

# 南方红壤侵蚀区芒萁生长特征及其对环境因子的响应

李小飞<sup>1,2</sup>, 陈志彪<sup>1,2</sup>, 陈志强<sup>1,2</sup>, 郑丽丹<sup>2</sup>, 张晓云<sup>2</sup>, 李荣丽<sup>2</sup>

(1. 湿润亚热带生态地理过程省部共建教育部重点实验室, 福建 福州 350007;

2. 福建师范大学 地理科学学院, 福建 福州 350007)

**摘要:** 采用样方法, 调查了福建省长汀县红壤侵蚀区马尾松林下芒萁的生物量、覆盖度和高度生长特征, 并与地形、土壤养分和土壤侵蚀强度等环境因子进行相关性分析。结果表明, 不同坡向上的芒萁生物量差异较为明显, 其中位于东坡的样地生物量最大(1 967.65 g/m<sup>2</sup>), 位于南坡的生物量最小(1 230.28 g/m<sup>2</sup>)。各样地的芒萁覆盖度和高度随着坡位的升高而逐渐降低。芒萁总生物量、覆盖度和高度与有机质和全氮呈显著的正相关性。土壤侵蚀程度与芒萁的生物量、覆盖度和高度都达到极显著的负相关性。该地区芒萁的生长主要受侵蚀程度、土壤有机质和全氮等因素的影响。芒萁对控制水土保持有着重要的作用, 因而可作为南方红壤侵蚀区水土保持与生态修复的先锋植被。

**关键词:** 芒萁; 生长特征; 环境因子

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0033-05

中图分类号: Q948.1

## Responses of *Disranopteris Dichotoma* Growth to Environmental Factors in Eroded Red-soil Region of Southern China

LI Xiao-fei<sup>1,2</sup>, CHEN Zhi-biao<sup>1,2</sup>, CHEN Zhi-qiang<sup>1,2</sup>,  
ZHENG Li-dan<sup>2</sup>, ZHANG Xiao-yun<sup>2</sup>, LI Rong-li<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Humid Subtropical Eco-geographical Process of the Ministry of Education, Fuzhou,

Fujian 350007, China; 2. College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China)

**Abstract:** The biomass, coverage and height of *Disranopteris dichotoma*, as well as topography, soil nutrients and soil erosion degree in Changting County, Fujian Province, were investigated using quadrat methods. The differences of the biomass were evident in different slope directions. The total biomass for the quadrats on east slope was with the maximum of 1 967.65 g/m<sup>2</sup> and for the quadrats on south slope, with the minimum of 1 230.28 g/m<sup>2</sup>. The coverage and height decreased with increased slope position. The total biomass, coverage and height were positively correlated with soil organic matter and total nitrogen. Soil erosion degree was significantly negatively correlated with the biomass, coverage and height. The *Dicranopteris dichotoma* growth was apparently influenced by soil erosion degree, soil organic matter and total nitrogen. *Dicranopteris dichotoma* plays some important roles in controlling soil and water loss and therefore, it can be used as pioneer vegetation in soil and water conservation and ecological restoration of the study area.

**Keywords:** *Dicranopteris dichotoma*; growth character; environmental factors

芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) 为里白科 (Gleicheniaceae) 芒萁属 (*Dicranopteris*) 的多年生常绿蕨类植物, 广泛分布于我国长江以南各省区、朝鲜南部以及日本<sup>[1]</sup>。国外有研究表明, 在丘陵山区, 海拔会影响芒萁的群落组成<sup>[2-3]</sup>; 在我国亚热带山区, 芒

萁与其他灌丛可形成物种丰富度和多样性较高的群落结构<sup>[4]</sup>。芒萁体内的稀土元素主要富集在它的根部和叶片中, 并且能影响它的光合活性<sup>[5-6]</sup>; 环境因子也可对芒萁的性别分化<sup>[6]</sup>、孢子萌发<sup>[7-8]</sup>产生很大的影响; 芒萁还能分泌一种生化他感物质, 抑制其他植

收稿日期: 2012-02-23

修回日期: 2012-08-02

资助项目: 国家自然科学基金项目“南方红壤侵蚀区芒萁散布的地质学分析及其时空模拟”(41171232); 国家自然科学基金“南方红壤侵蚀区退化生态系统人工适时介入和安全退出”(410011701)

