

# 黄土丘陵区人工油松林地土壤特性及细根特征研究

黄琳琳<sup>1,2</sup>, 陈云明<sup>1,3</sup>, 张升<sup>4</sup>, 王利霞<sup>1</sup>, 张学森<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 红河州水利水电工程地质钻探队, 云南 蒙自 661100; 3. 中国科学院水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 中国石油工程设计公司(CPE)新疆石油工程建设有限公司, 新疆 克拉玛依 834000)

**摘要:** 在野外调查和室内实验分析的基础上, 研究了黄土丘陵区人工油松林生长发育过程中的细根垂直分布特征及其土壤特性。结果表明: (1) 小密度林地改善土壤结构能力最好, 其次是中、大密度, 采伐地最差。(2) 小、中、大密度林地 0—300 cm 土层土壤含水量分别为 12.95%, 12.87% 和 12.78%, 表现出随林分密度增加而减少的变化趋势, 采伐地则为 17.10%, 说明采伐地土壤水分在一定程度上得到了补偿。(3) 油松细根主要分布在 0—60 cm 土层, 占细根总量的 90% 以上。(4) 细根分布与土壤特性关系密切, 以 40—60 cm 土层最为显著。

**关键词:** 人工油松林; 土壤特性; 细根特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)04-0037-05

中图分类号: S157.5, S181

## Distribution Characteristics of Fine Root and Soil Properties in Artificial *Pinus Tabulaeformis* Forest in Loess Hilly Region

HUANG Linlin<sup>1</sup>, CHEN Yunming<sup>1,2</sup>, ZHANG Sheng<sup>3</sup>, WANG Lixia<sup>1</sup>, ZHANG Xuesen<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Hydroelectric Engineering Geology Drilling Team of Honghe, Mengzi, Yunnan 661100, China; 3. Institute of

Soil and Water Conservation of Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi

712100, China; 4. Xinjiang Petroleum Engineering Construction Co., Ltd., (CPE), Karamay, Xinjiang 834000, China)

**Abstract:** Based on the field observation and indoor determination, an investigation in Loess Hilly Region was made on vertical distribution of fine root characteristics and soil properties within the recovery of artificial *Pinus tabulaeformis*. The results showed that: (1) The ability to improve soil structure under the low-density pine forest was better than that under mid density and high density forest, and the logging area was the worst. (2) In the 0—300 cm layer, the soil moisture content declined with the increasing density, and was 12.95%, 12.87%, 12.78% and 17.10% respectively for low-density pine, mid density, high density pine and logging area, indicating that the soil moisture content of logging area was recovered to some extent. (3) *Pinus tabulaeformis* roots were mainly distributed in 0—60 cm soil layer. (4) There were close relationship between root distribution and soil characteristics, especially in the 40—60 cm layer, where the relationship were very significant.

**Keywords:** artificial *Pinus tabulaeformis* forest; soil property; fine root characteristics

在森林生态系统中, 各要素之间存在着广泛而复杂的联系, 植物和土壤之间相互联系、相互制约的有机联系是其中最重要的关系之一。

土壤是植被赖以生存的物质基础, 良好的土壤物理性质是肥沃土壤的重要标志, 对植物的生长发育起着重要作用<sup>[1,2]</sup>; 细根( $\leq 2$  mm) 作为植物根系中重要的组成部分, 不仅是植物吸收水分和养分的主要器官, 还影响着林木地下营养空间的大小和对土壤水

分、养分的利用, 直接影响到林木地上部分的生长和效益的发挥<sup>[3,4]</sup>。

目前, 国内外对人工林植物生长与土壤关系的研究多集中在地上部分, 由于地下部分的研究比较困难, 研究资料仍然十分有限, 特别是对细根特征研究尤为不足。因此, 如何协调二者之间的矛盾, 实现林地生态平衡, 是当前人工林天然化培育及抚育管理中亟待解决的热点问题。

收稿日期: 2010-11-23

修回日期: 2010-12-29

资助项目: 陕西省科学院科技计划重点项目“陕北黄土丘陵区植被恢复与动物多样性保护关键技术”(2008K-04); 中国科学院知识创新工程“百人计划”项目“黄土高原半干旱区群落水分平衡与调控机理”(KZCX2 YW- BR- 02)

作者简介: 黄琳琳(1986—), 女(傣族), 云南省金平县人, 硕士研究生, 研究方向为流域管理。E-mail: llhuang320@163.com。

通信作者: 陈云明(1967—), 男(汉族), 陕西省澄城县人, 博士, 研究员, 主要研究方向为植被生态与水文。E-mail: ymchen@ms.isw.c.ac.cn。

