

基于根系解剖结构的金沙江干热河谷 土壤侵蚀速率估算

孙丽萍^{1,2}, 王小丹¹

(1.中国科学院成都山地灾害与环境研究所山地环境演变与调控重点实验室, 四川 成都 610041;

2.中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 基于侵蚀过程会导致树木生长环境变化, 进而改变根系生长生理特征的基本研究思想, 以金沙江干热河谷龙川江流域为典型区, 从树根细胞解剖结构和组合特征的变异中提取土壤侵蚀信息, 探索和发展了基于树木生理生态的土壤侵蚀研究新方法与技术。结果表明, 不同侵蚀强度下根系的年轮分布特征不一致, 其中偏心率大小顺序为: 局部暴露根系 > 浅埋根系 > 完全暴露根系, 且偏心率与根系以上土层厚度、暴露程度存在显著性相关; 根系导管面积是反演侵蚀过程的敏感指标, 早材导管面积的变异是确定根系暴露时间的重要依据之一; 龙川江流域土壤流失厚度为 1.47~4.47 mm/a, 平均侵蚀模数约为 3 692 t/(km²·a)。

关键词: 干热河谷; 土壤侵蚀; 赤桉(*Eucalyptus camaldulensis*); 根系; 解剖结构

中图分类号: S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)04-0492-07

土壤侵蚀是指土壤被各种外营力(包括水力作用、重力作用、风力作用等)分离、破坏和移动的过程^[1]。中国作为世界上水土流失最为严重的国家和地区之一, 土壤侵蚀研究不仅是地学研究的焦点之一, 也与人类自身的生存和发展息息相关。目前, 土壤侵蚀定量研究的主要方法有测量学方法(如野外调查)、遥感研究法^[2,3]、地球化学方法(如核素示踪)^[4,5]、地貌研究法、水文研究法(如径流小区)、土壤学方法及模型模拟等^[6]。随着生物技术的发展, 植被作为地表的一种物质实体, 不仅影响着地貌景观和结构, 而且植物的生理特征也记录着地貌过程对其生长环境稳定性和适应性影响的相关信息。20世纪70年代以来, 树木年轮研究被广泛应用于气候学、考古学、水文学、生态学和环境科学等方面, 派生出许多交叉分支学科。树轮地貌学是树木年轮研究的众多分支学科之一, 是一门以植物生理学为基础, 以树木年轮生长特性为依据, 研究地貌过程对年轮生长影响或者从年轮变化中反演地貌过程信息的学科^[7]。它主

要基于地貌事件会导致树木生长环境发生变化甚至受损, 进而产生保护性生理生态响应的基本思想, 从树根、茎细胞解剖结构和组合特征变化中提取地貌过程信息, 反演现代地貌过程。近年来, 许多科学家将树轮地貌方法应用到湖泊、海洋、冰川变化, 以及雪崩、山体滑坡、火山爆发、地震、泥石流等灾害性地貌事件的研究中, 并取得了丰硕的成果, 极大推动了生物与地貌研究的发展。

已有研究表明, 用根系暴露厚度(暴露根系上表皮到当前土表的距离)和侵蚀时间(根系暴露到采样的时间)的比值确定百年—千年尺度的侵蚀速率切实可行^[8-11], 不仅精确度值得信赖^[8,12,13], 而且能提取无资料区、无野外观测条件区域的土壤侵蚀信息。Marin^[14]利用云杉的暴露根系反演了沙丘动态及风蚀速率; Gärtner^[15,16]指出侵蚀过程致使针叶材根系显微结构发生变化, 即: 晚材管胞面积的减小标志着土层厚度减小, 而早材管胞面积的骤然变小(减小50%以上)标志着根系首次暴露; Hitz^[17]首次将阔叶材应用到侵蚀过程的研究中, 利用侵

收稿日期: 2011-03-12; **修订日期:** 2011-09-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871013)资助。