作者简介: 李小飞 (1987—), 男 (汉族), 四川省达州市人, 硕士研究生, 主要从事水土保持以及 GIS 应用等方面的研究。E-mail: lixiaofei198702@126.com。

通信作者: 陈志彪 (1962—), 男 (汉族), 福建省平潭县人, 博士, 教授, 主要从事生态恢复以及水土保持等方面的研究。E-mail: chenzhibiao408@vip.163.com。

物的生长<sup>[9]</sup>。近年来,在芒萁养分、碳素动态、能量和生物量等方面也进行了较多的研究<sup>[9-12]</sup>,但就芒萁生长的环境因子及其影响作用的研究鲜见报道。

在我国南方山区,芒萁是既经济又有效的水土保持植物<sup>[13]</sup>,对有效防止土壤侵蚀有着不可代替的作用<sup>[14]</sup>。长期研究观察发现,芒萁是严重退化生态系统最后退出,也是治理中最早侵入的草本,因此,可作为生态恢复与重建的先锋草被植物。本研究选取南方典型红壤侵蚀区福建省长汀县,调查芒萁的生长特征,分析芒萁生长与环境因子的关系,为深入认识芒萁的水土保持作用并制定相应的恢复措施提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

长汀县位于 25°18'40"—26°02'05"N,116°00'45"—116°39'20"E,地处福建省西南部,总面积约为 3 099.59 km<sup>2</sup>。该地区是南方红壤侵蚀区的典型代表,1940 年福建省研究院即在此设立土壤保肥试验区,开展土壤侵蚀治理的试验研究。解放后至 20 世纪 90 年代初,历经多次治理,但由于种种原因,土壤侵蚀问题未能根治<sup>[15]</sup>。1995 年以来,该地区的朱溪流先后被列为福建省重点治理小流域、全国水土保持生态环境建设“十百千”示范小流域<sup>[16]</sup>和全国 30 条典型监测小流域之一。

该地区地貌以低山、丘陵为主,河流沿岸及支流有河谷盆地分布,气候属中亚热带季风性湿润气候,多年平均气温 18.3 °C,年降水量 1 700 ~ 2 000 mm<sup>[15]</sup>。山地土壤主要为花岗岩在长期湿热气候条件下风化而发育成的红壤、侵蚀红壤,抗蚀性极差,且酸性强,保水保肥能力低<sup>[15]</sup>。由于长期人为破坏,原始植被几乎全部被次生林所代替,主要植被类型为丘陵地带的次生马尾松中、幼林,树种单一,结构简单,周边高丘、低山分布有少量的针阔混交林<sup>[15-16]</sup>。

### 1.2 样地设计与处理

样地野外调查的时间是 2010 年 8 月。在长汀县随机选取土壤侵蚀最严重的河田镇朱溪流域内的来油坑小山丘,设立东、西、南、北 4 个不同朝向的 4 块样地(10 m×10 m),对每块样地的上、中和下坡位选择 3 个典型样点,样点大小为 1 m×1 m,以样点坡面的芒萁微斑块作为研究单元。所有样点采用结实的线环绕芒萁的生长边缘,测量芒萁生物量、覆盖度、高度和株数。对每个样点采取土壤样品,重复 3 个,样品混合均匀,进行风干处理。为了进一步分析不同退

化地对芒萁生长的影响,重新补充调查了 21 个不同植被覆盖度的样地(10 m×10 m),按照覆盖度大小不同把它们分为 7 组:(A<sub>1</sub>)≤20%,(A<sub>2</sub>)20.01%~25%,(A<sub>3</sub>)25.01%~30%,(A<sub>4</sub>)30.01%~35%,(A<sub>5</sub>)35.01%~40%,(A<sub>6</sub>)40.01%~45%和(A<sub>7</sub>)>95%。

室内化验每个样点的土壤理化性质。容重采用环刀法测定(LY/T 1215—1999);有机质采用重铬酸钾容量测定(LY/T 1237—1999);全氮采用半微量凯氏法测定(LY/T 1228—1999);全磷采用高氯酸消煮法(LY/T 1271—1999)、钼锑抗比色法测定(LY/T 1270—1999);全钾采用 TAS—986 原子吸收分光光度计测定;pH 值采用电位法测定(LY/T 1239—1999)。

