

DOI: 10.11766/trxb201802030436

喜马拉雅山脉南麓典型林地对土壤理化性质及可蚀性 K 值影响*

梁博^{1, 2} 聂晓刚^{1, 2} 万丹^{1, 2} 喻武^{1, 2†} 孙启武³ 赵薇¹

(1 西藏农牧学院资源与环境学院, 西藏林芝 860000)

(2 西藏农牧学院高寒水土保持研究中心, 西藏林芝 860000)

(3 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

摘要 探讨喜马拉雅山脉南麓典型林地土壤结构稳定性及可蚀性 K 值强弱与分布特征,为区域生态保护提供科学理论及数据基础。选取落叶常绿混交林、针阔混交林、常绿阔叶林三种林分,采集 0~20 cm 土壤,测定团聚体、团聚体破坏率、颗粒组成及其有机质,以 EPIC 模型计算 K 值。结果表明:(1)不同林地土壤各理化指标具有差异,湿筛及干筛条件下团聚体以 >0.25 mm 为主;团聚体破坏率在 10.16%~24.74%间;颗粒组成以粉砂粒为主,黏粒仅占 0.51%~3.02%。有机质在 92.53~133.79 g·kg⁻¹间;(2)研究区土壤 K 值在 0.1862~0.3430 间,均值为 0.2635, K 值总体较高;(3)经相关分析, K 值与黏粒、有机质含量及团聚体破坏率呈正相关,与粉粒呈极显著正相关,与砂粒呈极显著负相关,一定程度,团聚体破坏率可评价土壤可蚀性。

关键词 喜马拉雅;土壤可蚀性 K 值;林地;EPIC 模型

中图分类号 S714.2 **文献标识码** A

随着人类社会的发展,土壤侵蚀危害程度日益加深,发生面积日益加大,造成人与自然的生存矛盾日益突出,已成为国际社会共同面临的重大环境问题^[1-4]。因此,深入开展土壤侵蚀定量评价研究对有效防治水土流失,解决人与自然的生存矛盾具有重要意义^[1]。影响土壤侵蚀的因子一方面为降雨、径流、地形地貌、地表植被、人为活动等侵蚀外营力;另一方面为自身抗侵蚀能力,即侵蚀内营力的影响,国际上通常使用土壤可蚀性 K 值来衡量这一指标^[4-7]。土壤可蚀性表征土壤被侵蚀的

难易程度,反映了土壤对侵蚀外营力剥离和搬运的敏感性^[8]。已有研究表明,土壤抵抗侵蚀的能力很大程度上取决于土壤自身的理化性质,包括土壤颗粒组成、结构、土壤容重、孔隙度、土壤有机质含量等物理和化学性状^[9]。植被通过适应不同地形、气候等外界条件,形成不同植被类型,从而在不同程度上影响土壤变化,造成土壤理化性质间的差异,影响土壤质量及结构稳定性,进而使不同植被类型下土壤可蚀性 K 值产生差异。对于 K 值的计算,直接测定费时费力,诺模图法准确度较低,

* 国家自然科学基金项目(41661061)、西藏农牧学院研究生创新计划项目(YJS2016-13)资助 Supported by the National Natural Science Fund Project (No. 41661061), Graduate Students Innovation Project of Tibet Agricultural and Animal Husbandry College (No. YJS2016-13)

† 通讯作者 Corresponding author: 喻武(1981—),男,湖南益阳人,副教授,硕士生导师,主要从事高寒区土壤侵蚀机理及其恢复研究。E-mail: yuwu4270@126.com

作者简介:梁博(1991—),男,陕西韩城人,硕士研究生,主要从事高寒区土壤抗蚀性评价工作。E-mail: qq88aa@yeah.net

收稿日期:2018-02-03;收到修改稿日期:2018-05-13;优先数字出版日期(www.cnki.net):2018-07-18

因此,经验公式的引入,为土壤可蚀性的研究提供了更为便捷的方法^[10]。目前国内外较为流行的土壤侵蚀模型有美国通用土壤流失方程式(USLE/RUSLE)、WEPP模型、Shirzai公式、Torri.D模型、EPIC模型等^[10]。

研究区处于雅鲁藏布江下游,南低北高,海拔落差大,山岭纵横,峡谷曲折,属典型山川河谷地貌,常年受印度洋暖湿气流影响,雨水充沛,水系密集。由于关山阻碍,区域经济发展落后,生产方式滞后,刀耕火种的农业生产仍然存在,严重破坏了大量的原始森林资源。森林植被作为土壤的天然保护伞,在固结土壤,对土壤结构及其稳定性的改良均具有重要作用。而山高坡陡、雨水充沛为强烈的地表径流形成提供了充足的条件,土壤一旦缺少地表覆盖,极易产生水土流失。目前,针对喜马拉雅山脉南麓的研究仍然主要集中在森林生态、植物及旅游开发等^[11-12]。虽然有部分学者^[7-8]利用第二次土壤普查数据,估算了青藏高原及青藏高原土壤可蚀性 K 值,但仅局限于宏观尺度下的定量研究,而对于不同外界因素影响下土壤可蚀性与土壤理化性质间的内在联系仍鲜有报道。因此,为揭示喜马拉雅山脉南麓不同林分影响下土壤理化性质及其土壤被侵蚀的潜在性,本文选取喜马拉雅山脉南麓墨脱县境内具有典型代表性的林地,对土壤结构及其稳定性进行探讨,并借用EPIC生产侵蚀力模型,对不同林分类型土壤可蚀性差异及其关键因素进行初步分析,以期研究区甚至整个藏南地区的土壤侵蚀研究及水土保持工作的开展提供理论及数据基础,促进区域生态环境建设及经济发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于西藏墨脱县境内,属雅鲁藏布江下游,喜马拉雅山-冈日嘎布山脉南部。地理坐标范围为 $93^{\circ} 45' 47.808'' E \sim 96^{\circ} 6' 37.332'' E$, $27^{\circ} 33' 47.052'' N \sim 29^{\circ} 56' 8.016'' N$,平均海拔1 200 m,属亚热带湿润气候区。四季如春,雨量充沛,年均温 $16.0^{\circ} C$,1月均温 $8.4^{\circ} C$,7月均温 $22.6^{\circ} C$,年极端最低气温 $2.0^{\circ} C$,最高气温 $33.8^{\circ} C$,年降水量在2 358 mm以上。南部最大降水可达5 000 mm,年无霜期340 d,年日照时数2 000 h

