

重庆缙云山典型植被原状土抗剪强度的灰色关联度分析与评价

张晓明¹,王玉杰¹,夏一平²,吴 云²

(1. 北京林业大学水土保持学院,北京 100083;2. 重庆缙云山国家级自然保护区管理局,重庆 北碚 400700)

摘 要:采用 SDJ - 1 型三速电动直剪仪对重庆缙云山 5 种典型植被的原状土抗剪强度进行室内测定,得出其抗剪强度变化规律,通过运用灰色关联法对其影响因子和对 5 种典型植被进行分析,结果表明:所选取的影响因子对黏聚力 c 的影响大小依次为:干密度 > 小于 0.001 mm 黏粒含量 > 不均匀系数 C_u > 根密度 > 天然含水率 > 有机质含量;影响因子对内摩擦角 ϕ 的影响大小依次为:不均匀系数 C_u > 小于 0.001 mm 黏粒含量 > 天然含水率 > 干密度 > 有机质含量 > 根密度;5 种典型植被对土壤抗剪强度影响最大为楠竹林,平权灰色关联度为 0.851,最小为灌木林,平权灰色关联度为 0.711,说明楠竹林土壤在自然条件下具有较大的抗剪强度。

关键词:抗剪强度;黏聚力;灰色关联度;内摩擦角

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)02-0145-03

Grey Relational Analysis and Evaluation on Anti-shear Strength of the Undisturbed Soil of Typical Vegetations in Jinyun Mountain in Chongqing City

ZHANG Xiao-ming¹,WANG Yu-jie¹,XIA Yi-ping²,WU Yun²

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forest University, Beijing 100083, China;

2. Management Bureau of Jinyunshan National Nature Protection Region in Chongqing City, Chongqing 400700, China)

Abstract: The anti-shear strength of the undisturbed soil of five typical vegetations was tested in laboratory using the SDJ - 1 instrument of direct shear, obtained the law of change of anti-shear strength. Grey relational analysis was used to study the influence factors on the anti-shear strength and five typical vegetations. The results indicate that the order of the effects of the influence factors on cohesion is dry density > less than 0.001 mm clay content > coefficient of uniformity C_u > root density > natural water content > organic content; The order of the effects of the influence factors on friction angle is coefficient of uniformity C_u > less than 0.001 mm clay content > natural water content > dry density > organic content > root density; Bamboo forest has the greatest effect on soil anti-shear strength in five typical vegetations, and the equal-weighted grey relation reading is 0.851; Shrub forest has the smallest, and the equal-weighted grey relation reading is 0.711; So the biggest anti-shear strength is shown for bamboo forest soil in natural condition.

Key words: anti-shear strength; cohesion; grey relation; friction angle

从土壤力学上看,土壤水蚀是雨滴对土粒的溅击剪切作用和径流对土粒的冲刷剪切作用的过程综合^[1]。因而土壤的抗剪强度是区域水土流失评价中反映土壤力学特性的重要指标之一,所以进行水土流失土壤抗剪强度规律的研究,对于区域和全国水土流失整治的宏观决策(如防止重力侵蚀、增加斜坡稳定性)十分重要,对于基本农田建设中校核梯田边坡的稳定性、确定梯埂边坡设计坡度以防止水土流失更为重要。

土壤抗剪强度的差异是土壤基本特性的综合表现,对土壤抗剪强度的评价应着重于系统的观点,根据其影响因子,来综合地评价土壤抗剪强度,从而为全面控制水土流失提供科学依据。

灰色关联度分析是以确定因素间的相互影响程度或因子对主行为的贡献程度而进行评估的一种分析方法,根据因素之间的相似或相异程度来衡量因素间接近的程度^[2]。灰色关联度分析简便、直观、有效地解决了众多因子作用的评价排序及定量分析问题。

1 研究区概况

研究区位于重庆市北碚区境内,嘉陵江小三峡之温塘峡西岸的缙云山自然保护区作为研究基地,其地理坐标是东经 106°22',北纬 29°45'。山上最高处海拔 951.5 m,相对高差 600 m。缙云山的土壤以酸性(pH = 4.0 ~ 4.5)黄壤及水稻土为主,水平地带为典型的中亚热带常绿阔叶林生物气候