油松(*Pinus tabulaeformis*)作为黄土高原地区的主要造林树种,具有耐干旱瘠薄,较强适应性和抗逆性特点,在降水量高于 550 mm 地区被广泛用于水土保持、水源涵养和用材树种<sup>[5,6]</sup>。几十年来得到大面积的营造,但人工油松林群落自我更新困难,群落组成、结构不合理,林分密度偏高等导致林地水量平衡失调、林分生长不良,群落极不稳定<sup>[7-8]</sup>等问题,已严重影响到当地的生态建设进程。为寻求解决这些问题的理论依据和方法,众多学者对林地水分进行了广泛的研究,但从细根角度对不同林分密度林地土壤特性进行的研究很少<sup>[9]</sup>。本研究以黄土丘陵区宜川县铁龙湾林场不同密度的人工油松林为对象,分析油松细根垂直分布特征和土壤特性,研究结果对科学指导该区造林工作,尤其对提高该区人工林的生产力和稳定性具有重要意义。

## 1 研究区概况

试验林地位于中国科学院安塞水土保持综合试验站宜川铁龙湾林场森林水文和水土保持监测基地。地理位置为北纬 35°39′,东经 110°06′;地貌为黄土梁状丘陵,海拔 860~1 200 m,平均气温 9.7℃,无霜期 180 d;年均降水量 584.4 mm,但季节分布不均,多集中在 7—9 月,占年降水量的 60% 以上,降水量

的年际变化较大,丰水年最大降水量达 843.5 mm,枯水年最小降水量为 408.4 mm,相差 1.1 倍。土壤为褐色森林土,林下多有 2 cm 厚的死地被物,土壤表层有机质含量丰富,达到 1.36%。

## 2 研究方法

### 2.1 试验样地设置

供观测的人工油松林为 1966 年营造,分布于山坡的西北、东、北坡,初植密度 6 000 株/hm<sup>2</sup>,1983 和 1992 年进行了 2 次间伐,现林分郁闭度约为 0.7,林下灌木主要有胡颓子(*Elaeagnus pungens* Thunb.)、黄刺玫(*Rosa xanthina* Lindl.)、绣线菊(*Spiraea salicifolia* Linn.)、忍冬(*Lonicera japonica* Thunb.)、荚蒾(*Viburnum dilatatum*)等;草本植物主要为大披针苔草(*Carex lanceolata*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)等。

在对试验区全面踏查的基础上,选取了 3 个不同密度的人工油松林样地,并依据林分密度的不同将其划分为小密度(1 875 株/hm<sup>2</sup>)、中密度(2 125 株/hm<sup>2</sup>)和高密度(3 925 株/hm<sup>2</sup>)3 类林地,另外选取 1 个油松皆伐更新林作为对照,分析其生长过程中的细根垂直分布特征及土壤特性变化。样地基本概况见表 1。

表 1 样地基本情况

样地	地理位置	坡位	坡向	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	平均树高/m	平均胸径/cm
小密度	E110°5.367′, N35°58.406′	中上部	N36°E	1 875	11.8	15.1
中密度	E110°5.375′, N35°58.429′	中上部	N35°W	2 125	11.9	14.4
大密度	E110°5.368′, N35°58.395′	中上部	W26°S	3 925	12.3	11.4
采伐地	E110°5.398′, N35°58.431′	中上部	N26°E	—	—	—

### 2.2 土壤特性的测定

2010 年 5 月中旬,分别在各林地内选定 20 m×20 m 样地,对样地内的树木进行每木检尺,选取标准木,并在标准木下挖掘采样的土壤剖面。每个样地选取 3 个剖面,在 0—60 cm 土层中分 3 个层次取样,取土样后逐层回填。土壤水分—物理性质的测定参照中华人民共和国林业行业标准《森林土壤分析方法》<sup>[10-11]</sup>。采用环刀法及烘干法测定土壤容重、最大持水量、毛管持水量、最小持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度等。土壤含水量采用土钻取样烘干称量法,测定深度为 0—300 cm,每 20 cm 取样 1 次,每个样地 3 个重复。

