exp (- 5.509 + 22.899 S n)}] \tag{5}$$

式中: $S a$ ——砂粒 (0.05 ~ 2 mm) 的重量百分数; $S i$ ——粉粒 (0.002 ~ 0.05 mm) 的重量百分数; $C l$ ——黏粒 (< 0.002 mm) 的重量百分数; C ——百分数表示的土壤有机碳含量,由有机质含量除以 1.724 得到; $S n = 1 - S a / 100$ 。这里 K 值计算出来的结果为美制单位 short ton · ac · h / (100ft · short ton · ac · in), 将其乘以 0.131 7 则可转变为国际制单位 (t · hm² · h) / (MJ · mm · hm²), 本文在评价过程中采用国际单位制。

2.3.3 各评价指标阈值、权重的确定 现有的研究结果表明我国森林林冠截留率 X_1 一般在 10 % ~ 35 %^[2-4] 间变化;林下灌草层盖度 X_2 一般在 10 % ~ 90 % 间变化;枯落物覆盖度 X_3 、厚度 X_4 、最大持水量 X_5 一般在 10 % ~ 90 %、0.5 ~ 5 cm、1 ~ 9 mm^[3-5] 间变化;土壤稳渗速率 X_6 、非毛管孔隙度 X_7 、土壤可蚀性 K 值 X_8 一般分别在 1 ~ 8 mm / min^[6-15]、5 % ~ 25 %^[3-4, 16]、0.01 ~ 0.09^[17-25] 间变化。依据上述各指标实测值的变化范围,设定各评价指标的上下限阈值,同时采用专家打分法为各指标赋上权重,具体见表 2。

表 2 各评价指标阈值及权重系数

指标名称		上限阈值	下限阈值	权重系数
林冠层指标	林冠截留率 $X_1/\%$	35	10	0.17
林下灌草层指标	林下灌草层盖度 $X_2/\%$	90	10	0.13
	枯落物覆盖度 $X_3/\%$	90	10	0.12
枯落物层指标	枯落物厚度 X_4/cm	5	0.5	0.1
	枯落物最大持水量 X_5/mm	9	1	0.1
	土壤稳渗速率 $X_6/(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$	8	1	0.12
土壤层指标	土壤非毛管孔隙度 $X_7/\%$	25	5	0.12
	土壤可蚀性 K 值 $X_8/(\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2})$	0.09	0.01	0.14

2.3.4 各指标评分值计算及功能等级划分 结合表 2 中各评价指标的阈值,各指标的线型评分函数 $V_i(x)$ 分别如下,利用这些公式可以分别计算各指标的评分值。

$$V_1(x_1)_{\max} = \begin{cases} 0 & x_1 \leq 10 \\ \frac{x_1 - 10}{35 - 10} & 10 < x_1 \leq 35 \\ 1 & x_1 > 35 \end{cases}$$

$$V_2(x_2)_{\max} = \begin{cases} 0 & x_2 \leq 10 \\ \frac{x_2 - 10}{90 - 10} & 10 < x_2 \leq 90 \\ 1 & x_2 > 90 \end{cases}$$

$$V_3(x_3)_{\max} = \begin{cases} 0 & x_3 \leq 10 \\ \frac{x_3 - 10}{90 - 10} & 10 < x_3 \leq 90 \\ 1 & x_3 > 90 \end{cases}$$

$$V_4(x_4)_{\max} = \begin{cases} 0 & x_4 \leq 0.5 \\ \frac{x_4 - 0.5}{5 - 0.5} & 0.5 < x_4 \leq 5 \\ 1 & x_4 > 5 \end{cases}$$

$$V_5(x_5)_{\max} = \begin{cases} 0 & x_5 \leq 1 \\ \frac{x_5 - 1}{9 - 1} & 1 < x_5 \leq 9 \\ 1 & x_5 > 9 \end{cases}$$

$$V_6(x_6)_{\max} = \begin{cases} 0 & x_6 \leq 5 \\ \frac{x_6 - 5}{25 - 5} & 5 < x_6 \leq 25 \\ 1 & x_6 > 25 \end{cases}$$

$$V_7(x_7)_{\max} = \begin{cases} 0 & x_7 \leq 1 \\ \frac{x_7 - 1}{8 - 1} & 1 < x_7 \leq 8 \\ 1 & x_7 > 8 \end{cases}$$

$$V_8(x_8)_{\min} = \begin{cases} 1 & x_8 \leq 0.01 \\ \frac{0.09 - x_8}{0.09 - 0.01} & 0.01 < x_8 \leq 0.09 \\ 0 & x_8 > 0.09 \end{cases}$$

式中: $V_1(x_1)_{\max}$, $V_2(x_2)_{\max}$, $V_3(x_3)_{\max}$, $V_4(x_4)_{\max}$, $V_5(x_5)_{\max}$, $V_6(x_6)_{\max}$, $V_7(x_7)_{\max}$, $V_8(x_8)_{\min}$ 分别为评价指标林冠截留率 X_1 、林下灌草层盖度 X_2 、枯落物覆盖度 X_3 、枯落物厚度 X_4 、枯落物最大持水量 X_5 、土壤稳渗速率 X_6 、土壤非毛管孔隙度 X_7 、土壤可蚀性 K 值 X_8 的线型评分函数, x_1, x_2, \dots, x_8 分别为评价指标 X_1, X_2, \dots, X_8 的实测值。