作者简介: 孙丽萍(1984-), 女, 甘肃庆阳人, 研究实习员, 从事土壤侵蚀与地貌反演研究。E-mail:jia.weilun@163.com

通讯作者: 王小丹, 研究员。E-mail:wxd@imde.ac.cn

蚀过程中暴露根系的显微结构特征(早材导管面积和木纤维管腔面积显著减小),重建了阿尔卑斯山典型流域土壤侵蚀时间、速率和动态。轮宽的变异及根系解剖特征的变化在冲沟侵蚀^[18,19]、坡面侵蚀^[20]和海岸侵蚀^[21]等领域的定量研究中也取得了显著成果。总体而言,目前国外开展的土壤侵蚀与根系显微结构变化的研究大多是基于高山、亚高山低温环境(如阿尔卑斯山地区),且针叶材(如落叶松、杉树、松树等)研究较多,阔叶材相对较少。本文从生长在干热环境的赤桉根系解剖结构变化中反演土壤侵蚀过程,探索和发展基于树木生理生态的土壤侵蚀速率估算方法与技术,拓展土壤侵蚀的研究手段,对树轮地貌学科发展有重要意义。

1 研究区域

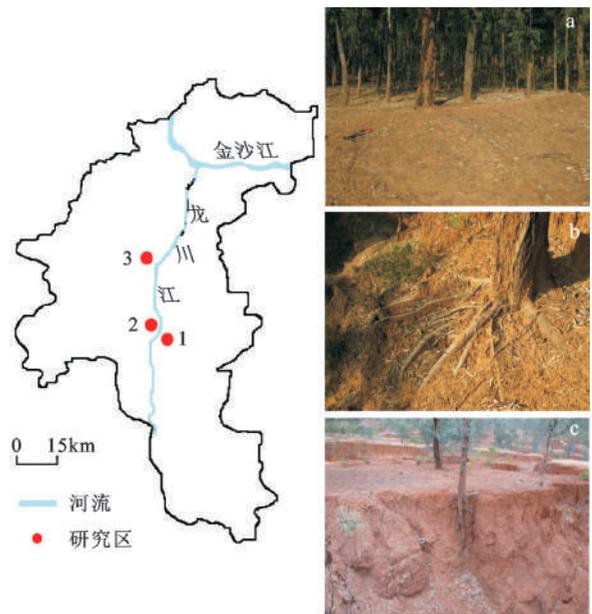
研究区位于金沙江一级支流——龙川江河谷下段元谋县东南部(25°41'N~25°50'N, 101°49'E~101°53'E),海拔1178~1207 m。气候干热,年均温21.8℃。年降水量615.1 mm,雨季(5~10月)雨量占全年降水量的90%,属典型的南亚热带季风河谷干热气候区。区内广泛分布元谋组第三段地层,厚278.2 m,以厚层状砂层、粘土、亚粘土互层为主,地表组成物质粘土含量高,岩性松散,湿胀干缩强烈,集中降雨导致境内土壤侵蚀严重^[22],大量根系裸露(图1)。草本植物种类有扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、旱茅(*Eremopogon delavayi*)、孔颖草(*Bothriochloa*)等,灌、乔木主要有车桑子(*Radonaea viscosa*)、赤桉(*Eucalyptus camaldulensis*)、山合欢(*Albizzia kalkora*)、银合欢(*Leucaena leucocephala*)等,其中人工赤桉林在研究区广泛分布。选择龙川江流域3个典型的赤桉林进行调查与采样(图1),样地为赤桉林纯林,无其它树种。在赤桉桉油的强抑制下,地表草本难以生存,仅有少量桉树叶零星散落在地表。由于干热的气候环境,地表枯枝落叶大多未能腐烂、分解,从而融入林下土壤。大部分凋落物都被风或水蚀带走,形成林下光板地的独特景观(图1a、b、c),土壤侵蚀严重。