### 2.3 细根参数的测定

于 2010 年 5 月中旬采集根样。在对样地内植株进行每木检尺的基础上,选择一株标准木,以 1/4 样

圆法<sup>[12]</sup>作为参考,在以 1/2 株距为半径的 1/4 个圆上均匀取 3 个点,1/4 株距为半径的 1/4 个圆上均匀取 2 个点,用专用生物钻(Φ=9 cm)在 0—80 cm 土层,分层(20 cm)钻取土样,将取出的各层样品编号后装入塑封袋,在实验室内用清水冲洗干净、晾干后,将直径小于 2 mm 的细根样品用烘干法(105℃杀青,80℃烘干至恒量)烘干后测定细根干物质质量。

### 2.4 数据处理

采用 Excel 2003 软件进行数据处理和作图,采用 SAS 10.0 统计软件进行相关性和方差分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 人工油松林土壤的主要物理性质

3.1.1 土壤容重 从不同密度人工油松林地土壤容重(图 1)中可以看出,各种不同密度林地 0—60 cm 土

层的平均土壤容重, 小密度、中密度、大密度、采伐地依次为 1.15, 1.17, 1.19, 1.34 g/cm<sup>3</sup>, 方差分析得出, 土壤容重随林分密度的变化差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 说明土壤容重受林分密度的影响较小。从各密度林地各土层土壤容重的变化来看, 0—20 cm 土层为 1.04~1.29 g/cm<sup>3</sup>; 20—40 cm 土层为 1.13~1.35 g/cm<sup>3</sup>; 40—60 cm 土层为 1.27~1.39 g/cm<sup>3</sup>, 经方差分析表明, 土壤容重随土层深度的变化达到显著水平 ( $p < 0.05$ ), 说明各密度林地土壤容重均为表层最小, 随着土层深度增加, 土壤容重增大。这可能是表层土壤腐殖质较多, 而且根系主要分布于浅层土壤, 所以浅层土壤结构疏松, 通透性良好。

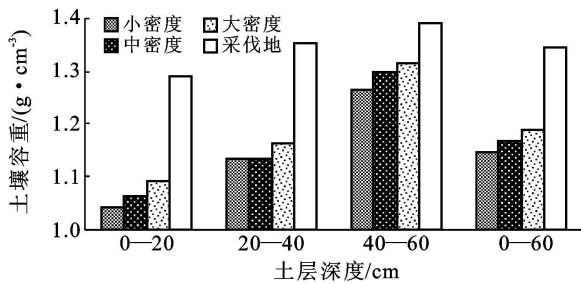
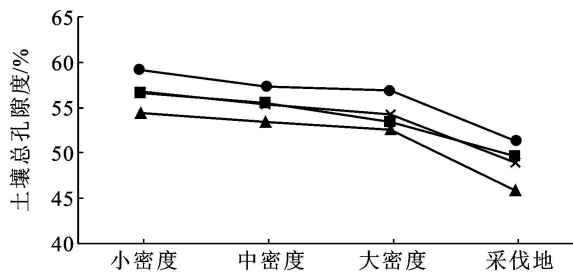


图 1 不同密度人工油松林地土壤容重



3.1.2 土壤孔隙度 图 2 分别表示不同密度人工油松林地土壤总孔隙度和毛管孔隙度的变化情况。从图 2 中可以看出, 0—60 cm 土层土壤总孔隙度百分比含量基本处于 50% 以上 (除采伐地为 48.96% 外), 均随林分密度的增加呈现降低的趋势。其中, 小、中、大密度林地和采伐地 0—20 cm 土层土壤总孔隙度分别为 59.15%, 57.25%, 56.83% 和 51.30%。经方差分析得出, 土壤总孔隙度随林分密度的变化差异显著 ( $p < 0.05$ ), 说明土壤孔隙度受林分密度的影响较大。20—40 cm 和 40—60 cm 土层总孔隙度随林分密度的变化趋势与表层相似, 均随密度的增大呈现下降的趋势。从图 2 中可以看出, 各密度林地 0—60 cm 土层土壤毛管孔隙度依次为 45.75%, 45.11%, 44.08% 和 41.19%, 随林分密度的变化趋势与总孔隙度变化趋势相似, 总体上呈现下降的趋势, 且均随着土层深度的增加而显著降低 ( $p < 0.05$ )。说明人工油松林细根可以提高林地土壤孔隙状况, 增强土壤通气透水性, 并且这种改善作用随着密度的降低逐渐增强 (小密度林地的毛管孔隙度处于较高水平)。