生物量包括地下与地上的生物量,其中地下的生物量用挖掘法,即在 1 m×1 m 样点内取 10 cm×10 cm 的小样方,向下挖至无芒萁的根处,用水将根清洗干净;地上生物量采用齐地剪切法,有土用水清洗,装入塑料袋保存,带回实验室,105 °C 杀青 30 min,再用烘箱 80 °C 烘干至恒重。芒萁的覆盖度采用测绳法,测量不同方向的覆盖度,取平均值;高度用卷尺测量,量取多株,取平均值。

### 1.3 数据处理和分析

采用 Microsoft Excel 和 SPSS 13.0 统计软件进行数据处理分析。其中采用单因素方差分析方法(ANOVA,显著性水平设为 0.05)比较不同样点芒萁生长的差异,并进行芒萁生长与环境因子的相关分析和回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 芒萁生长的空间特征

由图 1 可见,位于东坡的芒萁总生物量最大,为 1 967.65 g/m<sup>2</sup>;其次是朝北向,为 1 836.51 g/m<sup>2</sup>;最小是朝南向,为 1 230.28 g/m<sup>2</sup>。地下生物量和总生物量有着相似的分布特征。总体上,地上生物量大于地下生物量(图 1)。同块样地的不同坡位芒萁的生物量差异性也较大,其中位于西坡和北坡向的样地最显著。

各样地的芒萁覆盖度和高度随着坡位的升高而逐渐降低,东、西和南坡样地降低趋势较显著,而朝北向的覆盖度表现出不明显的变化规律(图 2)。同块样地不同坡位的芒萁覆盖度的变化范围最大为 85%,最小为 10%,而高度变化范围最大为 64 cm,最小是 28 cm。总体而言,芒萁覆盖度和高度随坡位的升高而逐渐降低。由表 1 中可看出,高植被覆盖度的

样地,芒萁普遍生长较好,当植被覆盖度增加到一定值后,芒萁的生长就受到抑制。根冠比值越大,表明芒萁以根的生长为主;比值越小,表明以叶和茎生长为主。

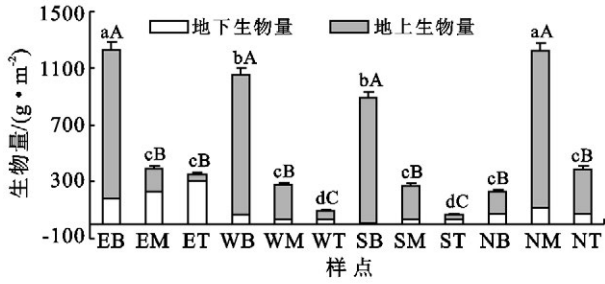


图 1 不同样点芒萁生物量的比较

注:相同小写字母表示不同样地的同一坡位的差异性不显著,相同大写字母表示同块样地不同坡位的差异性不显著( $p < 0.05$ ); E, W, S 和 N 分别代表东、西、南和北; B, M 和 T 分别代表下坡、中坡和上坡。下同。

### 2.2 芒萁生长与环境因子的相关性

由表 2 可知,芒萁总生物量与有机质和全氮显著

正相关,相关系数分别为 0.618, 0.598 ( $p < 0.05$ ),而与其他理化性质不显著相关 ( $p > 0.05$ )。地上生物量也与有机质和全氮显著正相关,而与其他理化性质不显著相关。总生物量和地上生物量与理化性质的相关性极相似。地下生物量与理化性质相关不显著,其中与 pH 值、全磷和全钾存在一定的负相关性。覆盖度与有机质、全氮和全钾存在极显著的正相关性 ( $p < 0.01$ ),表明在养分充足的情况下,芒萁比较容易向四周生长,从而增加了地表上的覆盖。芒萁的高度也与有机质、全氮和全钾呈极显著正相关。