2 研究方法

2.1 样本采集

2009年11月~2010年9月对研究区进行调查

采样,共采集赤桉树根圆盘样136个。为了减小根系自身生长迁移裸露或树干对根系生长的影响,根系样品采集位置距树干基部的距离大于0.5 m,根系圆盘厚度约10 cm,记录采样点的环境要素(包括地形、地貌、植被类型及盖度、土壤类型等)、采样点距离树干的距离、根系上土层厚度及根系暴露厚度等参量。按照暴露程度采集4种类型样本:① 正常生长根样(对对照),采集距地表0 cm、5 cm、10 cm和14 cm的样段;② 浅埋根样,经过长期流水的冲刷,土层厚度逐渐减小,根系上土层厚度约0~3 cm(图1a);③ 局部暴露根样,根系在地表径流或雨水的冲刷下,上表皮裸露于土层之外,而下表皮仍在土壤中,并且暴露厚度小于根样圆盘直径(图1b);④ 完全暴露根样,在集中强降雨下,位于沟头或沟缘上的根系周围土体瞬间被剥蚀,或面蚀中根系暴露厚度大于根径的样本(图1c)。



a. 浅埋 b. 局部暴露 c. 完全暴露

图1 研究区域及采样点

Fig. 1 Study area and sampled points

2.2 样本处理及分析

将采集的根系样品置户外自然风干(1~2个月),风干后取厚度为1.5 cm的圆盘。难以切割的样品用酒精、甘油混合液(1:1)浸泡使其软化,然后用不同粒径(p120、p240、p320、p400)的砂纸将样品盘面打磨抛光,至年轮清晰可见。处理后的样品使用WinDENDRO年轮分析仪和骨架示意图

进行交叉定年,并用COFECHA程序^[23]进行交叉定年检验。样本序列的树轮宽度测量值经ARSTAN程序^[24]去生长趋势和标准化处理后,建立轮宽年表并计算偏心率。

制作偏心生长部分切片,用于细胞解剖结构显微观察。首先取1cm×1cm×1cm的样块并编号软化,使用莱卡滑动切片器切取厚度为10~15 μm的横切面;其次,将切片浸泡在浓度为1%的番红溶液中染色(5~6 h);然后,依次使用浓度为35%、55%、75%、95%和无水乙醇使切片完全脱水,再使用二甲苯脱脂;最后使用中性树胶封片。待切片干燥后,使用尼康80i生物显微镜观测,沿圆盘径向连续拍照(包括2倍、10倍和20倍),样框大小为1280×960 pixels(像素)。将显微照片拼接后使用Image-J图像处理软件,量测导管数量、导管面积和年轮内的导管数量、平均导管面积和平均早材导管面积等。赤桉早晚材分界线不清晰,取年轮内前25%导管面积的平均值为平均早材导管面积,依据显微结构的突变(包括导管面积减小、数量增多)来确定根系的暴露时间。

用制图软件Origin 8.1进行数据的输入和制图,统计分析由SPSS16.0完成。

2.3 土壤侵蚀速率估算方法

树根解剖结构反演土壤侵蚀速率主要包括3个方面:测量根系的暴露厚度、确定根系的暴露年代、计算侵蚀量。Gärtner^[25]在前人研究的基础上,假设根系上表皮暴露后髓心随着根系的生长而上移,利用根系暴露当年的圆盘径向生长量,反演根系上表皮自暴露至今的侵蚀量,因此,可以重建根系暴露当年的地表位置,利用局部暴露根系与地表的空间位置关系,建立土壤侵蚀速率计算方程(公式(1)、(2),图2)。

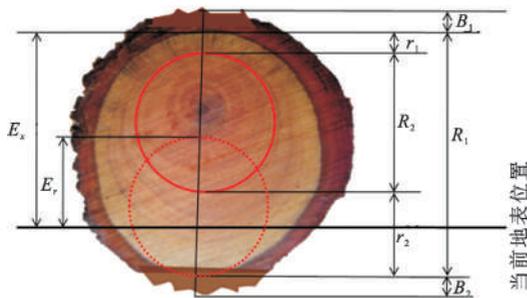


图2 土壤侵蚀速率计算方程示意图

Fig. 2 Schematic view of root exposure illustrating the parameters used for the calculation of erosion rates