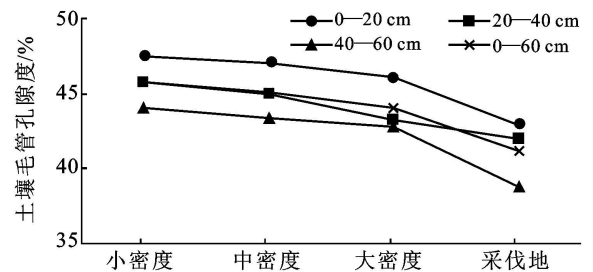


图 2 不同密度人工油松林地土壤孔隙度

3.1.3 土壤持水性 从不同密度人工油松林地的土壤持水能力 (表 2) 可以看出, 3 种密度林地土壤最大持水量平均值为 110.89 mm, 毛管持水量平均值为 89.96 mm, 最小持水量平均值为 46.87 mm, 其持水量均随土层深度的增加而递减。从表 2 还可以看出, 与采伐地比较, 3 种密度林地土壤平均最大持水量、平均毛管持水量和平均最小持水量均分别是采伐地的 1.13, 1.09 和 1.14 倍, 由此可见, 3 种密度林地的土壤具有较好的持水性能。经方差分析, 3 种密度林地持水量与采伐地均存在显著差异 ( $p < 0.05$ ), 表明随着林分密度的增长, 细根生物量的增加, 土壤的持水性能却在减弱; 有林地的土壤持水性能远远优于采伐地。

3.1.4 土壤含水量 由图 3 可以看出, 3 种不同密度人工油松林地的土壤含水量垂直变化都很大, 均随

土层深度的增加而减小。0—20 cm 土层含水量较高, 小、中、大密度林地土壤含水量分别为 19.29%, 21.05%, 21.26%; 20—200 cm 土层中, 土壤含水量降至较低水平, 3 种密度林地的土壤含水量依次为 12.93%, 12.86%, 12.53%; 在 200 cm 以下达到一个相对稳定的数值 (10% 左右)。就 0—300 cm 土层而言, 小、中、大密度林地的平均土壤含水量分别为 12.95%, 12.87% 和 12.78%, 表现出明显的随林分密度增加而减少的趋势 ( $p < 0.05$ )。采伐林地 0—20 cm 土层土壤含水量为 19.93%, 20—160 cm 土层土壤含水量降低到 16.08%, 160—300 cm 土层土壤含水量又升至 16.84%。其 0—300 cm 土层的平均土壤含水量为 17.10%, 分别比小、中、大密度林地高出 4.16%, 4.24% 和 4.32%, 说明采伐林地的土壤水分在一定程度上得到了补偿。

表 2 不同密度人工油松林地土壤持水性

林分类型	土壤层次/cm	最大持水量/mm	毛管持水量/mm	最小持水量/mm
小密度	0—20	118.30	94.96	50.16
	20—40	113.30	91.50	48.37
	40—60	108.83	88.03	46.89
中密度	0—20	114.51	93.98	48.31
	20—40	111.00	89.93	46.73
	40—60	106.74	86.74	45.47
大密度	0—20	113.67	92.27	47.67
	20—40	106.68	86.55	44.28
	40—60	105.05	85.65	43.99
采伐地	0—20	102.60	85.66	43.80
	20—40	99.28	83.88	42.22
	40—60	91.86	77.59	37.86