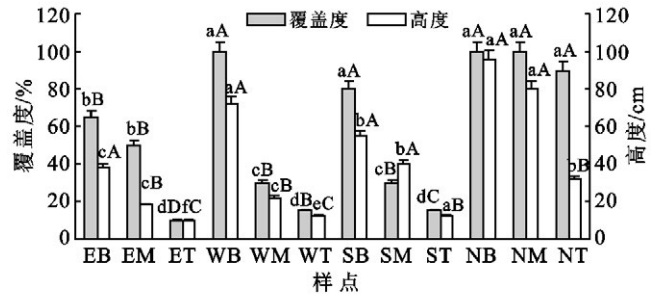


图 2 不同样点芒萁覆盖度和高度比较

表 1 不同植被覆盖度下芒萁的生长差异

样点	植被覆		土壤理化性质				芒萁生长特征						
	盖度/ %	容重/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	有机质/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全氮/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全磷/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全钾/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	覆盖度/ %	密度/ ( $株 \cdot m^{-2}$ )	高度/ cm	地上生物量/ ( $g \cdot m^{-2}$ )	地下生物量/ ( $g \cdot m^{-2}$ )	总生物量/ ( $g \cdot m^{-2}$ )	根冠比
A <sub>1</sub>	15.6	1.44±0.05	2.43±0.08	0.07±0.01	0.07±0.01	1.63±0.06	11.1±2.1	75±8	15.4±3.1	654±25.62	473±14.37	1 127±35.48	0.72±0.08
A <sub>2</sub>	23.6	1.35±0.08	3.31±0.11	0.35±0.08	0.25±0.01	6.27±0.05	22.8±5.2	113±10	22.5±4.2	854±26.31	486±14.25	1 340±41.96	0.57±0.05
A <sub>3</sub>	28.2	1.32±0.12	4.78±0.21	0.39±0.01	0.32±0.03	6.54±0.07	29.3±3.8	133±14	28.1±3.3	1 209±38.59	569±15.89	1 778±52.97	0.47±0.03
A <sub>4</sub>	33.6	1.25±0.06	5.89±0.18	0.41±0.07	0.35±0.04	6.83±0.11	42.1±2.7	154±21	33.5±3.2	1 461±42.11	614±16.12	2 075±62.32	0.42±0.04
A <sub>5</sub>	38.7	1.17±0.07	6.88±0.25	0.51±0.06	0.39±0.06	8.95±0.14	54.4±3.6	172±18	36.4±1.2	1 884±44.56	715±18.63	2 599±55.87	0.38±0.07
A <sub>6</sub>	43.4	1.13±0.13	7.15±0.08	0.59±0.04	0.42±0.09	9.52±0.13	63.5±4.9	186±31	47.3±2.1	2 456±58.72	762±18.04	3 218±48.46	0.31±0.09
A <sub>7</sub>	97.2	1.01±0.09	11.97±0.17	0.62±0.05	0.45±0.10	11.21±0.15	5.6±1.2	22±3	12.5±2.5	92.9±4.23	12.8±2.12	115.7±5.23	0.14±0.01

表 2 芒萁生长特征与土壤理化性质的相关系数

生长特征	容重	pH 值	有机质	全氮	全磷	全钾
总生物量	0.187	-0.119	0.618*	0.598*	0.196	0.424
地上生物量	0.099	-0.098	0.592*	0.590*	0.199	0.470
地下生物量	0.423	-0.101	0.147	0.061	-0.007	-0.198
覆盖度	-0.057	-0.553	0.782**	0.789**	0.650*	0.731**
高度	-0.346	-0.620*	0.737**	0.752**	0.361	0.857**

注: \*\* 在  $p < 0.01$  水平(双侧)上极显著相关; \* 在  $p < 0.05$  水平(双侧)上显著相关。

生物量与土壤理化性质的相关性不一致(图 3)。其中,生物量与 pH 值和容重相关性都不显著( $R^2 =$

0.208 2,  $p > 0.05$ ;  $R^2 = 0.048 8$ ,  $p > 0.05$ ),而与有机质和全氮呈显著的正相关( $R^2 = 0.453 1$ ,  $p < 0.05$ ;  $R^2 = 0.413 5$ ,  $p < 0.05$ ),且随有机质和全氮的含量升高而增加。芒萁生物量与全磷和全钾相关性都不显著。

对研究区土壤侵蚀强度与芒萁的生物量、覆盖度和高度建立回归曲线(图 4)。其中,总生物量与侵蚀强度呈极显著负相关( $R^2 = 0.881 1$ ,  $p < 0.001$ );覆盖度与侵蚀强度呈极显著负相关性( $R^2 = 0.863 2$ ,  $p < 0.001$ );高度与侵蚀强度也呈极显著负相关性( $R^2 = 0.789 9$ ,  $p < 0.001$ )。芒萁生物量、覆盖度和高度对土壤侵蚀程度的响应程度不同,其中响应程度最大的是总生物量,其次是高度,最小的是覆盖度。