$$E_r - R_2 - (B_1 + B_2)/2 + R_1 - E_s = 0 \quad (1)$$

$$E_m = E_r / NR_{ex} \quad (2)$$

式(1)、(2)中, E_r 为侵蚀速率; E_s 为根系上表皮距地表的高度; E_m 为年侵蚀率; R_1 为当前轮径; R_2 为树根被剥蚀当年的轮径; B_1 为根系上表皮的树皮厚度; B_2 为根系下表皮的树皮厚度; NR_{ex} 为自暴露至采样时的年轮数目。该方程适用于面蚀侵蚀速率的计算,且暴露厚度小于根系圆盘直径。基于上述方程,Corona^[26]提出了两种假设:①根系暴露后轴心(或髓心)的位置随着树轮的生长上移;②根系轴心的位置不随根系生长而上移。研究表明,两种假设下计算的土壤侵蚀速率并无显著性差异,进一步验证了该方程的精度。

3 结果与分析

3.1 土壤侵蚀与根系的偏心生长

根系生长轮在正常条件下呈同心圆分布,侵蚀作用导致根系以上土层变薄,根系远离地表部分生长较快,而近地表部分生长较慢,宏观结构上呈极显著的偏心生长(图3)。根系偏心生长的原因在于,根系近地表部分土壤被剥蚀,其水分、养分的吸收受到干扰,生长减缓;另一方面其所受光照、温度和压力等条件均发生改变,导致木材中水分的快速流失,年轮内组织收缩。

根据轮宽资料获取的偏心率[其中偏心率= $(b-a)/(a+b)$,式中 a 为近地表部分圆盘的径向生长量; b 为远离地表部分圆盘的径向生长量]数据表明,局部暴露根系的偏心率最大,侵蚀周期最长,平均偏心率为 (0.461 ± 0.133) ;其次为浅埋根系,它经历了土层逐渐减小的过程,偏心率仅次于局部暴露根系,平均偏心率为 (0.218 ± 0.096) ;而重度侵蚀引起的完全暴露根系,在短时间内根系生存环境整体发生改变,根系在短时间内做出生理响应,偏心率最小,平均偏心率为 (0.158 ± 0.121) 。统计分析表明,局部暴露根系的偏心率与浅埋根系和完全暴露根系的偏心率均存在显著性差异($p < 0.01$),而浅埋根系与完全暴露根系的偏心率不存在显著性差异(图3)。

偏心率与根系以上土层厚度、暴露厚度及距树干距离做相关性分析。结果表明,根系偏心率与根系以上土层厚度存在负相关,与暴露程度呈显著的正相关关系($p < 0.01$),与距树干的距离无显著相关性(见表1)。

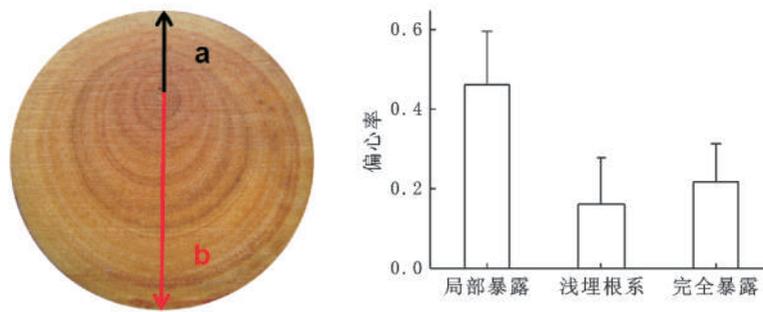


图3 偏心生长及不同暴露程度根系的偏心率

Fig. 3 The eccentric growth and the eccentricity ratio of tree ring in varying exposure degrees

表1 不同暴露程度根系的偏心率与影响因子的相关性(R值)

Table 1 The correlations between the eccentricity ratio of tree ring in varying exposure degrees and the affecting factors

侵蚀类型	距树干距离	根系以上土层厚度	暴露厚度	
浅埋根系	面蚀	0.234	-0.506	-
局部暴露根系	面蚀	-0.355*	-	0.405**
完全暴露根系	沟蚀	0.141	-	-