以下。研究区内海拔落差大,受湿热状况影响,形成了明显的垂直气候带,土壤属季风性垂直带谱系统,基带土壤是热带雨林或季雨林下发育的砖红壤或赤红壤,向上依次由黄壤、黄棕壤、棕壤、暗棕壤等构成垂直带谱的主体^[13]。同时植物种类繁多,结构复杂,垂直带谱明显,从高山寒带植物到热带植物,原始森林类型众多,有常绿阔叶林、落叶常绿混交林、针阔混交林等。主要植被有冷杉(*Abies fabri* (Mast.) Craib)、铁杉(*Tsuga chinensis pritz.*)、楠木(*Phoebe zhennan* S. Lee)、青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.)、石栎(*Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai)、芭蕉(*Musa basjoo* Sieb. et Zucc)、竹(*Bambusoideae*)、蕨类(*Pteridophyta*)等。

1.2 样品采集与处理

于2016年9月,在研究区选取落叶常绿混交林、针阔混交林、常绿阔叶林三种林分,并分别在落叶常绿混交林、针阔混交林两种林分各选取一个林地记为MT-1、MT-4;在不同地理位置的两个常绿阔叶林中分别选取一个林地记为MT-2、MT-3(表1)。样点具体分布状况见图1。每个林地内选取具有代表性位置,设立一个 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 小样方对样地植被、乔木郁闭度、灌草盖度、土壤类型、坡度、坡向等生境进行调查,并按照5点采样法,取0~20 cm土层原状土壤5个,共计20个原状土样,用以测定土壤团聚结构、颗粒组成及有机碳。每个样地同时按照5点采样法采取环刀土样10个,共计40个,用于测定土壤容重、孔隙度、持水性物理指标。采回原状土样按照其纹路轻轻掰成直径为1 cm左右团聚体,并将同一样方5个土样均匀混合进行自然风干。实验前,仔细剔除其中枯枝、树根及砾石。分取风干土样100~200 g三份,进行团聚体分析。另取风干土样100~200 g三份进行研磨,过2 mm孔径筛以备土壤颗粒组成、pH测定。多点分取20~30 g已通过2 mm筛的土样三份进一步研磨,并分别过0.149 mm孔径筛,用于有机碳的测定。

1.3 样品分析

土壤机械稳定性团聚体及水稳性团聚体采用沙维诺夫法^[14],机械稳定性粒径分为: $>10\text{ mm}$ 、 $10\sim 7\text{ mm}$ 、 $7\sim 5\text{ mm}$ 、 $5\sim 3\text{ mm}$ 、 $3\sim 2\text{ mm}$ 、 $2\sim 1\text{ mm}$ 、 $1\sim 0.5\text{ mm}$ 、 $0.5\sim 0.25\text{ mm}$ 、 $<0.25\text{ mm}$;水

表1 样地基本状况

Table 1 Basic situation of the sample plots

编号 No	经度 Longitude	纬度 Latitude	坡度 Slope /°	海拔 Elevation /m	林分类型 Forest type	土壤类型 Soil type	乔木郁闭度 Tree canopy density/%	灌草盖度 Shrub coverage/%	pH
MT-1	95° 29' 15.8" E	29° 39' 33" N	5	2 396	落叶常绿混交林 Mixed deciduous evergreen forest	山地黄棕壤 Mountain Yellow-brown earths	70	98	5.39
MT-2	95° 17' 33" E	29° 18' 21.78" N	30	900	常绿阔叶林 Evergreen broad- leaved forest	山地黄壤 Mountain Yellow earths	80	85	6.35
MT-3	95° 10' 41.88" E	29° 15' 1.74" N	20	775	常绿阔叶林 Evergreen broad- leaved forest	新成土 Entisols	50	98	5.27
MT-4	95° 39' 31.6" E	29° 43' 45.6" N	45	3 301	针阔混交林 Mixed coniferous and broad-leaved forest	漂灰暗棕壤 Bleached Dark-brown earths	60	95	4.76



图1 样点分布图

Fig. 1 Sample plot distribution

稳性团聚体粒径分为： >5 mm、 $5 \sim 2$ mm、 $2 \sim 1$ mm、 $1 \sim 0.5$ mm、 $0.5 \sim 0.25$ mm、 <0.25 mm。土壤有机碳采用浓硫酸-重铬酸钾外加热法测定，结

果乘以1.724即可换算成土壤有机质；土壤容重、孔隙度采用环刀法测定^[14]。土壤颗粒组成采用 Bettersize 2000 激光粒度分析仪测定，按照美国制

设置颗粒分布。土壤pH采用美国IQ150土壤pH计测定。

1.4 K值计算

采用Williams等^[15]提出的EPIC模型计算土壤可蚀性K值,公式为:

$$K_{EPIC} = \left\{ 0.2 + 0.3e^{-0.0256SAN(1.0 - \frac{SIL}{100})} \right\} \left[\frac{SIL}{CLA + SIL} \right]^{0.3} \left\{ 1.0 - \frac{0.25C}{C + e^{(3.72 - 2.95C)}} \right\} \left\{ 1.0 - \frac{0.7SN_1}{[SN_1 + e^{(-5.51 + 22.9SN_1)}]} \right\} \quad (1)$$

式中, SAN为砂粒(0.05 ~ 2.0 mm)含量(%); SIL为粉粒(0.002 ~ 0.05 mm)含量(%); CLA为黏粒(<0.002 mm)含量(%); C为有机碳含量(%); $SN_1 = 1 - SAN/100$ 。K值单位为美国制, 为t·acre·h/(100·acre·ft·tonf·in)。

团聚体破坏率(%) = $\frac{>0.25 \text{ mm团聚体分析值(干筛-湿筛)}}{>0.25 \text{ mm团聚体干筛分析值}} \times 100\%$ 。 (2)