* 收稿日期:2006-04-30

基金项目:国家“十五”科技攻关课题“退耕还林工程区水源涵养型植被建设技术与示范”(2001BA510B02 - 01)

作者简介:张晓明(1980 -),男,硕士,主要研究方向:森林水文。

带,年均气温 13.6℃,年平均降水量 1 611.8 mm,年平均蒸发量 777.1 mm^[3]。

在该自然保护区内选取主要的 5 种典型植被:混交林、阔叶林、楠竹林、灌木林和农耕地(依次编号 1~5 号),进行土壤(原状土)抗剪强度研究。

2 研究方法

通过挖土壤剖面(A、B)确定土壤剖面特征,根据土壤剖面特征取土样,共有 10 个土样。用 61.8 mm×20 mm 环刀每层取 4 份原状土,并统计根密度^[4]。使用 SDJ-1 型三速电动等应变直剪仪进行快剪试验,作出抗剪强度与垂直压力(100,200,300,400 kPa)的关系图,求得黏聚力 C 和内摩擦角^[5]。测定土壤容重、天然密度-环刀法,土壤天然含水率-烘箱法。

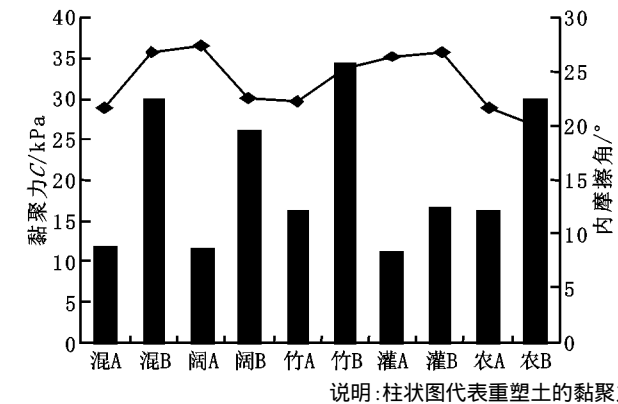


图 1 土壤抗剪强度垂直变化

原状土抗剪强度在垂直方向的变化规律如图 1 所示,随着土层深度的增大土壤黏聚力增大,而其内摩擦角则无明显规律。

3.2 不同典型植被土壤抗剪强度水平变化规律

原状土抗剪强度在水平方向(黏聚力 C 和内摩擦角)分别为根据不同层次土壤厚度的加权平均值)的变化规律如图 2 所示,黏聚力 C 由大到小依次为:楠竹林>混交林>阔叶林>农耕地>灌木林;内摩擦角由大到小依次为灌木林>混交林>楠竹林>阔叶林>农耕地。

3.3 运用灰色关联法分析

3.3.1 影响原状土抗剪强度的主要因子

库伦抗剪强度公式 $\tau = c + \sigma \tan \varphi$ 表明,土的抗剪强度由两部分构成,即摩擦强度 $\sigma \tan \varphi$ 和黏聚强度 c ^[7]。通常认为影响土壤抗剪强度的主要因子有(1)密度(2)含水率(3)根(4)有机质(5)黏粒含量(6)粒径级配^[7,8,9]。本文分别选取干密度、含水率、根密度、有机质含量、<0.001 mm 黏粒含量和不均匀系数 C_u 代表上述影响因子,见表 2:

表 2 影响原状土抗剪强度的主要因子

| 典型植被 | C | 根密度/ (根·60 mm ⁻³) | 有机质/ (g·kg ⁻¹) | 含水率/ /% | 干密度/ (g·cm ⁻³) | <0.001 mm 黏粒含量/ /% | 不均匀 系数 C_u |
|------|-------|----------------------------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|
| 混 A | 11.64 | 21.66 | 17 | 46.2 | 35.6 | 1.00 | 25.55 |
| 混 B | 29.86 | 26.87 | 22 | 6.9 | 23.6 | 1.38 | 30.36 |
| 常 A | 11.46 | 27.56 | 22 | 31.8 | 31.6 | 1.20 | 21.92 |
| 常 B | 25.92 | 22.56 | 8 | 3 | 21.2 | 1.53 | 25.31 |
| 竹 A | 16.15 | 22.33 | 25 | 20.8 | 35.5 | 1.17 | 20.67 |
| 竹 B | 34.20 | 25.22 | 12 | 11 | 17.2 | 1.66 | 38.70 |
| 灌 A | 11.08 | 26.39 | 75 | 77.9 | 37.9 | 0.85 | 35.38 |
| 灌 B | 16.62 | 26.86 | 15 | 14.1 | 30.7 | 1.11 | 38.70 |
| 农 A | 16.11 | 21.70 | 32 | 69.7 | 32.7 | 0.79 | 32.09 |
| 农 B | 29.98 | 19.89 | 8 | 9.1 | 27.5 | 1.36 | 34.05 |

把土壤带回实验室,风干、研碎,除去其中的根、大石砾等,土壤粒径分析-吸管法,有机质-重铬酸钾法^[6]。

3 结果分析

3.1 原状土抗剪强度变化规律

表 1 不同层次抗剪强度指标

| 典型植被 | 黏聚力 C /kPa | | 内摩擦角 φ /° | | 土壤层次厚度/mm | | 加权平均求得的抗剪强度指标 | |
|------|--------------|-------|-------------------|-------|-----------|-----|---------------|-------------------|
| | A | B | A | B | A | B | 黏聚力 C /kPa | 内摩擦角 φ /° |
| 混交林 | 11.64 | 29.86 | 21.66 | 26.87 | 50 | 500 | 28.20 | 26.40 |
| 阔叶林 | 11.46 | 25.92 | 27.56 | 22.56 | 60 | 240 | 23.03 | 23.56 |
| 楠竹林 | 16.15 | 34.2 | 22.33 | 25.22 | 30 | 480 | 33.14 | 25.05 |
| 灌木林 | 11.08 | 16.62 | 26.39 | 26.86 | 275 | 225 | 13.57 | 26.60 |
| 农耕地 | 16.11 | 29.98 | 21.7 | 19.89 | 190 | 310 | 24.71 | 20.58 |

3.1.1 不同典型植被土壤抗剪强度垂直变化规律

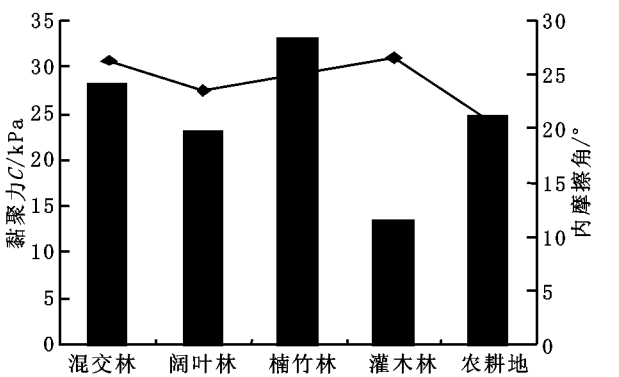


图 2 土壤抗剪强度水平变化

其中

$$C_u = d_{60} / d_{10}$$

式中: d_{10} ——小于此种粒径的土的质量占总土质量的 10%,也称有效粒径; d_{60} ——小于此种粒径的土的质量占总土质量的 60%,也称控制粒径。

运用灰色关联法对影响原状土抗剪强度的主要因素进行分析,对表 2 中的数据使用最大值法进行数据预处理,见表 3:

表 3 典型植被原状土抗剪强度与影响因子参数的生成

| 典型植被 | C | 根密度/ (根·60 mm ⁻³) | 有机质/ (g·kg ⁻¹) | 含水率/ /% | 干密度/ (g·cm ⁻³) | <0.001 mm 黏粒含量/ /% | 不均匀 系数 C_u |
|------|-------|----------------------------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|
| 混 A | 0.340 | 0.786 | 0.227 | 0.593 | 0.939 | 0.604 | 0.660 |
| 混 B | 0.873 | 0.975 | 0.293 | 0.089 | 0.623 | 0.829 | 0.785 |
| 常 A | 0.335 | 1.000 | 0.293 | 0.408 | 0.834 | 0.723 | 0.566 |
| 常 B | 0.758 | 0.819 | 0.107 | 0.039 | 0.559 | 0.920 | 0.654 |
| 竹 A | 0.472 | 0.810 | 0.333 | 0.267 | 0.937 | 0.707 | 0.534 |
| 竹 B | 1.000 | 0.915 | 0.160 | 0.141 | 0.454 | 0.997 | 1.000 |
| 灌 A | 0.324 | 0.958 | 1.000 | 1.000 | 0.511 | 0.914 | 0.776 |
| 灌 B | 0.486 | 0.975 | 0.200 | 0.181 | 0.810 | 0.668 | 1.000 |
| 农 A | 0.471 | 0.787 | 0.427 | 0.895 | 0.863 | 0.477 | 0.829 |
| 农 B | 0.877 | 0.722 | 0.107 | 0.117 | 0.726 | 0.817 | 0.880 |

选取黏聚力 C 为参考数列,各影响因子参数为比较数列,求各比较数列与参考数列各对应点的绝对差值,公式为 $|ij(k)| = X_{ik}^1 - X_{jk}^1, k = 1, 2, \dots, n, j = i$ 。并找出 $|ij(k)|$ 的最大值 $\max = 0.886$,最小值 $\min = 0.004$ 。求参考数列每个时刻的灰关联系数 $ij(k)$ 和灰色关联度 ij 。其中: $ij(k) = \frac{\min + \max}{|ij(k)| + \max}$,式中:——分辨系数,本文取 0.5; $ij = \frac{\sum_{k=1}^m |ij(k)|}{m}, j = 1, 2, \dots, m^{[10]}$ 。计算结果见表 4。

表 4 影响因子参数与黏聚力 C 间的灰色
关联系数及灰色关联度

| 土样 | 根密度/ (根·60 mm ⁻³) | 有机质含量 | 含水率 / % | 干密度/ (g·cm ⁻³) | <0.001mm 黏粒含量/ % | 不均匀 系数 C_u |
|-----|----------------------------------|-------|------------|-------------------------------|---------------------|-----------------|
| 混 A | 0.790 | 0.630 | 0.418 | 0.619 | 0.573 | 0.506 |
| 混 B | 0.425 | 0.354 | 0.632 | 0.905 | 0.829 | 0.772 |
| 常 A | 0.911 | 0.855 | 0.463 | 0.525 | 0.650 | 0.585 |
| 常 B | 0.398 | 0.374 | 0.682 | 0.727 | 0.805 | 0.785 |
| 竹 A | 0.755 | 0.677 | 0.480 | 0.647 | 0.874 | 0.567 |
| 竹 B | 0.338 | 0.333 | 0.438 | 0.993 | 1.000 | 1.000 |
| 灌 A | 0.389 | 0.389 | 0.389 | 0.697 | 0.421 | 0.487 |
| 灌 B | 0.600 | 0.585 | 0.570 | 0.702 | 0.455 | 0.578 |
| 农 A | 0.907 | 0.503 | 0.523 | 0.987 | 0.545 | 0.598 |
| 农 B | 0.358 | 0.361 | 0.741 | 0.879 | 0.993 | 0.849 |
| 关联度 | 0.587 | 0.506 | 0.534 | 0.768 | 0.715 | 0.673 |

根据表 4 的关联度排出关联序为:干密度(0.768) > 小于 0.001 mm 黏粒含量(0.715) > 不均匀系数 C_u (0.673) > 根密度(0.587) > 天然含水率(0.534) > 有机质含量(0.506)。同理可得出影响因子与内摩擦角 φ 间的灰色关联度及关联序:不均匀系数 C_u (0.826) > 小于 0.001 mm 黏粒含量(0.775) > 天然含水率(0.748) > 干密度(0.711) > 有机质含量(0.518) > 根密度(0.475)。灰色关联度越大,比较数列与参考数列的发展趋势越接近,或者说比较数列对参考数列的影响就越大^[11]。从上述数据可以看出,影响因子参数与黏聚力 C 和内摩擦角 φ 之间的灰色关联度均较大,最小值为 0.475,最大值为 0.826,而一般经验认为灰色关联度大于 0.3,则相关关系显著^[12]。所以说上述影响因子对抗剪强度指标的影响均较大。