注: *表示相关水平达0.05; **相关水平达0.01。

3.2 土壤侵蚀与根系轮宽

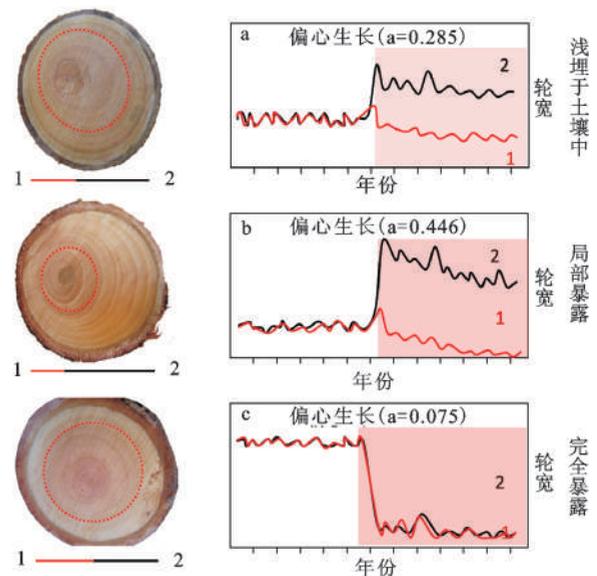
根系是水分和养分供应的重要通道,土壤侵蚀过程使根系暴露于土层之外时,由于光、热、水分、压力等环境条件改变,根系显微结构会产生保护性生理响应,相应轮宽也会发生差异性改变。

图4a表明,浅埋根系,其近地表部分和远离地表部分轮宽年际差异较小,均趋于逐渐减小,在宏观结构上表现为近地表部分生长较慢,远离地表部分生长较快。图4b是局部暴露根系,当根系上面土层厚度减小到一定程度时,轮宽表现为先增大后逐渐减小,在根系从掩埋到暴露的临界点,轮宽表现为大幅度减小的现象,且近地表部分较远离地表部分响应更敏感。图4c是完全暴露根系,尽管集中降雨致使根际土壤在短时间内崩塌脱落,但根系末梢仍在土壤中能维持生存需求,因此在宏观结构上表现为类同心圆,生长轮在暴露当年表现为生长受抑制,轮宽骤小的现象,次年之后表现为窄轮的形成。

3.3 土壤侵蚀与根系导管

根系导管作为维系树木正常生长的主要运输通道,负责水分和养料的传输,能更直接地反映环境和非环境干扰的影响,对土层厚度变化的反应也较年轮宽度更为敏感,根据导管参量的变异性能较准确地确定根系首次暴露时间。

图5表明,1996年为正常生长,根系显微结构



注:1.近地表; 2.远离地表

图4 不同暴露程度根系轮宽分布特征(示意图)

Fig. 4 Characteristics of root-ring in varying exposure degrees(Schematic diagram)

为典型的散孔结构,早晚材导管面积无显著性差异,且晚材率小。1997~1999年土层厚度逐渐减小,初步表现为晚材导管面积显著减小,晚材率增大,呈环孔结构。1998年,远离地表部分和近地表部分早材导管面积均小幅度减小(分别为 $12\ 679\ \mu\text{m}^2$ 、 $11\ 027\ \mu\text{m}^2$),这可能与该年的降水量(高达