1.5 数据处理

数据统计分析采用EXCEL 2010、SPSS 17.0及ArcGIS10.2完成。不同数据组间差异显著性比较采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和Duncan多重比较($P < 0.05$)。相关性分析采用Pearson双变量相关分析($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 土壤团聚体特征

由表2可知, 四种林地>0.25 mm机械稳定性团聚体MT-1显著小于($P < 0.05$)其余三者, 且均以2 ~ 3 mm粒级所占比例最小。其中MT-1以0.5 ~ 1 mm、0.25 ~ 0.5 mm两个粒级为主, 两者分别为26.64%、28.94%, 较偏细粒化。MT-2以3 ~ 5 mm粒级含量最高, 占20.86%, >10 mm粒级次之, 为16.10%, 而0.5 ~ 1 mm、0.25 ~ 0.5 mm两个粒级团聚体含量仅占13.07%。MT-3、MT-4均以>10 mm粒级含量最高分别为20.96%、35.37%。MT-3以3 ~ 5 mm粒级次之, 为15.83%, 7 ~ 10 mm、5 ~ 7 mm、2 ~ 1 mm三个粒级分别为11.72%、9.65%、11.51%, 而0.5 ~ 1 mm、0.25 ~ 0.5 mm两个粒级占到20.46%。MT-4以7 ~ 10 mm粒级次之, 为14.21%, 5 ~ 7 mm、3 ~ 5 mm、2 ~ 1 mm三个粒级分别为10.43%、12.44%、7.63%, 而0.5 ~ 1

mm、0.25 ~ 0.5 mm两个粒级团聚体含量仅占到9.64%。综上所述, 研究区林地土壤团聚体主要以>0.25 mm为主, MT-4土壤团聚体集中在较大粒级, MT-1土壤团聚体主要集中在较小粒级。

由表3可知, 四种林地>0.25 mm水稳性团聚体均占较高比例, 在63.29% ~ 75.75%之间, 依次为MT-2>MT-4>MT-3>MT-1。MT-1主要集中在1 ~ 0.5 mm和0.5 ~ 0.25 mm粒级, >1 mm粒级仅为14.91%。MT-2、MT-3、MT-4三个林地主要集中在>2 mm粒级, MT-2以2 ~ 5 mm粒级最高, 为30.29%, >5 mm粒级次之, 为20.01%, 0.25 ~ 0.5 mm粒级最小仅为4.30%; MT-3以0.5 ~ 1 mm团聚体含量最高, 为19.27%, 2 ~ 5 mm团聚体次之, 为18.51%, 但却以1 ~ 2 mm含量最小, 为7.68%; MT-4以>5 mm粒级最大, 达34.07%, 2 ~ 5 mm粒级次之, 为18.72%, 以0.25 ~ 0.5 mm粒级最小, 为4.34%。总体而言, 经湿筛后, 研究区林地土壤团聚体仍能以>0.25 mm水稳性团聚体为主, 其对以水力为主的外营力敏感程度低, 抗水蚀能力较强。从团聚体破坏率来看, MT-2和MT-3较大, 为21.89%和20.97%, MT-1次之, 为15.83%, MT-4最小, 为10.16%, 且显著小于前三者($P < 0.05$)。可见, MT-2(常绿阔叶林)由于建群种的绝对优势, 郁闭度高, 生物归还量大, 枯落物覆盖较厚, 使灌草盖度降低, 浅层土壤受到灌草根系连结及改良作用变弱, 导致土壤团聚体结构稳定性较其余两个林地偏低。MT-3处于人口聚居地, 其土壤主要是人为劳作, 如房屋建筑、道路铺设弃土堆积而成, 且土壤结构恢复年限较短, 林分处于演替中期, 灌草盖度远大于乔木郁闭度, 虽然受到植被根系及有机胶体的固结, 但受人为影响强烈, 所恢复的土壤结构稳定性低。

2.2 土壤颗粒组成及有机质

由图2可知, 四种典型林地土壤主要以粉粒、砂粒含量为主, 黏粒含量仅占到0.51% ~ 3.02%。土壤质地分别为壤质砂土、砂质壤土、粉壤土及砂质壤土, 这符合西藏高原地质历史年轻的特点。四种林地黏粒含量依次为MT-3>MT-4>MT-2>MT-1; 粉粒含量依次为MT-3>MT-2>MT-4>MT-1; 砂粒含量依次为MT-1>MT-4>MT-2>MT-3。不同林地间的土壤粉粒含量、砂粒含量差异均显著, 黏粒含量MT-1、MT-2两者

表2 土壤机械稳定性团聚体分布特征

Table 2 Distribution characteristics of soil mechanical stable aggregates

各粒级机械稳定性团聚体百分含量					
Percentage of mechanical stable aggregates of each grade/%					
编号No	>10 mm	10~7 mm	7~5 mm	5~3 mm	3~2 mm
MT-1	4.51 ± 0.47c	2.71 ± 0.01c	2.50 ± 0.42b	2.67 ± 0.19c	0.73 ± 0.04b
MT-2	16.10 ± 1.47bc	14.07 ± 1.06b	13.90 ± 1.78a	20.86 ± 1.30a	3.47 ± 0.40a
MT-3	20.96 ± 0.45ab	11.72 ± 0.22b	9.65 ± 2.94ab	15.83 ± 0.72b	2.27 ± 0.01a
MT-4	35.37 ± 0.02a	14.21 ± 1.39a	10.43 ± 1.17a	12.44 ± 1.78b	2.56 ± 0.40a
编号No	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	>0.25 mm	
MT-1	6.45 ± 1.01c	26.64 ± 1.11a	28.94 ± 1.05a	75.15 ± 0.02d	
MT-2	15.51 ± 1.81a	8.90 ± 0.63c	4.17 ± 0.92c	96.98 ± 0.93a	
MT-3	11.51 ± 1.15ab	12.22 ± 1.42b	8.24 ± 0.67b	92.40 ± 0.33bc	
MT-4	7.63 ± 0.79bc	5.73 ± 0.68c	3.91 ± 0.14c	92.28 ± 0.08c	

注: 同列不同小写字母表示不同林地相同粒级差异显著 ($P < 0.05$), 下同 Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between forest lands in particle size ($P < 0.05$). The same below