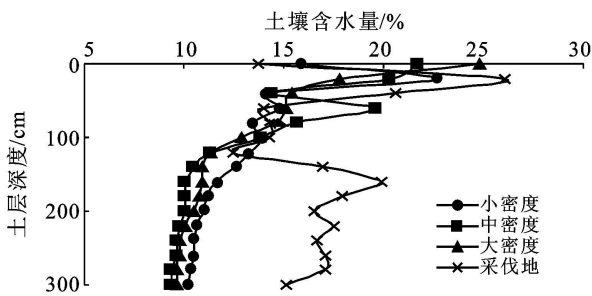


图 3 不同密度人工油松林地土壤含水量垂直分布

### 3.2 人工油松林地细根分布特征

不同密度人工油松细根均主要分布在 0—60 cm 土层, 细根干物质质量占细根总量的 90% 以上(图 4)。0—20 cm 土层, 小密度、中密度、大密度林地及采伐地的细根干物质质量依次为 2.22, 2.03, 2.03 和 2.00 g, 分别占细根总量的 56.50%, 55.38%, 57.22% 和 63.11%; 在 20—40 cm 土层中, 各密度油松林地的细根干物质质量分别为 0.72, 0.76, 0.72 和 0.58 g, 分别占细根总量的 18.23%, 20.61%, 20.29% 和 18.40%; 40—60 cm 土层, 依次为 0.60, 0.52, 0.48 和 0.32 g, 分别占细根总量的 15.38%, 14.07%, 13.60% 和 9.99%; 60 cm 以下, 随着土层深度的增加, 各密度油松细根分布明显减少, 仅占细根总量的 8.49%~9.93%。进一步分析表明, 随土层深度的增加细根分布呈逐渐降低的变化趋势, 尤其是 20 cm 以下, 下降幅度明显, 说明细根的分布量除与土壤深度有关外, 可能还与土壤特性有关; 同时林分密度过大, 单位面积的林木过多, 细根的生长发育受到限制, 导致人工油松林细根量随密度增加而逐渐减少。

### 3.3 油松细根与土壤特性的关系

对不同密度林地不同土层的油松细根量与土壤物理性质进行相关性分析, 结果表明(表 3), 0—20

cm 土层的油松细根量与土壤物理特性均不相关; 20—40 cm 土层的细根量与土壤容重和毛管持水量呈显著相关关系, 与其余各指标均不相关; 40—60 cm 土层的细根量与土壤容重和最小持水量呈极显著相关, 与土壤含水量相关性不显著, 与其余指标均呈正显著相关关系。说明在 0—20 cm 土层, 油松细根量对土壤物理性质影响不大; 在 20—60 cm 土层, 土壤容重和持水量是影响细根分布的主要因素, 土壤容重越小, 持水量越大, 细根量越大。

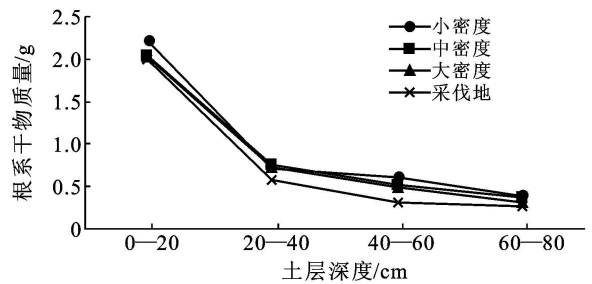


图 4 油松细根在不同土层的分布

表 3 土壤物理性质与各土层油松细根生物量的相关系数

土壤特性	细根生物量		
	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm
土壤容重	-0.581 7	-0.978 3*	-0.994 5**
总孔隙度	0.702 2	0.888 1	0.971 7*
毛管孔隙度	0.629 0	0.803 2	0.972 5*
最大持水量	0.701 6	0.888 1	0.972 0*
毛管持水量	0.628 7	0.803 5*	0.972 9*
最小持水量	0.763 8	0.777 8	0.998 3**
土壤含水量	-0.686 0	-0.945 1	-0.729 6

注: \* 表示显著相关( $p < 0.05$ ), \*\* 表示极显著相关( $p < 0.01$ )。

## 4 结论

已有研究表明, 人工油松根系分布深度可达 3 m, 但其细根主要分布在 0—60 cm 土层内, 且随土层深度的增加而锐减<sup>[13-14]</sup>。本研究中, 油松在不同密度条件下的细根均主要分布在 0—60 cm 土层, 细根干物质质量占细根总量的 90% 以上, 而 60 cm 以下土层, 随着土层深度的增加, 各密度油松细根的干物质分布量明显减少, 仅占细根总量的 8.49%~9.93%, 细根的数值特征值存在明显差异, 并随垂直深度的增加而呈现递减的趋势。结果分析表明, 小密度林地的土壤容重最小, 而其土壤孔隙度、土壤持水量及土壤含水量最大, 且随着林分密度的增大, 土壤孔隙度和持水性能逐渐降低, 说明不同密度条件下土壤特性的差异是各密度林地细根分布差异的主要原因之一。从油

松细根与土壤特性的关系来看,0—20 cm 土层的油松细根量与土壤物理特性均不相关,20—40 cm 土层的细根量与土壤容重和毛管持水量呈显著相关关系;40—60 cm 土层的细根量与土壤容重和最小持水量呈极显著相关关系,与土壤含水量相关性不显著,与其余指标均呈正显著相关关系。因此,在黄土丘陵区人工植被恢复过程中,应按照主要植被细根分布特点及其土壤性状的变化规律制定科学的植被恢复措施,合理控制林分密度是提高该区人工林的生产力和稳定性的关键。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] Boix F C, Calvo C A, Imeson A C, et al. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators[J]. *Catena*, 2001, 44: 47-67.
- [ 2 ] Li Y Y, Shao M A. Change of soil physical properties under long term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China[J]. *Journal of Arid Environments*, 2006, 64: 77-96.
- [ 3 ] Gill R A, Jackson R. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems[J]. *New Phytol.*, 2000, 147: 13-31.
- [ 4 ] Ostonen I, Lohmus K, Pajuste K. Fine root biomass, production and its proportion of NPP in a fertile middle aged Norway spruce forest: Comparison of soil core and

in growth core methods[J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 212: 264-277.