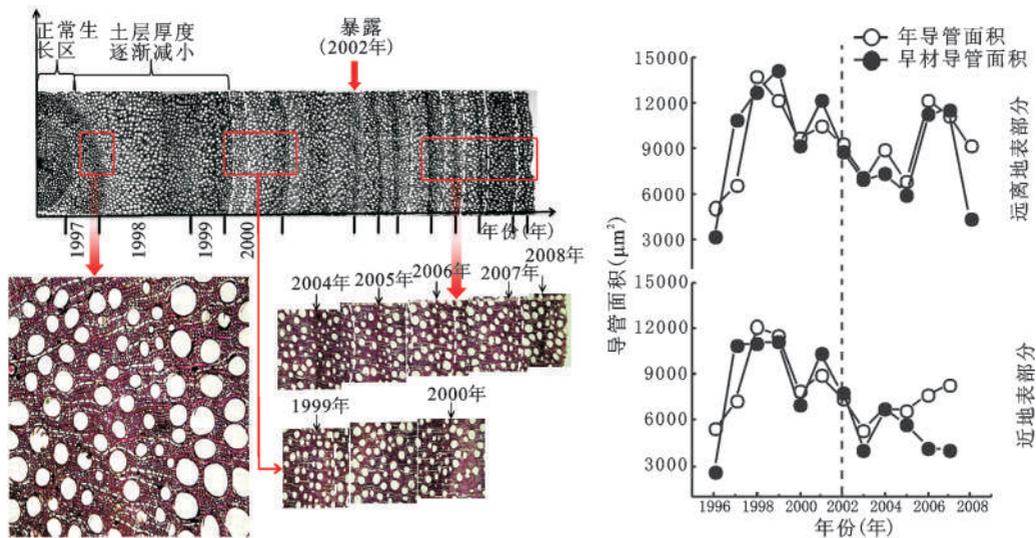


图5 局部暴露根系显微结构变化特征

Fig. 5 Anatomical features of root exposed partially

890.8 mm)有关,大暴雨对地表的剥蚀力强,使根系上面土层厚度减小。2000~2001年早材导管面积继续减小,且减小百分比 $<50\%$,伴有少量伪轮形成,其中2001年远离地表部分和近地表部分早材导管面积(分别为 $12\ 159\ \mu\text{m}^2$ 、 $10\ 456\ \mu\text{m}^2$)较对照样分别减小了46.1%、41.3%。2002年早材导管面积显著减小,远离地表部分和近地表部分早材导管面积均减小50%以上,分别为56.5%、50.9%,确定样本于该年首次暴露。2003年降水量仅496 mm,赤桉维持正常生长的最小阈值为500~600 mm,生长受抑制早材导管面积达到最小值 $3\ 964\ \mu\text{m}^2$ 。2004~2007年近地表部分早材导管面积减小百分比逐渐增大,而远离地表部分呈逐渐减小,可能是由于2006~2008年降水量稳定,对侵蚀的贡献较小,远离地表部分导管趋于较正常生长,受降水等气候因素的影响较大。

根系导管对侵蚀过程中土层厚度逐渐减小的生理生态响应敏感,具有一定的规律性。最初为晚材导管面积减小、晚材率增大及环孔结构的形成;随后,当根系上面土层厚度减小到一定程度时,早材导管面积开始减小(减小百分比 $<50\%$),并伴有伪轮形成;当根系上表皮暴露于土层之外时,早材导管面积显著减小(减小百分比 $>50\%$)。根系导管的宽、窄变化与水分运输的有效性和安全性有关,窄导管的输导效率虽低,但抗负压强,不易破坏,且单位面积上的数量较多,能保证水分运输的安全性。

3.4 土壤侵蚀速率估算初步结果

根据早材中导管面积的变异确定根系首次暴露时间,计算沟头汇水区面蚀中局部暴露根系的土壤侵蚀速率,结果表明,研究区土壤流失厚度为1.47~4.47 mm/a,该区域的土壤平均容重为 $1.41\ \text{g}/\text{cm}^3$,即平均土壤侵蚀模数为 $(3\ 692\pm 1\ 710)\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ [范围值 $2\ 073\sim 6\ 303\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$],其中3个研究区由于立地条件不一,平均侵蚀模数分别为 $(3\ 776\pm 1082)\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 、 $(2\ 848\pm 775)\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 、 $(4\ 652\pm 1651)\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,根据土壤侵蚀分级分类标准均属强度侵蚀。同时,将采样点土壤侵蚀模数与暴露厚度、侵蚀时间、坡度等参量进行统计分析,结果表明,侵蚀模数的大小与采样点的坡度呈显著性($p<0.001$, $R^2=0.75$)正相关关系。