差异不显著, MT-3、MT-4两者差异不显著, 但前两个林地均显著小于后两个林地。粉粒含量中, MT-3显著大于其余三种林地为75.65%, MT-2次之, 为49.69%。MT-1砂粒含量显著大于其他三个林地, 为73.42%, MT-4次之, 为53.77%。综上所述, 研究区雨水充沛, 存在一定的水土流失, 在一定程度上, 有一部分细小颗粒被冲刷, 使粗颗粒含量增多。四种林地土壤有机质含量在92.53 g·kg⁻¹

~ 133.79 g·kg⁻¹之间, 土壤肥力整体偏高。由图3可知, MT-2、MT-1两个林地差异不显著, MT-4显著小于其他三种林地, MT-3显著高于其他三个林地 ($P < 0.05$)。这种理化性质的差异主要因为研究区海拔落差极大, 形成了明显的垂直气候带及植被带, 土壤空间变异性大, 使不同林分生存环境、气候有所差异, 最终导致土壤理化性质产生分化。

表3 土壤水稳性团聚体及团聚体结构破坏率分布特征

Table 3 Distribution characteristics of soil water stable aggregate and aggregate structure destruction rate

各粒级水稳性团聚体百分含量							团聚体破坏率 Aggregate destruction rate/%
Percentage of water stable aggregates in each grade /%							
编号 No	>5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	>0.25 mm	
MT-1	4.03 ± 0.39d	6.72 ± 0.34b	4.16 ± 0.18b	28.57 ± 2.27a	19.81 ± 1.43a	63.29 ± 1.39c	15.78 ± 1.86b
MT-2	20.01 ± 2.25b	30.29 ± 1.75a	11.19 ± 2.91a	9.96 ± 0.50c	4.30 ± 1.10c	75.75 ± 1.50b	21.89 ± 1.47a
MT-3	12.02 ± 1.23c	18.51 ± 1.98ab	7.68 ± 0.42ab	19.27 ± 0.48b	12.06 ± 1.05bc	69.54 ± 1.01bc	24.74 ± 1.12a
MT-4	39.04 ± 0.10a	24.17 ± 1.24ab	7.04 ± 1.18ab	9.07 ± 0.25c	3.59 ± 0.20c	82.91 ± 1.11a	10.16 ± 1.19c

2.3 不同林分土壤可蚀性

通过对土壤可蚀性进行计算, 结果见表4, 研究区土壤可蚀性K值分布范围在0.1862~0.3430之间, 四种林地K值平均值为0.2635, 其中MT-3土壤可蚀性K值为最大(0.3430), MT-1土壤可蚀性K

值为最小(0.1862)。具体大小依次为, MT-3 > MT-2 > MT-4 > MT-1。依据刘斌涛等^[4]对青藏高原的土壤可蚀性强弱的分级标准, 四个林地土壤依次为较低可蚀性、较高可蚀性、高可蚀性及中等可蚀性。ANOVA分析表明, 四个林地间土壤可蚀性

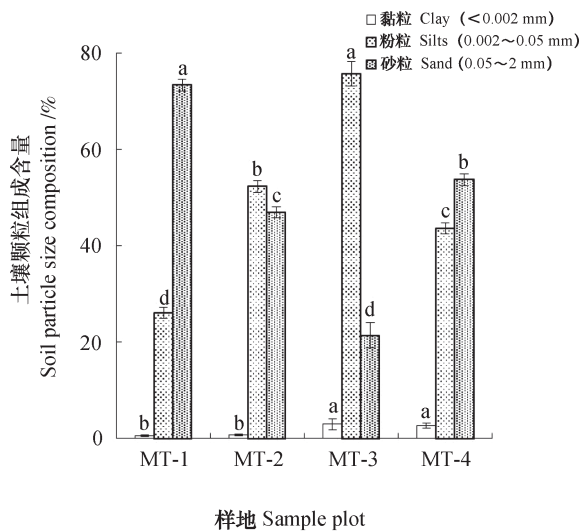


图2 土壤颗粒组成分布特征

Fig. 2 Distribution characteristics of soil particle size composition

K值的差异性显著 ($P < 0.05$)，这说明不同林地受到成土条件影响，土壤抗侵蚀能力差异显著。这种原因是不同林地受地形及其小环境的影响，使四个林地土壤类型产生垂直分布，及理化性质的垂直分异。而土壤可蚀性是由其内在理化性质决定的特征参数，K值确定性表现在其仅为土壤理化性质的

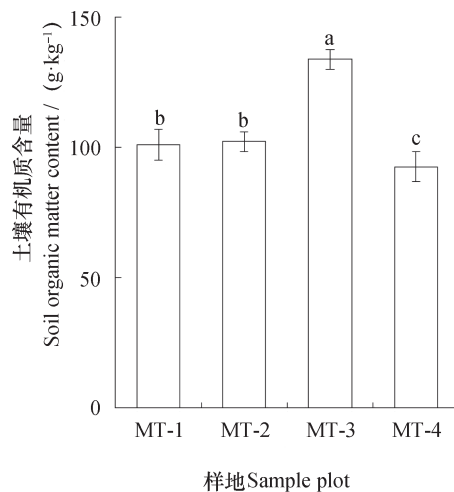


图3 土壤有机质含量分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of organic matter content
注：不同小写字母表示不同林地差异显著 ($P < 0.05$) Note: Different lowercase letters indicat significant differences between forest lands($P < 0.05$)

函数^[16]。从可蚀性强度分级来看，MT-2、MT-3偏高，MT-1、MT-4较偏低。前两者均属于常绿阔叶林地，可见，常绿阔叶林由于建群种单一，优势度高，一定程度上抑制了林下灌草的生长，植被多样性减小，对土壤结构的改良作用较弱。MT-3为最高，这与其受到强烈的人为影响有着很大关系。