依据森林水土保持功能综合评价价值 U 的大小可以将待评森林水土保持功能定性划分为 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

开化县生态公益林主要森林类型水土保持功能各评价指标的实测值见表 3(均为统计平均值)。

运用构建的森林水土保持功能综合评价方法和表 3 中的数据,得到结果,见表 4。根据各森林类型综合评价价值 U 的大小,发现水土保持功能为针阔混交林(0.676 4)>麻栎林(0.591 6)>毛竹林(0.538 3)>马尾松林(0.488 8)>杉木林(0.464 0)。

表 3 不同森林类型各评价指标实测值

森林类型	$X_1/\%$	$X_2/\%$	$X_3/\%$	X_4/cm	X_5/mm	$X_6/(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$	$X_7/\%$	$X_8/[(\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h})/(\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2})]$
毛竹林	21.6	20	85	3.1	3.25	5.41	18.9	0.041
针阔混交林	27.1	55	80	4.8	5.32	5.36	16.7	0.040
麻栎林	24.5	40	90	5.3	5.94	3.28	10.7	0.039
杉木林	17.5	35	65	3.4	2.16	3.71	15.5	0.032
马尾松林	19.9	60	60	1.8	1.17	5.06	16.4	0.035

表 4 各森林类型水土保持功能综合评价结果										
森林类型	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	综合评价值 U	功能等级
毛竹林	0.4640	0.1250	0.9375	0.5778	0.2813	0.6300	0.6950	0.6125	0.5383	中等
针阔混交林	0.6840	0.5625	0.8750	0.9556	0.5400	0.6229	0.5850	0.6250	0.6764	较强
麻栎林	0.5800	0.3750	1.0000	1.0000	0.6175	0.3257	0.2850	0.6375	0.5916	中等
杉木林	0.3000	0.3125	0.6875	0.6444	0.1450	0.3871	0.5250	0.7250	0.4640	中等
马尾松林	0.3960	0.6250	0.6250	0.2889	0.0212	0.5800	0.5700	0.6875	0.4888	中等

4 结 论

(1)开化生态公益林主要森林类型在森林发挥水土保持功能的不同环节上存在着一定差异,林冠截留率由高至低依次为针阔混交林、麻栎林、毛竹林、马尾松林、杉木林;枯落物最大持水量高至低依次为麻栎林、针阔混交林、杉木林、毛竹林、马尾松林;土壤水文功能由高至低依次为毛竹林、针阔混交林、马尾松林、杉木林、麻栎林;土壤抗侵蚀性能由高至低依次为杉木林、马尾松林、麻栎林、针阔混交林、毛竹林。

(2)开化生态公益林主要森林类型水土保持功能综合评价结果显示,针阔混交林>麻栎林>毛竹林>马尾松林>杉木林;针阔混交林的水土保持功能属较强等级,毛竹林、麻栎林、杉木林、马尾松林为中等等级。开化地区针阔混交林的水土保持功能最好,在该区域生态公益林管理发展过程中,应将针阔混交林作为重要营林类型加以建设。

参考文献

[1] 韦红波,李锐,杨勤科.我国植被水土保持功能研究进展[J].植物生态学报,2002,26(4):489-496.

[2] 程根伟.山地森林生态系统水文循环与数学模拟[M].北京:城市科学出版社,2004:14-15.

[3] 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.

[4] 温光远,刘世荣.我国主要森林生态系统类型降雨截流规律的数量分析[J].林业科学,1995,31(4):289-298.

[5] 王佑民.中国林地枯落物持水保土作用研究概况[J].水土保持学报,2000,14(4):108-113.

[6] 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].长江科学院院报,2006,28(4):43-47.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 王云琦,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.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 孙向阳.土壤学[M].北京:中国林业出版社,2004:131-135.

[17] 张文太,于东升,史学正,等.中国亚热带土壤可蚀性K值预测的不确定性研究[J].土壤学报,2009,46(2):185-191.

[18] 王小丹,钟祥浩,王建平.青藏高原土壤可蚀性及其空间分布规律初步研究[J].干旱地区地理,2004,27(3):343-346.

[19] 张科利,蔡永明,刘宝元,等.黄土高原地区土壤可蚀性及其应用研究[J].生态学报,2001,21(10):1687-1695.

[20] 刘吉峰,李世杰,秦宁生,等.青海湖流域可蚀性K值研究[J].干旱区地理,2006,29(3):321-326.

[21] 刘宝元,张科利,焦菊英.土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用[J].自然资源学报,1999,14(4):345-349.

[22] 郝芳华,程红光,杨胜天.非点源污染模型-理论方法与应用[M].北京:中国环境科学出版社,2006:36-37.

[23] 牛德奎,郭晓敏.土壤可蚀性研究现状及趋势分析[J].江西农业大学学报,2004,26(6):936-940.

[24] 卜兆宏,杨林章,卜宇行,等.太湖流域苏皖汇流区土壤可蚀性K值及其应用的研究[J].土壤学报,2002,39(2):296-300.

[25] 宋阳,刘连友,严平,等.土壤可蚀性研究述评[J].干旱区地理,2006,29(1):124-131.