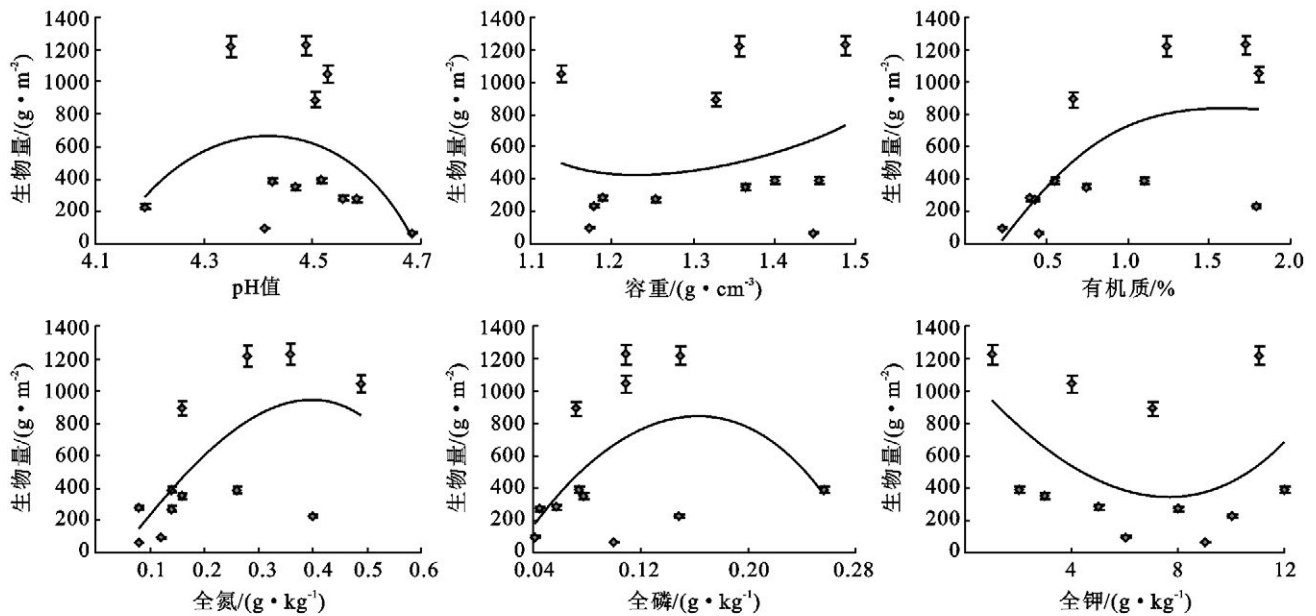


图 3 芒萁生物量与土壤理化性质的相关关系

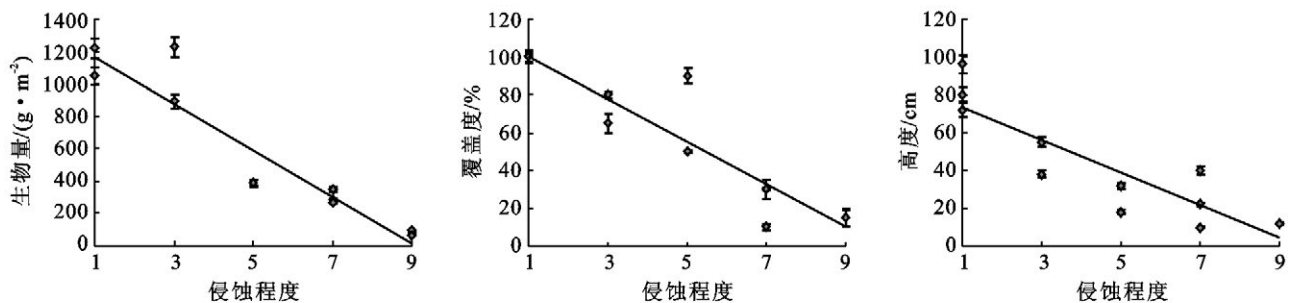


图 4 芒萁的生物量、覆盖度和高度与土壤侵蚀程度的相关关系

注: 1. 微度侵蚀; 3. 轻度侵蚀; 5. 中度侵蚀; 7. 强度侵蚀; 9. 极强度侵蚀

### 3 讨论

#### 3.1 地形因子对植被生长的影响

位于不同坡向的芒萁单位面积的总生物量差异不显著,其中朝东向最大,朝北方向最小。地上与地下生物量的分配存在有规律的变化,差异较为显著。除位于北坡的样地外,其余 3 个坡向的样地中,自上坡到下坡,芒萁地上生物量升高,而地下生物量降低,与前人研究结果一致<sup>[17]</sup>。芒萁的这种生长空间特征可能是因为上坡的光照充分,水分蒸发快,尤其在伏旱季节,土壤水分含量极低,植物在此生境条件下根系生长更为重要<sup>[13,18]</sup>,从而获得生长所需的足够水分。而对于下坡,光照偏弱,土壤水分的限制强度减弱,但作为喜阳植物,芒萁以地上部分生长为主,从而获得更大地上生长空间<sup>[13]</sup>。芒萁的覆盖度和高度在空间上具有相似的变化趋势。

#### 3.2 植被生理生态及其对土壤理化性质的响应

George 等<sup>[19]</sup>提出芒萁在马尾松单优群落格局

中,群落内部光照强度、土壤理化性质和水分等生境因子都会限制芒萁生长与定居,产生为一种“生态筛选”(ecological filter)的过程。相关的研究表明,土壤的紧实度可以影响到植物的根系形态<sup>[20]</sup>和地上部的生长<sup>[21]</sup>以及植物对水分和养分的吸收利用<sup>[22]</sup>。