表4 四种林地土壤可蚀性K值均值统计

Table 4 Statistic of mean soil erodibility (K-factor) of the four forest lands

林分类型 Forest type	样点数 Samples	土壤类型 Soil type	土壤质地 Soil texture	均值 Mean
落叶常绿混交林 Mixed deciduous evergreen forest	5	山地黄棕壤 Mountain Yellow-brown earths	壤质砂土 Loamy sand	0.19 ± 0.05d
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	5	山地黄壤 Mountain Yellow earths	砂质壤土 Sandy loam	0.28 ± 0.01b
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	5	新成土 Entisols	粉质壤土 Silty loam	0.34 ± 0.03a
针阔混交林 Mixed coniferous and broad-leaved forest	5	漂灰暗棕壤 Bleached Dark-brown earths	砂质壤土 Sandy loam	0.25 ± 0.01c

2.4 土壤可蚀性与影响因子相关性

由于土壤可蚀性仅受其自身理化性质的影响而发生相应变化^[16]，EPIC模型仅反映出所估算的土壤可蚀性K值与机械组成、有机碳具有一定相关关系，并未能反映其与土壤自身理化性质的相关程度。因此为进一步深入揭示土壤可蚀性受其自身物理指标的影响规律，对土壤可蚀性K值与土壤颗

粒组成、有机质含量、团聚体状况、土壤容重、孔隙度进行Pearson相关性分析。土壤可蚀性K值与黏粒、粉粒含量呈正相关关系，其中，与粉粒含量关系为极显著 ($r = 0.996, P = 0.004$)；与砂粒含量呈极显著负相关关系 ($r = -0.997, P = 0.003$)；与有机质含量呈正相关关系 ($r = 0.779, P = 0.221$)，与 > 0.25 mm水稳性团聚体和非水稳性团聚呈正相

关关系, 但相关性不明显, 这可能因为土壤整体砂性较强, 含有大量砾石所致。但与团聚体结构破坏率也呈正相关 ($r = 0.536$, $P = 0.464$), 说明在一定程度上, 研究区土壤可以通过团聚体的结构破坏率间接评价土壤可蚀性K值。与土壤容重呈负相关, 总孔隙度呈正相关, 说明, 较为疏松的土壤能够有效增强土壤渗透能力, 从而减小地表径流, 减小侵蚀外营力。从相关性分析来看, 研究区林地土壤可蚀性K值主要受到土壤颗粒组成及有机质含量影响。

3 讨 论

3.1 不同林地对团聚体的影响

土壤团聚体, 是土壤结构的基本单元, 不仅能够保持土壤肥力^[17], 而且对土壤众多的理化性质有着重要的影响^[18]。而水稳性团聚体对保持土壤结构的稳定性有重要作用, 同时也是衡量土壤抗侵蚀能力的指标之一^[19]。已有研究表明^[20], 0.25 ~ 10 mm 粒级团聚体是土壤中较为理想的团聚体, 它是土壤中各种物理、化学和生物活性共同作用的结果。本研究表明, 四种林地土壤非水稳性团聚体均以 >0.25 mm 粒级为主 (均在75%以上), 且差异显著 ($P < 0.05$)。除MT-1, 其余三个林地 >3 mm 粒级含量最高, 均达到58%以上。可见, 这三个林地经干筛法获得的机械稳定性团聚体主要集中 >3 mm 粒级。而MT-1受本身较高砂粒含量影响, 主要集中在1 ~ 0.25 mm 粒径级, 为55.58%。经湿筛后, >0.25 mm 水稳性团聚体含量在63.29% ~ 75.75%之间, MT-1显著小于MT-2及MT-4 ($P < 0.05$)。由于不同林地植被类型及覆盖程度不同, 从而影响土壤团聚体结构稳定性^[21]。经湿筛后, MT-3团聚体粒径分布变化最大, 更趋于小粒径级的分布。可见, 湿筛法结果相对于干筛法重现性更好, 更能真实反映土壤团聚体组成及其稳定性^[22]。这一现象, 可通过团聚体破坏率这一指标直观表现。四种林地团聚体结构破坏率范围在15.78% ~ 24.74%, MT-3最大, MT-2次之, 再次为MT-1, MT-4最小。与张耀方等^[23]和赵锦梅等^[24]的研究结果相比, 研究区土壤团聚体结构稳定性总体较好。

3.2 不同林地对土壤K值及相关因子的影响

研究区由于高山峡谷, 高落差的特殊地貌,

形成明显的垂直气候带, 进而形成植被类型及土壤的垂直带谱。土壤的空间异质性受到多重因素的综合作用, 同时, 不同因素又相互制约、相互影响。而坡向、坡位、海拔等地形因素通过改变区域小气候, 从而造成不同地形地貌间的生物差异。植物通过与土壤之间的相互作用, 会对土壤的发育产生影响, 改变了土壤中各粒级颗粒的百分含量^[25]。但不同植被类型对土壤的影响程度并不相同。本研究发现, 四种林地颗粒组成均以粉砂粒含量为主, 其中, MT-4粉粒含量最大, 为75.65%, MT-1砂粒含量最大, 为73.42%。而MT-2、MT-3粉砂含量差异均不显著 ($P > 0.05$), 范围在43% ~ 54%之间。这与王贤等^[25]的研究结果相符, 即阔叶林地较针阔混交土壤粗颗粒少。

受不同林分类型影响, 四种林地土壤有机质差异显著 ($P < 0.05$), 含量 $92.53 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 133.79 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 土壤肥力较高。其中, 以MT-4含量最小, MT-3含量最大。凋落物作为森林土壤肥力的主要来源之一, 土壤枯枝落叶层是土壤有机质的重要来源^[26]。MT-3处于低海拔, 水热充足, 植被新陈代谢速度快, 为有机质提供了充足的外源物质。而MT-4处较高海拔, 光热条件相对较少, 枯落物生物量较少, 且较难分解, 导致土壤有机质含量降低^[27]。研究区林地土壤可蚀性K值范围为0.1862 ~ 0.3430, 平均值为0.2635, 仅较刘斌涛等^[4]得出青藏高原东喜马拉雅南翼地带土壤可蚀性平均值高出0.0195, 属中高可蚀性。四种林地可蚀性大小依次为MT-3 (常绿阔叶林) > MT-2 (常绿阔叶林) > MT-4 (针阔混交林) > MT-1 (落叶常绿混交林)。可见, 研究区内混交林地土壤可蚀性总体低于单一的常绿阔叶林地。这是因为, 混交林地均处在较高海拔, 由于高寒环境的影响, 土壤风化程度弱, 加之较大的温差变化, 使得深层次土壤砾石在热胀冷缩作用下, 不断达到地表层而风化破碎, 增加颗粒组成粉砂粒含量, 而山高坡陡的地形条件, 使得高海拔土壤中细颗粒被冲刷至低海拔, 土壤中粗颗粒物增加, 其侵蚀难度增加, 可蚀性K值减小。