有学者利用 ^{137}Cs 的方法对当地农耕地和果园的土壤侵蚀量研究表明,农耕地土壤侵蚀模数为 $950\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,酸角林地和龙眼地为 $4\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,而撩荒地、死酸角林地和荒草地土壤侵蚀较强烈,侵蚀模数高达 $8\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 以上。本文研究区域为水土保持治理区,侵蚀模数与果园地相近,其原因可能在于赤桉人工林区与果园分布区两者的立地条件相似,但赤桉林区周围设有植物篱,人为活动干扰相对较少,侵蚀量略小,估算结果与野外实际情况基本一致。由于目前研究区尚无野外观测条件和设施,无法获取观测数据,使得估算精度难以准确验证。在未来的研究中,我们将加强该区侵蚀量的野外定位观测与模型模拟,从而验证和提

高该方法估算的精度。

4 结 论

1) 土壤侵蚀导致根系不同程度的裸露,呈典型的偏心生长,根系横断面呈偏心椭圆形,且远离地表部分生长较快,近地表部分生长较慢。不同暴露程度根系年轮的分布特征存在一定的差异性,浅埋根系两边轮宽小幅度减小;局部暴露根系远离地表部分轮宽变幅较小,而近地表(或暴露)部分变幅较大;完全暴露根系两边轮宽变化显著。

2) 研究区浅埋根系、局部暴露根系、完全暴露根系的平均偏心率分别为 0.461 ± 0.133 、 0.218 ± 0.096 、 0.158 ± 0.121 ,暴露程度是影响根系偏心率的主要因素,根系上面土层厚度与偏心率呈负相关。

3) 早材中导管面积的变动能较准确地确定根系首次暴露时间,但根系的生理响应存在一定的滞后性,且受赤桉年轮分界线不清晰影响,定年存在一定的误差。根据侵蚀速率计算方程该区域的平均土壤侵蚀模数为 $(3\ 692 \pm 1710)t / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$,土壤流失厚度为 $1.47 \sim 4.47$ (mm/a),为强度侵蚀。由此可知,以桉树为主要树种的水土保持林,生态效益并不理想,当地桉树分泌的桉油抑制了林下灌草的生长,未形成林灌草的立体结构,亟待改良。

参考文献:

- [1] 陈永宗,景可,蔡强国. 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [2] 李斌兵,郑粉莉,龙栋材,等. 基于GIS纸坊沟小流域土壤侵蚀强度空间分布[J]. 地理科学, 2009, **29**(1): 105-110.
- [3] 余叔同,郑粉莉,张鹏. 基于插件技术和GIS的坡面土壤侵蚀模拟系统[J]. 地理科学, 2010, **30**(3): 441-445.
- [4] 王宁,杨春雨,张刚,等. 黑土区土壤侵蚀的REE示踪法研究[J]. 地理科学, 2008, **11**(4): 565-570.
- [5] 张利华,李辉,张艳艳. 基于¹³⁷Cs示踪法的丹江口小流域农用地土壤侵蚀研究[J]. 地理科学, 2009, **29**(2): 273-277.
- [6] 唐小明,李长安. 土壤侵蚀速率研究方法综述[J]. 地球科学进展, 1999, **14**(3): 274-278.
- [7] Alestalo. Dendrochronological interpretation of geomorphic process[J]. Fennia, 1971, **105**: 1-140.
- [8] Eardley A, Viavant W. Rate of denudation as measured by bristlecone pines, Cedar Breaks, Utah[J]. Utah Geological and Mineralogical Survey, Special Studies, 1967, **21**: 1-13.
- [9] Lamarche V. Rates of slope degradation as determined from botanical evidence[J]. Geological Survey Professional Paper, 1968, 1341-1377.
- [10] McAuliffe J R, Scuderi L A, McFadden L D. Tree-ring record of hillslope erosion and valley floor dynamics: Landscape responses to climate variation during the last 400yr in the Colorado Plateau, northeastern Arizona[J]. Global and Planetary Change, 2006, **50**(3-4): 184-201.
- [11] Dunne T, Dietrich W E, Brunengo J. Recent and past erosion rates in semiarid Kenya[J]. Zeitschrift für Geomorphologie NF Supplement, 1978, **29**: 130-140.
- [12] Krause C, Eckstein D. Dendrochronology of roots[J]. Dendrochronologia, 1994, **11**: 9-23.
- [13] Krause C, Morin H. Root growth and absent rings in mature black spruce and balsam fir, Quebec, Canada[J]. Dendrochronologia, 1999, **16**(17): 21-35.
- [14] Marin P, Filion L. Recent dynamics of subarctic dunes as determined by tree-ring analysis of white spruce, Hudson Bay, Québec[J]. Quaternary Research, 1992, **38**(3): 316-330.
- [15] Gärtner H. The applicability of roots in Dendrogeomorphology [J]. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, 2006, **1**: 120-124.
- [16] Gärtner H, Schweingruber F H, Dikau R. Determination of erosion rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots[J]. Dendrochronologia, 2001, **19**(1): 81-91.
- [17] Hitz O, Gärtner H, Heinrich I, et al. Reconstruction of erosion rates in Swiss Mountain Torrents [J]. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, 2006, **4**: 196-202.
- [18] Vandekerckhove L, Muys B, Poesen J, et al. A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates[J]. Catena, 2001, **45**(2): 123-161.
- [19] Malik I. Dating of small gully formation and establishing erosion rates in old gullies under forest by means of anatomical changes in exposed tree roots (southern Poland) [J]. Geomorphology, 2008, **93**(3-4): 421-436.
- [20] Bodoque J M, Díez-Herrero A, Martín-Duque J F, et al. Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: Two examples from Central Spain[J]. Catena, 2005, **64**: 81-102.
- [21] Fantucci R. Dendrogeomorphological analysis of shore erosion along Bolsena lake (Central Italy) [J]. Dendrochronologia, 2007, **24**(2-3): 69-78.
- [22] 钱方, 周国兴. 元谋第四纪地质与古人类[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 127-132.
- [23] Grissino-Mayer H D. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA[J]. Tree-Ring Research, 2001a, **57**(2): 5-21.
- [24] Cook E R, Peters K. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies[J]. Tree-ring bulletin, 1981, **41**: 45-53.
- [25] Gärtner H. Tree roots—Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes[J]. Geomorphology, 2007, **86**: 243-251.
- [26] Corona C, Lopez Saez J, Rovéra G, et al. High resolution, quantitative reconstruction of erosion rates based on anatomical

changes in exposed roots at Draix, Alpes de Haute-Provence—
critical review of existing approaches and independent quality

control of results[J]. *Geomorphology*, 2011, **125**(3):433-444.

Evaluation of Soil Erosion Rate Based on Anatomical Structure of Treeroots

— A Case Study in the Dry-hot Valley of Jinsha River

SUN Li-ping^{1,2} WANG Xiao-dan¹

(1. *Key Laboratory of Mountain Environment Evolvement and Regulation , Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China*; 2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Based on physiological responses of tree growth to environmental changes, the paper developed a new method to extract information of soil erosion from tree-root anatomical structures and cell features. A case study has been carried out in the Longchuanjiang Watershed, Dry-hot Valley of Jinsha River. The study results showed: ① Soil erosion led to eccentric growth of *Eucalyptus* roots. The samples are divided into roots exposed partially, roots buried shallowly, roots exposed absolutely, based on the erosion degrees. The eccentricity ratio of tree ring is 0.461 ± 0.133 、 0.218 ± 0.096 、 0.158 ± 0.121 and the order is roots exposed partially > roots buried shallowly > roots exposed absolutely. There is significant correlation between soil depth and the eccentricity of tree ring. ② Vessel area was a sensitive indicator for reconstructing soil erosion process, and abrupt variations of earlywood vessels size was one of the important evidences to date the first year of exposure. The area of vessel decreases in latewood, whereas there is no significant change in earlywood, fiber wall thickness increases (decrease of fiber volume). ③ The soil loss thickness is 1.47~4.47 mm/a, and the average erosion modulus is about $(3692\pm 1710) \text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$, in Longchuanjiang Watershed. It is serious erosion based on the standards for classification and gradtion of soil erosion.

Key words: Dry-hot Valley; soil erosion; *Eucalyptus camaldulensis*; tree-root; anatomical structure