对于水土流失严重区,土层贫瘠且较薄,土壤紧实(容重达到 1.44g/cm<sup>3</sup>),芒萁的生长受到较大的限制,且侵蚀强度越大,芒萁越难以生长。土壤功能和养分对植物生长的影响程度存在较大的差别,特别是碳和氮养分<sup>[23]</sup>。随着有机质和全氮的含量升高芒萁生物量升高,但随全磷和全钾的变化不显著。土壤中养分的作用与植物生长具有一定的滞后效应<sup>[24]</sup>,且在以增温为基本特征的全球气候变化影响下,植被的生理生态、繁殖与生长都将受到持续的影响<sup>[25]</sup>,因此对于芒萁—土壤相互作用需要进一步的研究。

#### 3.3 退化地生态恢复与植被重建

植被是生态系统物质循环和能量交换的枢纽,是退化生态系统恢复与重建的前提<sup>[26]</sup>。因此,侵蚀区生

态恢复与重建的关键在于如何快速有效地恢复植被<sup>[27]</sup>。芒萁是我国南方分布面积最广的草被植物之一,大多是由于水土流失造成土壤日益瘠薄,生境趋于干旱而形成的次生植被类型。南方红壤侵蚀区的土壤贫瘠,干热化严重,许多植物难以生长,但在坡地小沟谷或地势低凹处常可见到芒萁在顽强生长;并且该地区不论采用哪种人工治理措施,若干年后都演化成以芒萁为主的近地表层群落,可见,芒萁能快速地覆盖地表并控制地表侵蚀,因而,可作为南方红壤侵蚀区水土保持与生态修复的先锋植被。

#### 4 结论

通过对南方红壤侵蚀区芒萁生长特征及其对环境因子响应的研究,得出以下结论:芒萁生长以阴坡上好于阳坡与半阳坡;生境条件从上到中坡再到下坡逐渐优越。芒萁的生长与有机质、全氮和全钾呈极显著正相关,同时也与侵蚀程度呈极显著相关,且呈近似线性关系。综合分析来看,南方红壤侵蚀地区芒萁的生长主要受侵蚀程度、土壤有机质和全氮等因素的影响。然而,该地区土壤养分缺乏,植被恢复并不理想,因而在进行水土保持和生态修复过程中,应加强土壤养分的恢复。