3.3 土壤可蚀性K值对不同理化指标因子响应

相关性分析发现, 研究区土壤可蚀性K值与砂粒含量为极显著负相关, 与粉粒呈极显著正相关, 与黏粒呈正相关, 这与前人研究结果一致, 即土壤可蚀性K值随粉粒或黏粒含量的增加而增大, 随砂

粒含量的增加而减小^[28]。已有研究表明^[29-30]，土壤可蚀性 K 值与土壤粒径和有机质含量有很大的相关性， K 值在很大程度上取决于颗粒和有机质的共同耦合作用，而这一耦合作用中颗粒的贡献率可能更为明显。虽然，有机质作为土壤结构形成的胶结物质，能够稳定土壤结构，降低土壤的可蚀性，增强土壤抗侵蚀性能。但本研究发现四种林地土壤可蚀性与有机质含量呈正相关，而有机质与黏粉粒含量及团聚体破坏率呈正相关，与砂粒含量呈显著负相关。这是由于研究区地质历史年轻，土壤风化程度低，砾石含量高，土壤粉砂粒占主体地位，而有机质主要保存在黏粉粒中，受到砂颗粒的影响，使有机质对土壤颗粒胶结能力降低，团聚体破坏率增高，从而表现出土壤抗蚀性能降低，可蚀性 K 值增高。但这并不能说明研究区内水土流失较严重的地区土壤有机质含量越高，对于该区土壤可蚀性与有机质的关系还有待进一步深入研究^[30]。杨帆等^[31]研究土壤可蚀性 K 值与 >0.25 mm团聚体、机械稳定性团聚体呈负相关关系，而本研究得出正相关关系，这与西藏地质历史年龄、砾石含量高有直接原因。虽然实验前期的样品处理已经剔除了大量的砾石，但由于土壤砂粒含量较大，增加了团聚体含量的分量比，土壤颗粒相应减少，导致较小粒级团聚体含量增加。如果植被遭破坏，地表裸露，在一次强降雨下，浅层土壤细小颗粒极易被侵蚀。

4 结 论

喜马拉雅山脉南麓四种典型林地土壤均以 >0.25 mm机械稳定性团聚及水稳性团聚体含量为主，颗粒组成主要以粉粒、砂粒含量为主，土壤质地偏砂性；有机质含量在 $92.53 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \sim 133.79 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间，肥力较高。土壤可蚀性 K 值范围为 $0.1862 \sim 0.3430$ ，平均值为 0.2635 ，属中高可蚀性土壤。MT-3（常绿阔叶林）最大，MT-1（落叶常绿混交林）最小。经相关分析，粉粒含量能够显著增大土壤可蚀性 K 值，砂粒含量的增加能够显著减小土壤可蚀性 K 值。有机质作为土壤中的胶结物质能够促进土壤中黏粉颗粒的形成，增加土壤大团聚体含量，但受土壤中砾石的影响，有机质含量与土壤可蚀性 K 值具有一定的正相关关系。土壤可蚀性 K 值与团聚体结构破坏率呈正相关（ $r=0.536$ ，

$P=0.464$ ），在一定程度内，研究区土壤可以通过团聚体的结构破坏率间接评价土壤可蚀性 K 值。本研究初步研究分析了喜马拉雅山脉南麓土壤可蚀性 K 值及其相关因子的影响，研究发现，研究区土壤可蚀性 K 值在一定程度上受到砾石含量强烈影响，针对这一问题，有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 张科利, 彭文英, 杨红丽. 中国土壤可蚀性 K 值及其估算. 土壤学报, 2007, 44 (1): 7—13
Zhang K L, Peng W Y, Yang H L. Soil erodibility and its estimation for agricultural soil in China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2007, 44 (1): 7—13
- [2] 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. 生态学报, 2001, 21 (10): 1687—1695
Zhang K L, Cai Y M, Liu B Y, et al. Evaluation of soil erodibility on the Loess Plateau (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2001, 21 (10): 1687—1695
- [3] 吴昌广, 曾毅, 周志翔, 等. 三峡库区土壤可蚀性 K 值研究. 中国水土保持科学, 2010, 8 (3): 8—12
Wu C G, Zeng Y, Zhou Z X, et al. Soil erodibility K value in Three Gorges Reservoir Area (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2010, 8 (3): 8—12
- [4] 刘斌涛, 陶和平, 史展, 等. 青藏高原土壤可蚀性 K 值的空间分布特征. 水土保持通报, 2014, 34 (4): 11—16
Liu B T, Tao H P, Shi Z, et al. Spatial distribution characteristics of soil erodibility K value in Qinghai-Tibet plateau (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34 (4): 11—16
- [5] 王敬贵, 亢庆, 邝高明, 等. 尖山河小流域土壤可蚀性 K 值空间变异研究. 生态环境学报, 2014, 23 (4): 555—560
Wang J G, Kang Q, Kuang G M, et al. Spatial variability of soil erodibility (K -factor) in Jianshan Watershed of Yunnan Province (In Chinese). Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23 (4): 555—560
- [6] Kinnell P I A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review. Journal of Hydrology, 2010, 385 (1/4): 384—397
- [7] 缪驰远, 刘宝元, 刘刚, 等. 东北典型黑土区破面粒