由灰色关联法分析结果和表 2 的数据知,黏聚力 C 在垂直方向上与干密度、根密度、<0.001 mm 黏粒含量、不均匀系数 C_u 呈正相关关系,而与有机质含量、含水率呈负相关关系。不均匀系数 C_u 越大,说明土越不均匀,不均匀土经压实后,细颗粒填充于粗颗粒所形成的孔隙中,使得颗粒间的距离越近,颗粒间的静电力和范德华力就越大,黏聚力 C 就越大;干密度对黏聚力的影响也是如此;土壤中的根系存在,使得当土壤颗粒相对于相邻颗粒滑动时,除了克服颗粒间的范德华力和静电力外,还要克服土壤根系的拉力。黏粒的比表面积很大,<0.001 mm 黏粒含量越大,使得单位面积上土粒的接触点增多,进而黏聚力 C 变大。

由于本文所测含水率均大于或接近土壤塑限,使得土壤颗粒间除了强结合水外,还填充着一定数量的弱结合水^[13],这将增大土壤颗粒间的距离,减小颗粒间的静电力和范德华力,从而减小黏聚力 C ;一般认为有机质是构成胶结物质的主要物质,有机质越多可以增加黏聚力 C ,但本文数据显示变化趋势却相反,可能是有机质随增加,密度下降,增大了颗粒间的距离,导致黏聚力减少。内摩擦角影响因素错综复杂,且变化规律不明显,这里不作讨论。

3.3.2 不同典型植被原状土抗剪强度的评价

由于抗剪强度取決与黏聚力 C 和内摩擦角 φ ,这使得很难全面评价不同典型植被原状土的抗剪强度,在自然条件下,不同典型植被、不同层次的最大垂直压强为 11 kPa ($\gamma_{\max}=1.95\text{ g/cm}^3, h_{\max}=0.55\text{ m}, g=10\text{ m/s}^2$),考虑到植被等因素影响,把作用于土体的最大垂直压强定为 50 kPa,得出在此垂直压力下不同典型植被抗剪强度的大小依次为:楠竹林(56 kPa) > 混交林(53 kPa) > 阔叶林(45 kPa) > 农耕地(43

kPa) > 灌木林(39 kPa),这与不同典型植被黏聚力 C 的水平变化规律一致,由此可以定性地判定,5 种典型植被抗剪强度由大到小依次为:楠竹林 > 混交林 > 阔叶林 > 农耕地 > 灌木林,见图 2。因此本文用不同典型植被黏聚力 C 来代表其抗剪强度。并据此运用灰色关联法对不同典型植被原状土抗剪强度进行评价,由表 2 的各影响因子经过加权平均后生成表 5。

表 5 5 种典型植被影响因子的数据归一化

| 影响因子/典型植被 | 混交林 | 阔叶林 | 楠竹林 | 灌木林 | 农耕地 | 参考数列 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 根密度/(根·60 mm ⁻³) | 22 | 11 | 13 | 48 | 17 | 48 |
| 有机质含量/(g·kg ⁻¹) | 10.5 | 8.8 | 11.6 | 49.2 | 32.1 | 8.8 |
| 天然含水率/ % | 24.7 | 23.3 | 18.3 | 34.7 | 29.5 | 18.3 |
| 干密度/(g·cm ⁻³) | 1.34 | 1.46 | 1.63 | 0.97 | 1.14 | 1.63 |
| <0.001 mm 黏粒含量/ % | 29.93 | 24.63 | 30.11 | 36.88 | 33.30 | 36.88 |
| 不均匀系数 C_u | 122 | 80 | 124 | 98 | 98 | 122 |