#### [参 考 文 献]

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1999:120.
- [2] Sim J W S, Tan H T W, Turner I M. Adinandra belukar: an anthropogenic heath forest in Singapore [J]. *Vegetation*, 1992,102(2):125-137.
- [3] Banaticla M C N, Buot Jr I E. Altitudinal zonation of pteridophytes on Mt. Banahaw de Luchan, Luzon Island, Philippines [J]. *Plant Ecology*, 2005,180(2):135-151.
- [4] 朱圣潮,王昌腾. 浙江丽水太山芒萁灌草丛的物种多样性与生态学特征[J]. *上海交通大学学报:农业科学版*, 2005,23(3):229-233,238.
- [5] Wang Xiaoping, Shan Xiaoquan, Zhang Shuzhen, et al. Distribution of rare earth elements among chloroplast components of hyperaccumulator *Dicranopteris dichotoma* [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2003, 376(6):913-917.
- [6] 王立丰,季红兵,田维敏. 重稀土矿区芒萁稀土元素精确定位及光抑制对其光合活性的影响[J]. *中国稀土学报*, 2010,28(30):379-386.
- [7] 宋莹莹,高晶,戴绍军. 蕨类植物性别分化对环境的响应[J]. *生态学报*, 2009,29(9):5030-5038.
- [8] 张正修,绍军. 环境因子对蕨类植物孢子萌发的影响[J]. *生态学报*, 2010,30(7):1882-1893.
- [9] 罗丽萍,葛刚,陶勇,等. 芒萁对几种杂草和农作物的生化他感作用[J]. *植物学通报*, 1999,16(5):591-597.
- [10] 管东生. 香港芒萁群落养分的研究[J]. *植物生态学报*, 1996,20(3):235-244.
- [11] 管东生. 香港草地、芒萁、灌木群落的 C 素动态[J]. *生态学报*, 2001,21(3):440-445.
- [12] 管东生. 香港山坡地草本、灌木群落的植物能量生产[J]. *应用生态学报*, 2001,12(3):374-378.
- [13] 刘迎春,刘琪璟,汪宏清,等. 芒萁生物量分布特征[J]. *生态学杂志*, 2008,27(5):705-711.
- [14] 邓恢,林沁文,滕华卿,等. 强度水土流失区芒萁生长规律分析[J]. *福建林学院学报*, 2004,24(3):262-264.
- [15] 陈志彪. 花岗岩侵蚀山地生态重建及其生态环境效应[D]. 福州:福建师范大学,2005.
- [16] 岳辉,陈志彪. 朱溪河小流域水土流失治理与生态环境效应[J]. *福建地理*, 2003,18(1):6-8.
- [17] 邹爱平,陈志彪,陈丽慧. 红壤丘陵区典型小流域侵蚀景观时空变化分析[J]. *中国水土保持科学*, 2009,7(2):93-99.
- [18] 陈伟,薛立. 根系间的相互作用:竞争与互利[J]. *生态学报*, 2004,24(6):1243-1251.
- [19] 肖冬梅,王淼,姬兰柱. 水分胁迫对长白山阔叶红松林主要树种生长及生物量分配的影响[J]. *生态学杂志*, 2004,23(5):93-97.
- [20] George L O, Bazzaz F A. The fern understory as an ecological filter: Growth and survival of canopy-tree seedlings [J]. *Ecology*, 1999,80(3):846-856.
- [21] 吴亚维,马锋旺,邹养军. 土壤紧实度对楸子幼苗根系生长及活力的影响[J]. *贵州农业科学*, 2009,37(3):118-120.
- [22] Wolfe D W, Topoleski D T, Gundersheim N A, et al. Growth and yield sensitivity of four vegetable crops to soil compaction [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1995,120(6):956-963.
- [23] 杨勇,江荣风,李花粉,等. 土壤容重改变对锌/镉超累积植物遏兰菜根系特征及吸镉的影响[J]. *环境科学*, 2010,31(12):3043-3049.
- [24] Sami W R, Daniel M, Bruce B. Twenty years of intensive fertilization and competing vegetation suppression in loblolly pine plantations: Impacts on soil C, N, and microbial biomass [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2010,42(5):713-723.
- [25] Fernandez-Lugo S, Nascimento L, Mellado M, et al. Vegetation change and chemical soil composition after 4 years of goat grazing exclusion in a Canary Islands pasture [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009,132(3/4):276-282.
- [26] 孙智辉,刘志超,雷延鹏,等. 延安北部丘陵沟壑区植被指数变化及其与气候的关系[J]. *生态学报*, 2010,30(2):533-540.
- [27] 吕仕洪,向悟生,李先琨,等. 红壤侵蚀区植被恢复研究综述[J]. *广西植物*, 2003,23(1):83-89.