- 径分布特征及其可蚀性研究. 水土保持学报, 2008, 22 (3): 18—23
- Miao C Y, Liu B Y, Liu G, et al. Study on particle distribution and its erodibility in typical black soil area of Northeast China (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22 (3): 18—23
- [8] 王小丹, 钟祥浩, 王建平. 西藏高原土壤可蚀性及其空间分布规律初步研究. 干旱区地理, 2007, 27 (3): 343—346
- Wang X D, Zhong X H, Wang J P. Preliminary study on the soil erodibility and its spatial distribution on the Tibetan Plateau (In Chinese). Arid Land Geography, 2007, 27 (3): 343—346
- [9] 朱成刚, 李卫红, 李大龙, 等. 伊犁河谷土壤理化性质及可蚀性特征分析. 资源科学, 2016, 38 (7): 1212—1221
- Zhu C G, Li W H, Li D L, et al. Feature analysis of soil physicochemical properties and erodibility of the Yili Valley (In Chinese). Resources Science, 2016, 38 (7): 1212—1221
- [10] 林芳, 朱兆龙, 曾全超, 等. 延河流域三种土壤可蚀性K值估算方法比较. 土壤学报, 2017, 54 (5): 1136—1146
- Lin F, Zhu Z L, Zeng Q C, et al. Comparative study of three different methods for estimation of soil erodibility K in Yanhe Watershed of China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2017, 54 (5): 1136—1146
- [11] 刘丽. 西藏墨脱地区野生草莓的遗传多样性分析. 哈尔滨: 东北林业大学生命科学学院, 2015
- Liu L. Genetic relationship analysis of wild strawberry in Tibet Motuo Area (In Chinese). Harbin: College of Life Science, Northeast Forestry University, 2015
- [12] 王忠斌, 杨小林, 赵佩燕, 等. 派镇-墨脱徒步线路森林生态旅游资源评价与开发. 干旱区资源与环境, 2013, 27 (9): 205—208
- Wang Z B, Yang X L, Zhao P Y, et al. Evaluation and development of the forest eco-tourism resources—Foot line from Pai Zhen to Mo Tog (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27 (9): 205—208
- [13] 西藏自治区土地管理局. 西藏自治区土种志. 北京: 科学出版社, 1994
- Bureau of Land Administration of Tibet Autonomous Region. Soil type records in Tibet Autonomous Region (In Chinese). Beijing: Science Press, 1994
- [14] 张万儒, 杨光滢, 屠星南, 等. 中华人民共和国林业行业标准 (LY/T1210-1275-1999)——森林土壤分析方法. 北京: 中国标准出版社, 2000: 32—33
- Zhang W R, Yang G Y, Tu X N, et al. Forest industry standard of the People's Republic of China (LY/T1210-1275-1999)—forest soil analysis method (In Chinese). Beijing: Standards Press of China, 2000: 32—33
- [15] Williams J R, Genard K G, 李忠魁. 侵蚀影响土壤生产力的新估价方法. 水土保持科技情报, 1984 (4): 26—30
- Williams J R, Genard K G, Li Z K. New appraisal method of erosion affects soil productivity (In Chinese). Scientific and Technical Information of Soil and Water Conservation, 1984 (4): 26—30
- [16] 史东梅, 陈正发, 蒋光毅, 等. 紫色丘陵区几种土壤可蚀性 K 值估算方法的比较. 北京林业大学学报, 2012, 34 (1): 32—38
- Shi D M, Chen Z F, Jiang G Y, et al. Comparative study on estimation methods for soil erodibility K in purple hilly area (In Chinese). Journal of Beijing Forestry University, 2012, 34 (1): 32—38
- [17] 窦森, 李凯, 关松. 土壤团聚体中有机质研究进展. 土壤学报, 2011, 48 (2): 412—418
- Dou S, Li K, Guan S. A review on organic matter in soil aggregates (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2011, 48 (2): 412—418
- [18] 郑子成, 李廷轩, 张锡洲, 等. 不同土地利用方式下土壤团聚体的组成及稳定性研究. 水土保持学报, 2009, 23 (5): 228—231, 236
- Zheng Z C, Li T X, Zhang X Z, et al. Study on the composition and stability of soil aggregates under different land use (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23 (5): 228—231, 236
- [19] 曾全超, 董扬红, 李鑫, 等. 基于Le Bissonnais法对黄土高原森林植被带土壤团聚体及土壤可蚀性特征研究. 中国生态农业学报, 2014, 22 (9): 1093—1101
- Zeng Q C, Dong Y H, Li X, et al. Soil aggregate stability and erodibility under forest vegetation in the Loess Plateau using the Le Bissonnais method (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22 (9): 1093—1101
- [20] 刘文利, 吴景贵, 傅民杰, 等. 种植年限对果园土壤团聚体分布与稳定性的影响. 水土保持学报, 2014, 28 (1): 129—135
- Liu W L, Wu J G, Fu M J, et al. Effect of different cultivation years on composition and stability of soil aggregate fractions in orchard (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28 (1): 129—135
- [21] 姜敏, 刘毅, 刘闯, 等. 丹江口库区不同土地利用