根据表 5 绘制数据变换后各数据列的曲线,比较各数据列与参考数列的接近程度,为清晰起见,只列出了楠竹林、混交林和灌木林,见图 3。

由图 3 可以直观地看出,楠竹林和混交林的发展趋势比灌木林接近参考数列,也就是说楠竹林和混交林的抗剪强度比灌木林要大,经过灰色关联法分析后,结果显示:5 种典型植被对参考数列的接近程度(即灰色关联度)由大到小依次为:楠竹林(0.851) > 混交林(0.837) > 阔叶林(0.81) > 农耕地(0.730) > 灌木林(0.711),也就是说楠竹林的抗剪强度最大,灌木林最小,这与定性分析的结果一致。

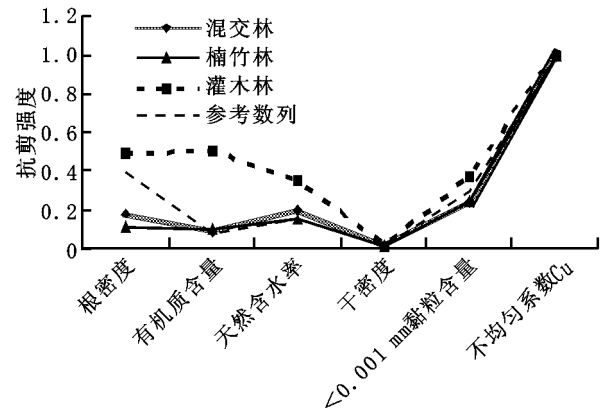


图 3 各数列与参考数列抗剪强度比较

4 结论与讨论

(1) 5 种典型植被原状土抗剪强度指标水平变化规律为:黏聚力 C 由大到小依次为:楠竹林 > 混交林 > 阔叶林 > 农耕地 > 灌木林;内摩擦角 φ 由大到小依次为灌木林 > 混交林 > 楠竹林 > 阔叶林 > 农耕地;垂直变化规律为:随着土层深度的增大土壤黏聚力 C 增大,而其内摩擦角 φ 则无明显规律。

(2) 运用灰色关联法对原状土抗剪强度指标的影响因子进行分析,结果显示:影响因子对黏聚力 C 的影响大小依次为:干密度(0.768) > 小于 0.001 mm 黏粒含量(0.715) > 不均匀系数 C_u (0.673) > 根密度(0.587) > 天然含水率(0.534) > 有机质含量(0.506);对内摩擦角 φ 的影响大小依次为:不均匀系数 C_u (0.826) > 小于 0.001 mm 黏粒含量(0.775) > 天然含水率(0.748) > 干密度(0.711) > 有机质含量(0.518) > 根密度(0.475)。

(下转第 151 页)

$$R = (S - 1) / \ln N$$

式中: N ——样本中全部种的总个体数, S ——样本中的物种数。

通过对流域内植被群落及生态修复设计类型的植被群落的生物多样性分析,可以分析出生态修复的生态学意义,以便为流域水土保持工作的开展提供更为详细的定量数据。

3.3 经济效益监测

3.3.1 监测内容

(1)生态修复的直接经济效益。实施生态修复措施后土地上生长的植物产品(未经任何加工转化)的增产量和增产值,具体包括增产的林木枝叶、活立木、果品、饲草及其他草产品等。^[7]

(2)农户家庭经济状况监测。近3年及每个调查年度的经济状况。包括主要经济来源、家庭总收入、家庭纯收入等。

(3)乡村经济变化状况监测。对区内的村、社,通过采取二手资料调查法等有关方法,定期调查搜集项目区经济指标,并评价项目区经济变化情况。

3.3.2 方法

(1)单位面积经济指标的监测:采用固定样点调查法,在区内的不同生物措施类型地段,设置一定面积的样点(样方或样地),定期或收获期调查其经济效益的有关指标。

参考文献:

- [1] 杨艳生.我国南方红壤流失区水土保持技术措施[J].水土保持研究,1999,6(2):116-120.
- [2] 唐克丽,等.中国水土保持[M].北京:科学出版社,2004.
- [3] 张莉,等.云南省姚安县水土保持生态修复措施的效益研究[J].长江流域资源与环境,2005,14(3):358-361.
- [4] 许峰.近年我国水土保持监测的主要理论与技术问题[J].水土保持研究,2004,11(2):19-21.
- [5] 卞正富,张国良,胡喜宽.矿区水土流失及其控制研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(4):31-36.
- [6] 郭在扬.龙岩地区矿区水土流失危害及防治对策[J].福建水土保持,1996,(1):52-54.
- [7] 胡建民,等.水土保持生态修复监测讨论[J].中国水土保持,2004,(7):27-28.
- [8] 伍光和,等.自然地理学[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [9] 吴明远,詹道江,等.工程水文学[M].成都科学技术大学;河海大学,1987.253.
- [10] 陈奇伯.林地枯枝落叶层水土保持作用探讨[J].甘肃水利水电技术,1995,(5):70-74.
- [11] 刘创民,等.北京九龙山灌丛植被的物种多样性分析[J].林业科学研究,1994,7(2):143-148.
- [12] 王峰,石辉,黄林,等.红壤丘陵区生物措施治理水土流失的技术体系[J].水土保持研究,2005,12(5):248-251.
- [13] 田锋,石辉,黄林,等.红壤区稀土矿开发导致河流泥沙淤积量的估算[J].水土保持通报,2005,25(6):53-55.

(上接第147页)

(3)运用灰色关联法对五种典型植被抗剪强度进行分析,结果显示:在自然条件下,五种典型植被的抗剪强度大小

此方法适合于不同生物措施类型的效益评价,也可与生物生产力监测内容结合一并进行。

(2)农户与乡村经济状况监测:采用问卷调查法、二手资料调查法、访谈调查法或典型调查法等方法,各种方法详见社会效益监测与评价。

3.4 社会效益监测

社会效益主要包括:农民人均纯收入、人均产粮、农村能源结构、土地利用结构、农村产业结构及区域经济发展等。调查方法主要采用:二手资料调查法,访谈调查法,典型调查法及问卷调查法等方法。

4 结 语

江西省信丰县崇墩沟小流域,不仅传统的水土流失比较严重而且近年来在经济发展过程中产生的新的水土流失也比较严重,在赣南及南方丘陵山区具有普遍的代表性。通过本监测系统测定试点区已开展的生物措施治理水土流失模式和生态修复措施所产生的效益指标,分析比较治理前后的效果,以评价并筛选生物措施治理水土流失及生态修复的优良类型和模式,以改善当地的生态环境,并为相似的自然环境区域提供生物措施治理水土流失的模式及生态修复的措施,促进社会、经济、环境的可持续发展。

依次为:楠竹林>混交林>阔叶林>农耕地>灌木林。

参考文献:

- [1] 张爱国,李锐,杨勤科.中国水蚀土壤抗剪强度研究[J].水土保持通报,2001,21(3):5-9.
- [2] 傅立.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学技术文献出版社,1992.
- [3] 刘玉成,钟章成,等.缙云山自然保护区植被概况[A].见:钟章成.常绿阔叶林生态学研究[M].重庆:西南师范大学出版社,1988.315-326.
- [4] GB/T 50123-1999,土工试验方法标准[S].
- [5] 伯姆.根系研究法[M].北京:科学出版社,1985.
- [6] 北京林学院土壤教研组.土壤学实习实验指导书[Z].北京林学院,1981.46.
- [7] 陈仲颐,周景星,王洪瑾.土力学[M].北京:清华大学出版社,1992.178-180.
- [8] 范兴科,蒋定生,赵合理.黄土高原浅层原状土抗剪强度浅析[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(4):69-75.
- [9] 侍倩.土工试验与测试技术[M].北京:化学工业出版社,2004.207.
- [10] 灰色系统水文学-理论、方法及应用[M].武汉:华中理工大学出版社,2000.
- [11] 闫俊华,周国逸,申卫军.用灰色关联法分析森林生态系统植被状况对地表径流系数的影响[J].应用与环境生物学报,2000,6(3):197-200.
- [12] 唐守正.多元统计分析方法[M].北京:中国林业出版社,1986.
- [13] 马歇尔,霍姆斯.土壤物理学[M].北京:科学出版社,1986.