- [ 5 ] 张光灿,刘霞,周泽福,等.黄土丘陵区油松水土保持林生长过程与直径结构[J].*应用生态学报*, 2007, 18(4): 728-734.
- [ 6 ] 陈云明,吴钦孝,刘向东,等.黄土丘陵区油松生长与气候因子相关分析[J].*水土保持通报*, 1996, 16(2): 38-4.
- [ 7 ] 傅伯仁.黄土高原人工林“三低”原因探析[J].*甘肃农业*, 2004(11): 57-58.
- [ 8 ] 吴钦孝,杨文治.黄土高原植被建设与可持续发展[M].北京:科学出版社,1998.
- [ 9 ] Jackson R B, Mooney H A, Schulze E D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents[J]. *Proc. Nat Acad Sci USA*, 1997, 94(14): 7362-7366.
- [ 10 ] 张万儒,许本彤.森林土壤定位研究方法[M].北京:中国林业出版社,1986: 17-55.
- [ 11 ] 马雪华.森林生态系统定位研究方法[M].北京:中国科学技术出版社,1994: 84-166.
- [ 12 ] 李鹏,李占斌,赵忠.细根调查取样点数确定方法的研究[J].*水土保持研究*, 2003, 10(1): 146-149.
- [ 13 ] 吴钦孝,陈云明,赵鸿雁,等.森林保持水土机理及功能调控技术[M].北京:科学出版社,2005: 104-105.
- [ 14 ] 刘秀萍,陈丽华,陈吉虎.刺槐和油松根系密度分布特征研究[J].*干旱区研究*, 2007, 24(5): 647-651.

(上接第36页)

太阳辐射强烈导致岩土易于崩解,岩土易于崩解导致崩岗侵蚀发育,从而使崩岗的分布具有坡向性这一论点并非完全正确,此论点成立的前提必须限定在裸露的花岗岩风化壳坡地而非草被覆盖下的坡地。因此,人类生产活动对崩岗侵蚀地貌发育的影响应该被重新认识。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 张学俭.南方崩岗的治理开发实践与前景[J].*中国水利*, 2010(4): 17-22.
- [ 2 ] 吴志峰,钟伟青.崩岗灾害地貌及其环境效应[J].*生态科学*, 2007, 16(2): 91-96.
- [ 3 ] 史德明.我国热带、亚热带地区崩岗侵蚀的剖析[J].*水土保持通报*, 1984, 4(3): 32-37.
- [ 4 ] 李思平.广东崩岗形成的岩土本质[J].*福建水土保持*, 1991(4): 28-33.
- [ 5 ] 匡耀求,孙大中.雷州半岛第四纪台地区崩岗侵蚀地貌:

一种后果严重的水土流失现象[J].*热带地理*, 1998, 18(1): 42-49.

- [ 6 ] 林敬兰,陈志明,黄炎和,等.安溪县崩岗侵蚀空间分布特征探讨[J].*水土保持研究*, 2009, 16(6): 63-68.
- [ 7 ] 陈志明.安溪县崩岗侵蚀现状分析与治理研究[D].福建福州:福建农林大学,2007.
- [ 8 ] 李旭义.南方红壤区崩岗侵蚀特征及其治理范式研究[D].福建福州:福建师范大学,2007.
- [ 9 ] 陈世发.红壤典型小流域水土流失演变规律及其治理范式研究[D].福建福州:福建师范大学,2009.
- [ 10 ] 邱世钧.红土地崩岗侵蚀过程与机理[J].*水土保持通报*, 1994, 14(6): 31-40.
- [ 11 ] 刘瑞华.华南地区崩岗侵蚀灾害及其防治[J].*水文地质工程地质*, 2004(4): 54-57.
- [ 12 ] 汪金波.再论崩岗侵蚀的成因与防治:以德庆、五华两地为例[J].*中国水土保持*, 1995(1): 15-22.