- 方式土壤团聚体稳定性及分形特征. 水土保持学报, 2016, 30 (6) : 265—270
- Jiang M, Liu Y, Liu C, et al. on the stability and fractal characteristics of soil aggregates under different land use patterns in the Danjiangkou reservoir (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2016, 30 (6) : 265—270
- [22] 陈山, 杨峰, 林杉, 等. 土地利用方式对红壤团聚体稳定性的影响. 水土保持学报, 2012, 26 (5) : 211—216
- Chen S, Yang F, Lin S, et al. Impact of land use patterns on stability of soil aggregates in red soil region of South China (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26 (5) : 211—216
- [23] 张耀方, 赵世伟, 李晓晓, 等. 利用方式对灌淤土团聚体稳定性及有机碳官能团特征的影响. 水土保持学报, 2015, 29 (1) : 169—174
- Zhang Y F, Zhao S W, Li X X, et al. The influence of aggregate stability and characteristics of SOC functional groups in anthropogenic-alluvial soil under different land use patterns (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29 (1) : 169—174
- [24] 赵锦梅, 徐长林, 马瑞, 等. 东祁连山不同高寒灌丛草地土壤抗蚀性研究. 水土保持学报, 2016, 30 (5) : 119—123
- Zhao J M, Xu C L, Ma R, et al. Study on soil anti-erodibility of different alpine shrub grassland in Eastern Qilian Mountain (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2016, 30 (5) : 119—123
- [25] 王贤, 张洪江, 程金花, 等. 重庆四面山几种林地土壤颗粒分形特征及其影响因素. 水土保持学报, 2011, 25 (3) : 154—159
- Wang X, Zhang H J, Cheng J H, et al. Fractal characteristics and related affecting factors of particle size distribution of different forest soil in Simian Mountains, Chongqing (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25 (3) : 154—159
- [26] 于海艳, 宫汝宁, 周娅, 等. 北京八达岭地区4种人工林土壤团聚体稳定性及有机碳特征. 水土保持学报, 2015, 29 (5) : 162—166
- Yu H Y, Gong R N, Zhou Y, et al. Characteristics of soil aggregate stability and soil organic carbon under four typical artificial plantations in Beijing Badaling Mountain Area (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29 (5) : 162—166
- [27] 商素云, 姜培坤, 宋照亮, 等. 亚热带不同林分土壤表层有机碳组成及其稳定性. 生态学报, 2013, 33 (2) : 416—424
- Shang S Y, Jiang P K, Song Z L, et al. Composition and stability of organic carbon in the top soil under different forest types in subtropical China (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2013, 33 (2) : 416—424
- [28] 邓良基, 侯大斌, 王昌全, 等. 四川自然土壤和旱耕地土壤可蚀性特征研究. 中国水土保持, 2003 (7) : 23—25
- Deng L J, Hou D B, Wang C Q, et al. Study on characteristics of erodibility of natural soil and non-Irrigated soil of Sichuan (In Chinese). Soil and Water Conservation in China, 2003, (7) : 23—25
- [29] 高敏. 三峡库区紫色土小流域土壤可蚀性K值研究. 重庆: 西南大学资源与环境学院, 2011
- Gao M. Study on soil erodibility K values in small watersheds of purple soil in the Three Gorges Reservoir Area (In Chinese). Chongqing: College of Resources and Environment, Southwest University, 2011
- [30] 李旭, 王海燕, 杨晓娟, 等. 东北近天然林土壤可蚀性K值研究. 水土保持通报, 2014, 34 (4) : 5—10
- Li X, Wang H Y, Yang X J, et al. Soil erodibility K-value of semi-natural forests in Northeast China (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34 (4) : 5—10
- [31] 杨帆, 张洪江, 程金花, 等. 北京市延庆县不同土地利用方式下的土壤可蚀性研究. 水土保持通报, 2013, 33 (6) : 19—23
- Yang F, Zhang H J, Cheng J H, et al. Soil erodibility of different land use types in Yanqing County of Beijing City (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33 (6) : 19—23

Impacts of Forest Typical of the Southern Piedmont of the Himalaya Mountains on Soil Physicochemical Properties and Erodibility K

LIANG Bo^{1,2} NIE Xiaogang^{1,2} WAN Dan^{1,2} YU Wu^{1,2†} SUN Qiwu³ ZHAO Wei¹

(1 Department of Resources and Environment, Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Linzhi, Xizang 860000, China)

(2 Alpine-cold Region Water and Soil Conservation Research Center, Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Linzhi, Xizang 860000, China)

(3 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract 【Objective】 This paper was oriented to investigate soil physic-chemical properties and erodibility K and their distributions in the southern piedmont of the Himalaya Mountains south, in an attempt to provide certain scientific theories and data base for developing a project of soil and water conservation and ecological construction. 【Method】 Three different stands of forest typical of the region, i.e., mixed evergreen and deciduous forest (MT-1), mixed broadleaf-conifer forest (MT-4), and evergreen broad-leaf forest in four forest lands (MT-2 and MT-3) on the southern piedmont of the Himalayan Mountains were selected as sample lots and soil samples were collected in the 0 ~ 20 cm soil layers for analysis of soil bulk density, porosity, aggregate status, aggregate destruction rate, soil particles size composition and organic carbon content. Besides, soil erodibility K of the lands was calculated using the EPIC model. 【Result】 (1) The forest stands in the four forest lands exhibited significant impacts on aggregate status, soil particles size composition, organic matter content, and soil erodibility K ($P < 0.05$) of the soil. In the soils, mechanically stable and water-stable aggregates were dominated mainly with aggregates > 0.25 mm in particle size, with the former accounting for more than 75% and the latter for more than 60%. on the whole the soil aggregates were quite stable in destruction rate, varying between 10.16% ~ 24.74%. In terms of soil particle size, the soils in the four forest lands were composed mainly of silt, with clay accounting only for 0.51% ~ 3.02%. Organic matter content in the soils of the four lands varied in the range between 92.53 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and 133.8 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, and was significantly higher in MT-3 than in the other three ($P < 0.05$). Generally speaking the soils were all quite high in soil fertility; (2) Soil erodibility K in the soils of the four forest lands, though different in soil type varied in the range between 0.1862 and 0.3430 and averaged 0.2635, indicating that they were all moderate on the high side in soil erodibility, but in an order of MT-3 (evergreen broad-leaf forest) $>$ MT-2 (evergreen broad-leaf forest) $>$ MT-4 (mixed broadleaf-conifer forest) $>$ MT-1 (evergreen and deciduous mixed forest); (3) Correlation analysis shows that soil erodibility K was positively related to clay content ($r = 0.709$, $P = 0.291$), silt content ($r = 0.996$, $P = 0.004$), organic matter content ($r = 0.779$, $P = 0.221$) and aggregate destruction rate ($r = 0.536$, $P = 0.464$), but significantly and negatively related to sand content ($r = -0.997$, $P = 0.003$), however, it did have much to do with soil bulk density and total porosity ($r = -0.380$, $P = 0.616$; $r = 0.164$, $P = 0.836$). Soil organic matter and silt content were the two main factors affecting soil erodibility K and to a certain extent, soil erodibility could be evaluated by aggregate destruction rate. 【Conclusion】 The soil erodibility of the study area is relatively high on the whole. As affected by landforms and soil-forming conditions, mixed evergreen and deciduous forest and mixed needle-coniferous tree stands are relatively low in soil erodibility K . In the economic production, it is essential to improve the awareness of protection of forest in the regional, prevention of exposure of bare land surface,

and implementation of effective soil and water conservation measures, especially in broad-leaf forest land, so as to guarantee successful regional ecological environmental construction and economic development in the study area and even the Zangnan Region.

Key words Himalaya; Soil erodibility; Woodland; EPIC model

(责任编辑: 檀满枝)